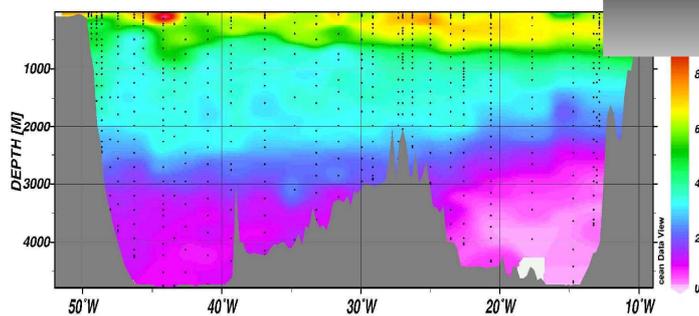
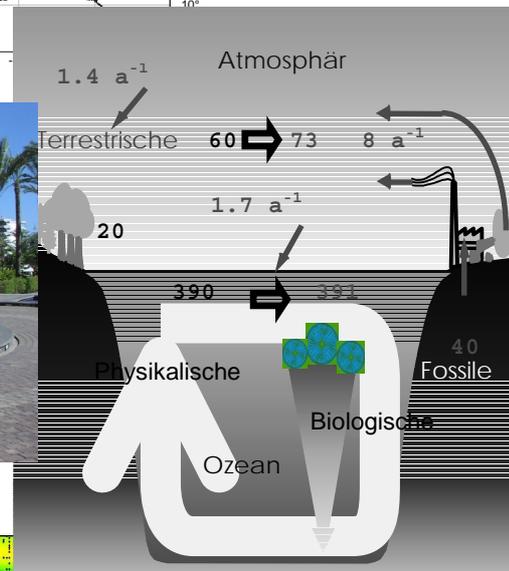
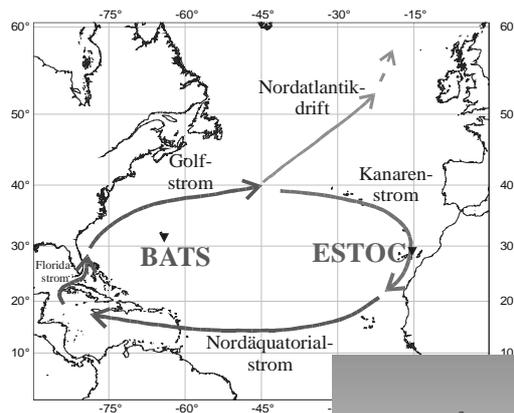


BMBF-Verbundprojekt

JGOFS Nordatlantik Synthese II



BMBF FK 03F0351A
01.07.2001 – 30.06.2003

Abschlußbericht

BMBF-Verbundprojekt
JGOFS Nordatlantik Synthese II

BMBF FK 03F0351A
01.07.2001 – 31.06.2003

Abschlußbericht

K.Lochte¹, W. Koeve², H. Meggers², L. Mintrop³, A. Oschlies¹

¹Leibniz-Institut für Meereswissenschaften, Kiel

²Geowissenschaften, Universität Bremen,

³Institut für Ostseeforschung Warnemünde

Februar 2004

Hinweis:

Dieser Bericht enthält unveröffentlichte Ergebnisse, die nicht ohne Einwilligung des BMBF und der Antragsteller verwendet werden dürfen.

Titelbilder (von oben nach unten):

Positionen der Zeitserienstationen BATS (Bermuda Atlantic Time-Series) und ESTOC (European Station for Time-Series in the Ocean, Canary Islands) (Dreiecke) im nordatlantischen subtropischen Wirbel mit der schematischen Position der wichtigsten Oberflächenströmungen. (TP 4)

Schema der anthropogenen CO₂ Freisetzung und ihre Aufnahme in terrestrische und marine Reservoirs

Teilnehmer der CARINA Konferenz in Maspalomas, Spanien (TP1)

Verteilung des anthropogenen CO₂ auf einem Ost-West Schnitt durch den Nordatlantik (Gauss 350) (TP1)

Inhaltsverzeichnis

		SEITEN
1	ZUSAMMENFASSUNG / SUMMARY	6
2	AUFGABENSTELLUNG	9
3	VORAUSSETZUNGEN UNTER DENEN DAS VORHABEN DURCHGEFÜHRT WURDE	10
4	PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS	10
5	WISSENSCHAFTLICHER UND TECHNISCHER STAND AN DEN ANGEKNÜPFT WURDE	11
	5.1 CO₂ Survey (WOCE/JGOFS)	12
	5.2 Biogeochemische Prozesse im Nordatlantik	13
	5.3 Beckenweite Modellierung im Nordatlantik	14
6	ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN	15
	6.1 Kooperationen innerhalb des Verbundes	15
	6.2 Kooperationen ausserhalb des Verbundes	15
	6.3 Beiträge zum internationalen JGOFS-Projekt	16
7	ERGEBNISSE	18
	7.1 Synthese und Interpretation der CO₂ Daten im Nordatlantik	18
	7.1.1. Ziele	18
	7.1.2. CO ₂ Daten aus dem Atlantik	18
	7.1.3. Saisonalität von DIC	20
	7.1.4. Anthropogenes CO ₂	21
	7.1.5. CARINA international	22
	7.2 Stöchiometrie der Biologischen Pumpe	24
	7.2.1. Ziele	24
	7.2.2. Quantifizierung der C(-O ₂ -), N- und P-Komponenten der Neuen Produktion	24
	7.2.3. Quantifizierung der Bedeutung der N-armen gelösten organischen Materie (DOM) für die Stöchiometrie der Biologischen Pumpe	25
	7.2.4. Erstellung von 3D Datenfeldern der C-Remineralisierung und Analyse der empirischen Flußbeziehungen	26
	7.3 Die Klimasensitivität der Biologischen Pumpe	27
	7.3.1. Ziele	27
	7.3.2. Beeinflussung der Berechnung des Gasaustauschs durch biologische Produktionskonzepte	27
	7.3.3. Zwischenjährliche Variabilität des vertikalen Partikelflusses in der tiefen Wassersäule	27
	7.3.4. Globales Modell des marinen Ökosystems für Simulationen über lange Zeiträume (Jahrtausende)	28

	7.3.5. Evaluierung der Bestimmung von Remineralisierungsraten aus gelösten Nährstoffkonzentrationen	28
7.4	Interannuelle Prozesse bei ESTOC	29
	7.4.1. Ziele	29
	7.4.2. Zusammenführen der internationalen und nationalen ESTOC-Datensätze	29
	7.4.3. Erweiterte Überprüfung der ESTOC Station als Referenzstation für biogeochemischen Prozesse für den östlichen Teil des nordatlantischen Subtropenwirbels	30
7.5	Datenmanagement	33
	7.5.1. Ziele	33
	7.5.2. Datenbestand / Datenaufarbeitung	34
	7.5.3. Datenzugang und Langzeitarchivierung	38
	7.5.4. Workshops	39
	7.5.5. Stand des Vorhabens im Vergleich zur Antragstellung	40
7.6	Öffentlichkeitsarbeit	40
	7.6.1. Generelle Öffentlichkeitsarbeit	40
	7.6.2. Zusammenarbeit mit Lehrern und Schülern	41
8	VORAUSSICHTLICHER NUTZEN, VERWERTBARKEIT UND ERFAHRUNGEN	42
	8.1. Wissenschaftliche Themen mit besonderer Bedeutung für zukünftige Forschungsprojekte in der marinen Biogeochemie	42
	8.2. Empfehlungen für zukünftige Datenerhebungen	43
9	FORTSCHRITT AUF DEM GEBIET DES VORHABENS AN ANDERER STELLE	43
10	ZITIERTE LITERATUR	44
11	ERFOLGTE ODER GEPLANTE VERÖFFENTLICHUNGEN DES VERBUNDPROJEKTES	46
	11.1. Artikel	46
	11.2. Vorträge	47
	11.3. Poster	48
12	ERFOLGSKONTROLLBERICHT	50
	12.1. Beitrag zu den förderpolitischen Zielen	50
	12.2. Wissenschaftlicher und technischer Erfolg des Vorhabens	50
	12.3. Fortschreibung des Verwertungsplans	51
	12.4. Arbeiten die zu keiner Lösung geführt haben	51
	12.5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer	51
	12.6. Einhaltung des Finanzierungs- und Zeitplans	52

ANHANG:

- Beigelegte Veröffentlichungen des Verbundvorhabens
- Programme der JGOFS Workshops und der CARINA Open Science Conference
- Informationsmaterial (Mappen) für Schulunterricht
- zwei CDs für die Öffentlichkeitsarbeit
- JGOFS Daten DVD

1 ZUSAMMENFASSUNG

Das Verbundprojekt hatte die Aufgabe, die im Rahmen der Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS) gesammelten Daten aus dem Nordatlantik zu einer übergreifenden Synthese zusammenzuführen. Es bestand aus 4 Teilprojekten:

- Synthese und Interpretation der CO₂ Daten im Nordatlantik (CARINA)
- Stöchiometrie der biologischen Pumpe
- Die Klimasensitivität der Biologischen Pumpe
- Internannuelle Prozesse bei ESTOC

CO₂ Daten im Nordatlantik: Die Winterkonzentrationen von gelöstem anorganischen Kohlenstoff zeigen einen stetigen Anstieg zwischen den Jahren von 1981 bis 2001 im Oberflächenwasser des Nordatlantiks, der im Jahresmittel um 1.6 µmol/kg beträgt. Eine einheitliche Berechnungsmethode für die Konzentration von anthropogenem CO₂ wurde eingesetzt, um den anthropogen bedingten Anstieg des CO₂ zu bestimmen. Er ist im Tiefenbereich von 200 – 1000m zu erkennen und beträgt hier 6± 3 µmol/kg in 6 Jahren. Die jahreszeitliche Abnahme des DIC aufgrund der biologischen Aktivität im Frühjahr und Sommer beträgt bis zu 80 µmol/kg, wovon 30 µmol/kg auf den Zeitraum nach der Verarmung der Nährstoffe entfallen. Die Verbleib der übrigen 50 µmol/kg muss auf „non-Redfield“ Produktion, Stickstofffixierung und DOC-Produktion zurückgeführt werden.

Stöchiometrie der biologischen Pumpe: Das zeitlich integrierte C:N Verhältnis war während der ganzen Frühjahrsblüte, gemäß dieser Analyse, sowohl in 1989 als auch in 1996 nicht signifikant vom sog. Redfield C:N Verhältnis (6.6) verschieden und deutlich niedriger als bisher in der Literatur vorgeschlagen. Man kann im temperiert/subarktischen Nordatlantik zwei Phasen der Neuen Produktion unterscheiden: Frühjahrsblüte, die durch C:N Verhältnisse nahe dem klassischen Redfield-Verhältnis gekennzeichnet ist, und ein Sommersystem, in dem Stickstoff rezirkuliert wird, während gleichzeitig eine Nettofestlegung von Kohlenstoff stattfindet. Die Beobachtung von generell erhöhten C:N Werten sinkender Partikel in der Tiefe stellt keinen Beleg für einen bedeutenden Beitrag von C-reichem TEP (transparent exopolymer particles) zum tiefen Partikelfluß dar. Ausgehend von globalen Datensätzen der Primärproduktion wurden Kohlenstoff-Flüsse zwischen 0.9 und 2.9 GT C yr⁻¹, und Exportverhältnisse (f-ratio) zwischen 0.07 und 0.31 für dem Atlantik gefunden. Kohlenstoffabbau innerhalb der winterlich durchmischten Zone vermindert den Kohlenstoffexport beckenweit um 11-19%. Flacher POC Abbau und CaCO₃ Sequestrierung tragen in etwas gleichem Maße zur Einstellung des effektiven Kohlenstoffflusses bei (je ca. 15% der Exportproduktion). Regional gibt es aber große Unterschiede. In den hohen Breiten dominiert der POC Abbau innerhalb der winterlich durchmischten Schicht, während in den niederen Breiten die CaCO₃ Sequestrierung überwiegt.

Die Klimasensitivität der Biologischen Pumpe: Es stellte sich heraus, dass biologische Produktionsraten die biotisch induzierten Flüsse über die Meeresoberfläche im Nordatlantik um etwa 20% überschätzen. Dies ist im wesentlichen auf unterschiedliche Referenziefen zurückzuführen: Während Produktionskonzepte sich i.a. auf die euphotische Zone beziehen, ist es die durchmischte Deckschicht, die im direkten Austausch mit der Atmosphäre steht und damit für den CO₂ Fluss von Bedeutung ist. Aufgrund starker lateraler Gradienten in der maximalen Deckschichttiefe weist die biologische Pumpe zusätzlich zum vertikalen Exportfluss durch absinkende Partikel auch einen lateralen Export durch Subduktion von organischem und neu (d.h. innerhalb eines Jahresgangs) remineralisiertem, anorganischem Material auf. Die Modellergebnisse zeigen, dass der bisher nicht berücksichtigte Export von

neu remineralisiertem Material in den Subduktionsgebieten des Nordatlantiks etwa die Hälfte des biotisch induzierten Gasaustauschs erklärt. Der Subduktionsprozess spielt wegen der schnellen Reaktion auf Änderungen im Windfeld eine besondere Rolle bei der Klimasensitivität der biologischen Pumpe. Ein potentieller Mechanismus, über den die biologische Pumpe auf Klimaschwankungen reagieren und rückkoppelnd auf das Klimasystem wirken kann, ist die Änderung der Stöchiometrie der biologischen Pumpe. Ergebnisse eines gekoppelt biogeochemisch-physikalischen Modells zeigten, dass alle Standardverfahren in Regionen mit starker diapyknischer Vermischung deutliche Abweichungen vom vorgegebenen Redfield-Verhältnis vorspiegeln und die so gewonnenen Rückschlüsse entsprechend kritisch zu beurteilen sind.

Internannuelle Prozesse bei ESTOC: In der Kanarenregion bestimmt das östliche Randstromsystem des Subtropenwirbels unter Einschluss der Auftriebsregion vor Nordwestafrika wesentlich die biologische Produktion, den vertikalen Transport und die horizontale Verfrachtung von organischen und anorganischen Partikeln. ESTOC zeigt integriert über das späte Holozän bei einer Sedimentationsrate von 2-3 cm/1000 Jahren ein typisch oligotrophes Bild. ESTOC hat eine bedeutend niedrigere Exportproduktionsrate als die anderen JGOFS Zeitserienstationen (Bermuda Atlantic Time-Series und Hawaii Ocean Time-Series). Dieses liegt darin begründet, dass ESTOC und damit der östliche Teil des Subtropenwirbels durch deutlich niedrigere Einträge von Nitrat in die durchmischte Schicht charakterisiert ist. Die N:P Verhältnisse sind bei ESTOC, im Gegensatz zu BATS und HOT, ähnlich dem klassischen Redfield-Verhältnis, welches durch fehlende Stickstoff-Fixierung im östlichen Teil des subtropischen Wirbels bestimmt ist, aber auch durch niedrigere Stickstoffeinträge über Eddy-Diffusion.

Datenmanagement: Insgesamt gibt es 33 Forschungsfahrten und 30 Langzeitverankerungen als direkte Beiträge zum deutschen JGOFS-Programm. Weitere 155 Fahrtschnitte/Verankerungen werden als dem JGOFS-Programm ‚assoziert‘ betrachtet. Vom Rohdatenbestand (799 MB) konnten 86% abschließend bearbeitet werden, d. h. die Messdaten sind mit ihren Metadaten relational verknüpft. Die Daten wurden in das Dateninformationssystem PANGAEA beim World Data Center WDC-Mare in Bremen transferiert. Sie sind über das Internet über verschiedene Portale abrufbar. Dieser Datenbestand bildet auch die Grundlage für den deutschen Anteil einer internationalen JGOFS Daten-DVD. Durch diese beiden Maßnahmen ist die Langzeitarchivierung der Daten gesichert.

Öffentlichkeitsarbeit: Es wurden interaktive Power Point-Präsentationen entwickelt, die auf Ausstellungen eingesetzt werden können und die für die breite Öffentlichkeit in leicht verständlicher Form Aspekte des Kohlenstoffkreislaufs im Ozean und den Zusammenhang zum Klima erläutern. Für Schulen wurden ausgewählte JGOFS Fragestellungen und Ergebnisse so aufbereitet, dass sie verständlich in das Unterrichtsthema des globalen Kohlenstoffkreislaufs eingeordnet werden können.

1 SUMMARY

The aim of this Project Cluster was to produce a scientific synthesis of data collected during the Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS) in the North Atlantic. The Cluster consisted of four Subprojects:

- Synthesis and interpretation of CO₂ Data in the North Atlantic (CARINA)
- Stoichiometry of the biological pump
- Climate sensitivity of the biological pump

Interannual processes at ESTOC

CO₂ Data in the North Atlantic: Between 1981 and 2001 the winter concentration of dissolved inorganic carbon in surface water has increased steadily at a mean rate of 1.6 $\mu\text{mol/kg}$. A uniform method for calculation of the concentration of anthropogenic CO₂ was applied to determine the anthropogenic contribution to the CO₂ increase. In the depth range between 200 and 1000 m this is quantified at $6 \pm 3 \mu\text{mol/kg}$ in 6 years. The seasonal DIC decrease due to biological activity in spring and summer amounts to 80 $\mu\text{mol/kg}$, of which 30 $\mu\text{mol/kg}$ takes place after nutrient depletion. The remaining 50 $\mu\text{mol/kg}$ must be ascribed to “non-Redfield” production, nitrogen fixation and DOC production.

Stoichiometry of the biological pump: The time-integrated C:N ratio during the spring bloom for the years 1989 and 1996 was substantially lower than has been suggested in the literature and not significantly different from the “Redfield” ratio of 6.6. In the temperate/sub arctic north Atlantic two phases of new production can be differentiated: the spring bloom system characterised by near-Redfield C:N ratios and a summer system, during which nitrogen is recycled while net carbon fixation takes place. The observed high C:N ratio of sinking particles to depth is not seen to provide proof of any significant export of carbon-rich TEP (transparent exopolymer particles). Using global estimates of primary production, a carbon flux between 0.9 und 2.9 GT C yr⁻¹, and export ratio (f-ratio) between 0.07 und 0.31 in Atlantic basin has been estimated. Carbon loss within the winter mixed layer decreases the net basin-wide export of carbon by 11-19%. The effective carbon flux is influenced in equal proportion by shallow POC degradation and CaCO₃ sequestration (each amounting to ca. 15% of the export production), though regional differences are significant. At higher latitudes POC degradation within the winter mixed layer dominates whereas CaCO₃ sequestration dominates at lower latitudes.

Climate sensitivity of the biological pump: Results indicate that the rate of biological production overestimates the biotically induced air-sea fluxes at the surface by about 20%. This is due mainly to different depths of reference: while production is limited to the euphotic zone, ocean-atmospheric gas exchange takes place over the upper mixed layer, which is the depth of reference for CO₂ exchange. The biological pump, in addition to exporting carbon through sinking particles, also exports organic and newly remineralised inorganic material through subduction at regions of strong lateral gradients in the mixed layer depth. Model results show that this subductive export of newly remineralised organic material in the north Atlantic accounts for about half the biogenically induced gas exchange. Due to the sensitivity of subductive processes to changes in the wind field this forms a particularly climate-sensitive interaction of the biological pump. Another potential feedback mechanism through which the biological pump reacts to climate change is through changes in stoichiometry. Results of a coupled physical-biogeochemical model show that standard runs in regions of strong diapycnal mixing give strong deviations from the Redfield ratio, requiring a critical interpretation of the results.

Interannual processes at ESTOC: Biological production, vertical and horizontal transport of organic and inorganic particles at the Canary region is largely determined by the eastern boundary system of the subtropical gyre including the northwest African upwelling system. Within this system the ESTOC site, with late Holocene sedimentation rates of 2-3 cm/100years, is typically oligotrophic. Compared to the other JGOFS time series stations (Bermuda Atlantic Time-Series und Hawaii Ocean Time-Series) ESTOC has significantly lower export production that can primarily be ascribed to the lower nitrate fluxes into the upper mixed layer. In contrast to BATS and HOTS, the N:P ratios by ESTOC are close to the

Redfield ratio, which is due both to the lack of nitrogen fixation in the eastern part of the subtropical gyre as well as the lower nitrate input through eddy diffusion.

Data Management: A total of 33 research cruises and 30 time-series moorings were operated by the German JGOFS programme – a further 155 cruise legs and mooring units were associated with the programme. From a total of 799 MB raw data 86% have been retrieved i.e. data could be linked to its Meta Data. The data have been transferred to the PANGEA Data information system at the World Data Centre WDC-Mare in Bremen and are available over the Internet through various portals. This data bank forms the German contribution to the international JGOFS Data –DVD, and ensures its long-term archiving and availability.

Public Relations: Interactive Powerpoint presentations have been made that present, in an easily comprehensible form, aspects of the JGOFS project (the oceanic carbon cycle and its role in climatic processes) to a wide public at exhibitions and other occasions. Selected key concepts and results from JGOFS have been worked into material used in schools to explain the global carbon cycle.

2 AUFGABENSTELLUNG

Das Vorhaben hatte die Aufgabe, zur übergreifenden Synthese der im Rahmen der Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS) gesammelten Daten beizutragen. Dieses Vorhaben ist eingebettet in die internationalen Aktivitäten von JGOFS, die in den verschiedenen Untersuchungsgebieten mit Hilfe von internationalen Task Teams die Zusammenführung und Analyse der gewonnenen Erkenntnisse durchführte. Für den Atlantik gab es die JGOFS North Atlantic Synthesis Group sowie das IOC/SCOR CO₂ Panel, zu dem die Teilprojekte des Vorhabens Beiträge leisteten.

Folgende Aufgaben, die für die internationale JGOFS-Synthese definiert wurden, wurden im Verbundprojekt für den Nordatlantik bearbeitet:

- Berechnung der Aufnahme von CO₂, insbesondere des anthropogenen CO₂, im Nordatlantik
- Analyse der Effizienz und Veränderlichkeit der biologischen Pumpe
- Untersuchung der interannuellen Variabilität von relevanten biogeochemischen Prozessen und deren Ursachen.

Die zu diesen Themen erzielten wissenschaftlichen Ergebnisse werden in 4 Kapiteln dargestellt:

- Synthese und Interpretation der CO₂ Daten im Nordatlantik (CARINA)
- Stöchiometrie der biologischen Pumpe
- Die Klimasensitivität der Biologischen Pumpe
- Internannuelle Prozesse bei ESTOC

Eine weitere Aufgaben des Verbundprojektes war die Langzeitarchivierung der deutschen JGOFS Daten in öffentlich zugänglichen Datenbanken. Diese Datenarchivierung ist ebenfalls Bestandteil der internationalen JGOFS Synthese.

Schließlich hatte sich das Verbundprojekt die Aufgabe gestellt, die erzielten Ergebnisse für die Öffentlichkeit, insbesondere für Schulen, aufzuarbeiten und bekannt zu machen.

3 VORAUSSETZUNGEN UNTER DENEN DAS VORHABEN DURCHGEFÜHRT WURDE

Das Vorhaben hatte zur Aufgabe, vorhandene Daten auszuwerten und übergreifende Syntheseprodukte zu erstellen. Daher wurden keine neuen Daten in diesem Projekt erhoben. Es wurden jedoch weitere Daten von vorherigen JGOFS Arbeiten in die Datenbanken überführt und damit öffentlich zugänglich gemacht und in diesem Rahmen genutzt.

Die Projektteilnehmer waren zum großen Teil eingebunden in JGOFS Task Teams und nahmen an entsprechenden Veranstaltungen teil, in denen die Ergebnisse vorgestellt wurden. Innerhalb des Verbundprojektes wurde der Informationsaustausch durch drei Workshops gefördert, auf denen jeweils die neuen Synthese Ergebnisse gemeinsam diskutiert wurden.

4 PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS

Das Verbundprojekt begann am 01.07.2001 und hatte für die Teilprojekte 1, 2 und 3 eine Laufzeit von 2 Jahren. Teilprojekt 4 endete schon nach einem Jahr am 30.06.2002. In jedem Teilprojekt war 1 Wissenschaftler beschäftigt.

Es wurden drei Workshops zur Diskussion der Ergebnisse, Koordination zwischen den Teilprojekten und zur Aufarbeitung der Ergebnisse für eine breitere Öffentlichkeit abgehalten (Programme der Workshops s. Anhang):

1. Workshop: 05.-06. Dezember 2001
2. Workshop: 26.-27. September 2002
3. Workshop: 12.-13. Juni 2003

Diese Workshops waren offen für alle interessierten Wissenschaftler, die durch eine breit gestreute e-mail Einladung informiert und eingeladen wurden. Es nahmen im Durchschnitt 30 Personen teil, die zumeist an früheren JGOFS Projekten beteiligt waren und zur Synthese der JGOFS Daten beitrugen. Am abschließenden Workshop im Juni 2003 waren als internationale Teilnehmer Cindy Lee und Robert Armstrong (State University of New York, Stony Brook) beteiligt. Sie stellten das neue Ocean Biogeochemistry Projekt in den USA vor, das das Forschungsprogramm der USA in den nächsten Jahren darstellt und sich fast ausschließlich mit dem marinen Kohlenstoffzyklus beschäftigen wird.

Die wichtigsten Arbeiten in den einzelnen Teilprojekten war die Erstellung von Veröffentlichungen, die auf den Workshops vorgestellt und gemeinsam diskutiert wurden. Die aus diesem Vorhaben entstandenen Arbeiten sind im Anhang beigelegt.

Im Rahmen dieser Diskussionen war die Verlässlichkeit von Sinkstoffdaten ein zentrales Thema. Neue Arbeiten aus einem anderen BMBF Projekt wurden von Prof. G. Gust (TU Hamburg-Harburg) vorgestellt, die zu weitergehenden Diskussionen führten. Als Ergebnis dieser Gespräche wird zur Zeit ein neues Projekt zur Evaluierung der Ergebnisse und zur Verbesserung der Sinkstoffallentechnologie diskutiert.

Eine weitere Aufgabe war die langfristige Datensicherung (s. Kapitel 7.5) von JGOFS Daten. Diese Aufgabe wurde zunächst durch das BMBF Projekt JGOFS Indik bis zum Februar 2003 durchgeführt. Anschließend wurde der Datenmanager aus Restmitteln im Verbundvorhaben JGOFS Nordatlantik Synthese II bis zum 30.06. 2003 weitergefördert. Diese zusätzlichen 4 Monate waren ausschlaggebend, um für das internationale JGOFS Projekt gemeinsam mit

dem World Data Center MARE eine DVD aller bis dahin verfügbaren JGOFS Datensätze zu erstellen. Diese DVD wurde auf der JGOFS Open Science Conference in Washington vorgestellt.

Ein Ziel der letzten Phase des JGOFS Projektes sowohl international als auch national war die Darstellung der Ergebnisse für die breitere Öffentlichkeit (s. Kapitel 7.6). Zu diesem Zweck wurde eine enge Kooperation mit Prof. H. Bayrhuber (Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), Univ. Kiel) aufgebaut. Es wurden gemeinsam mit Wissenschaftlern des IPN und Lehrern Unterrichtsmodule zum Thema Stoffkreisläufe im Ozean erstellt. Diese Zusammenarbeit war zusätzlich eingebettet in das IPN Projekt „Forschungsdialog: System Erde“. An den JGOFS-Workshops nahmen jeweils Wissenschaftler des IPN und interessierte Lehrer teil. Es wurden die Erfahrungen mit den Unterrichtseinheiten vorgestellt und weitere Arbeiten geplant. Alle Teilprojekte beteiligten sich an dieser zentralen Aufgabe. Auf dem letzten Workshop wurde einen Nachmittag lang eine offene Informationsveranstaltung für Lehrer und Schüler abgehalten zum Thema: Ozean, Klima und Kohlenstoffkreislauf. Es wurden vier allgemeinverständliche Vorträge zu zentralen Themen von JGOFS gehalten, und die zu diesen Themen erstellten Materialien für Schulen und Ausstellungen wurden vorgestellt. Die Materialien sind auch für Vorstellungen auf Ausstellungen etc. geeignet.

Organisatorische Schwierigkeiten:

Bei der Einstellung von Personal ergaben sich Schwierigkeiten für die Teilprojekte 1 und 3.

Im Teilprojekt 1 konnte Herr Dr. Mintrop nicht wie geplant mit Projektbeginn eingestellt werden, da er zwischenzeitlich anderweitig (Universität Göteborg/Schweden) angestellt war und diesen Vertrag erst mit Ablauf des Jahres 2001 beenden konnte. Die Einstellung im Projekt erfolgte damit zum 1.1.2002. Ab August 2001 bis zum 28.2.2002 wurde Herr Dr. Ralf Lendt für die Mitarbeit im Projekt gewonnen, so dass mit der Aufarbeitung der Daten begonnen werden konnte.

Im Teilprojekt 3 sind zwei deutsche Bewerber für die beantragte PostDoc-Stelle kurz nach Bekanntwerden des neuen Hochschulrahmengesetzes und der damit verbundenen Verschlechterung der Perspektiven für den wissenschaftlichen Nachwuchs wieder abgesprungen und haben sich stattdessen für einen Wechsel in die USA entschieden. Damit standen im ersten Jahr keine geeigneten Bewerber für eine schnelle Besetzung der Stelle zur Verfügung. Auch ein für das zweite Berichtsjahr gewonnener ausländischer Bewerber hat schließlich abgesagt, nachdem wider Erwarten klar wurde, dass es am IfM Kiel keine erkennbare Perspektive für das Fortbestehen der biogeochemischen Modellierung über den JGOFS-Zeitraum hinaus geben sollte und somit ein Wechsel auf einen auf ein Jahr befristeten Vertrag nicht mehr attraktiv erschien. Das Projekt musste somit unter deutlich schlechteren Rahmenbedingungen durchgeführt werden, als es bei der Antragstellung vorhersehbar war. Durch eine flexible Vergabe der Mittel für kurzfristige Überbrückungsverträge konnte jedoch gewährleistet werden, dass die Modellierarbeiten und Modellauswertung zu einem guten Abschluss gebracht werden konnten. Insgesamt waren die Arbeiten im Projekt trotz der schwierigen Bedingungen sehr erfolgreich (s. Kapitel 7.3).

5 Wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde

Durch die internationalen JGOFS Projekte wurden in der letzten Dekade zentrale Prozesse des marinen Kohlenstoffkreislaufs in Felduntersuchungen bestimmt. Sie dienten der Entwicklung gekoppelter biogeochemischer Modelle, die als wichtige Werkzeuge für die Analyse und die

Vorhersage von zukünftigen Veränderungen unter gegebenen Szenarien eingesetzt werden. Auf der 2nd JGOFS Open Science Conference 12.-17.4. 2000 in Bergen, Norwegen, wurden zentrale Themen identifiziert, die für die Synthese von besonderer Bedeutung sind. Für den Nordatlantik als eine der wichtigsten globalen, marinen Kohlenstoffsinken waren dabei folgende Fragen von besonderem Interesse:

- a) Wieviel anthropogenes CO₂ wird im Nordatlantik gespeichert? Die augenblicklichen Abschätzungen basieren auf Daten, die 1982 gesammelt wurden. Verschiedene neue Abschätzungen und Herangehensweisen sollten auf der Basis von JGOFS/WOCE-Daten aus den 90er Jahre erstellt werden.
- b) Welcher Anteil der Phytoplanktonprimärproduktion, die aus Satellitendaten berechnet wurde, wird in den tiefen Ozean exportiert? Hier ergeben sich Diskrepanzen zwischen dem berechnetem Export und den beobachteten benthischen Stoffflüssen. Vermutlich beruht dies auf unterschiedlich starken Abbauprozessen in der Wassersäule, die den Transport zum Meeresboden modifizieren. Aber auch methodische Probleme der Sinkstofffallen können hier Fehler einbringen.
- c) Welche Rolle spielen die gelösten organischen Kohlenstoffverbindungen (DOC) und der Abbau organischer Substanz in der „Twilight Zone“ unterhalb der durchmischten Oberflächenschicht? Es wurde erkannt, dass der Abbau von kohlenstoffreicher, gelöster organischer Materie den Nährstoffhaushalt beeinflusst, was einen Teil der beobachteten Abweichungen der Stöchiometrie der „biologischen Pumpe“ vom Redfield-Verhältnis erklärt. Ein Verständnis der Gründe für derartige Abweichungen ist insbesondere für die biogeochemische Modellierung essentiell.
- d) Ändert sich die Effizienz der „biologischen Pumpe“ für die CO₂-Aufnahme des Ozeans mit der Zusammensetzung der Planktongemeinschaft? Veränderungen des Verhältnisses von silikatschaligen zu karbonatschaligen Phytoplanktonorganismen haben beträchtliche Unterschiede im CO₂ Haushalt zur Folge. Solche Veränderungen wurden in Sinkstofffallen in der Sargasso See dokumentiert. Die Fallendaten bieten die Möglichkeit entsprechender Untersuchungen für weitere Bereiche des Nordatlantiks. Weiterhin ist die Auswirkung unterschiedlicher Zooplanktongemeinschaften auf den Exportfluss zu klären.
- e) Welche Auswirkungen hat klimatische Variabilität, wie die Nordatlantische Oszillation (NAO), auf biogeochemische Prozesse im Nordatlantik? Aus Langzeitbeobachtungen, gewonnen mit Sinkstofffallen, dem Continuous Plankton Recorder oder an Zeitserienstationen, gibt es Hinweise auf ausgeprägte zwischenjährige Schwankungen in der Hydrographie und der biologischen Produktivität im Nordatlantik. Während die Auswirkungen von El Nino im Pazifik in den letzten Jahren gut untersucht wurden, sind Abschätzungen der Auswirkungen des NAO auf den Kohlenstoffhaushalt im Nordatlantik noch weitgehend zu leisten. Prognosen über die Auswirkungen möglicher zukünftiger klimatischer Änderungen im Nordatlantik können nur anhand der Erkenntnisse aus Langzeitdaten und der Auswirkungen der NAO entwickelt werden.

5.1 CO₂ Survey (WOCE/JGOFS)

CO₂-Messungen im Rahmen von JGOFS und WOCE sind die Grundlage für die Bestandsaufnahme der ozeanischen Kohlenstoff-Verteilung. Einige der wichtigsten bisherigen Synthese-Ergebnisse sind im Folgenden zusammengefasst.

In umfangreichen Interkalibrierungen von pCO₂-Messungen auf See (Körtzinger et al. 1999a, 2000, Mintrop et al. 2000) zeigte sich bei verschiedenen Meßsystemen eine sehr gute

Übereinstimmung (Fehler nur bei 1-2 μatm). Eindringtiefe und Inventar des anthropogenen CO_2 konnten auf der Basis intensiver Feldstudien für den subpolaren Nordatlantik abgeschätzt werden. Dabei zeigen sich neben der ausgesprochen großen Eindringtiefe auch unerwartet große Unterschiede zwischen östlichem und westlichem Nordatlantik (Körtzinger et al., 1998). Das berechnete anthropogene CO_2 weist eine gute Korrelation mit anderen anthropogenen Tracern wie CFCs auf (Körtzinger et al., 1999b). Die Berechnungen hängen jedoch empfindlich von Details der angewandten Berechnungsmethoden und der eingesetzten Datenbasis ab (Sabine et al. 1998, Wallace 2001.).

Berechnungen des meridionalen Transports von anorganischem Kohlenstoff im Atlantik zeigen einen südwärts gerichteten Netto-Transport bei 20°S in Höhe von 0.81 GT yr^{-1} . Dagegen gibt es einen signifikanten nordwärts gerichteten Transport von anthropogenem CO_2 von 0.16 GT yr^{-1} . Diese gegenläufigen Transporte implizieren, dass in vorindustrieller Zeit eine ausgeprägte Divergenz des TCO_2 Transportes zwischen der Beringstraße und dem Südatlantik bestand. Der Nordatlantik war folglich stets eine große natürliche Senke für atmosphärisches CO_2 . Konzeptionell bedeutet dies, dass ein großer Teil des im Nordatlantik gespeicherten anthropogenen CO_2 mit der atmosphärischen Zirkulation zunächst nach Süden über den Äquator transportiert wird, bevor es ins Wasser gelangt und mit der ozeanischen Zirkulation wieder nach Norden gebracht wird (Holfort et al., 1998). Der Fluss des anthropogenen CO_2 von der Atmosphäre in den Ozean ist somit im Nordatlantik möglicherweise viel geringer als es Modelle bisher ergeben. Um jedoch solche Massenbilanzen detaillierter abzuschätzen, muss der Bestand des anthropogenen CO_2 im Nordatlantik während der 90er Jahre sorgfältig evaluiert werden.

5.2 Biogeochemische Prozesse im Nordatlantik

Die deutschen JGOFS Untersuchungen lieferten vor allem Daten von der BIOTRANS-Station (47°N , 20°W), die als Beispiel für den produktiven, durch Frühjahrsblüten geprägten nördlichen Nordatlantik steht. An der ESTOC-Station, die nördlich von Gran Canaria gelegen ist und an der deutsche und spanische Gruppen Langzeitdaten erheben, wurden Einflüsse von Küstenauftriebs-Filamenten (Kap Ghir) und Staubeintrag auf die Produktivität und die Partikelbildung untersucht. In Verbindung mit Untersuchungen an anderen Zeitserienstationen in oligotrophen Regionen (Bermuda, Hawaii) kann daraus ein erweitertes Bild der biogeochemischen Prozesse und ihrer Steuergrößen im subtropischen Nordatlantik erstellt werden. Weiterhin sind Daten entlang des Meridionalschnitts auf 20°W von großem Interesse, da sie den Wechsel der unterschiedlichen biogeochemischen Provinzen von den Subtropen bis in den stark durch physikalische Variabilität geprägten Norden zeigen. Die Ergebnisse des SFB 313 "Veränderungen der Umwelt: der nördliche Nordatlantik" schließen sich nördlich an diesen Schnitt an. Der wissenschaftliche Stand dieser Untersuchungen, an den dieses Projekt anknüpfte wurde im Rahmen des JGOFS-Nordatlantik Synthese-Sonderbandes veröffentlicht (Gasteditoren: W. Koeve und H. Ducklow, 2001). Partikelflussdaten und Partikelbildungsprozesse wurden in einem weiteren Deep-Sea Research Sonderband II publiziert (Gasteditoren: G. Ganssen und G. Wefer, 2000). Für die ESTOC-Station wurden zwei Deep-Sea Research II Sonderbände herausgegeben, deren Artikel z.T. schon bekannt waren, die aber erst nach Beginn des Projektes erschienen (Gasteditoren: Parilla, G. et al., 2002a,b). Zusätzlich wurden die Ergebnisse in zahlreichen Einzelpublikationen veröffentlicht. Einige der wichtigsten bisherigen Ergebnisse sind im Folgenden dargestellt.

Die synoptische Zusammenfassung von Beobachtungsdaten aus dem Pelagial (0-400m) und der Partikelflusszeitserie in 500m Wassertiefe der BIOTRANS-Region (47°N , 20°W) ergab,

dass ca. 90% der neuen Produktion bereits innerhalb der winterlich durchmischten Schicht remineralisiert werden. Etwa 50% der saisonalen neuen Produktion finden vor der Etablierung der sommerlichen Stratifizierung statt; zwischen 36 und 65% der Neuen Produktion im Frühjahr werden nicht durch Sinken, sondern durch konvektive Mischung exportiert.

Die saisonale Veränderung der Oberflächenkonzentration von gelöstem anorganischen Kohlenstoff zeigt eine Abnahme von 50 $\mu\text{mol/kg}$ während der Frühjahrsblüte und eine weitere Abnahme um 30 $\mu\text{mol/kg}$ bis zum Herbst, die nicht durch Stickstoff bilanzierbar ist ('carbon overconsumption') (Sambrotto et al., 1993, Toggweiler, 1993). Die C:N-Verhältnisse von suspendierten Partikeln entsprechen dem Redfield-Verhältnis (6.6); Neue- und Exportproduktion haben im Sommer deutlich erhöhte C:N-Verhältnisse. Diese *carbon overconsumption* beruht teilweise auf der Akkumulation von gelöster organischer Substanz, nur ein sehr geringer Anteil des Kohlenstoff-Überschusses wird in den tiefen Ozean exportiert (Kähler und Koeve, 2001; Körtzinger et al., 2001).

Die Einzugsgebiete und die Fängigkeit der Sinkstoff-Fallen sowie die Lösung von organischem C und N aus Sinkstoffen in den Fallen wurden quantifiziert. Mit der Wassertiefe variable Artefakte der Fallentechnologie können damit korrigiert werden. Die Tiefenabhängigkeit des Partikelflusses weicht mit diesen Korrekturen erheblich von den bis dato angenommenen Daten ab (Waniek et al., 2000; Antia et al., 2001; Kähler und Bauerfeind, 2001; Scholten et al., 2001).

Partikelflussprozesse an der ESTOC-Station sind deutlich von lateralen Prozessen beeinflusst (Neuer et al., 1997, Neuer et al., 2002a), wie durch das Kap Ghir-Filament, das eine mögliche Quelle für Partikeladvektion bei ESTOC ist (Davenport et al., 1999). Langzeituntersuchungen der Partikelflüsse und der Pigmentkonzentrationen im Oberflächenwasser (satellitengestützt) bei ESTOC ergeben eine interannuelle Variabilität von Faktor 2 bzw. 4 (Davenport et al., 2002; Freudenthal et al., 2001). Neuere Ergebnisse zeigen einen engen Zusammenhang zwischen der Sedimentation von organischer Substanz und lithogenen Partikeln (Fischer et al. subm.). Eine große Saisonalität im Eintrag lithogener Partikel (Staub) wurde bei den Kanarischen Inseln festgestellt, wodurch ein schneller vertikaler Transport verursacht wird (Ratmeyer et al. 1999).

Erstmals wurde eine umfangreiche Datenbasis für benthische Tiefseedaten aus dem Atlantik erstellt, die biologische und biogeochemische Daten umfasst (Lochte und Prena 2000). Diese Zusammenstellung ermöglichte die Nutzung einiger gut untersuchter Regionen im Nordost-Atlantik für eine beckenweite quantitative Analyse der biogeochemischen Umsatzraten am Tiefseeboden. Die gemessenen benthischen Sauerstoffflüsse zeigen allerdings einen höheren Eintrag an organischem Material an als durch Sinkstofffallen mit konventioneller Auswertung bestimmt wird. Jedoch lassen die Korrektur dieser Abschätzungen des Partikelflusses und die Berücksichtigung von Einträgen vom Kontinentalhang erwarten, dass diese Diskrepanz aufgelöst wird.

5.3 Beckenweite Modellierung im Nordatlantik

Durch ein hochauflösendes biologisch-physikalisches Nordatlantikmodell (Oschlies und Garçon, 1999; Oschlies, 1999; Oschlies, 2000; Oschlies et al., 2001) konnte gezeigt werden, dass das in früheren Modellen gefundene '*nutrient trapping*' ein Artefakt der numerischen Darstellung war (Oschlies, 2000). Der Vergleich von Modellsimulation und Beobachtungsdaten an verschiedenen JGOFS Prozess- und Zeitserienstationen im Atlantik

zeigt zwei wesentliche Modelldefizite auf: eine erheblich unterschätzte Primärproduktion im oligotrophen Subtropenwirbel, sowie ein überschätzter Zooplankton-Fraß in Phytoplanktonblütensituationen (Oschlies et al., 2000).

Die gegenüber früheren Arbeiten deutlich verbesserte Physik und Numerik des hochauflösenden, gekoppelt biologisch- physikalischen Nordatlantikmodells liefert Werte für die neue Produktion, die an der Untergrenze früherer Abschätzungen liegen. Ein punktwiser Vergleich mit JGOFS Messungen liefert eine bessere Absicherung der Modellergebnisse (Oschlies et al., 2001; Oschlies, 2002).

Modellsimulationen mit Assimilation von Satelliten-Altimeterdaten legen nahe, dass die mesoskalige Variabilität von Nährstoffeinträgen in niedrigen und mittleren Breiten etwa 30 % der Neuen Produktion erklären kann (Oschlies und Garçon, 1998). Voruntersuchungen zur Assimilation von SeaWiFS-Daten zeigen, falls es einen beckenweit einheitlichen Satz von Parametern für das Ökosystemmodell gibt, dass dieser allein durch Messungen des Oberflächenchlorophyllgehalts bestimmt werden kann (Gunson et al., 1999).

6 ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN

6.1. Kooperationen innerhalb des Verbundes

Die Zusammenarbeit innerhalb des Verbundes wurde durch drei Workshops strukturiert. Auf diesen Treffen wurden die Synthesearbeiten besprochen und die jeweiligen Veröffentlichungen der Teilprojekte intensiv diskutiert. Diese Zusammenarbeit hat wesentlich zum Erfolg der Teilprojekte beigetragen.

Weiterhin dienten die Workshops, die gemeinsam mit dem Verbundprojekt JGOFS Indik durchgeführt wurden, zur Zusammenführung und gemeinsamen Betrachtung der Ergebnisse aus diesen beiden Ozeanregionen. Daher bestand während der ganzen Laufzeit eine gute Kooperation zwischen den beiden JGOFS Verbundprojekten. Insbesondere wurde die Öffentlichkeitsarbeit und das Datenmanagement in Zusammenarbeit durchgeführt.

Besonders intensive Zusammenarbeit fand zwischen TP 2 und TP 3 und der Kieler Arbeitsgruppe zum Stickstoffkreislauf im Nordatlantik statt. Dies vertiefte die beckenweite Analyse der Stoffflüsse im Nordatlantik.

6.2. Kooperationen außerhalb des Verbundes

Im Rahmen der internationalen CARINA Projektes, das durch das Teilprojekt 1 betreut wurde, ergaben sich vielfältige internationale Kooperationen, insbesondere mit Nick Bates (Bermuda,USA), A. Watson (Norwich, UK), N. Lefèvre, (CAVASSOO Projekt), D. Bakker (ORFOIS Projekt).

Für das Teilprojekt 2 war die Kooperation mit Prof. Veronique Garçon (LEGOS, Toulouse, Frankreich) besonders fruchtbar. Sie führte zu weitergehender Zusammenarbeit bezüglich der Synthese von JGOFS Nordatlantik Daten, die nach Abschluss dieses Verbundvorhabens fortgesetzt wird.

Im Teilprojekt 3 ergab die Zusammenarbeit mit Andreas Schmittner (Forschergruppe Gateways, Uni Kiel) und Joanna Waniek (Southampton Oceanography Centre) gemeinsame Veröffentlichungen.

Das Teilprojekt 4 hatte eine enge Kooperation mit dem Instituto Canario de Ciencias Marinas“ (ICCM) in Telde auf Gran Canaria, das einer der Träger der ESTOC Zeitserienstation ist. Gemeinsame Synthesarbeiten mit Dr. Susanne Neuer (Arizona State University, USA) ermöglichten den Vergleich von ESTOC mit den beiden anderen subtropischen JGOFS-Zeitserienstationen BATS („Bermuda Atlantic Time-Series“) und HOT („Hawaii Ocean Time-Series“)

Die Aufarbeitung der JGOFS Inhalte für Schulen wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) der Univeristät Kiel, Prof. H. Bayrhuber und Dr. E.R. Lucius durchgeführt. Darüber hinaus gab es spezielle praktische gemeinsame Erprobung der erstellten Schulmaterialien mit einigen Schulen.

Im Rahmen des Datenmanagements wurde eine enge Zusammenarbeit mit dem internationalen Datenmanagement Task Team (DMTT) und verschiedenen Datenzentren weltweit gepflegt. Insbesondere arbeitete der JGOFS Datenmanager mit den World Data Center MARE (Bremen) zusammen, da die langfristige Datenspeicherung im dortigen Dateninformationssystem PANGAEA erfolgte.

6.3 Beiträge zum internationalen JGOFS-Projekt

Aus dem Verbundvorhaben entstanden vielfältige Beiträge zur Synthesephase des internationalen JGOFS Projekts, das Dezember 2003 beendet wurde und das auf die Beiträge der nationalen Programme angewiesen war. Deutschland war eines der wenigen Länder, die aktiv diese Synthesephase mit Projekten unterstützt hat. Die Veröffentlichungen, die in diesem Rahmen entstanden (Kapitel 11), sind zum großen Teil in die internationale Synthese eingeflossen. Spezielle Beiträge wurden darüber hinaus von den Teilprojekten geleistet.

Das Teilprojekt 1 trug durch die CO₂ Datensammlung im Atlantik zum IOCCP/SCOR Programm bei (IOCCP = International Ocean Carbon Coordination Project, SCOR = Scientific Committee on Ocean Research). Bei einer Reihe von Arbeitsbesuchen wurden Themen wie Datenformat und Einbeziehung weiterer Datensätze aus verschiedenen Projekten diskutiert:

26.2.-5.3.2002: bei Nick Bates (CARINA Steering Committee), Bermuda

8.-9.3.2002: bei A. Watson, N. Lefèvre, D. Bakker (CAVASSOO, ORFOIS) Norwich, England

28.4.-1.5.2003: bei Truls Johannessen (TRACTOR) Bergen, Norwegen

Das Teilprojekt 2 war aktiv im Rahmen der internationalen JGOFS North Atlantic Synthesis Group tätig. Im Rahmen dieser Gruppe wurden Arbeitstreffen in Archachon, Nizza und Toulouse durchgeführt und die folgenden Produkte erstellt:

- Durchführung eines Symposiums mit Vorträgen und Postern während der EGS Joint Assembly in Nizza, Frankreich, April 2002. Session OA08: Biogeochemistry of the carbon cycle of the Atlantic Ocean (Conveners: W. Koeve (MARUM, D), J. Aiken (PML, UK) and V. Garcon (LEGOS, Fr)
- Durchführung eines Symposiums mit Vorträgen und Postern während der EGS-AGU-EUG Joint Assemby, Nizza, Frankreich, April 2003. Session OA10: Open session on the

Biogeochemistry of the oceanic carbon cycle (Conveners: M. Follows (MIT, USA), W. Koeve (MARUM, D)).

- Erstellung von mehreren Synthesepostern zur Präsentation während der abschließenden JGOFS Konferenz in Washington (Mai, 2003) (Kapitel 11.3.)

Wissenschaftler des Teilprojekts 3 nahmen mit signifikanten Beiträgen teil an

- JGOFS „Global Synthesis and Modelling Working Group“ (A.Oschlies),
- SCOR Working Group 116 „Sediment Traps and ²³⁴Th Methods for carbon Export Flux Determination“, die zum großen Teil mit JGOFS Daten arbeitete und Beiträge für die JGOFS Synthese leistete (A. Antia).

Die Arbeiten des deutschen Datenmanagers, sowohl im Rahmen von JGOFS Indik als auch im Rahmen von JGOFS Nordatlantik Synthese II, trugen ganz wesentlich zur Vervollständigung der Datensammlung im Rahmen des internationalen JGOFS Data Management Task Teams bei und zur Erstellung der JGOFS Daten auf einer DVD, die auf der abschließenden JGOFS Open Science Conference 5.-8.5.2003 in Washington präsentiert wurde. (Details s. Kapitel 7.5. und Anhang)

7 ERGEBNISSE

7.1 Synthese und Interpretation der CO₂ Daten im Nordatlantik (L. Mintrop, B. Schneider, D. Wallace)

7.1.1 Ziele

Die generelle Aufgabe unter diesem Thema war die Berechnung der Aufnahme von CO₂, insbesondere des anthropogenen CO₂, im Nordatlantik. Folgende Einzelthemen wurden hierzu bearbeitet:

1. Zusammenstellung und Konsistenzkontrolle aller verfügbaren CO₂-Datensätze aus dem Atlantik. Ein wichtiges Ziel war hierbei, Datensätze von kleineren, nationalen Projekten oder Routinefahrten von Institutionen in die Datensammlung, und damit in die Qualitäts- und Konsistenzkontrolle, einzubeziehen
2. Bestimmung des Jahresgangs und der interannuellen Variabilität der DIC Konzentration im Oberflächenwasser des Nordost-Atlantiks; Berechnung der Zunahme der DIC Konzentration infolge der Aufnahme von anthropogenem CO₂.
3. Untersuchung der Speicherung des anthropogenen CO₂ im Nordatlantik; Änderung des Inventars mit der Zeit
4. CARINA International: Koordination der Arbeiten des CARINA Steering Committees; Organisation und Ausrichtung der CARINA Open Science Conference

7.1.2 CO₂ Daten aus dem Atlantik

Die Datendichte von CO₂ Daten, die in den neunziger Jahren, d.h. während der Laufzeit von JGOFS/WOCE, geschaffen wurde, ist einmalig und wird vermutlich in dieser Form nicht wiederholt werden. Allerdings werden in Zukunft im Rahmen von CLIVAR einige der Transekte erneut beprobt, um zeitliche Veränderungen zu analysieren. Dieses Vorhaben steht und fällt naturgemäß mit der Qualität der vorhanden (Referenz-) Datensätze.

Es wurden alle verfügbaren Datensätze aufgearbeitet, wobei insbesondere nun auch eine große Anzahl von Datensätzen aus dem zentralen und südlichen Atlantik eingefügt wurden (Abb. 1). Die Datensätze sind auf der CARINA Homepage abgelegt (<http://www.ifm.uni-kiel.de/fb/fb2/ch/research/carina>). Die Datensammlung besteht inzwischen aus 83 Datensätzen mit 21508 Tiefenprofilen (136843 diskrete Proben) sowie 58 Datensätzen mit Oberflächenregistrierungen (pCO₂, wobei hier die einzelnen Datensätze sehr unterschiedliche Anzahl von Datenpunkten haben, da die Auflösung zwischen 10 Sekunden und 30 Minuten variiert). Hiermit ist sichergestellt, dass diese Daten auch in Zukunft zur Verfügung stehen werden, da ein großer Teil nicht aus Verbundprojekten (die in der Regel der Pflicht der Datenabgabe an eine Datenbank unterliegen) stammt.

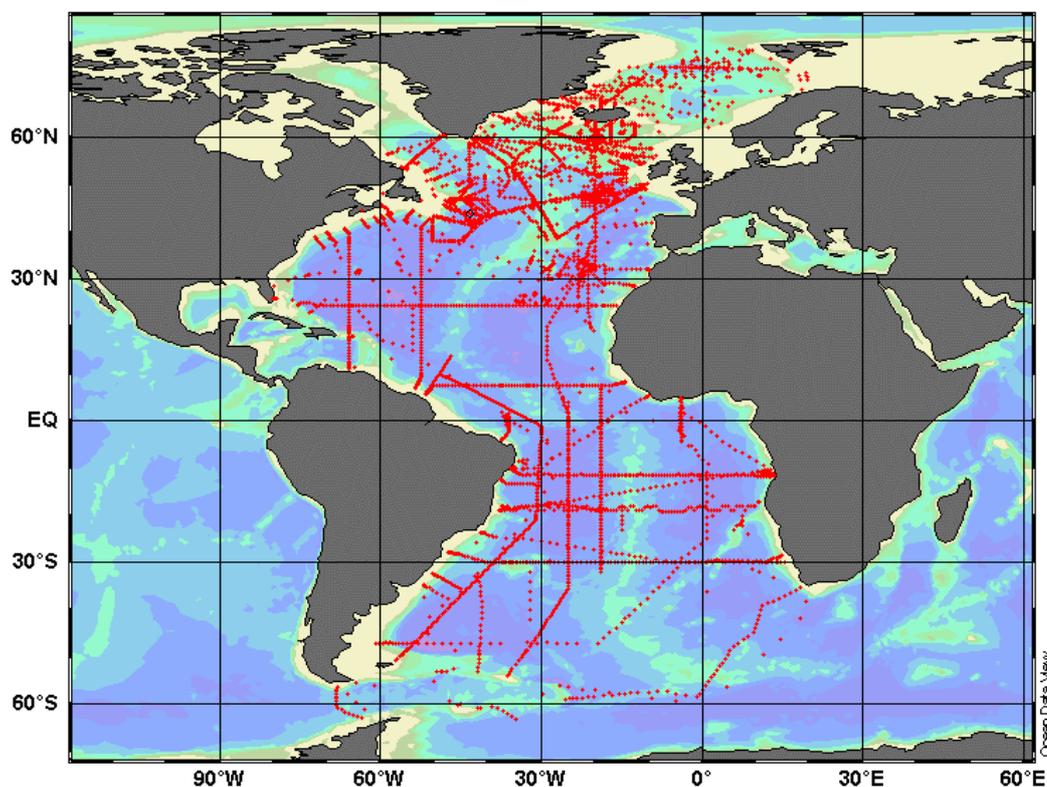
Im Rahmen der cross-over Analyse wurden insgesamt 537 cross-over Stationen identifiziert, an denen im Umkreis von 20 m mindestens zwei Datensätze mit Profilen von mehr als 500m Tiefe vorliegen. Beginnend mit den Stationen mit mehr als 2 Datensätzen wurden die Profile abgeglichen, Ausreißer identifiziert und gegebenenfalls weitere Stationen aus der Umgebung herangezogen, um systematische Offsets zu quantifizieren. Für einige Datensätze ergab sich dabei die Notwendigkeit, Unstimmigkeiten direkt mit den verantwortlichen Wissenschaftlern zu diskutieren. Zumindest für den Bereich des offenen Ozeans wurde damit die Konsistenz der Daten weitgehend hergestellt. Für die Küstenbereiche und andere Gebiete, die großer

saisonalen (oder interannueller) Variabilität unterliegen, ist die cross-over Analyse nur bedingt möglich, da gefundene Abweichungen durchaus real sein können. Eine weitergehende Konsistenzanalyse dieser Daten war im Rahmen dieses Projektes daher nicht durchführbar. Eine besonders detaillierte cross-over Analyse der Stationen, die im Bereich der GLODAP Projektstationen liegen, wurde gemeinsam mit A. Kozyr (CDIAC) durchgeführt.

Bei einem Arbeitstreffen im März 2002 an der University of East Anglia wurde eine enge Kooperation mit den EU-Projekten CAVASSOO (Dr. N. Lefèvre) und ORFOIS (Dr. D. Bakker) vereinbart, die sich insbesondere auf ein gemeinsames Datenformat sowie den Datenaustausch bezieht. Da durch die weltweit zahlreichen Projekte mit Oberflächenregistrierung von VOS (Volunteer Observing Ships) die verfügbare Datenmenge rasant ansteigt und die Speicherung auf der CARINA Homepage in bisheriger Form technisch nicht realisierbar ist, wurde von Steering Committee beschlossen, die CARINA Sammlung von pCO₂-Oberdaten auf historische Daten zu beschränken und die Homepage mit einem Link zu den Datenzentren mit den VOS Daten zu versehen.

In einer Reihe von Publikationen von CARINA Partnern ist die Nutzung der CARINA Datenbank ausdrücklich erwähnt (z.B. Pérez et al. 2002), viele weitere Arbeiten beinhalten ebenfalls die Nutzung dieser Datenbasis. Jedoch ist die Zugänglichkeit der Datenbank zur Zeit noch eingeschränkt. Auf Wunsch der Partner, haben nur diejenigen Zugang, die Daten beigesteuert haben (= die CARINA Partner). Über ein Passwort können die Daten über die Webseite (<http://www.ifm.uni-kiel.de/fb/fb2/ch/research/carina>) abgerufen werden. Andere Personen können auf der Webseite in Erfahrung bringen, welche Daten vorhanden sind, und den zuständigen Wissenschaftler direkt kontaktieren. Es wird angestrebt, die Daten öffentlich zu machen. Da das Projekt CARINA zur Zeit nicht finanziert ist, ruht dies jedoch.

Abbildung 1: Übersicht über die in der CARINA Datensammlung enthaltenen Datensätze.



7.1.3 Saisonalität von DIC:

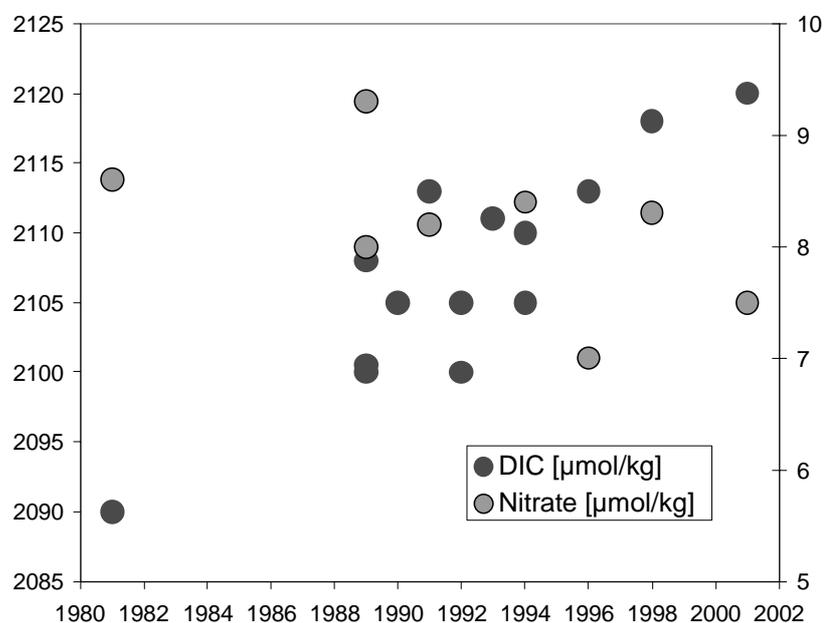
Zur Untersuchung der Saisonalität, der interannuellen Variabilität und der langfristigen Veränderung von DIC (dissolved inorganic carbon) wurden Messdaten aus dem Gebiet um 47°N/20°W (aus der CARINA Datenbank sowie Ergebnisse eigener Messungen) zusammengestellt. Die Zeitreihe umfasst die Jahre 1981 bis 2001. Zur Rekonstruktion des jahreszeitlichen Verlaufs war es zunächst erforderlich, die Wintersituation zu analysieren. Danach wurde der saisonale Verlauf aus den vorhandenen Daten, soweit möglich, verfolgt.

Die Analyse ergab, dass die Station aus dem Gebiet um 47°N/20°W zwar eine hohe Datendichte aufweist, da sie im Rahmen der JGOFS Arbeiten häufig und regelmäßig untersucht wurde, dass sie jedoch keine 'ideale' Zeitserienstation ist, da sie stark durch laterale Advektion und Eddies beeinflusst wird. Daher ist eine großräumige Analyse der Konzentrationsverteilung zur Bewertung der Daten nötig. Hierzu wurden u.a. die ozeanographischen JGOFS Untersuchungen in diesem Gebiet genutzt.

Die Winterkonzentrationen, sowohl die direkt gemessen als auch die durch verschiedene Rückberechnungsmethoden ermittelten, zeigen einen stetigen Anstieg von ~ 2090 (TTO, 1981) auf 2122 ± 3 $\mu\text{mol/kg}$ (2001; eigene Daten (POS 267)), während die Nitrat Konzentrationen weitgehend konstant bei 8 ± 1 $\mu\text{mol/kg}$ liegen (Abb. 2). Gängige Berechnungsmethoden für anthropogenes CO_2 (siehe unten) sind aufgrund der Limitierung der Methode für Oberflächenwasser nicht sinnvoll anwendbar. Die ermittelte Konzentrationszunahme ergibt aber eine anthropogen bedingte mittlere jährliche Zunahme von DIC um 1.6 $\mu\text{mol/kg}$. Dieser Wert liegt etwa 50 % über dem C_T -Zuwachs, der aus dem Anstieg des atmosphärischen CO_2 zu erwarten gewesen wäre. Die Ursache hierfür ist vermutlich in der Unsicherheit älterer C_T -Daten zu suchen, da der C_T -Trend für jüngere Messungen weitgehend mit dem atmosphärischen CO_2 -Anstieg konsistent ist.

Die jahreszeitliche Abnahme des DIC aufgrund der biologischen Aktivität im Frühjahr und Sommer beträgt bis zu 80 $\mu\text{mol/kg}$, wovon 30 $\mu\text{mol/kg}$ auf den Zeitraum nach der Verarmung der Nährstoffe entfallen. Die Verbleib der übrigen 50 $\mu\text{mol/kg}$ muss auf „non-Redfield“ Produktion, Stickstofffixierung und DOC-Produktion zurückgeführt werden. Die Amplitude des Jahresgangs, abgesehen von interannueller Variabilität, scheint auch vor dem Hintergrund des oben erwähnten DIC Anstiegs über die Zeit von diesem unbeeinflusst.

Abbildung 2: Winterkonzentrationen von DIC und Nitrat im Vergleich für die Jahre 1981 bis 2001.

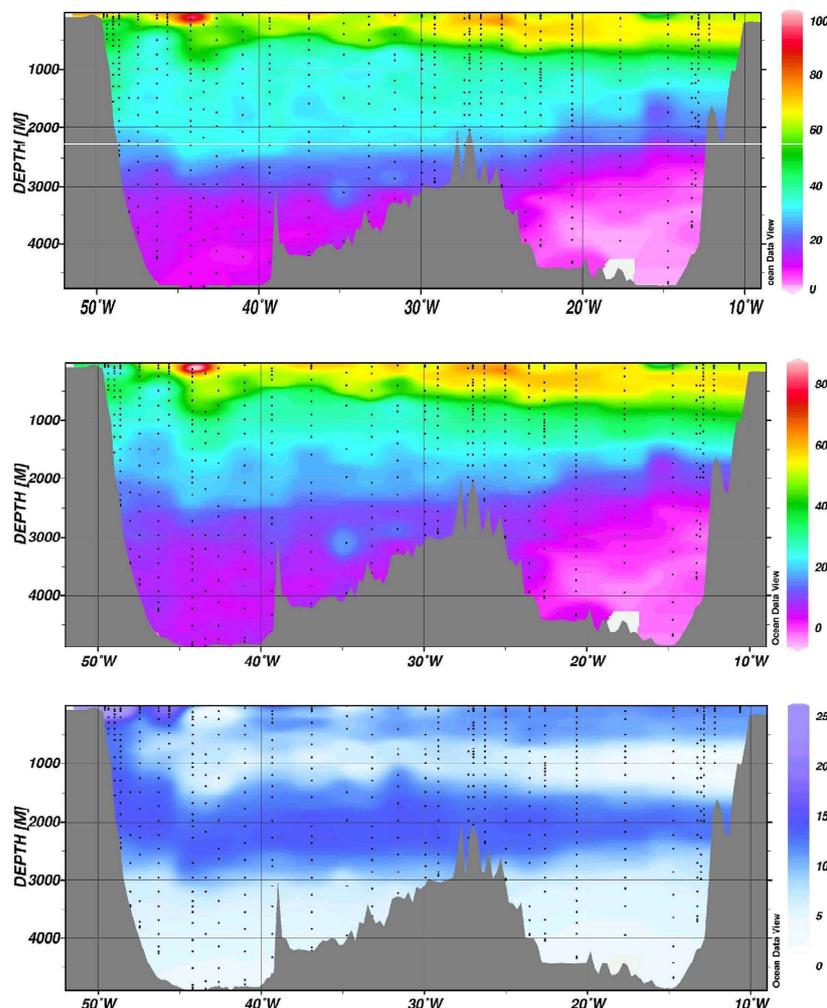


7.1.4 Anthropogenes CO₂:

Für den Vergleich der Berechnung des anthropogenen CO₂ (CT_{ant}) aus 3 Expeditionen entlang des WOCE A2-Schnittes aus verschiedenen Jahren wurden die Daten der letzten der 3 Fahrten, GAUSS 350 (Mai 2000), aufgearbeitet und einer Qualitätskontrolle unterzogen. Bei den Vergleichsexpeditionen handelt es sich um METEOR 30/2 (November 1994) und METEOR 36/3 (Juni 1997). Die Datenanalyse ergab, dass die Datensätze von DIC und Alkalinität von ausreichender Qualität sind, um einen solchen Ansatz durchführen zu können.

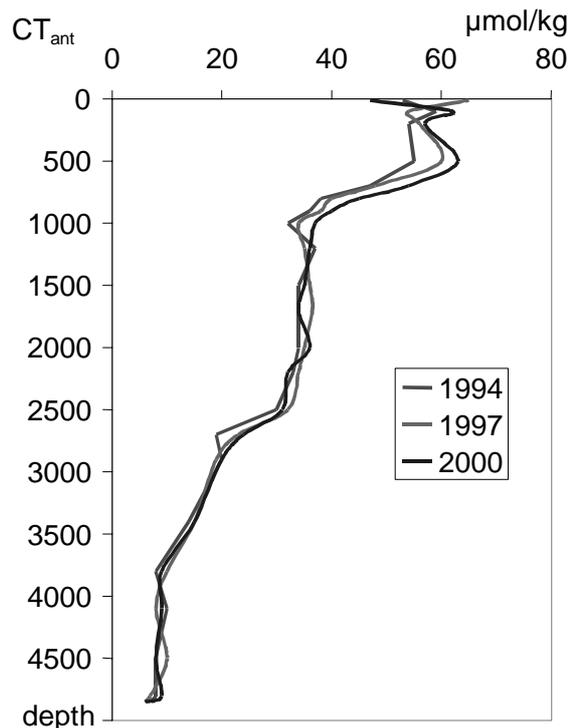
In die Berechnung wurden auch Aspekte aus neueren Veröffentlichungen (u.a. Pérez et al. 2002) einbezogen. Zur Zeit ist es beinahe unmöglich, die Ergebnisse von Berechnungen des anthropogenen CO₂ verschiedener Autoren miteinander zu vergleichen, da jeder eine eigene Modifikation der Berechnungsmethoden („nach Chen“, „nach Gruber“) bevorzugt. Daher wurden die unterschiedlichen Randbedingungen der in der Literatur benutzten Berechnungsmethoden (wie u.a. Normalisierungen mittels des Salzgehaltes) verglichen und in ihren Auswirkungen eingehend untersucht. Hieraus resultierten dann zwei genau definierte Ansätze (‘CHEN‘ bzw. ‘GRUBER‘) die für den Vergleich der Datensätze der drei Expeditionen genutzt wurden. Als Beispiel für die unterschiedlichen Ergebnisse zwischen beiden Methoden wird die Verteilung des anthropogenen CO₂ auf einem Ost-West Schnitt mit der Berechnung von CT_{ant} nach ‘CHEN‘ (Abb. 3a) und ‘GRUBER‘ (Abb. 3b) und die Differenz zwischen beiden Berechnungen (Abb. 3c) gezeigt. Die auf den ersten Blick recht ähnliche Tiefenverteilung (n.b. unterschiedliche Skalierung!) von CT_{ant} bei ‘CHEN‘ und ‘GRUBER‘ unterscheidet sich besonders im Tiefenbereich um 2000 m (Abb. 3c).

Abbildung 3a-c: Verteilung des anthropogenen CO₂ auf einem der Schnitte (Gauss 350) mit der Berechnung von CT_{ant} nach (a)‘CHEN‘ und (b) ‘GRUBER‘ und (c) der Differenz (a-b).



Der Vergleich der gemittelten Profile über einen Zeitraum vom 6 Jahren zeigt den Anstieg im anthropogenen CO_2 (Abb. 4). Der mittlere Anstieg im Zwischenwasserbereich (200-1000 m) liegt bei $6 \pm 3 \mu\text{mol/kg}$ in 6 Jahren, allerdings ist nicht auszuschließen, dass dieser Wert durch aufgetretene Inkonsistenz in den O_2 Daten von einer der Expeditionen teilweise beeinflusst ist. Der Anstieg im Tiefenwasser ist gering und regional variabel und zudem zu nahe an den Grenzen der analytischen Methoden, um signifikant zu sein.

Abbildung 4: Mittlere Tiefenprofile im westlichen nordatlantischen Becken für CT_{ant} (berechnet nach 'CHEN') im Vergleich der Jahre 1994, 1997 und 2000.



Wie die Untersuchungen zeigten, ergibt die Anwendung jeweils einer genau spezifizierten Methode der Berechnung des anthropogenen CO_2 ('CHEN', 'GRUBER') auf die Datensätze durchaus vergleichbare Ergebnisse für den anthropogenen Anstieg. Die Tiefenverteilung von CT_{ant} unterscheidet sich aber z.T. erheblich zwischen den Methoden. Mit verfeinerten, vor allem aber genau definierten Methoden für die Berechnung von CT_{ant} wird es daher möglich sein, den Anstieg des CT_{ant} in der Wassersäule aus den Daten von 2 Expeditionen in 5-10 Jahren zeitlichem Abstand direkt zu verfolgen.

7.1.5 CARINA international

Hintergrund: Auf Initiative von L. Mintrop und D. Wallace wurden im Juni 1999 alle im Atlantik arbeitenden CO_2 Gruppen ins Hanse Kolleg Delmenhorst eingeladen (8. 6. 1999 - 10. 6. 1999), um eine mögliche Kooperation zu initiieren und alle CO_2 Daten für den Nordatlantik zusammen zu führen. Hieraus entstand das Projekt CARINA (Carbon dioxide in the North Atlantic Ocean). Es wurde ein Steering Committee gebildet mit L. Mintrop als Koordinator. Die Weiterführung des CARINA Projekts beinhaltet die Vervollständigung der CARINA Datensammlung, Aufnahme neuer Daten aus zukünftigen Expeditionen und ständige

Aktualisierung der Webseite. Hinzu kommt die Koordination weiterer Aktivitäten und der Austausch mit Syntheseprogrammen für andere Ozeangebiete (Pazifik, Indik, Southern Ocean). Weitere Treffen fanden am Rande der JGOFS Konferenz in Bergen, Norwegen (20. - 23. April 2000) und in Vigo, Spanien (26.-27. April 2001), statt. Der Bericht dieses Treffens ist auf der CARINA-Homepage zu finden. Ein wichtiger Aspekt dieses Treffens war, den Bereich von CARINA auf den gesamten Atlantik auszudehnen. Damit ändert sich das Akronym CARINA zwar nicht, bedeutet allerdings nun: **CAR**bon dioxide **IN** the **AT**lantic ocean.

Aktivitäten im Rahmen des BMBF Verbundvorhabens:

Im Rahmen von CLIVAR sind im Atlantik eine Reihe von Wiederholungen von WOCE Transekten geplant. Auf dem 3rd CLIVAR Atlantic Implementation Panel Meeting (Paris 7.-8. 9. 2001) wurde daher für die Koordination der CO₂ Messungen auf diesen Fahrten eine enge Zusammenarbeit zwischen CLIVAR Atlantik und CARINA vereinbart.

Das Treffen des Steering Committees in Las Palmas de Gran Canaria, Spanien (12. - 14. September 2002), diente zur Vorbereitung der für das Frühjahr 2003 Las Palmas geplanten Open Science Conference "CARBON DIOXIDE IN THE ATLANTIC OCEAN".

Eine Zusammenarbeit mit dem International Ocean Carbon Coordination Project (IOCCP) wurde auf dem IOCCP Meeting in Paris (13. – 15. 1. 2003) vereinbart. Ziel des IOCCP ist die Koordinierung von CO₂ Messungen auf regelmäßig wiederholten hydrographischen Sektionen sowie oberflächennahen Messungen (VOS) und der Informationsaustausch innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft. Neben PICES für den Pazifik soll hier CARINA für den Atlantik die Rolle des regionalen Koordinators spielen.

Die CARINA Open Science Conference, die gleichzeitig als General Meeting fungierte, fand am 26. 2. 2003 - 1. 3. 2003 in Maspalomas, Gran Canaria, Spanien statt. Da keine separaten Mittel für diese Konferenz eingeworben worden waren und auch laufende Förderprogramme (z.B. EU) keine erfolversprechende Antragstellung für eine derartige Konferenz erwarten ließen, gestaltete es sich schwierig, Mittel insbesondere für die Einladung von Vortragenden, aufzubringen. Die Konferenz wurde möglich, nachdem die spanischen Kollegen Sponsorengelder von mehr als 10000 € sowie Sachspenden einwerben konnten. Ein Antrag beim BMBF auf Nutzung von Restmitteln des Teilprojekts für die Organisation der Konferenz war leider abschlägig beschieden worden. Das Programm der Konferenz ist im Anhang beigelegt.

Aus der allgemeinen Diskussion ergaben sich folgende Beschlüsse und Empfehlungen:

- Die Arbeit von CARINA wird allgemein positiv bewertet und soll fortgesetzt werden, alle Teilnehmer wollten hierzu ihren Beitrag leisten.
- CARINA umfasst generell CO₂ Daten aus dem Atlantik, aber auch von Rand- und Nebenmeeren (Mittelmeer, Nordsee, Ostsee). Auch die CO₂ Daten aus dem Arktischen Ozean sollen zunächst hier gespeichert werden. CARINA ist bereit, als regionale Gruppe innerhalb von IOCCP und CLIVAR Atlantic zu fungieren und den Informationsaustausch zu fördern.
- CARINA Daten sollen generell öffentlich gemacht werden, eine neue Struktur der Datensammlung soll erarbeitet werden und die Langzeitspeicherung bei CDIAC vorbereitet werden. Hauptproblem ist die Finanzierung (nach Ablauf dieses Projektes) in der Zukunft, und es sollen Wege gesucht werden, für CARINA ein 'Heim' im Rahmen anderer Institutionen und/oder Projekte zu finden.

7.2 Stöchiometrie der Biologischen Pumpe (W. Koeve, G. Wefer)

7.2.1 Ziele

Ziel der Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS) ist die Beschreibung des Kohlenstoffkreislaufes im Ozean. Biogeochemische Modelle, die das ultimative Instrument der großräumigen Integration der in JGOFS gewonnenen Erkenntnisse darstellen, verwenden in der Regel Stickstoff oder Phosphor als 'Modellwährung' und rechnen mit konstanten C:N oder C:P Verhältnissen in Kohlenstoff um. Die Konstanz dieser Verhältnisse ist kürzlich mehrfach in Frage gestellt worden. Das Verständnis der Stöchiometrie der Biologischen Pumpe ist deshalb in der Synthesephase von JGOFS von zentraler Bedeutung. Ziel des Vorhabens war es, durch Systematisierung der beobachteten Abweichungen neue Grundlagen für die kombinierte C-O₂-N-P Modellierung der Biologischen Pumpe zu erkennen und zu formulieren und die Bedeutung der Biologischen Pumpe für den Atlantik beckenweit neu abzuschätzen. Dies wurde in drei Arbeitsansätzen (Tasks) angegangen.

1. Quantifizierung der C(-O₂)-, N- und P-Komponenten der Neuen Produktion
2. Quantifizierung der Bedeutung der N-armen gelösten organischen Materie (DOM) für die Stöchiometrie der Biologischen Pumpe
3. Erstellung von 3D Datenfeldern der C-Remineralisierung und Analyse der empirischen Flußbeziehungen

7.2.2 TASK 1: Quantifizierung der C(-O₂)-, N- und P-Komponenten der *Neuen Produktion*.

Es wurde geprüft, ob die kürzlich für den Nordostatlantik aufgestellte Hypothese, dass deutliche Variationen der genannten Verhältnisse von der Verfügbarkeit von Makronährstoffen (NO₃, PO₄) abhängen, auch für andere Regionen des Atlantiks gilt. Dazu wurden die umfangreichen historischen Datenbestände, JGOFS- und WOCE- Daten ausgewertet und mit Modellrechnungen und ggf. Abschätzungen der Gasaustauschkomponente zu einer flächendeckenden Beschreibung der übers Jahr integrierten C, N, P- Aufnahmestöchiometrie für den gesamten Atlantik kombiniert.

Untersuchung zum räumlich und saisonal integrierten C:N Verhältnis der Neuen Produktion im Nordatlantik:

Kritisch für die Abschätzung der saisonalen neuen Produktion (Frühjahr+Sommer) und ihrer Elementverhältnisse ist die verbesserte Beschreibung winterlicher Nährstoff-Felder. Ein verbessertes Verfahren wurde entwickelt (Koeve, 2001; Koeve, subm-b), beckenweit angewendet und durch unabhängige Abschätzungen (Körtzinger et al., 2001) bestätigt. Für den temperierten und subarktischen Nordatlantik zwischen 40°N und 65°N wurde ein integrales C:N Verhältnis der neuen Produktion (0-100m) von 11.4 (± 1.4) gefunden (Tabelle 1). Der Fehlerbereich beschreibt dabei sowohl statistische Fehler, als auch systematische Unsicherheiten, wie die Abhängigkeit des CO₂ Gasaustausches an der Grenzschicht Atmosphäre-Ozean von der Windgeschwindigkeit, bzw. Unsicherheiten des Fixierungsverhältnisses von organischem zu anorganischem Kohlenstoff (,rain ratio').

Tabelle 1 (aus Koeve, subm.-a). Integrierte Stickstoff- und Kohlenstoffbudgets für den temperierten und subarktischen Nordatlantik zwischen 40° und 65°N.**Table 3.** Integrated nitrate and carbon budgets of the temperate and subarctic North Atlantic (40°N to 65°N)

Estimate		NO ₃ budget mol N m ⁻²	OC-NCT budget mol C m ⁻²	□ NCT _{seas} mol C m ⁻²	ASE mol C m ⁻²	IC prod. mol C m ⁻²	C:N mol : mol
□ (0-100 m)							
KexWOAmin							
EC-W92 (std)	^(a)	0.29	3.3	2.4	1.3	0.43	11.3
NCEP-41-W92	^(b)				1.5		12.2
NCEP-41-WM99	^(c)				1.8		13.2
NCEP-41-LM86	^(d)				0.8		9.7
NCEP-41-N00	^(e)				1.0		10.8
LN_based	^(f)	0.22	2.8		1.3		12.6
GBexWOAmin	^(g)	0.59	4.0		1.3		6.9

^a KexWOAmin = KexWOA_{vd} - minWOA; ASE is estimated using the windspeed climatology of Esbensen and Kushnir (1981) and using the formulation of the wind speed dependence of the CO₂ exchange coefficient, k, for long term averaged winds of Wanninkhof (1992).

^b ASE is from 41 year climatology of the NCEP reanalysis data (Kalnay et al., 1996) and Wanninkhof (1992) wind speed dependence of k.

^c ASE is from NCEP-41 winds and the Wanninkhof and McGillis (1999) wind speed dependence of k.

^d ASE is from NCEP-41 winds and the Liss and Merlivat (1986) formulation of the wind speed dependence of k.

^e ASE is from NCEP-41 winds and the Nightingale et al. (2000) formulation of the wind speed dependence of k.

^f LN_based = LN_winter - LN_summer; ASE is from of Esbensen and Kushnir (1981) climatological winds and the Wanninkhof (1992) windspeed dependence of k

^g GBexWOAmin = GBexWOA_{vd} - minWOA; ASE as for LN_based

Saisonalität des C:N Verhältnisses der Neuen Produktion:

Die ursprüngliche Analyse der NABE Daten von 47°N, 20°W vernachlässigte mesoskalige Unterschiede der winterlichen Nährstoff- und CO₂-Konzentrationen. Korrigiert man für diese Effekte (Koeve, subm.-b) ergeben sich mittlere C:N Verhältnisse der Neuen Produktion während der Diatomeenblüte von 7.3 (± 0.7), bzw. für den Zeitraum einer anschließenden Flagellatenblüten von 7.2 (± 0.9). Die zeitlich, zwischen dem Ende der tiefen winterlichen Durchmischung und dem Einsetzen oberflächlicher Nährstoffverarmung, integrierte Neue Produktion ist durch C:N Verhältnisse zwischen 5.9 (± 0.4) (1996) und 6.9 (± 0.9) (1989) gekennzeichnet. Sowohl das C:N Verhältnis während der Diatomeenblüte, als auch das zeitlich integrierte Verhältnis während der ganzen Frühjahrsblüte waren, gemäß dieser Analyse, sowohl in 1989 als auch in 1996 nicht signifikant vom sog. Redfield C:N Verhältnis (6.6) verschieden und deutlich niedriger als bisher in der Literatur vorgeschlagen. In der Kombination der beiden Arbeiten (Koeve, subm.-a, subm.-b), ergibt sich, daß man im temperiert/subarktischen Nordatlantik zwei Phasen der Neuen Produktion unterscheiden kann. Die Frühjahrsblüte, die durch C:N Verhältnisse nahe dem klassischen Redfield-Verhältnis gekennzeichnet ist, und ein Sommersystem, in dem Stickstoff rezirkuliert wird, während gleichzeitig eine Nettofestlegung von Kohlenstoff stattfindet.

7.2.3 TASK 2: Quantifizierung der Bedeutung der N-armen *gelösten organischen Materie (DOM)* für die Stöchiometrie der Biologischen Pumpe.

Der Anteil der gelösten organischen Materie am Kohlenstoffexport ist nach wie vor umstritten. Die vorhandenen Daten (überwiegend aus dem Nordatlantik) zeigen deutliche, bisher nicht erklärte Unterschiede zwischen dem Ostatlantik (z.B. 47°N, 20°W) und dem Westatlantik (bei Bermuda).

Kopplung zwischen Neuer Produktion und dem Kohlenstofffluß im tiefen Ozean: (Koeve, subm-c):

Die häufig beobachtete tiefenabhängige Zunahme des C:N-Verhältnisses sinkender Partikel kann durch einen vergleichsweise kleinen (median: 3- 5.6 %) Unterschied zwischen dem C:N Verhältnis des Partikelexportes und dem integralen C:N Remineralisierungsverhältnis erklärt werden. Die Beobachtung von generell erhöhten C:N Werten sinkender Partikel in der Tiefe stellt damit keinen Beleg für einen bedeutenden Beitrag von C-reichem TEP (transparent exopolymer particles) zum tiefen Partikelfluß dar. Präferentielle Remineralisierung von Stickstoff gegenüber Kohlenstoff innerhalb der winterlich durchmischten Schicht im Nordatlantik ist quantitativ um etwa eine Größenordnung kleiner als der Redfield-equivalente Kohlenstoffabbau in dieser Schicht und damit von untergeordneter Bedeutung für den langfristigen Export von Kohlenstoff.

7.2.4 TASK 3: Erstellung von 3D Datenfeldern der C-Remineralisierung und Analyse der empirischen Flußbeziehungen

Der Schlüssel zur Vermittlung zwischen Element-Aufnahmeverhältnissen und den Verhältnissen der Elemente im tiefen Ozean liegt in der Wasserschicht zwischen der Untergrenze der euphotischen Zone und der maximalen Tiefe der winterlichen Durchmischung. Aus aktuellen empirischen Beziehung zwischen Primärproduktion und Kohlenstoff-Partikelflußdaten wurden 3D Datenfelder der C-Remineralisierung erstellt und die Aussagekraft der *empirischen Flußbeziehungen* für den Abbau innerhalb dieser Schicht wurde analysiert.

Neue Produktion und Remineralisierung in der winterlich durchmischten Zone (Koeve, subm-d):

Die beckenweite Quantifizierung der Export Produktion unter Verwendung von Partikelfluss-Primärproduktionsalgorithmen ist in erheblicher Weise von dem für die Algorithmenentwicklung und Extrapolation verwendeten Primärproduktionsdatensatz abhängig. Ausgehend von globalen Datensätzen der Primärproduktion (Antoine et al., 1996; Behrenfeld and Falkowski, 1997) wurden Kohlenstoff-Flüsse zwischen 0.9 und 2.9 GT C yr⁻¹, und Exportverhältnisse (f-ratio) zwischen 0.07 und 0.31 für dem Atlantik gefunden. Kohlenstoffabbau innerhalb der winterlich durchmischten Zone vermindert den Kohlenstoffexport beckenweit um 11-19%. Die Quantifizierung des Kohlenstoffabbaus war vergleichsweise robust gegenüber der Wahl des Antriebsdatensatzes (Primärproduktion).

Quantifizierung des effektiven Kohlenstoffflusses im Atlantik (Koeve, 2002):

Das beckenweit integrierte POC:PIC (organic:anorganic) Verhältnis des Exportes aus der euphotischen Zone beträgt 4.2 bis 4.37 im Atlantik. Regional werden Unterschiede gefunden, so beträgt diese Verhältnis z.B. im temperierten Nordatlantik ca. 4.3 bis 6.1. Beckenweit tragen flacher POC Abbau und CaCO₃ Sequestrierung in etwas gleichem Maße zur Einstellung des effektiven Kohlenstoffflusses bei (je ca. 15% der Exportproduktion). Regional gibt es aber große Unterschiede. In den hohen Breiten dominiert der POC Abbau innerhalb der winterlich durchmischten Schicht, während in den niederen Breiten die CaCO₃ Sequestrierung überwiegt.

7.3 Die Klimasensitivität der Biologischen Pumpe (A. Oschlies, A. Antia, K. Lochte)

7.3.1 Ziele

Ziel des Projekts war ein verbessertes Verständnis der Mechanismen, die für beobachtete und mögliche zukünftige Änderungen der biologischen Pumpe verantwortlich sind. Dazu sollte eine Synthese der vorhandenen Beobachtungen des Exportflusses aus Sinkstofffallen und Messungen der Respiration im Sediment mit Simulationsergebnissen eines Ökosystem-Zirkulationsmodells erfolgen.

7.3.2 Beeinflussung der Berechnung des Gasaustauschs durch biologische Produktionskonzepte

Es wurde anhand von Modelldaten untersucht, inwieweit biologische Produktionskonzepte (neue Produktion, Exportproduktion, net community production) den durch die biologische Pumpe verursachten Gasaustausch von CO₂ und O₂ zwischen Ozean und Atmosphäre verändern können. Es stellte sich heraus, dass biologische Produktionsraten die biotisch induzierten Flüsse über die Meeresoberfläche im Nordatlantik um etwa 20% überschätzen. Dies ist im wesentlichen auf unterschiedliche Referenziefen zurückzuführen: Während Produktionskonzepte sich i.a. auf die euphotische Zone beziehen, ist es die durchmischte Deckschicht, die im direkten Austausch mit der Atmosphäre steht. Auf Zeitskalen von einem Jahr und länger ist die Tiefe der maximal im Jahrgang erreichten Deckschicht (i.a. die winterliche Durchmischungstiefe) die für den Gasaustausch relevante Tiefe. Aufgrund starker lateraler Gradienten in der maximalen Deckschichttiefe weist die biologische Pumpe daher zusätzlich zum vertikalen Exportfluss durch absinkende Partikel auch einen lateralen Export durch Subduktion von organischem und neu (d.h. innerhalb eines Jahrgangs) remineralisiertem, anorganischem Material auf. Die Modellergebnisse zeigen, dass der bisher nicht berücksichtigte Export von neu remineralisiertem Material in den Subduktionsgebieten des Nordatlantiks etwa die Hälfte des biotisch induzierten Gasaustauschs erklärt. Der Subduktionsprozess spielt wegen der schnellen Reaktion auf Änderungen im Windfeld eine besondere Rolle bei der Klimasensitivität der biologischen Pumpe. Für den JGOFS-Zeitraum zeigen die Modellexperimente, dass Änderungen im Windfeld und damit verbundene Schwankungen in den Subduktionsraten den Grossteil der simulierten Variabilität der CO₂-Aufnahme im Nordatlantik erklären. Eine erste Arbeit zu diesem Themenkomplex ist im Druck (Oschlies and Kähler, im Druck).

7.3.3 Zwischenjährige Variabilität des vertikalen Partikelflusses in der tiefen Wassersäule

Mit relativ geringen Gradienten in der winterlichen Durchmischungstiefe ist der Subtropenwirbel ein Gebiet, in dem vorwiegend der vertikale Export zur biologischen Pumpe beiträgt. Hier konnte durch einen Vergleich von Modellergebnissen, Satellitendaten und im Rahmen des deutschen JGOFS Programms gewonnenen Sinkstofffallendaten (bei 33°N, 22°W) gezeigt werden, dass die zwischenjährige Variabilität des Exportflusses gut mit der Variabilität der Oberflächenchlorophyllkonzentration korreliert ist. Das Modell zeigt dabei eine gute Übereinstimmung mit den beobachteten zwischenjährigen Schwankungen im tiefen (2000m) Partikelexport. Eine Veröffentlichung dazu ist eingereicht (Waniek et al., subm.).

7.3.4 Globales Modell des marinen Ökosystems für Simulationen über lange Zeiträume (Jahrtausende)

Das bisher verwendete Nordatlantikmodell eignet sich nur bedingt zur Untersuchung von Klimaschwankungen auf Zeitskalen von mehr als einigen Dekaden, da an den Nord- und Südrändern im allgemeinen klimatologische Dichte- und Nährstofffelder vorgeschrieben werden, die einen dämpfenden Einfluss auf die Variabilität im Inneren des Modellgebiets ausüben. Um auch längere Zeitskalen untersuchen zu können, wurde das Ökosystemmodell in ein grob aufgelöstes globales Zirkulationsmodell eingebaut und anhand von JGOFS-Daten von Zeitserien- und Prozessstudien für den heutigen Klimazustand validiert. Als überraschend robuste Eigenschaft des Modells stellte sich heraus, dass die Nährstoffverteilungen auch nach über 1400 Jahren Simulationszeit noch immer sehr dicht an den heute beobachteten Verteilungen lagen. Eine ausführlichere Darstellung findet sich in der eingereichten Veröffentlichung von Schmittner et al.(subm.).

7.3.5 Evaluierung der Bestimmung von Remineralisierungsraten aus gelösten Nährstoffkonzentrationen

Ein potentieller Mechanismus, über den die biologische Pumpe auf Klimaschwankungen reagieren und rückkoppelnd auf das Klimasystem wirken kann, ist die Änderung der Stöchiometrie der biologischen Pumpe. Beobachtete dekadische und längerfristige Änderungen im Verhältnis von gelösten, anorganischen Nährsalzen wurden bereits in dieser Hinsicht interpretiert (e.g., Pahlow and Riebesell, 2000). Um von direkt messbaren Verhältnissen der Nährstoffkonzentrationen auf Elementverhältnisse von Remineralisierung oder Exportproduktion schließen zu können, sind allerdings einige Annahmen erforderlich (u.a. Transportpfade des Wassers, "Pre-formed values", Rückrechnung der Kontamination durch anthropogenes CO₂). Anhand eines gekoppelt biogeochemisch-physikalischen Modells wurde die Gültigkeit dieser Annahmen überprüft. Dazu wurde dem Modell das Redfield-Verhältnis für biologische Produktion und Remineralisierung fest vorgeschrieben und dann untersucht, ob die gängigen Methoden zur Bestimmung von Remineralisierungsverhältnissen auf der Basis von Nährstoffkonzentrationen dieses Redfield-Verhältnis aus den Modelldaten auch reproduzieren können. Es zeigte sich, dass dies nicht für alle verwendeten Methoden zutrifft, dass alle Standardverfahren in Regionen mit starker diapyrknischer Vermischung deutliche Abweichungen vom vorgegebenen Redfield-Verhältnis vorspiegeln und die so gewonnenen Rückschlüsse entsprechend kritisch zu beurteilen sind. Eine Arbeit dazu ist eingereicht (Schneider et al., subm.).

7.4 Interannuelle Prozesse bei ESTOC (H. Meggers, G. Wefer)

7.4.1 Ziele

Die Europäische Zeitserienstation ESTOC („European Station for Time-Series in the Ocean, Canary Islands“) stellte Daten zur Verfügung für die Untersuchung interannueller Prozesse. Die wissenschaftliche Fragestellung resultierte aus der Zentralisierung der ESTOC-relevanten Datensätze und führte zu weitergehenden Untersuchungen, die sich mit der Effizienz der biologischen Pumpe auf saisonalen und interannuellen Zeitskalen befassen. Das Zusammenführen der ESTOC-relevanten Datensätze in einer Datenbank ermöglichte ferner die Einschätzung der ESTOC-Station hinsichtlich ihrer Stellung als Quelle oder Senke für CO₂ und die Überprüfung der Allgemeingültigkeit für den östlichen Teil des nordatlantischen Subtropenwirbels. Synthesarbeiten mit Dr. Susanne Neuer (Arizona State University, USA) im Rahmen ihres Aufenthaltes im Hanse Wissenschaftskollegs (Delmenhorst) und im „Forschungszentrum Ozeanränder“ (Bremen) ermöglichten in diesem Zusammenhang den Vergleich von ESTOC mit den beiden anderen subtropischen JGOFS-Zeitserienstationen BATS („Bermuda Atlantic Time-Series“) und HOT („Hawaii Ocean Time-Series“) (Abb. 1). Es wurden durch das Vorhaben zwei Zielsetzungen verfolgt.

1. Zusammenführen der internationalen und nationalen ESTOC-Datensätze
2. Erweiterte Überprüfung der ESTOC Station als Referenzstation für biogeochemischen Prozesse für den östlichen Teil des nordatlantischen Subtropenwirbels

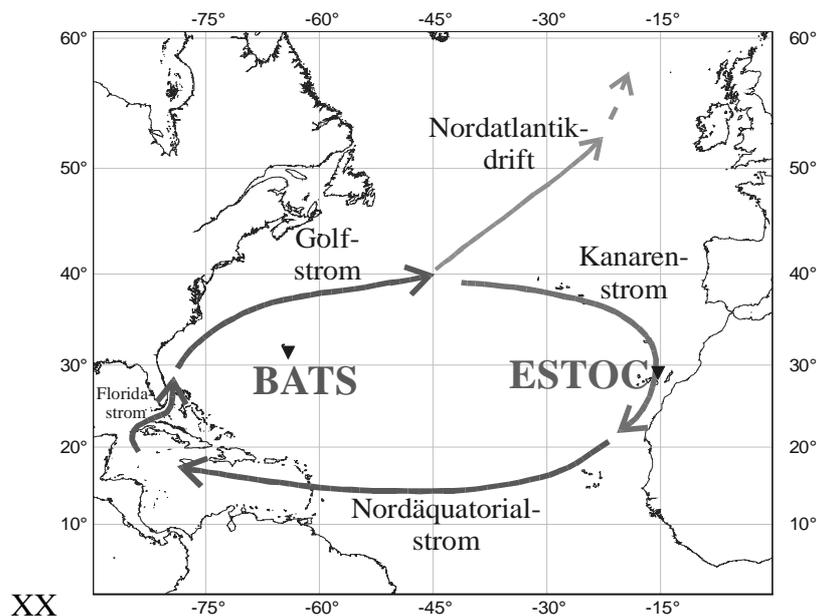


Abbildung 5: Positionen der Zeitserienstationen BATS (Bermuda Atlantic Time-Series) und ESTOC (European Station for Time-Series in the Ocean, Canary Islands) (Dreiecke) im nordatlantischen subtropischen Wirbel mit der schematischen Position der wichtigsten Oberflächenströmungen.

7.4.2. Zusammenführen der internationalen und nationalen ESTOC-Datensätze

Es wurden ESTOC-relevante Daten, die bisher in verschiedenen Gruppen und Projekten sowohl international als auch national gesammelt worden sind und der Öffentlichkeit noch nicht zugänglich waren, gesammelt und in einer ESTOC-Daten-Homepage innerhalb der

Datenbank PANGAEA (<http://www.pangaea.de/Projects/ESTOC/>) publiziert. Damit existiert erstmalig eine zentrale Datenplattform für die europäische Zeitserienstation, die auch nach Ablauf der Finanzierung sukzessive weiter mit biogeochemischen- und ozeanographischen Daten der Station aufgefüllt wurde und erweitert werden soll.

Da die Homepage des spanischen Partners „Instituto Canario de Ciencias Marinas“ (ICCM) in Telde auf Gran Canaria nach einer Umstrukturierungsphase bisher nur in Spanisch vorliegt (<http://www.gobiernodecanarias.org/iccm/materiales/paginaweb/proyectoestoc.htm>), ist eine ausführliche Projektseite im Augenblick nicht verfügbar. Die Datenbankseite auf PANGAEA soll nach Abschluss der Internetarbeiten des ICCM dergestalt aufgebaut sein, dass die Projektseite „ESTOC“ auf der Homepage des ICCM in Telde auf den Kanarischen Inseln lokalisiert sein wird und man von dort auf die beteiligten Institute sowie über die PANGAEA-Datenbank auf die betreffenden Daten zugreifen kann. Trotzdem ist es auch möglich, über die Datenbank direkt auf die Projektdaten zuzugreifen. Ein Teil der spanischen Daten ist weiterhin Passwort-geschützt bis die entsprechenden Publikationen erschienen sind. Schon jetzt wird aber eine verbesserte Akzeptanz und Kenntnis der europäischen Zeitserienstation auch im internationalen Rahmen dadurch deutlich, dass zum einen mehr als 1000 Zugriffe auf die eigentliche Datenseite und 28 Direktdatazugriffe registriert wurden, zum anderen gemeinschaftliche Manuskripte der Verantwortlichen für ESTOC, BATS und HOT (Neuer et al., 2002b; Karl et al., 2003) erschienen sind, in denen auch auf die ESTOC-Datenseite hingewiesen wird. Die Positionen der Zeitserienstationen im Verhältnis zum Nordatlantischen Wirbel sind in Abb. 5 dargestellt.

7.4.3. Erweiterte Überprüfung der ESTOC Station als Referenzstation für biogeochemische Prozesse für den östlichen Teil des nordatlantischen Subtropenwirbels

Bisher sind biogeochemische Daten aus Fernerkundung, Wassersäulenbeprobungen, Sedimentfallenanalysen und Sedimentuntersuchungen bei ESTOC und der unmittelbaren Umgebung in der Datenbank verfügbar und können hinsichtlich der Frage, inwieweit ESTOC eine oligotrophe Referenz für den östlichen Teil des Subtropenwirbels ist, ausgewertet werden. Im Folgenden werden exemplarisch Satellitenbefunde, Sedimentfallenergebnisse sowie Erkenntnisse aus den Oberflächensedimenten kurz bezüglich der wissenschaftlichen Fragestellung des Projektes skizziert.

In der Kanarenregion bestimmt das östliche Randstromsystem des Subtropenwirbels unter Einschluss der Auftriebsregion vor Nordwestafrika wesentlich die biologische Produktion, den vertikalen Transport und die horizontale Verfrachtung von organischen und anorganischen Partikeln. Während sich zwischen Frühjahr und Herbst die Oberflächenwerte des Chlorophylls unter Ausbildung eines tiefen Chlorophyllmaximums reduzieren, verursacht eine tiefe Durchmischung im Spätwinter einen Anstieg des Gehaltes an Nährsalzen in der Oberflächenschicht und die damit assoziierte typische Ausbildung einer Winterblüte sowohl im karbonatischen als auch im kieselligen Plankton (Abb. 6). Eine zweite Blüte wird im Sommer durch den Auftrieb bzw. durch assoziierte Auftriebsfilamente induziert, die vom nordwestafrikanischen Auftriebsgebiet mehrere 100 km weit nach Westen in den oligotrophen Atlantik vordringen können. Diese zweite Blüte ist sowohl in den Partikelströmen als auch in den Planktonströmen östlich der Kanareninseln Fuerteventura und Lanzarote im Bereich der EBC-Verankerung dokumentiert, beeinflusst aber nicht die oberflächennahen Wassermassen bei ESTOC und LP (Abb. 6).

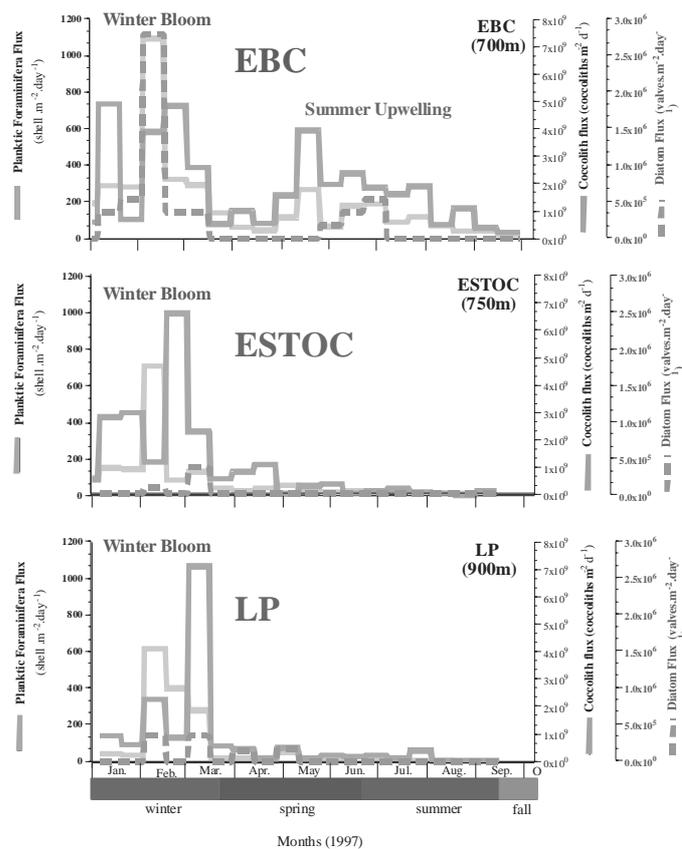


Abbildung 6: Flüsse von planktische Foraminiferen (blau), Coccolithophoriden (türkis) und Diatomeen (grün-gestrichelt) aus dem Jahre 1997 auf einem Sedimentfallentransekt bei 29°N von der auftriebsbeeinflussten Position EBC („Eastern Boundary Current“) über ESTOC bis hin zu einer Position nördlich von La Palma („LP“) (aus Abrantes et al., 2002).

Obwohl Partikelflussprozesse unterhalb ca. 500 m Wassertiefe an der ESTOC-Station von lateralen Transporten beeinflusst sind, paust sich dieser Prozess nicht bis in die unterlagernden Sedimente durch (Abb. 7). Die relativen Häufigkeiten der Auftriebsindikatorart unter den planktischen Foraminiferen (*Globigerina bulloides*) spiegeln lediglich die Bereiche des Auftriebsfilaments bei Kap Ghir wider (Helmke et al., subm.). ESTOC zeigt integriert über das späte Holozän bei einer Sedimentationsrate von 2-3 cm/1000 Jahren ein typisch oligotrophes Bild.

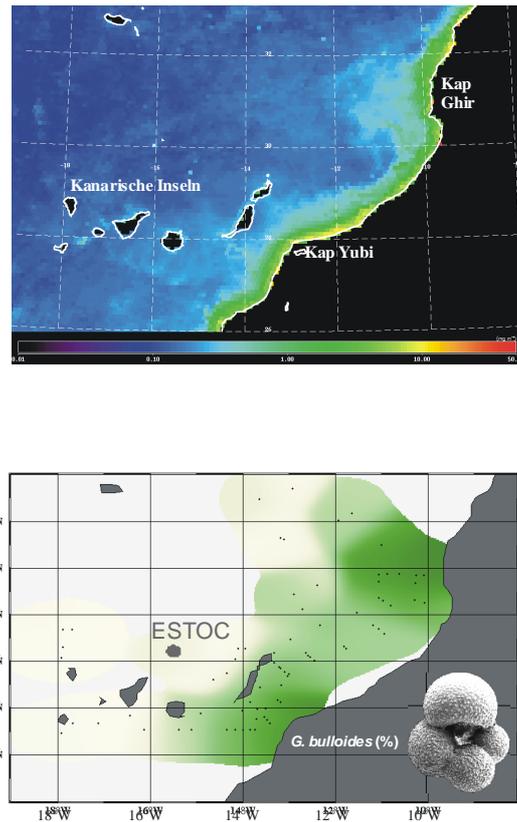


Abbildung 7: Die Jahresmittel der Chlorophyllkonzentration für das Jahr 1997 (oben) und relative Häufigkeit der Auftriebsart unter den planktischen Foraminiferen (*Globigerina bulloides*) in den Oberflächensedimenten der Kanarenregion (unten) (aus Meggers et al., 2002).

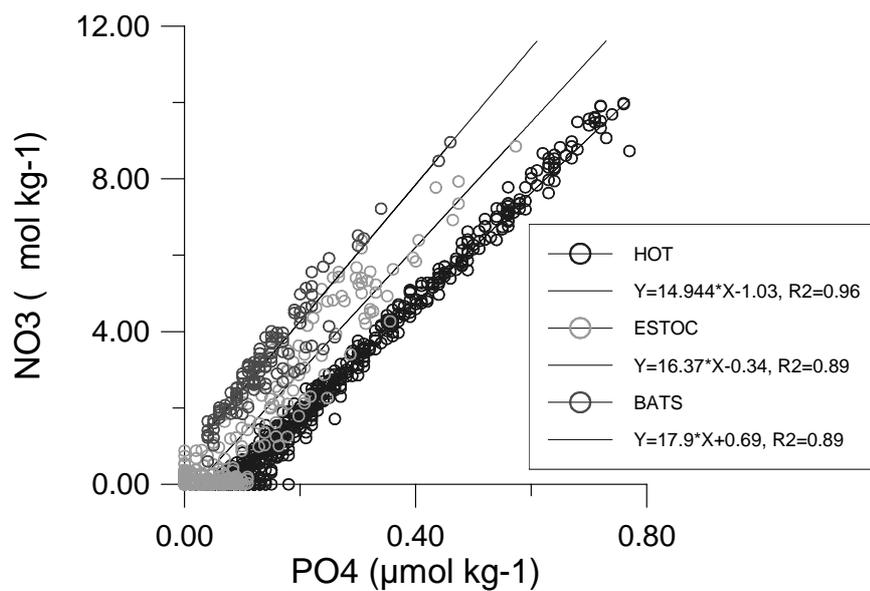


Abbildung 8: Redfield-Verhältnisse von N:P (anorganisch, gelöst) in den oberen 500 m der Wassersäule bei BATS, HOT und ESTOC (aus Neuer et al., 2002b).

Die bisher in der Datenbank verfügbaren Datensätze von ESTOC sind daher benutzt worden, um ESTOC in einem globalen Vergleich mit den zwei anderen JGOFS-Zeitserienstationen BATS und HOT in den Subtropen zu setzen. Der Vergleich der Synthese-Ergebnisse der ESTOC Station mit ausgewählten zeitgleichen Datensätzen der Stationen HOT und BATS dokumentiert vergleichbare Primärproduktionen und Konzentrationen an Chlorophyll in 10 m Wassertiefe. Signifikante Unterschiede lassen sich jedoch in der Exportproduktionsrate erkennen. ESTOC zeigt eine bedeutend niedrigere Exportproduktionsrate als die anderen JGOFS Zeitserienstationen. Dieses liegt darin begründet, dass ESTOC und damit der östliche Teil des Subtropenwirbels durch deutlich niedrigere Einträge von Nitrat in die durchmischte Schicht charakterisiert ist. Sichtbar wird diese Rahmenbedingung in den Redfieldverhältnissen der drei Stationen (Abb. 8). Im Gegensatz zu BATS und HOT zeigt ESTOC im Nitrat/Phosphat-Verhältnis (gelöste anorganische Fraktion) das klassische Redfield-Verhältnis, welches durch fehlende Stickstoff-Fixierung im östlichen Teil des subtropischen Wirbels bestimmt ist, aber auch durch niedrigere Stickstoffeinträge über Eddy-Diffusion.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die JGOFS-Zeitserienstationen dokumentieren, wie wichtig eine konsistente und kontinuierliche Datenerhebung über viele Jahre hinweg ist, um langfristige Änderungen und Prozesse der Zirkulation und biogeochemischer Kreisläufe untersuchen zu können. Gleichzeitige und vergleichende Untersuchungen an „Schlüssellokationen“ vergrößern das Verständnis des globalen Kohlenstoffkreislaufes. Die Daten der ESTOC Station, die bisher in die Datenbank aufgenommen wurden, bestätigen die gute Nutzbarkeit von ESTOC als Referenz für den östlichen Randstrom des nordatlantischen Subtropenwirbels.

7.5. Datenmanagement (J. Herrmann, K. Lochte)

7.5.1. Ziele

Das Datenmanagement dieses Teilprojektes ist die Weiterführung von mehreren vorangegangenen Projekten, die ihre geographischen Schwerpunkte entweder im nördlichen Atlantik oder im Arabischen Meer hatten. Während aller Projektphasen wurden die Daten aus beiden Projektgebieten bearbeitet. Das übergreifende Ziel war das Management der gesamten deutschen JGOFS-Daten. Daher wird sich dieser Abschlußbericht nicht nur mit den Ergebnissen der aktuellen Projektphase befassen, sondern das JGOFS-Datenmanagement insgesamt betrachten.

Das JGOFS-Datenmanagement verfolgte die folgenden drei Hauptziele:

1. Erfassung der abgegebenen Daten und existierenden Metadaten und deren Neuorganisation in relationalen Datenbankstrukturen
2. Persönliche Betreuung von Datenanfragen der Wissenschaftler durch direkte Weitergabe von Rohdaten oder Erstellung von Datenprodukten
3. Schaffung eines dauerhaften Datenzugangs auch über das Projektende hinaus

Während das deutsche JGOFS-Programm im Jahre 1989 mit der Meteor-Fahrt M10 begann, wurde erst 1995 die Stelle eines Datenmanagers eingerichtet. Von 1995 bis 1999 wurde Datenmanagement von Thomas Mitzka betreut, ihm folgte Anfang 2000 Joachim Herrmann. Die systematische Inventarisierung der Datenbestände und die Schaffung von für relationale

Datenbanken geeigneten Strukturen begann Anfang 2000. Anfang 2001 wurde damit begonnen, die aufbereiteten Daten in das Dateninformationssystem PANGAEA (www.pangaea.de) des World Data Center (WDC) Mare am MARUM in Bremen (www.wdc-mare.org) zu überführen.

Prinzipiell lassen sich 3 Phasen bei der Datenbearbeitung unterscheiden:

- Phase I: Inventarisierung
- Phase II: Datenorganisation und -restrukturierung
- Phase III: Import in ein relationales Datenbanksystem

Inventarisierung bedeutet die Erfassung und Klassifikation der abgegebenen Daten auf Dateibasis in einem Katalog. Jede Datei wurde nach ihren Inhalt, den gemessenen Parametern und der Schiffsreise klassifiziert. Für jede wurde ihr jeweiliger Bearbeitungsstatus notiert; damit kann der Übergang von Phase I in Phase II überwacht werden. Als Maß für den ‚Erfolg‘ kann die Zahl der bearbeiteten Dateien oder das bearbeitete Datenvolumen (in Bytes) genommen werden.

Die *Datenorganisation* bzw. *-restrukturierung* umfasst das manuelle Zusammenführen der Messwertdaten mit ihren Metadaten, die Plausibilitätskontrollen und die Konvertierung in datenbankkonforme Formate. Dies geschieht z. B. mit Hilfe von Tabellenkalkulationsprogrammen. Phase II ist der zeitaufwändigste Teil des Datenmanagement. Je nach Qualität und Umfang der abgegebenen Daten kann die Aufarbeitung eines Fahrtabschnittes bis zu 3 Monate dauern. Alle Dateien, die diese Phase erreichen, gelten als ‚bearbeitet‘ (processed). In dieser Phase entscheidet es sich, ob die abgelieferten Daten den Qualitätsansprüchen zur Weiterverarbeitung genügen und es werden Datendoubletten (Dateiversionen) aussortiert.

In Phase III werden alle aufbereiteten Daten in *relationale Datenbankstrukturen* importiert. Lokal werden die Daten mit Microsoft Access verwaltet, um sie dann in das online verfügbare Dateninformationssystem PANGAEA überführen zu können.

Der Benutzer hat über die Webseite des Datenmanagements (www.ifm.uni-kiel.de/jgofs/dm) Zugang auch zu den in PANGAEA befindlichen Daten. Vorproduzierte Grafiken geben dem Benutzer einen ersten Eindruck von einigen Daten.

7.5.2.. Datenbestand/Datenaufarbeitung

Im Jahre 2001 wurde eine Umfrage unter den Wissenschaftlern der deutschen JGOFS-Gemeinde durchgeführt, mit der geklärt werden sollte, welche Schiffsreisen und Langzeitverankerungen als „JGOFS“ – Reise/Verankerung und welche nur als „JGOFS-assozierte“ (JGOFS affiliated) kategorisiert werden sollten. Die Umfrage ergab, dass 33 Forschungsfahrten und 30 Verankerungen als direkter deutscher Beitrag zum JGOFS-Programm gewertet werden sollten (vgl. Tab.2).

Tab. 2: Programmzugehörigkeit deutscher Forschungsfahrten und Verankerungen

	JGOFS	„JGOFS assoziiert“	Summe
Reisen/Fahrtabschnitte	33	56	89
Verankerungen	30	99	129
Summe	63	155	218

Die beim JGOFS-Datenmanagement eingegangenen Daten werden in einer Inventarliste geführt. Der zu verwaltende Rohdatenbestand hat sich wie Tab. 3 zeigt seit Anfang 2000 deutlich erhöht.

Tab. 3: Datenbestandsentwicklung seit Januar 2000

Stand	Zahl der Dateien	Datenvolumen
Januar 2000	3331	282.2 MB
Dezember 2000	4348	645.4 MB
Februar 2003	5851	826.0 MB

Die qualitative Aufteilung des aktuellen Datenbestandes in Datentypen ist in Tab. 4 gezeigt. Die Tiefenprofile der ozeanographischen Messungen und die Aufnahme der Zeitreihen physikalisch-chemischer Umweltparameter (pCO₂, Lichtmessungen, schiffseigene Wettermessungen) während des laufenden Schiffsbetriebes machen den überwiegenden Teil des Datenbestandes aus. Die restlichen Datentypen (diskrete Probandaten mit den dazugehörigen Kalibrierungsdaten) haben mengenmäßig nur ein relativ geringes Datenvolumen, sind aber umgekehrt proportional aufwändig in der Bearbeitung.

Tab. 4: Aufteilung der abgegebenen Daten in Datentypen am Ende des Projektzeitraumes

Datentyp	Zahl der Dateien	prozentuale Verteilung	Datenvolumen	prozentuale Verteilung
Profile	3172	54.1 %	276.8 MB	33.5 %
Zeitreihen	1336	22.8 %	488.3 MB	59.1 %
Diskrete Probandaten (Schöpfer, Pumpen)	684	11.7 %	38.9 MB	4.7 %
Netzfänge	34	0.6 %	1.5 MB	0.2 %
Kalibrierungsdaten	205	3.5 %	3.3 MB	0.4 %
Infos, Metadaten	420	7.2 %	17.2 MB	2.1 %
SUMME	5851		826.0 MB	

Schlüsselt man den Rohdatenbestand nach Schiffsreisen und ihrer Programmzugehörigkeit auf, ergeben sich die in Tab. 5a und 5b gezeigte Statistiken. Dabei werden die Datenbestände in die Kategorien „bearbeitet“ (processed), „nicht bearbeitet“ (not processed) und „Randdaten“ (marginal data) eingeteilt. Zu der Kategorie „Randdaten“ gehören die erwähnten physikalischen Zeitreihen, die aufgrund ihres hohen Datenvolumens ein besonderes Problem darstellen, und daher aus dieser Betrachtung herausgenommen wurden. Weiterhin ist anzumerken, dass die Summenwerte größer als die Gesamtsumme in Tab. 3 und 4 sind, da in einer Datei Daten aus mehreren Fahrten sein können und daher mehrfach gezählt werden.

Vom Datenbestand der JGOFS-Fahrten wurden bis Ende Juni 2003 84% (= 619.4 MB) abschließend bearbeitet. Bei der Bearbeitung hatten im Allgemeinen die Reisen mit einem hohen Datenbestand Vorrang. Für zwei Reisen wurden keine Daten abgegeben.

Tab. 5a: Status der Aufarbeitung der JGOFS-Forschungsfahrtendaten

'JGOFS' Cruises	Year	Ocean area	No. Files	Raw Data Volume	Processed	Non Processed	Marginal data
M10/1	1989	NA	459	119.4 MB	99%	1%	0%
M10/2	1989	NA	306	76.8 MB	100%	0%	0%
M10/3	1989	NA	100	28.8 MB	99%	1%	0%
M21/1	1992	NA	21	1.7 MB	31%	17%	52%
M21/2	1992	NA	31	1.0 MB	9%	86%	4%
M21/3	1992	NA	23	0.6 MB	74%	26%	0%
M21/6	1992	NA	7	0.3 MB	33%	67%	0%
M26/1	1993	NA	21	0.4 MB	57%	29%	13%
M27/2	1993	NA	51	14.7 MB	98%	0%	2%
M30/2	1994	NA	39	2.8 MB	100%	0%	0%
M32/3	1995	IO	168	7.8 MB	70%	30%	0%
M32/5	1995	IO	451	52.1 MB	24%	65%	10%
M33/1	1995	IO	60	10.7 MB	7%	93%	0%
M36/1	1996	NA	149	11.6 MB	100%	0%	0%
M36/2	1996	NA	251	20.8 MB	76%	0%	24%
M36/5	1996	NA	513	100.3 MB	88%	7%	5%
Po173/2	1990	NA	1	0.2 MB	0%	100%	0%
Po200/6	1993	NA	8	0.2 MB	50%	50%	0%
Po202/1	1994	NA	71	5.5 MB	100%	0%	0%
Po209/1	1995	NA	54	22.6 MB	100%	0%	0%
Po212/4	1995	NA	8	0.9 MB	100%	0%	0%
Po231/1	1997	NA	21	0.4 MB	100%	0%	0%
Po231/2	1997	NA	21	1.0 MB	100%	0%	0%
Po231/3	1997	NA	79	1.3 MB	100%	0%	0%
So90	1993	IO	58	4.7 MB	100%	0%	0%
So118	1997	IO	39	6.2 MB	96%	4%	0%
So119	1997	IO	521	31.5 MB	31%	43%	26%
So120	1997	IO	1134	86.8 MB	97%	3%	0%
ANTX/6	1992	SO	128	3.7 MB	100%	0%	0%
ANTXIII/2	1995	SO	11	2.1 MB	100%	0%	0%
ANTXVI/3	1999	SO	27	2.7 MB	100%	0%	0%
ANTVIII/2	2000	SO					
Kel1	1993	NA					
Sum			4831	619.4 MB	84%	12%	4%

Im Falle der ‚JGOFS-assoziierten‘ Fahrten liegt die Aufarbeitungsquote bei 92% (= 179 MB). Die höhere Quote ergibt sich daraus, dass es sich um weniger aufwändig zu bearbeitende ozeanographische Profildaten handelt. Wie Tab. 5b zeigt, gibt es in dieser Programmkategorie noch mehrere Reisen, für die keine Daten abgegeben wurden.

Tab. 5b: Status der Aufarbeitung der mit dem JGOFS-Programm assoziierten Forschungsfahrtendaten

'JGOFS affiliated'	Year	Ocean area	No. Files	Raw Data Volume	Processed	Non Processed	Marginal data
M10/4	1989	NA	14	108.7 MB	100%	0%	0%
M12/3	1990	NA	3	0.1 MB	82%	18%	0%
M21/4	1992	NA	1	0.1 MB	0%	100%	0%
M21/5	1992	NA	1	0.1 MB	0%	100%	0%
M22/1	1992	NA					
M22/5	1992	NA	35	0.8 MB	86%	14%	0%
M26/3	1993	NA	1	0.1 MB	100%	0%	0%
M27/1	1993	NA	1	0.1 MB	100%	0%	0%
M30/1	1994	NA					
M30/3	1994	NA					
M31/2	1995	IO	36	3.1 MB	100%	0%	0%
M31/3	1995	IO	63	6.9 MB	61%	39%	0%
M32/1	1995	IO					
M32/2	1995	IO					
M32/4	1995	IO	3	0.3 MB	0%	99%	1%
M32/6	1995	IO					
M36/6	1996	NA	115	15.0 MB	34%	24%	42%
M37/1	1996	NA					
M37/2	1996	NA	104	5.6 MB	100%	0%	0%
M42/1	1998	NA	135	9.8 MB	99%	1%	0%
M42/2	1998	NA					
M42/4	1998	NA					
M45/4	1999	NA					
Po202/1	1994	NA	71	5.5 MB	100%	0%	0%
Po202/3	1994	NA					
Po209/2	1994	NA	2	4.2 MB	100%	0%	0%
Po212/1	1995	NA	7	0.3 MB	100%	0%	0%
Po212/2	1995	NA	48	4.0 MB	100%	0%	0%
Po212/3	1995	NA	41	3.1 MB	100%	0%	0%
Po219/a	1996	NA	48	2.7 MB	100%	0%	0%
Po233/a	1997	NA	77	5.0 MB	100%	0%	0%
Po233/b	1997	NA	9	0.4 MB	100%	0%	0%
Po233/c	1997	NA	20	0.7 MB	100%	0%	0%
Po233/d	1997	NA	5	0.1 MB	100%	0%	0%
Po237/2	1998	NA	25	1.2 MB	100%	0%	0%
Po237/3	1998	NA	2	0.0 MB	100%	0%	0%
Po247/2	1999	NA	4	0.1 MB	100%	0%	0%
Po247/3	1999	NA	4	0.1 MB	100%	0%	0%
Po248	1999	NA					
Po249	1999	NA					
Po257	2000	NA					
Po259/1	2000	NA					
Po259/2	2000	NA					
Po267	2001	NA					
Po268	2001	NA					
So117	1997	NA	8	0.4MB	7%	93%	0%
So129	1998	NA	6	0.2MB	0%	100%	0%
VH95/12	1995	NA					
VHA1/96-2	1996	NA					
VHA1/96-3	1996	NA	24	0.4MB	100%	0%	0%
VH97/3-3	1997	NA					
Hei42	1993	NA	2	0.0MB	0%	100%	0%
Hei63	1994	NA	2	0.1MB	0%	100%	0%
Hei75	1995	NA	2	0.1MB	0%	100%	0%
ANTIX/3	1991	SO					
ANTXVIII/5b	2001	SO					
Sum			919	179.2MB	92%	4%	3%

JGOFS-Verankerungen wurden an drei Positionen im Nordatlantik und an fünf Positionen im Arabischen Meer ausgebracht (vgl. Tab. 6). Da die meisten Verankerungen jährlich gewartet und mit Geräten neu bestückt wurden, ergaben sich insgesamt 30 Einsätze von JGOFS-Verankerungen.

Tab. 6: Übersicht über die ‚JGOFS‘-Dauerverankerungen

‚JGOFS‘ Moorings	Year	Ocean area	Deployments
L1	1993-99	NA	6
L2	1992-96	NA	10
L3	1992-96	NA	6
CAST	1995/97	IO	2
EAST	1996-97	IO	2
WAST	1995/97	IO	2
SAST	1995	IO	1
NAST	1995	IO	1
Sum			30

Die Sedimentfallendaten, die an allen Verankerungen gewonnen wurden, liegen als Synthesewerk in einer Datei vor. Sie sind daher nicht sinnvoll nach obigem Schema darstellbar.

7.5.3. Datenzugang und Langzeitarchivierung

JGOFS war eines der ersten deutschen meereskundlichen Projekte, das ein zentrales Datenmanagement hatte. Es war ein Ziel des Datenmanagements, dass der Forschung der größte Teil der Messergebnisse auch in Zukunft in einer systematisch organisierten Form über das Internet zur Verfügung steht. Ein wichtiger Aspekt in der Synthesephase von JGOFS war daher die Überführung der JGOFS Daten in das World Data Center (WDC) – Mare in Bremen. Damit ist ihre Langzeitarchivierung außerhalb der JGOFS-Projektlaufzeit gesichert. Das WDC-Mare wird in Zusammenarbeit mit dem Internationalen JGOFS-Projektbüro weiterhin eine Daten-DVD produzieren, die die verfügbaren Daten der internationalen JGOFS Projekte umfassen soll und die zur weiteren Verbreitung der Daten und ihrer langfristigen Verfügbarkeit zusätzlich beitragen wird. Die Aufrechterhaltung des Zugangs zu den Daten per World Wide Web oder DVD ist eine wichtige Voraussetzung für die Nutzung der Daten in anderen Projekten und für die Modellierung.

Onlinedaten: Alle Daten, die beim JGOFS Datenmanagement abgeliefert wurden, sind mittlerweile frei. Die Daten sind über das Internet auf der Webseite des Datenmanagements (www.ifm.uni-kiel.de/jgofs/dm) zugänglich. Hier sind für den Benutzer einige Hilfestellungen realisiert. Die Webseiten sind nach Schiffsreisen strukturiert und innerhalb einer Seite nach Datentypen. Neben allgemeinen Informationen zum Fahrtabschnitt gibt es Angaben über die vorhandenen Messparameter. Falls es zu einer Reise Daten in PANGAEA gibt, existiert dort ein Link, der schon eine vorformulierte Datenabfrage an PANGAEA enthält. PANGAEA-Datensätze können relativ einfach mit dem Programm Ocean Data View (www.awi-bremerhaven.de/GEO/ODV/) graphisch dargestellt werden. Hinweise dazu finden sich unter www.pangaea.de/Software/. Auf den Webseiten des JGOFS-Datenmanagement finden sich zusammenfassende Grafiken, die mit ODV erstellt wurden und dem Benutzer einen ersten optischen Eindruck der Daten geben, die er herunterladen kann.

Die Daten werden online über das Dateninformationssystem PANGAEA zur Verfügung gestellt. Im System befinden sich rund 1.4 Millionen vollständig referenzierte Messwert-

Datensätze (data records). Für die PANGAEA-Datenausgabe werden die Messwert-Datensätze (data records) zu neuen Einheiten zusammengepackt. Diese Datensätze (data sets) orientieren sich an den Geräteeinsätzen, z. B. an einem Tiefenprofil einer CTD mit Wasserkransschöpfer. Bei Projektende sind 1699 Tiefenprofile, 408 Schöpferprofile und 21 Zeitserien online verfügbar. Als zentrale Suchmaschine dient das Programm PangaVista des PANGAEA-Informationssystems. Dabei ist es egal, ob man sich über www.wdc-mare.org oder www.pangaea.de einwählt. Die Datenzugangsschnittstelle ist identisch.

Durch Eingabe von geeigneten Suchbegriffen, die durch ein logisches ‚UND‘ miteinander verknüpft werden, kann sich der Nutzer Datensätze zusammensuchen. Er hat auch die Möglichkeit über die Eingabemaske den geographischen Raum einzuschränken. Hinter dem Link ‚Show map‘ verbirgt sich auch die Möglichkeit, Datensätze per Rahmenauswahl mit der Maus zu selektieren. Prinzipiell sind die Datensätze in PANGAEA als sog. Events gespeichert; d. h. man bekommt z. B. das Tiefenprofil eines Geräteeinsatzes an einer Station.

Die umfangreichen Zeitreihenmessdaten stellen ein besonderes Problem dar. Hier sind besonders die Schiffs-DVS-Daten und die Lichtmessungen zu nennen. Diese Randdaten würden aufgrund ihrer Quantität die Leistung des PANGAEA-Datenbankservers stark belasten. Da sie gleichzeitig für die meisten Untersuchungen nur geringe Relevanz besitzen, können diese marginalen Daten noch nicht in Online-Datenbanksysteme transferiert werden. Sie werden daher nur als Dateidownload-Link in der Datenmanagement-Webseite angeboten.

Datenanfragen: Die Zahl der direkten Datenanfragen beim Datenmanager ist in dieser Projektphase naturgemäß stark zurückgegangen. Da immer weniger Wissenschaftler noch am JGOFS-Programm aktiv beteiligt waren, sie zudem auch ihren Datenbedarf schon in den Vorjahren decken konnten bzw. schon die Online-Datenzugänge (anonym) nutzen konnten, wurden nur acht der Anfragen persönlich abgewickelt.

Solange der Datenmanager am Institut für Meereskunde beschäftigt ist, wird es möglich sein, auch Daten bzw. Datenprodukte zu beziehen. Danach werden die Rohdaten in geeigneter Weise auf Servern und CD-ROMs am IfM bzw. am WDC-Mare zur Verfügung stehen.

Internationale JGOFS-Datensammlung: Im Mai 2003 ist eine Daten-DVD erschienen, die alle deutschen JGOFS-Daten enthält, die bis zum 31. März 2003 im Dateninformationssystem PANGAEA gespeichert waren (s. Anhang). Auf dieser DVD wurden weiterhin alle CD-ROMs kopiert, die bis dahin international erschienen sind, u. a. auch die vom deutschen JGOFS-Datenmanager erstellte Daten-CD aus dem Jahre 1999.

Das Weltdatenzentrum WDC-Mare plant die Integration aller internationalen JGOFS-Daten in ihr Datenbanksystem. Nach Abschluss dieser Arbeiten wird im Jahre 2005 eine zweite Daten-DVD erscheinen können.

7.5.4. Workshops

Der deutsche Datenmanager nahm in dieser Projektphase an dem abschließenden DMTT-Workshop, der vom 13.-15. März 2003 am BODC in Bidston/England stattfand und dem abschließenden nationalen JGOFS – Workshops in Kiel (12. - 13. Juni 2003) teil und präsentierte den aktuellen Stand des deutschen Datenmanagements.

7.5.5. Stand des Vorhabens im Vergleich zur Antragsplanung

Die systematische Aufarbeitung der deutschen JGOFS-Daten hat vor allem in den letzten drei Jahren statt gefunden. In dieser Zeit ist es gelungen, 86% des gesamten Datenbestands (Datenvolumen) zu bearbeiten. Insgesamt wurden 1699 Tiefenprofile, 408 Schöpferprofile, 21 Zeitserien und die Sedimentfallendaten in das World Data Center WDC-Mare für die Langzeitarchivierung überführt.

Bei Projektende gibt es noch einen Restdatenbestand von rund 113 MB, der noch nicht weiter bearbeitet werden konnte. Ein wichtiger Teil dieser Daten umfasst die Messwerte der Meteor Fahrt M32 aus dem Jahre 1995. Der Grund dafür, dass diese Daten noch nicht aufgearbeitet werden konnten, liegt in den oben aufgeführten Problemen der mangelnden Standardisierung der Daten und ihrer Zuordnung zu Metadaten.

Dieser Rohdatenbestand wird entweder nach Projektende von Herrn Herrmann noch weiter aufgearbeitet werden und/oder an das WDC-Mare übergeben werden. Eine zuverlässige, dauerhafte Archivierung wird gewährleistet.

Die Teilnahme am internationalen JGOFS Datenmanagement und den Workshops erfolgte entsprechend der Antragsplanung.

7.6. Öffentlichkeitsarbeit (K. Lochte, R. Peinert, M. Meyerhöfer)

7.6.1. Generelle Öffentlichkeitsarbeit

Die Rolle des Ozeans für das globale Klima und die Konzepte der Kohlenstoffflüsse im Ozean sind für Laien schwer verständlich. Es war daher eine Zielsetzung des Verbundvorhabens, Materialien zu entwickeln, die auf Ausstellungen eingesetzt werden können und die für die breite Öffentlichkeit in leicht verständlicher Form Aspekte des Kohlenstoffkreislaufs im Ozean und den Zusammenhang mit dem Klima zu erläutern. Es wurden zwei interaktive Power Point-Präsentationen mit Vertonung entwickelt, die auf CD zur Verfügung stehen (s Anhang). Beide CDs stehen allen Projektpartnern zur Verfügung und wurden bei verschiedenen Gelegenheiten eingesetzt.

1: Phytoplankton

- Was ist Phytoplankton?
- Der Jahresgang des Phytoplanktons
- Was hat Phytoplankton mit dem Klima zu tun?

2: Der Monsun im Ozean

mit zahlreichen Unterthemen

Die Präsentation „Der Monsun im Ozean“ wurde gemeinsam mit dem Verbundprojekt JGOFS Indik erstellt.

Die Präsentation „Phytoplankton“ wurde im Jahr der Geowissenschaften bei öffentlichen Veranstaltungen in Kiel gezeigt (Volvo Ocean Race, Kieler Woche). Weiterhin war sie Teil

der Ausstellungen auf dem Binnenschiff JENNY, das im Jahr 2002 als Ausstellungsschiff ganz Deutschland bereiste und Themen der Meeresforschung einem großen Publikum nahe brachte. Die Präsentation „Der Monsun im Ozean“ wurde auf der JGOFS Abschlussveranstaltung in Kiel im Juni 2003 und bei öffentlichen Veranstaltungen in Bremen gezeigt. Weiterhin wurde sie für Schulen zur Verfügung gestellt (s. unten).

7.6.2. Zusammenarbeit mit Lehrern und Schülern

Auf die Entwicklung von Informationsmaterial für Lehrer wurde besonderer Wert gelegt, da sie als Multiplikatoren eine sehr große Wirkung bei der Vermittlung neuer Wissensinhalte haben. Zu diesem Zweck arbeitete das Verbundvorhaben eng mit dem Leibnitz Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) an der Universität Kiel zusammen. Ausgewählte JGOFS Fragestellungen und Ergebnisse wurden so aufbereitet, dass sie für Lehrer und Schüler verständlich in das übergreifende Unterrichtsthema des globalen Kohlenstoffkreislaufes eingeordnet werden können. Erfahrungen damit wurden 2001 und 2002 in Lehrerfortbildungsseminaren in Kiel und Bochum, sowie auch in einer Begleitveranstaltung des "Volvo Ocean Race" in Kiel gewonnen. Eine weitere Lehrerfortbildung findet am 4.-6. Februar 2004 in Bad Doberan statt, zu der ebenfalls Beiträge aus dem JGOFS Syntheseprojekt einfließen werden. Auch zukünftig sollen diese Ergebnisse in weitere Multiplikatorveranstaltungen eingebracht werden und von Wissenschaftlern der JGOFS Synthese vorgestellt werden.

Die am Institut für Meereskunde Kiel erarbeiteten Materialien wurden 2003 in einer öffentlichen Vortrags- und Diskussionsveranstaltung Schülern und Lehrern höherer Schulen des Landes Schleswig-Holstein vorgestellt und überreicht. Eine erstellte Mappe liefert auf 50 Seiten mit Text und Abbildungen eine verständliche Darstellung grundlegender Prozesse, die für das Verständnis des ozeanischen Kohlenstoffkreislaufes wichtig sind und gibt JGOFS Ergebnissen einen Rahmen. Vertiefende Informationen zu einem der JGOFS Untersuchungsgebiete, dem Indischen Ozean, wurden in Form einer CD-Rom zusammengestellt (siehe Anhnag), mit der sich Schüler im Unterrichts und außerhalb in Eigenarbeit befassen können.

In Zusammenarbeit mit dem Leibnitz Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel wurden Teile dieser Materialien zur Veröffentlichung aufgearbeitet für die Zeitschrift "Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule" (Lucius et al., im Druck; Peinert et al., im Druck).

Die in der JGOFS Synthesephase intensive und erfolgreiche Zusammenarbeit mit dem IPN hat die Notwendigkeit der gezielten Aufbereitung aktueller Forschungsergebnisse für Lehr- und Informationszwecke unterstrichen, ohne die auch vorgebildete Laienzielgruppen nur schwer erreicht werden können. Sie hat das große Bedürfnis der Öffentlichkeit nach fachkompetenter Information unterstrichen, auf das die Meereswissenschaften im eigenen Interesse in Zusammenarbeit mit medien- und zielgruppenerfahrenen Institutionen reagieren müssen.

8 VORAUSSICHTLICHER NUTZEN, VERWERTBARKEIT UND ERFAHRUNGEN

JGOFS war eines der ersten Forschungsgroßprojekte, das eine explizit geförderte Synthesephase hatte. Dies hat die synoptische Interpretation von Beobachtungs- und Modelldaten in einer bisher nicht gekannten Weise ermöglicht und damit wesentlich zum Erfolg des Gesamtprojektes beigetragen. Aus diesem Syntheseprojekt lassen sich daher Empfehlungen bzw. offene Fragen für Folgeprojekte ableiten. Das ist insofern von besonderer Bedeutung, da zur Zeit der Science Plan und der Implementation Plan für das neue biogeochemische Ozeanprojekt von IGBP erstellt werden. Dieses neue IGBP Projekt trägt den Namen „Integrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research“ (IMBER) und soll im Jahr 2004 durch IGBP und SCOR evaluiert und als internationales Programm eingesetzt werden. Empfehlungen, die im JGOFS Syntheseprojekt erarbeitet wurden, sind in diese Forschungspläne eingeflossen, da einige der deutschen Autoren des Science Plans an der JGOFS Synthese direkt oder indirekt beteiligt waren.

8.1. Wissenschaftliche Themen mit besonderer Bedeutung für zukünftige Forschungsprojekte in der marinen Biogeochemie

Das Schicksal des im Rahmen der ‚carbon overconsumption‘ gebundenen Kohlenstoffs ist nicht zweifelsfrei geklärt. Hierzu wären genauere Untersuchungen der gelösten organischen Substanz (DOC, DON, DOP) notwendig. Nur dann kann man klären, welchen Beitrag (ob überhaupt) die ‚carbon overconsumption‘ zum Kohlenstoffexport liefert, auf welchen Zeitskalen dies geschieht und in wie weit es zu einem langfristigen Export in die Tiefe kommt.

Die Rolle und das Ausmaß der N₂-Fixierung ist für den Atlantik noch nicht ausreichend bekannt. Es wird vermutet, dass dieser Prozess durch die Versorgung von biologisch nutzbarem Eisen durch Staubeintrag im temperierten und tropischen Nordatlantik gefördert wird. Die daran beteiligten Organismen, die regionale Verbreitung und die Steuerung der N₂-Fixierung sind noch offenen Fragen. Hier wären Untersuchungen notwendig, um den Beitrag dieses Prozesses zur Nettokohlenstoff-Festlegung zu bestimmen.

Viele Detailstudien und Syntheseuntersuchungen haben die Rolle von Partikeln einerseits und gelöster organischer Substanz andererseits für den langfristigen Kohlenstoffexport untersucht. Eine großräumige synoptische Quantifizierung der relativen Bedeutung dieser beiden Exportwege fehlt aber. Dies ist von Bedeutung, da Partikelexport bzw. Export in Form gelöster organischer Materie in unterschiedlicher Weise auf klimabedingte Schwankungen der Zirkulation zurückwirken werden.

Viele der Berechnungen und Modelle beruhen auf Sinkstofffallendaten. Jedoch ist die Verlässlichkeit der Daten zum vertikalen Fluss immer noch ein kontroverses Thema. Es werden bessere quantitative Daten zum vertikalen Fluss von Kohlenstoff und der assoziierten Elemente benötigt, um Fortschritte in der Abschätzung der Effektivität der Biologischen Pumpe unter verschiedenen klimatischen Bedingungen und in der Modellierung machen zu können.

8.2. Empfehlungen für zukünftige Datenerhebungen

Trotz der frühen Einrichtung eines zentralen Datenmanagements in JGOFS wurden im Laufe des Projektes spezielle Probleme und Schwierigkeiten deutlich, die hier zusammengefasst werden sollen, um allgemeine Empfehlungen für das Datenmanagement zu geben.

1) Sehr nachteilig auf die Archivierung der Daten wirkt sich der lange zeitliche Abstand zwischen der Datenerhebung und ihrer datentechnischen Bearbeitung aus. Die letzte, große JGOFS-relevante Fahrt fand 1997 statt; die abschließende Datenbearbeitung im obigen Sinne erfolgte erst 2002. Da viele Datenerzeuger/Bearbeiter nach ein paar Jahren für Rückfragen oft nicht mehr zur Verfügung stehen, ist es außerordentlich schwierig, solche Daten zu organisieren. Dadurch entsteht ein zusätzlicher Arbeitsaufwand, der die Bearbeitung sehr stark verlangsamt. Aus diesem Grunde müssen die Datenerfassung und deren Aufarbeitung durch den Wissenschaftler und das Datenmanagement zeitgleich erfolgen. Eine Eingangskontrolle der abgegebenen Daten muss sofort durchgeführt werden. Unkalibrierte Rohdaten dürfen nur in Absprache an das Datenmanagement geliefert werden. Ein solch konsequentes Vorgehen würde den Umfang, die Aktualität und die Qualität der Daten, die anderen Forschern jetzt und auch in der Zukunft zugänglich gemacht werden sollen, erheblich steigern.

2) Ein außerordentlich hoher Arbeitsaufwand ist für die Synchronisation der diskreten Daten mit ihren Metadaten anzusetzen, vor allem wenn die Daten von verschiedenen Bearbeitern zu einem Fahrtabschnitt zugeliefert wurden. Die meisten Wissenschaftler protokollieren nur die Metadaten, die sie für ihre Arbeit relevant halten. Da es keine Vereinheitlichung in den Datenformaten und den Metadaten der Probennahme gab, ist es sehr mühsam, Daten konsistent zu halten. Das Datenmanagement muss daher schon in der Planungsphase einer Expedition miteinbezogen werden. Im Vorfeld müssen bindende Absprachen über Datenformate und Metadatenerfassung getroffen werden.

3) Zur Verbesserung der Datenerfassung auf Expeditionen wurde daher vom Datenmanager ein Schema der sofortigen Erfassung von Metadaten und der eindeutigen Zuordnung der Messdaten auf der Basis des „Bedford Systems“ entwickelt. Dabei werden an einer (!) zentralen Stelle alle für die Probennahme relevanten Metadaten notiert. Über eine eindeutige Indexnummer ist jede diskrete Probennahme später eindeutig referenzierbar. Die Indexnummern werden auf Aufkleber gedruckt und dann vor der Probennahme auf den entsprechenden Probennahmebehälter geklebt. Der Wissenschaftler muss sich während der Probennahme also nicht mehr um die Protokollierung der Metadaten kümmern, sondern muss sich nur noch die Indexnummer merken. Da das System schon die spätere relationale Datenbankstruktur widerspiegelt, werden Konsistenzprobleme im Vorfeld minimiert. Dadurch kann der Datenweiterverarbeitungsprozess erheblich beschleunigt werden.

9 FORTSCHRITT AUF DEM GEBIET DES VORHABENS AN ANDERER STELLE

Die im Rahmen der JGOFS Projekte erhobenen Daten wurden auch von anderen Gruppen für Synthese und Analyse der Biogeochemie des Nordatlantik genutzt. Diese Ergebnisse wurden u.a. auf der JGOFS Final Open Science Conference in Washington, 5. – 8. Mai 2003 (<http://usjgofs.whoi.edu/osc2003.html>) und in Special Sessions auf der European Geosciences Union (EGU) Tagung in Nizza, 6. – 11. April 2003, vorgestellt. Von Relevanz bei der EGU Tagung waren folgende Sessions:

-Open session on the biogeochemistry of the oceanic carbon cycle (Conveners: M. Follows, W. Koeve)

-Eddy and frontal scale processes in ocean biogeochemistry: observations and models (Conveners: L. Mémry, R. Williams, D. McGillicuddy)

Diese Veranstaltungen wurden z.T. von den Antragstellern und Mitarbeitern in diesem JGOFS Syntheseprojekt mit getragen. Daher sind die an anderer Stelle erzielten Ergebnisse nicht unabhängig vom BMBF Syntheseprojekt entstanden und reflektieren zum Teil die oben zitierten Ergebnisse.

10 ZITIERTE LITERATUR

- Abrantes, F., H. Meggers, S. Nave, J. Bollmann, S. Palma, C. Sprengel, J. Henderiks, A. Spies, E. Salgueiro, T. Moita and S. Neuer (2002). Flux of micro-organisms along a productivity gradient in the Canary Island region (29°N): implications for paleoreconstructions. *Deep-Sea Research II*, 49, 3599-3629.
- Antia A. N., W. Koeve, G. Fischer, T. Blanz, D. Schulz-Bull, J. Scholten, T. Mitzka, S. Neuer, K. Kremling, J. Kuß, D. Hebbeln, U. Bathmann, U. Fehner and B. Zeitzschel (2001) Basin-wide particulate carbon flux in the Atlantic Ocean: regional export patterns and potential for atmospheric carbon sequestration. *Global Biogeochemical Cycles* 15, 845-862.
- Antoine D., J.-M. André and A. Morel, (1996). Oceanic primary production. 2. Estimation at global scale from satellite (coastal zone color scanner) chlorophyll. *Global Biogeochem. Cycles*, 10, 57-69.
- Behrenfeld M. J. and P. G. Falkowski (1997). Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentrations. *Limnol. Oceanogr.*, 42, 1-20.
- Davenport, R., S. Neuer, A. Hernández-Guerra, M.J. Rueda, O. Ollinas, G. Fischer, and G. Wefer (1999). Seasonal and interannual pigment concentration in the Canary Islands region from CZCS data and comparison with observations from the ESTOC. *Int. J. Remote Sensing*, 20, 1419-1433.
- Davenport, R., S. Neuer, P. Helmke, J. Perez-Marrero, O. Llinas and G. Wefer (2002). Primary production in the northern Canary Islands region as inferred from SeaWiFS imagery. *Deep-Sea Res. Part II*, 49, 3481-3496.
- Fischer, G., S. Neuer, R.A. Davenport, O. Romero, V. Ratmeyer, B. Donner, T. Freudenthal, H. Meggers and G. Wefer (subm.). Control of ballast minerals on organic carbon export in the Eastern Boundary Current system (EBCs) off NW Africa. In: *Carbon and Nutrient Fluxes in Continental Margins: A Global Synthesis*. K.-K. Liu et al. (Ed.). Springer Verlag.
- Freudenthal, T., S. Neuer, H. Meggers, R. Davenport and G. Wefer (2001). Influence of lateral particle advection and organic matter degradation on sediment accumulation and stable nitrogen isotope ratios along a productivity gradient in the Canary Islands region. *Marine Geology*, 177, 93-109.
- Ganssen, G. and G. Wefer, (eds) (2000). Particle flux and its preservation in deep sea sediments. *Deep-Sea Res. Part II* 47 (9-11) 1679-2279.
- Gunson, J., A. Oschlies and V. Garçon (1999). Sensitivity of ecosystem parameters to simulated satellite ocean colour data using a coupled physical-biological model of the North Atlantic. *J. Mar. Res.*, 57, 613-639.
- Helmke, P., R.A. Davenport and H. Kuhlmann (subm.). Wind stress-related filament structures off Cape Ghir, NW Africa, *Deep-Sea Res. I*.
- Holfort, J., K.M. Johnson, B. Schneider, G. Sieder and D.W.R. Wallace (1998). Meridional transport of dissolved inorganic carbon in the South Atlantic Ocean. *Global Biogeochem. Cycles*, 12, 478-499.
- Kähler P. and W. Koeve (2001). Marine dissolved organic matter: can its C/N ratio explain carbon overconsumption?. *Deep-Sea Res. I*, 48, 49-62.
- Kähler, P. and E. Bauerfeind (2001) Organic particles in shallow sediment traps: substantial loss to the dissolved phase. *Limnol. Oceanogr.* 46, 719-723.
- Karl, D.M., N. Bates, P.J. Harrison, C. Jeandel, O. Llinás, K.K. Liu, J.-C. Marty, A.F. Michaels, J. C. Miquel, S. Neuer, Y. Nojiri and C. S. Wong (2003). Temporal studies of biogeochemical processes determined from ocean time-series observations during the JGOFS era. In: *Ocean Biogeochemistry: The role of the ocean carbon cycle in global change*. M. J. R. Fasham (Ed.). International Geosphere-Biosphere Programme Book Series Nr. Springer-Verlag, 239-267.
- Körtzinger, A., L. Mintrop and J.C. Duinker (1998). On the penetration of anthropogenic CO₂ in the North Atlantic Ocean. *J. Geophys. Res.*, 103, 18, 681-18,689.
- Körtzinger, A., L. Mintrop and J.C. Duinker (1999a). The International Intercomparison Exercise of Underway fCO₂ Systems During the R/V Meteor Cruise 36-1 in the North Atlantic Ocean. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, Report ORNL/CDIAC-91 NDP-067.

- Körtzinger, A., M. Rhein and L. Mintrop (1999b). Anthropogenic CO₂ and CFCs in the North Atlantic Ocean - A comparison of man-made tracers. *Geophys. Res. Letters*, 26, 2065-2068.
- Körtzinger, A., W. Koeve, P. Kähler and L. Mintrop (2001). C:N ratios in the mixed layer during the productive season in the northeast Atlantic ocean. *Deep-Sea Res. Part I*, 48, 661-688.
- Koeve, W. (2001) Wintertime nutrients in the North Atlantic - New approaches and implications for estimates of seasonal new production. *Marine Chemistry*, 74, 245-260.
- Koeve, W. (2002). Upper ocean carbon fluxes in the Atlantic Ocean - the importance of the POC:PIC ratio. *Global Biogeochem. Cycles* DOI 10.1029/2001GB001836.
- Koeve W. (subm.-a). C:N stoichiometry of the biological pump in the North Atlantic - constraints from climatological data. *Global Biogeochem. Cycles*
- Koeve, W. (subm.-b). Spring bloom carbon to nitrogen ratio of net community production in the temperate N. Atlantic *Deep-Sea Res. I*
- Koeve, W. (subm.-c). Magnitude of excess carbon sequestration into the deep ocean and the possible role of TEP. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*
- Koeve, W., subm.-d. New production and shallow remineralisation in the Atlantic Ocean - uncertainties and limitations of particle flux algorithms. *J. Mar. Res.*
- Koeve, W. and H. Ducklow (eds) (2001) North Atlantic ocean Synthesis and Modelling. *Deep-Sea Res. Part II* 48 (10), 2141-2424.
- Lochte, K. and J. Prena (2000). Atlantic Data Base for Exchange Processes at the Deep Sea Floor (ADEPD). *EU Final Scientific Report*, 34 pp.
- Lucius, E.R., K. Hildebrand und K. Lochte (in press). Der globale Kohlenstoffkreislauf als System. *Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule*.
- Meggers, H., T. Freudenthal, S. Nave, J. Targarona, F. Abrantes and P. Helmke (2002). Assesment of geochemical and micropaleontological sedimentary parameters as proxies of surface water properties in the Canary Islands region, *Deep-Sea Research II*, 49, 3631-3654.
- Mintrop, L., Pérez, F.F., Gonzalez-Davila, M., Santana-Casiano, J.M., Körtzinger, A. (2000). Alkalinity determination by potentiometry – Intercalibration using three different methods. *Ciencias Marinas*, 26, 23-27.
- Neuer, S., V. Ratmeyer, R. Davenport, G. Fischer and G. Wefer (1997). Deep water particle flux in the Canary Island region: seasonal trends in relation to long-term satellite derived pigment data and lateral sources. *Deep-Sea Research I*, 44, 8, 1451-1466.
- Neuer, S., T. Freudenthal, R. Davenport, O. Llinas and M.-J. Rueda (2002a). Seasonality of surface water properties and particle flux along a productivity gradient off NW Africa. *Deep-Sea Research II* 49(17) 3561-3576.
- Neuer, S., R.A. Davenport, T. Freudenthal, G. Wefer, O. Llinás, M.-J. Rueda, D.K. Steinberg and D.M. Karl (2002b) Differences in the biological carbon pump at three subtropical ocean sites. *Geophysical Research Letters*, 29 (18), 32-1 to 32-3.
- Oschlies, A. (1999). On spurious interactions between mixed layer model, convective adjustment, and isopycnal mixing in ocean circulation models. *Mon. Weather Rev.*, 127, 1920-1927.
- Oschlies, A. (2000). Equatorial nutrient trapping in biogeochemical ocean models: the role of advection numerics. *Global Biogeochem. Cycles*, 14, 655-667.
- Oschlies, A. (2002). Nutrient supply to the surface waters of the North Atlantic: A model study. *J. Geophys. Res.* 107, C5.
- Oschlies, A. and V. Garçon (1998). Eddy-induced enhancement of primary production in a model of the North Atlantic Ocean. *Nature*, 394, 266-269.
- Oschlies, A. and V. Garçon (1999). An eddy-permitting coupled physical-biological model of the North Atlantic. Part I: Sensitivity to advection numerics and mixed layer physics. *Global Biogeochem. Cycles*, 13, 135-160.
- Oschlies, A., W. Koeve and V. Garçon (2000). An eddy-permitting coupled physical-biological model of the North Atlantic Part II: Ecosystem dynamics and comparison with satellite and JGOFS local studies data. *Global Biogeochem. Cycles*, 14, 499-523.
- Oschlies, A. and P. Kähler (in press). Biotic contribution to air-sea fluxes of CO₂ and O₂ and its relation to new production, export production, and net community production. *Global Biogeochem. Cycles*.
- Pahlow, M. and U. Riebesell (2000) Temporal trends in deep ocean Redfield ratios. *Science*, 287, 831-833.
- Parilla, G., S. Neuer, P.-Y. Le Taon and E. Fernández-Suárez (eds) (2002a). Canary Islands, Azores, Gibraltar Observations (CANIGO) Volume I : Studies in the northern Canary Islands Basin. *Deep-Sea Res. Part II* 49 (17): 3409-3705.
- Parilla, G., S. Neuer, P.-Y. Le Taon and E. Fernández-Suárez (eds) (2002b). Canary Islands, Azores, Gibraltar Observations (CANIGO) Volume II : Studies of the Azores and Gibraltar Regions. *Deep-Sea Res. Part II* 49 (19): 3951-4270.
- Peinert, R., H. Bayrhuber und K.Lochte (in press). Ozean und der globale Kohlenstoffkreislauf. *Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule*.

- Pérez, F.F., M. Alvarez and A.F. Rios (2002). Improvements on the back-calculation technique for estimating anthropogenic CO₂. *Deep-Sea Research I*, **49**, 859-875.
- Ratmeyer, V., G. Fischer and G. Wefer (1999). Lithogenic particle fluxes and grain size distributions in the deep ocean off northwest Africa: Implications for seasonal changes of aeolian dust input and downward transport. *Deep-Sea Res. I*, **46**, 1289-1337.
- Sabine, C.L., R.M. Key, C. Goyet, K.M. Johnson, F. Millero, J. Sarmiento, D. Wallace and C. Winn (1998). Anthropogenic CO₂ Inventory of the Indian Ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, **13**, 179-198.
- Sambrotto, R. N., G. Savidge, C. Robinson, P. Boyd, T. Takahashi, D. M. Karl, C. Langdon, D. Chipman, J. Marra and L. Codispoti (1993). Elevated consumption of carbon relative to nitrogen in the surface ocean. *Nature*, **363**, 248-250.
- Schmittner, A., A. Oschlies, X. Giraud, and M. Eby (subm.). A global model of the marine ecosystem for multi-millennial simulations. *Global Biogeochem. Cycles*.
- Schneider, B., A. Oschlies, J. Karstensen and R. Schlitzer (subm.). Model-based evaluation of methods to determine C:N and N:P regeneration ratios from dissolved nutrients. *Global Biogeochem. Cycles*.
- Scholten, J. C., J. Fietzke, S. Vogler, M. Rutgers van der Loeff, A. Mangini, W. Koeve, J. Waniek, P. Stoffers, A. Antia and J. Kuss (2001). Trapping efficiency of sediment traps from the deep eastern North Atlantic: the ²³⁰Th calibration. *Deep-Sea Res. Part II*, **48**, 2383-2408.
- Toggweiler, J. R. (1993). Carbon overconsumption. *Nature* **363**, 210-211.
- Wallace, D.W.R., (2001). Ocean Measurements and Models of Carbon Sources and Sinks, *Global Biogeochemical Cycles*, **15**, 3-10.
- Waniek, J., W. Koeve and R. D. Prien (2000.) Trajectories of sinking particles and the catchment areas above sediment traps in the northeast Atlantic. *J. Mar. Res.*, **58**, 983-1006.
- Waniek, J., D.E. Schulz-Bull, T. Blanz, R. D. Prien, A. Oschlies, and T. J. Müller (subm.). Interannual variability of deep water particle flux in relation to production and lateral sources in the northeast Atlantic. *Deep-Sea Res. I*.

11 ERFOLGTE ODER GEPLANTE VERÖFFENTLICHUNGEN

11.1 Artikel

Koordination:

- Lucius, E.R., K. Hildebrand und K. Lochte (in press). Der globale Kohlenstoffkreislauf als System. *Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule*.
- Peinert, R., H. Bayrhuber und K. Lochte. Ozean und der globale Kohlenstoffkreislauf (in press). *Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule*.
- Lochte, K., R. Anderson, R. Francois, R. A. Jahnke, G. Shimmield, and A. Vetrov (2003). Benthic Processes and the Burial of Carbon. In: *The role of the ocean carbon cycle in global change*, Ed. Fasham, M.J.R., Springer-Verlag, Berlin, pp. 195-216.

Teilprojekt 2: “Stöchiometrie der Biologischen Pumpe”

- Koeve, W. (subm.). C:N stoichiometry of the biological pump in the North Atlantic - constraints from climatological data. *Global Biogeochem. Cycles*
- Koeve, W. (subm.). Spring bloom carbon to nitrogen ratio of net community production in the temperate N. Atlantic *Deep-Sea Res. I*
- Koeve, W. (subm.). Magnitude of excess carbon sequestration into the deep ocean and the possible role of TEP. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*
- Koeve, W. (subm.). New production and shallow remineralisation in the Atlantic Ocean - uncertainties and limitations of particle flux algorithms. *J. Mar. Res*
- Koeve, W. (2002). Upper ocean carbon fluxes in the Atlantic Ocean - the importance of the POC:PIC ratio. *Global Biogeochem. Cycles* DOI 10.1029/2001GB001836.

Teilprojekt 3: “Die Klimasensitivität der Biologischen Pumpe”

- Oschlies, A. and P. Kähler (in press). Biotic contribution to air-sea fluxes of CO₂ and O₂ and its relation to new production, export production, and net community production. *Global Biogeochem. Cycles*.
- Schneider, B., A. Oschlies, J. Karstensen, and R. Schlitzer (subm.). Model-based evaluation of methods to determine C:N and N:P regeneration ratios from dissolved nutrients. *Global Biogeochem. Cycles*.
- Schmittner, A., A. Oschlies, X. Giraud, and M. Eby (subm.). A global model of the marine ecosystem for multi-millennial simulations. *Global Biogeochem. Cycles*.
- Waniek, J., D.E. Schulz-Bull, T. Blanz, R. D. Prien, A. Oschlies, and T. J. Müller (subm.). Interannual variability of deep water particle flux in relation to production and lateral sources in the northeast Atlantic. *Deep-Sea Res. I*.

Teilprojekt 4: „Interannuelle Prozesse bei ESTOC“

- Neuer, S., R.A. Davenport, T. Freudenthal, G. Wefer, O. Llinás, M.-J. Rueda, D.K. Steinberg and D.M. Karl (2002). Differences in the biological carbon pump at three subtropical ocean sites. *Geophysical Research Letters*, 29 (18), 32-1 to 32-3.
- Karl, D.M., N. Bates, P.J. Harrison, C. Jeandel, O. Llinás, K.K. Liu, J.-C. Marty, A.F. Michaels, J. C. Miquel, S. Neuer, Y. Nojiri and C. S. Wong (2003). Temporal studies of biogeochemical processes determined from ocean time-series observations during the JGOFS era. In: *Ocean Biogeochemistry: The role of the ocean carbon cycle in global change*. M. J. R. Fasham (Ed.). International Geosphere-Biosphere Programme Book Series Nr. Springer-Verlag.
- Fischer, G., S. Neuer, R.A. Davenport, O. Romero, V. Ratmeyer, B. Donner, T. Freudenthal, H. Meggers and G. Wefer (subm.). Control of ballast minerals on organic carbon export in the Eastern Boundary Current system (EBCs) off NW Africa. In: *Carbon and Nutrient Fluxes in Continental Margins: A Global Synthesis*. K.-K. Liu et al. (Ed.). Springer Verlag.
- Helmke, P., R.A. Davenport and H. Kuhlmann (subm.). Wind stress-related filament structures off Cape Ghir, NW Africa, *Deep-Sea Research*.

Dissertationen:

Teile der ESTOC-Daten werden in noch nicht abgeschlossenen Dissertation an der Universität Bremen verwandt:

- Peer Helmke: „Fernerkundung des Nordafrikanischen Auftriebes und seine Produktionsdynamik“
- Robert Davenport: „Remote Sensing and Primary Production of the NW African Upwelling System“
- Iris Wilke: „Seasonal distribution and stable isotope composition of planktic foraminifera: From production to preservation“
- Jana Köster: „Interannuelle Variabilität des Kohlenstoff- und Nährstoffexportes in die Tiefsee an der Langzeitseriestation von ESTOC“

11.2 Vorträge (nicht vollständig)

- Koeve, W.: 16.12.03 in Toulouse, LEGOS. „Large scale biogeochemical diagnostics: the North Atlantic carbon machinery“
- Koeve, W.: 21.11.03 in Kiel, Kolloquium, Institut für Meereskunde. „Large scale biogeochemical diagnostics: the North Atlantic carbon machinery“ (INVITED)
- Koeve, W.: 12.6.03 in Kiel, JGOFS Synthesis and Modelling Project Meeting. „The carbon to nitrogen ratio of net community production in the North Atlantic Ocean - a synthesis“

- Koeve, W.: 10.04.03 in Nice, France. EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Session: Response of marine organisms and ecosystems to global environmental change. „The effective carbon flux in the Atlantic Ocean“
- Koeve, W.: 08.04.03 in Nice, France. EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Session: Open Session on the Biogeochemistry of the Oceanic Carbon Cycle. „Spring bloom carbon to nitrogen ratio of net community production in the temperate N. Atlantic“
- Koeve, W.: 8.01.03 in Toulouse, France. Réunion POMME - Annual meeting of the POMME project. „Carbon overconsumption during the spring bloom in the temperate North Atlantic“
- Koeve, W.: 7.01.03 in Toulouse, France. North Atlantic Synthesis Group Meeting (JGOFS). „Stoichiometry of new production and export in the North Atlantic“
- Koeve, W.: 26.09.02 in Kiel, JGOFS Synthesis and Modelling Project Meeting. „Magnitude, seasonality and fate of carbon overproduction“
- Koeve, W.: 25.4.02 in Nice, France. European Geophysical Society, XXVII General Assembly, Session: Biogeochemistry of the carbon cycle of the Atlantic Ocean. „C:N:P stoichiometry of new production in the North Atlantic“
- Koeve, W.: 6.12.01 in Kiel, JGOFS Synthesis and Modelling Meeting. „Carbon stoichiometry - uncertainties and limitations of estimates from particle flux algorithms“
- Lendt, R.: 5. – 6. Dezember 2001: Bericht über die Arbeiten im TP1, 1. JGOFS Synthese Workshop, Kiel
- Lochte, K.: Globaler Kohlenstoffkreislauf im Meer. Lehrerfortbildungsveranstaltung, Kiel, 28.2.2002
- Lochte, K.: The watery planet – future research in Earth System science. OCEANS Conference (invited plenary talk), 7.-10.1.2003, Paris
- Lochte, K.: The ocean in the Earth System. 3rd IGBP Congress “Connectivities in the Earth System” (invited plenary talk), 19.-24.6.2003, Banff, Canada.
- Meggers, H., R.A. Davenport, T. Freudenthal, O. Llinás, S. Neuer, M.-J. Rueda and G. Wefer: Interannuelle Prozesse bei ESTOC „European Station for Time-Series in the Ocean Canary Islands“. 2. JGOFS Synthesis Workshop – Kiel, 12-13.06. 2002.
- Meggers, H.: First seven years of biogeochemical data at ESTOC. 3. JGOFS Synthesis Workshop – Kiel, 26-27.09. 2003.
- Mintrop, L.: 26. – 27. September 2002: Teilprojekt 1: CARINA – Synthese und Interpretation der CO₂ Daten im Nordatlantik, 2. JGOFS Synthese Workshop, Kiel
- Neuer, S. Long-term assessment of microzooplankton grazing and impact on phytoplankton production in the eastern subtropical North Atlantic gyre. ICES Zooplankton Meeting, Gijon, Spain, 20-23.05.2003.
- Neuer, S. Differences in the biological carbon pump within the same biogeographical province: A case study from the subtropical North Atlantic Gyre. “Commentary talk” at the “JGOFS Open Science Conference”, Washington, 05.-08.05.2003.
- Neuer, S. The biogeochemistry of the Eastern Subtropical Atlantic: Insights from time-series station ESTOC. ASLO, Aquatic Sciences Meeting 2003, Salt Lake City, 8-14.02.2003.

11.3. Poster (nicht vollständig)

- Davenport, R.A., T. Freudenthal, H. Meggers, S. Neuer, O. Llinás and G. Wefer. Investigation of the productivity gradient off NW Africa using SeaWiFS imagery, sediment traps and analysis of surface sediments, Poster at the “JGOFS Open Science Conference”, Washington, 05.-08.05 2003.
- Garçon, V.; M. Fasham; H. Ducklow; W. Koeve; E. Fernandez; W.G. Harrison; R. Lowry; L. Mémerly; D. Siegel: 5.05.2003, Washington, DC, USA. A Sea of Change: JGOFS

- Accomplishments and the Future of Ocean Biogeochemistry. Final Open Science Conference of the Joint Global Ocean Flux Program. "Time series and process study sites in the North Atlantic during the JGOFS decade"
- Garçon, V.; M. Fasham; H. Ducklow; E. Fernandez; W.G. Harrison; W. Koeve; R. Lowry; L. Mémary; D. Siegel: 5.05.2003, Washington, DC, USA. A Sea of Change: JGOFS Accomplishments and the Future of Ocean Biogeochemistry. Final Open Science Conference of the Joint Global Ocean Flux Program. "Modelling and data assimilation in the North Atlantic: Towards GODAE"
- Koeve, W., M. Fasham; H. Ducklow; E. Fernandez; V. Garçon; W.G. Harrison; R. Lowry; L. Mémary; D. Siegel: 12./13.06.2003, Kiel, Germany. German JGOFS Synthesis and Modelling Project, Final Meeting. "Large scale biogeochemical diagnostics: the North Atlantic carbon machinery"
- Koeve, W., M. Fasham; H. Ducklow; E. Fernandez; V. Garçon; W.G. Harrison; R. Lowry; L. Mémary; D. Siegel: 5.05.2003, Washington, DC, USA. A Sea of Change: JGOFS Accomplishments and the Future of Ocean Biogeochemistry. Final Open Science Conference of the Joint Global Ocean Flux Program "Large scale biogeochemical diagnostics: the North Atlantic carbon machinery"
- Koeve, W.: 5.05.2003, Washington, DC, USA. A Sea of Change: JGOFS Accomplishments and the Future of Ocean Biogeochemistry. Final Open Science Conference of the Joint Global Ocean Flux Program. "The carbon to nitrogen ratio of net community production in the North Atlantic Ocean - a synthesis"
- Koeve, W.: 08.04.03 in Nice, France. EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Session: Open Session on the Biogeochemistry of the Oceanic Carbon Cycle. „The C:N ratio of new production in the North Atlantic Ocean“
- Koeve, W.: 24.06.2002, Ispra, Italy. Joint JGOFS/Gaim Synthesis Meeting. „The effective carbon flux in the Atlantic Ocean“
- Koeve, W.: 24.06.2002, Ispra, Italy. Joint JGOFS/Gaim Synthesis Meeting. „C:N stoichiometry of new production in the North Atlantic - constraints from climatological data“
- Mintrop, L.: Carbon dioxide in the Atlantic Ocean – CARINA; (Übersichtsposter, verschiedene jeweils aktualisierte Versionen) jeweils bei Postersessions der oben gelisteten internationalen Meetings
- Mintrop, L.: The alkalinity to salinity relation in the northern North Atlantic Ocean: Comparison of data from the WOCE era with the TTO-NAS study; 26.2. – 1.3. 2003, CARINA General Meeting and Open Science Meeting, Maspalomas, Spanien
- Neuer, S., A. Cianca, M.-J. Rueda, O. Llinás, R.A. Davenport, T. Freudenthal, G. Wefer, M. Santana-Casiano and M. González-Davila. First seven years of biogeochemical data at the European time series station ESTOC, Poster at the "JGOFS Open Science Conference", Washington, 05.-08.05 2003.
- Wilke, I., H. Meggers and T. Bickert. 2003. Faunal assemblages and stable isotope composition of planktic foraminifera - Monitoring the productivity gradient in the Canary Islands Region. Poster at the first European Graduate College - Proxies in Earth History Meeting, Bremen, 2003.

12. ERFOLGSKONTROLLBERICHT

12.1. Beitrag zu den förderpolitischen Zielen

Die Durchführung des Projektes und die darin erzielten Forschungsergebnisse stehen in direktem Zusammenhang zum thematischen Schwerpunkt des BMBF-Förderprogrammes (das Meer als Klimafaktor). Das Vorhaben hat mit seinen Auswertungen der in den JGOFS-Untersuchungen und anderen relevanten Untersuchungen erstellten Daten einen signifikanten Beitrag zur Rolle des Ozeans als CO₂ Speicher geliefert.

1. Klima – interannuelle Variationen im Klima und ihre Auswirkungen auf das marine Ökosystem sind ein noch weitgehend neues Feld. Das Vorhabens konnte durch die Analysen der vorliegenden umfangreichen Datensätze die zwischenjährlichen Schwankungen genauer festlegen und die Rolle des NAO für diese Schwankungen untersuchen. Durch die hochauflösende Modellierung war es möglich, den quantitativen Einfluss des NAO auf die biologischen Produktionsprozesse und auf den Kohlenstofffluss beckenweit abzuschätzen.

2. Kohlenstoffkreislauf - detaillierte Analysen der Aufnahme des anthropogenen CO₂ im Nordatlantik stellt einen wichtigen Beitrag zur Modellierung der CO₂ Flüsse dar und zur Abschätzung der CO₂ Speicherung im Meer. Dies ist insbesondere für die Abschätzung der Senken von CO₂ in Bezug auf klimapolitische Maßnahmen von Bedeutung.

Die indirekte Abschätzung von Kohlenstoffflüssen in den oberen Schichten des Ozeans durch die Analyse von Nährstoffverteilungen und -flüssen stellt sich als ein wichtiges Werkzeug heraus, um Export und Recycling besser zu analysieren. Damit werden auch Fragen nach der Bedeutung der Stickstofffixierung oder der gelösten organischen Substanzen behandelt.

3. Vermittlung der Ergebnisse für die Öffentlichkeit – die Wissenschaftler des Vorhabens haben besondere Anstrengungen unternommen, um die komplizierten und intuitiv nicht leicht verständlichen Themen der biogeochemischen Prozesse im Ozean und ihre Bedeutung für unser Klima als Abschluss der JGOFS Arbeiten für ein breiteres Publikum zugänglich zu machen. Durch die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftlern und Schulen sowie dem IPN war es möglich, diese Themen für den Unterricht aufzubereiten und damit auch in Zukunft einen Beitrag zum Schulunterricht zu leisten.

12.2. Wissenschaftlicher und technischer Erfolg des Vorhabens

Das Verbundvorhaben hat einen wesentlichen Beitrag zur internationalen Synthese der JGOFS Arbeiten im Nordatlantik geleistet. Die Ergebnisse dieses Vorhabens wurden in die entsprechenden Task Teams und Working Groups des internationalen JGOFS Programms durch die beteiligten Wissenschaftler des Verbundvorhabens eingebracht. Die Beiträge sind im einzelnen:

- Vervollständigung der Datensammlung der CO₂ Daten im Atlantik
- Analyse der Aufnahme von anthropogenem CO₂ im Nordatlantik
- Untersuchungen der Abweichungen vom Redfield-Verhältnis bei der biologischen Produktion und dem biogenen Export
- Analyse der Rolle gelöster organischer Substanzen
- Untersuchung der Remineralisierung bis zur Tiefe der winterlich durchmischten Schicht und ihre Aussagekraft für empirische Exportbeziehungen (aus Sinkstofffallen)

- Untersuchung biologischer Produktionskonzepte für die Berechnung des Gasaustauschs von CO₂ und O₂ zwischen Ozean und Atmosphäre
- Modelluntersuchungen zu zwischenjährlichen Schwankungen und der Vergleich mit Stelliten- und Sinkstofffallendaten
- Modelluntersuchungen zur Validität des Redfield Verhältnisses
- Zusammenführung der internationalen und nationalen Datensätze an der ESTOC-Zeitserienstation und deren internationale Verfügbarkeitsmachung
- Einschätzung der ESTOC-Station hinsichtlich ihrer Stellung als Quelle oder Senke für CO₂ und die Überprüfung der Allgemeingültigkeit für den östlichen Teil des nordatlantischen Subtropenwirbels
- Langzeit Datenarchivierung der JGOFS Daten in der PANGAEA Datenbank.

Wir verweisen auf die im Schlussbericht und in den Berichten der 4 Teilprojekte dargestellten Ergebnisse. Es resultierten 16 Veröffentlichungen aus dem Verbundvorhaben, 4 Dissertationen entstanden zum Teil auf der Basis der JGOFS-Synthese im Nordatlantik, weitere Veröffentlichungen sind in Vorbereitung.

12.3. Fortschreibung des Verwertungsplans

Mit diesem Verbundprojekt sind die Arbeiten zum internationalen IGBP Kernprojekt „Joint Global Ocean Flux Studies“ sowohl national als auch international abgeschlossen. Im Kapitel 8 des Abschlußberichts werden die Schlussfolgerungen aus diesem Verbundprojekt bezüglich zukünftiger wissenschaftlicher Fragestellungen im Bereich der Biogeochemie des Ozeans zusammengestellt. Dies umfasst sowohl Themen, die noch ungeklärt und von Bedeutung für die Global Change Forschung im Ozean sind, als auch die Schlussfolgerungen für ein angemessenes Datenmanagement. In Anbetracht der Installierung eines neuen internationalen Programms für Global Change Forschung im Ozean „Integrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research“ (IMBER) durch IGBP sind diese Schlussfolgerungen von Interesse für die Entwicklung zukünftiger deutscher Projektbeiträge zu diesem internationalen Programm.

Es liegen keine Erfindungen und Schutzrechanmeldungen aus diesem Projekt vor.

12.4. Arbeiten die zu keiner Lösung geführt haben

Keine

12.5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Einige der Ergebnisse der JGOFS Synthesearbeiten aus dem Nordatlantik und Indik liegen für die Öffentlichkeitsarbeit vor und können für zukünftige Veranstaltungen genutzt werden. Es handelt sich hierbei um eine Informationsmappe mit 50 Seiten Text und Abbildungen und eine interaktive, vertonte CD-ROM. Letztere kann als Präsentation auf Touch Screens bei Ausstellungen gezeigt werden.

Diese Informationsmaterialien stehen auch in Zukunft für Öffentlichkeitsarbeit allen Projektteilnehmern und meereskundlichen Institutionen in Deutschland auf Anfrage zur Verfügung. Weiterhin sollen diese Produkte auf Lehrerfortbildungsveranstaltungen (im Rahmen des IPN Projekts „System Erde“) als Informationsmaterial genutzt werden. Sie werden als Grundbaustein für weitere Öffentlichkeitsarbeit dienen, um neue Erkenntnisse aus anderen Projekten sukzessive für interessierte Laien aufzuarbeiten.

12.6. Einhaltung des Finanzierungs- und Zeitplans

Der Finanzierungs- und Zeitplan wurde eingehalten. Für die Beschaffung wurden die Richtlinien des Landes Schleswig-Holstein beachtet. Der Verwendungsnachweis und die Schlussrechnung sind dem Projektträger zugegangen.