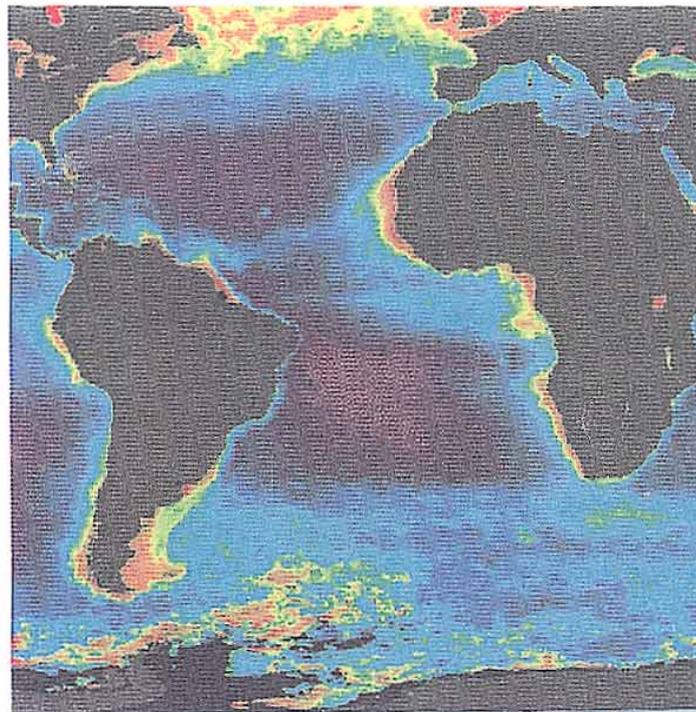


**Abschlußbericht zur  
JOINT GLOBAL OCEAN FLUX STUDY (JGOFS III)**

**Förderzeitraum 01.10.1995 bis 30.09.1997  
Förderkennzeichen BMBF-FKZ-BEO 03F0160A**



Koordinator:

Prof. Dr. Gerold Wefer  
Fachbereich Geowissenschaften  
Universität Bremen  
Postfach 33 04 40

Tel.: 0421 - 218-3389  
Fax: 0421 - 218-3116  
e-mail: [Gwefer@allgeo.uni-bremen.de](mailto:Gwefer@allgeo.uni-bremen.de)

**UNIVERSITÄT  
BREMEN**



**Inhalt**

1. Gesamtprogramm
  - 1.1 Wissenschaftliche Grundlagen
  - 1.2 Forschungsansätze
  - 1.3 Langzeitstudien
  - 1.4 Strategien zur Erarbeitung von Synthesen
    - 1.4.1 CO<sub>2</sub>-Austausch Atmosphäre-Wasser-Organismen
    - 1.4.2 Pelagische Kohlenstoffbilanz
    - 1.4.3 Bilanzierung des Kohlenstoffflusses (inklusive assoziierter Elemente) zwischen Ober- flächenwasser und Sediment
    - 1.4.4 Austauschprozesse an der Grenzschicht Wasser-Sediment
    - 1.4.5 Daten und Modelle
  - 1.5 Informationsaustausch
2. Der deutsche Beitrag zur JGOFS
  - 2.1 Übersicht und Einbindung in das internationale Programm
3. Teilprojekte, wissenschaftlichen Arbeitsziele und Ergebnisse
  - 3.1 TP 1 Duinker/Schulz-Bull/ Kremling: Der Vertikaltransport partikulärer organischer Spurenstoffe und partikulärer Spurenelemente im Nordatlantik und seine kurz- und langfristige Variabilität
  - 3.2 TP 2 Zeitzschel: Quantifizierung der Bildung, Umsetzung und Sedimentation biogener Partikel
  - 3.3 TP 3 Siedler/Wefer: Langzeitstudien bei den Kanarischen Inseln (ESTOC) - Physikalische Ozeanographie und Partikelfluß
  - 3.4 TP 4 Wefer: Biogeochemische Flüsse im Peru/Chile Strom
  - 3.5 TP 5 Duinker: Die Steuerfunktion des Karbonatsystems für die CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch den Ozean
  - 3.6 TP 6 v. Bodungen: Gelöster organischer Kohlenstoff und Stickstoff in marinen Ökosystemen, saisonale und regionale Verteilung, Quellen und Senken
  - 3.7 TP 7 Hemleben: Populationsdynamik von kalkigem Zoo- und Phytoplankton und dessen Beitrag zum Karbonatfluß im Nord-Atlantik
  - 3.8 TP 8 Scholten/Stoffers/Mangini: Radionukliduntersuchungen im Nordatlantik als Beitrag zum Verständnis der Partikeldynamik in der Wassersäule
  - 3.9 TP 9 Schulz/Zabel: Stoff-Flüsse durch die Grenzschicht Sediment/Bodenwasser im Südatlantik
  - 3.10 TP 10 Herterich/Radach: Modelluntersuchungen gekoppelter physikalisch-biologisch-chemischer Prozesse im Bereich der ozeanischen Meßstation ESTOC
4. Stand der Wissenschaft
  - 4.1 Pelagialbiologie
  - 4.2 Kohlenstofftransport
  - 4.3 Organische Spurenstoffe
  - 4.4 Spurenelemente
  - 4.5 CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch den Ozean
  - 4.6 DOC und DON
  - 4.7 Radionuklide
  - 4.8 Biogener karbonatischer Partikelfluß
  - 4.9 Langzeitstation bei den Kanarischen Inseln / ESTOC

4.10 Eastern Boundary Current (Chile)

4.11 Modellierung

4.12 Datensammlung

4.13 Stoff-Flüsse durch die Sediment-Wasser-Grenzschicht

5. Publikationen aus dem Verbund JGOFS Nord-Atlantik

6. Erfolgskontrollbericht

6.1 Bezug zu den förderpolitischen Zielen

6.2 Wissenschaftlicher und technischer Erfolg der Vorhabens

6.3 Einhaltung des Finanzierungs- und Zeitplans

6.4 Verwertbarkeit der Ergebnisse

## 1. Gesamtprogramm

### 1.1 Wissenschaftliche Grundlagen

Die folgenden Kurzbeschreibungen der wissenschaftlichen Grundlagen und erzielten Ergebnisse beruhen auf den Abschlußberichten des Verbundvorhabens früherer Forschungszeiträume, einem Übersichtsartikel über das CO<sub>2</sub>-Problem und die Rolle des Ozeans (Duinker & Wefer, 1994), sowie den Berichten der Teilprojekte über den Förderzeitraum 1995-1997.

Der Anstieg des Kohlendioxidgehaltes in der Atmosphäre und seine möglichen klimatischen Folgen (wie Temperaturerhöhung, Anstieg des Meeresspiegels u.a.) wird schon seit über 50 Jahren in der Literatur diskutiert. Seit etwa 30 Jahren liegen zuverlässige und kontinuierliche Meßreihen vor, die den anthropogen verursachten CO<sub>2</sub>-Anstieg belegen. Danach ist der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre vor allem durch die Nutzung fossiler Energieträger ("fossil fuel CO<sub>2</sub>") und die Abholzung großer Waldflächen seit 1958 von 315 auf über 360 ppmv im Jahre 1997 angestiegen und liegt damit weit über den Werten, die uns aus Messungen an Eiskernen aus den letzten 165 000 Jahren bekannt sind.

Ein wesentlicher Teil des an die Atmosphäre abgegebenen CO<sub>2</sub> wird dabei vom Ozean aufgenommen, wobei in Abhängigkeit von den angewandten Modellen mit ungefähr 30 % gerechnet wird. Diese Abschätzung muß als sehr unsicher angesehen werden, da sie nicht auf direkten Kohlenstoffmessungen im Ozean beruht, sondern sich auf Bilanzierungsmodelle stützt. Im Gegensatz zu den meisten anderen Gasen (z.B. FCKW) hängt die Aufnahmekapazität des Ozeans für CO<sub>2</sub> nicht nur von der physikalischen Löslichkeit ab, sondern wird auch von biologischen und chemischen Umsetzungen des ozeanischen Ökosystems gesteuert.

Nicht nur die Aufnahme von zusätzlichem CO<sub>2</sub> durch den Ozean ist von Interesse, sondern die Kenntnis zur Vorhersage von eventuell auftretenden Veränderungen infolge äußerer (bzw. anthropogener) "Störungen" ist von großer Wichtigkeit. So ist zwar bekannt, daß das Weltmeer etwa 50 mal soviel CO<sub>2</sub> enthält wie die Atmosphäre und daß geringe Verschiebungen im ozeanischen Kohlenstoffkreislauf (z.B. durch eine Erwärmung der Deckschicht und einer dadurch verminderten vertikalen Durchmischung) massive Rückkopplungen auf den atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Gehalt und damit sehr wahrscheinlich auch auf unser Klima hervorrufen würde. Die Eiskernuntersuchungen beweisen auch, daß große CO<sub>2</sub>-Schwankungen in der Atmosphäre in den letzten ca. 150 000 Jahren stattgefunden haben. Wir sind aber weit davon entfernt, die Mechanismen solcher Wechselwirkungen zu verstehen bzw. ihren zeitlichen Ablauf vorherzusagen.

Auf internationaler Ebene und auch in der Bundesrepublik werden große Anstrengungen unternommen, um ein besseres Verständnis des ozeanischen Kohlenstoffkreislaufs zu erhalten. Festgestellt werden soll vor allem, wie die Produktivität des Ozeans auf CO<sub>2</sub>-Eingabe und Erwärmung reagiert und welche Folgen für die biologische Nutzung zu erwarten sind. Die Komplexität der Probleme erfordert eine koordinierte internationale und interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Meeresbiologen, Meereschemikern, Meeresgeologen und physikalischen Ozeanographen.

Unter der Federführung des "Scientific Committee on Oceanic Research" (SCOR) ist deshalb ein internationales wissenschaftliches Programm, die "Joint Global Ocean Flux Study"

(JGOFS) definiert worden. Zwischen 1991 - 1998 sollen Felddaten gesammelt werden. Mit anschließender Datenauswertung und -synthese werden bis ca. 2005 die folgenden zwei Ziele angestrebt:

1. Ein besseres Verstehen der globalen Prozesse, die den Fluß von Kohlenstoff und assoziierter biogener Elemente im Ozean bestimmen, vor allem auch bezüglich der Wechselbeziehungen zur Atmosphäre, zum Meeresboden und zu den Kontinenten.
2. Die Entwicklung von Möglichkeiten zur Vorhersage von Änderungen in den biogeochemischen Prozessen durch anthropogene Störungen, vor allem in Bezug zu Klimaänderungen.

Grundlagen der Arbeiten sind ein Wissenschafts(-Science)-Plan, der im August 1990 von SCOR veröffentlicht wurde. Zur Information eines breiteren Personenkreises wurde im Dezember 1990 eine Broschüre mit dem Titel "Ocean, Carbon and Climate Change: An Introduction to the Joint Global Ocean Flux Study" erstellt. Die konkreten Feld-, Auswert- und Synthesearbeiten sind im Durchführungs(Implementation)-Plan enthalten, der als JGOFS-Report (SCOR) und Report der "International Geosphere-Biosphere Programme" (IGBP) 1992 erschienen ist. IGBP ist ein interdisziplinäres Forschungsvorhaben des "International Council of Scientific Unions" (ICSU), das sich mit einer Reihe von Schlüsselproblemen der zu erwartenden globalen Umweltänderungen beschäftigt. Zur Koordination der deutschen Aktivitäten zum "Global Change"-Programm wurde vom Bundesminister für Forschung und Technologie am Meteorologischen Institut der Freien Universität Berlin (seit 1996 am Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung, PIK) ein nationales IGBP-Sekretariat eingerichtet. JGOFS ist ein Kernprojekt in diesem IGBP-Programm und soll die ozeanische Komponente abdecken. Deutsche Meeresforscher sind maßgebend an der Entwicklung des internationalen JGOFS-Programmes beteiligt gewesen und sind auch heute noch in verschiedenen internationalen Gremien tätig.

## 1.2 Forschungsansätze

Die wissenschaftlichen Arbeiten im JGOFS-Programm basieren auf unterschiedlichen Ansätzen:

1. Um die räumliche und zeitliche Variabilität der für den Kohlenstoffkreislauf relevanten Größen zu ermitteln, werden großräumige Untersuchungen mit Schiffen und Satelliten durchgeführt. Dabei sollen Zeitreihen an bestimmten Orten die Variabilität des Kohlenstoffflusses in der Oberflächenschicht und in der Wassersäule dokumentieren.
2. Prozeßorientierte Studien sollen die Abläufe wichtiger Prozesse bestimmen sowie das Testen von Hypothesen durch geeignete Versuche ermöglichen. Notwendig für die Vorhersage globaler Umweltveränderungen ist eine bessere Kenntnis der Mechanismen der für den Kohlenstoffkreislauf relevanten Prozesse mit ihren Flußraten, die in Abhängigkeit vom physikalischen Antrieb und von der Ökosystemdynamik in Zeiträumen von Stunden bis Monaten ablaufen.
3. Für die Identifizierung der kritischen Prozesse und Variablen, für die Übertragung der lokalen Beobachtungen auf dem Weltozean und letztendlich für die Vorhersage der Reaktionen des Ozeans auf globale Veränderungen soll eine Beschreibung der Vorgänge mit mathematischen Modellen erfolgen.

4. Über die Analyse quartärer Sedimente sollen die Zusammenhänge zwischen früherem Klima, ozeanischer Zirkulation und Produktivität erfaßt werden. In Verbindung mit den aus Eiskernen von der Polkappe gewonnenen Daten über die früheren CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Atmosphäre sollen die Zusammenhänge zwischen CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre und globalem Klima studiert werden.
5. Unabdingbar für eine internationale Zusammenarbeit ist, daß die Forschungsarbeiten nach international diskutierten und abgesprochenen Analysevorschriften (Protokollen, siehe JGOFS Report No.6, Core Measurement Protocols, Report of the Core Measurement Working Groups) durchgeführt werden. Die ermittelten Daten sollen ferner international schnell verfügbar gemacht werden, um durch einfachen Zugriff eine weltweite Kenntniserweiterung zu ermöglichen.

Um bereits frühzeitig die Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Projektgruppen zu fördern und Synthesen vorzubereiten, wurden fünf Arbeitsgruppen mit unterschiedlichen Schwerpunkten eingerichtet (siehe 1.4: Strategien zur Erarbeitung von Synthesen)

### 1.3 Langzeitstudien

Die Durchführung von kontinuierlichen Langzeitbeobachtungen in ausgewählten Regionen der Weltmeere ist ein Schwerpunkt im internationalen JGOFS-Programm (wie im "Science Plan" beschrieben). Das Hauptziel für den Aufbau solcher "Langzeitstationen" ist die Erarbeitung von langfristigen Datensätzen zum besseren Verständnis der Ursachen und zeitlichen Abläufe periodisch auftretender Veränderungen im ozeanischen Ökosystem, die mit "normalen", auch mehrmonatigen Schiffsexpeditionen nur sehr schwer bzw. überhaupt nicht zu erfassen sind.

Die Hinweise auf solche langfristigen Veränderungen ("interannual variabilities") entstammen wenigen, zum Teil über 20 Jahre durchgeführten Langzeituntersuchungen. Die Ergebnisse beruhen im wesentlichen auf Messungen weniger fundamentaler physikalischer, chemischer und biologischer Parameter, die vor allem auf Wetterstationen im subarktischen Pazifik und in der Norwegischen See, im Kalifornienstrom, auf der Dauerstation vor Bermuda sowie während der Planktonregistrierungen im nördlichen Nordostatlantik gewonnen worden sind. Es fehlen aber entscheidende Informationen über Veränderungen des Kohlenstoffkreislaufs (und anderer assoziierter chemischer Elemente und Verbindungen) sowie über die Zusammenhänge zwischen physikalischen "Ereignissen" in der Wassersäule und daraus resultierenden Veränderungen im Ablauf der biogeochemischen Prozesse. So wird sich das Ausmaß von klimatischen Störungen (z.B. durch die z.Z. ablaufende "CO<sub>2</sub>-Invasion" aus der Atmosphäre) nur dann erkennen und abschätzen lassen, wenn nicht nur die kurzzeitigen und prägnanten saisonalen Variabilitäten, sondern vor allem die natürlichen langjährigen Schwankungen im Kohlenstoffkreislauf ausreichend genau beschrieben werden können.

Zwar konnten mit dem von der NASA eingesetzten "Coastal Zone Colour Scanner"-Satelliten (seit Sommer 1997 fortgeführt durch den SEAWIFS-Satelliten) in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte im Verständnis der räumlichen und zeitlichen Variabilität der Primärproduktion (bzw. Pigmentkonzentrationen) im Ozean erzielt werden, doch wird diese Technik in absehbarer Zeit nur wenig über die biogeochemischen Prozesse (und deren Veränderungen) in den mittleren und tiefen Bereichen der Wassersäule aussagen können. Deshalb kommt der Einrichtung von Langzeitstationen bei der Verfolgung der JGOFS-Ziele eine hohe Priorität zu. Zur Diskussion der Ergebnisse und Fortführung von Langzeitstationen fand vom 18. - 21. März 1997 in Baltimore ein „Time Series Workshop“ statt. G. Wefer/Bremen und W.

Zenk/Kiel waren Mitorganisator dieses Workshops. Die Bedeutung dieser Stationen für ein besseres Verständnis des ozeanischen Kohlenstoffkreislaufs wurde bei den Diskussionen wiederholt herausgestellt. Ein Report ist erschienen (siehe Joint GCOS GOOS WCRP Ocean Observations Panel for Climate (OOPC), Baltimore, Maryland USA, 18-20 March 1997, GCOS Report No. 41, Anlage 1).