

BMBF - Verbundprojekt JGOFS-Indik  
Teilprojekt 6

**Der Stickstoffkreislauf im Zwischenmonsun des Arabischen Meeres als  
Antrieb für die Neue Produktion und Exportfluß von organischem  
Kohlenstoff**

Förderkennzeichen: BEO 03 F 0183 H

Endbericht für die Projektlaufzeit

01.01.1997 - 31.12.1998

**Dr. Wolfgang Barkmann**

**Dipl. Biol. Constanze Böttcher**

**Dr. Falk Pollehne**

**Dr. Herbert Siegel**

**Prof. Dr. Bodo von Bodungen**

Institut für Ostseeforschung Warnemünde

Seestraße 15

18119 Rostock-Warnemünde

# **Inhalt**

## **Zusammenfassung**

- 1. Einführung**
- 2. Ziele und Stellung im Verbundvorhaben**
- 3. Durchgeführte Arbeiten**
  - 3.1 Feldmessungen im Frühjahr 1997
  - 3.2 Modellentwicklung
- 4. Zusammenfassung der Ergebnisse**
  - 4.1 Hydrographie
  - 4.2 Nährsalze
  - 4.3 Phytoplankton und Primärproduktion im März 1997
    - 4.3.1 Fluoreszenz und Chlorophyll a
    - 4.3.2 Markerpigmente
    - 4.3.3 Gesamtproduktion
    - 4.3.4 Fraktionierte Produktion
    - 4.3.5 Sinkstoffallen
  - 4.4 Bestimmung von Strahlungsgrößen und optische Eigenschaften im März 1997
  - 4.6 Modellierung des Stickstoffkreislaufes
    - 4.6.1 Das tiefe Chlorophyllmaximum
    - 4.6.2 Saisonale und zwischenjährliche Variation der Primärproduktion
- 5. Relevanz der Ergebnisse für die JGOFS-Indik Ziele**
- 6. Ausblick**
- 7. Literatur**

## Zusammenfassung

Im Rahmen von JGOFS (Joint Global Ocean Flux Study) soll die Bedeutung des Stickstoffkreislaufes in der Arabischen See zur Zeit des Zwischenmonsuns für die neue Produktion untersucht und der Exportfluß von organischem Kohlenstoff quantifiziert werden. Zu diesem Zweck wurde im März 1997 während der Sonne-Reise 117 der Standardschnitt entlang 65 Ost zwischen 6N und 19N, der erstmals in seiner gesamten Länge während der Meteor-Reise 323 im Mai 1995 beprobt wurde, wiederholt. Parallel dazu fand die Entwicklung eines numerischen eindimensionalen Ökosystem-Modells der saisonalen Grenzschicht statt, mit dessen Hilfe die Bedeutung physikalischer und biologischer Prozesse für den Kohlenstofftransport in der Arabischen See untersucht wird.

Entlang des gesamten meridionalen Schnittes konnte ein ausgeprägtes tiefes Chlorophyllmaximum beobachtet werden, welches nach Norden hin anstieg und an die Obergrenze der Nitratsprungschicht gekoppelt war. Die Zunahme der gemessenen maximalen absoluten Produktionsraten von Süden nach Norden ( $0.2 \text{ mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$  auf  $>5\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ ) spiegelt sich auch in der Zunahme der über die euphotische Zone integrierten Primärproduktion wider (von 109 auf  $524 \text{ mgCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ ). Das Chlorophyllmaximum im südlichen und mittleren Bereich des meridionalen Schnittes wurde von Prymnesiophyceen, insbesondere von Coccolithophoriden, dominiert, während im Norden die Diatomeen vorherrschten. Die abgeschätzte neue Produktion als Anteil an der Gesamtproduktion variierte zwischen 15% im Süden und 26% im Norden des Schnittes.

Unter Hinzunahme des numerischen Modells wurden Primärproduktion und der Exportfluß von organischem Kohlenstoff im Bereich des Tiefenchlorophyllmaximums näher untersucht. Hierbei gingen die beobachteten Stickstoffprofile, die im oberen Bereich der Nitratsprungschicht in der Regel eine lineare Zunahme mit der Tiefe zeigten, als Anfangsbedingungen in die Modellrechnungen ein. Unter Berücksichtigung der beobachteten Strahlungstärken und mit einem aus Literaturwerten bestimmten Modellparametersatz, wurden die vertikalen Diffusionskoeffizienten so gewählt, daß die initialisierten Nitratprofile in den Modellrechnungen erhalten blieben. Die auf diese Weise prognostizierten Exportflüsse spiegeln dann exakt die neue Produktion wider, die ihren Ursprung in der diapyknischen Durchmischung im Bereich der Nitratsprungschicht hat. Die aus den Modellrechnungen bestimmten Gesamtproduktionsraten sind mit 60 bis  $170\text{mgCm}^{-2}\text{d}^{-1}$  im südlichen und mittleren Bereich des Schnittes vergleichbar mit gemessenen Produktionsraten der Sonne-Reise 117. Weitaus höher als aus den Beobachtungen abgeschätzt, fielen die berechneten f-Verhältnisse (Anteil der neuen Produktion an der Gesamtproduktion) mit Werten um 0.4 aus. Der berechnete Exportfluß von organischem Kohlenstoff aus dem tiefen Chlorophyllmaximum lag dementsprechend zwischen 20 und  $80\text{mgCm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ .

Angetrieben von klimatologischen Oberflächenwärme- und Impulsflüssen, wurde das Ökosystemmodell an verschiedenen Stationen entlang des Standardschnittes über mehrere Jahre integriert. Die berechnete jährliche Primärproduktion bewegt sich zwischen  $64 \text{ gCm}^{-2} \text{ y}^{-1}$  bei 10N und  $75\text{gCm}^{-2} \text{ y}^{-1}$  bei 15N und 20N. Erwartungsgemäß dominieren während des Zwischenmonsuns die an geringere Lichtstärken angepaßten Coccolithophoriden, dies entspricht auch den Beobachtungen während der Sonne-Reise 117, während zur Planktonblüte die Diatomeen überwiegen. Die prognostizierte mittlere neue Produktion von 30% der Gesamtproduktion beträgt etwa  $15\text{mgCm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , sie kann

mit einem mittleren vertikalen Nitratgradienten von  $0.6 \text{ mMolm}^{-3}$  verglichen werden. Dieser Wert ist nicht untypisch in der Arabischen See, wie aus den Beobachtungen hervorgeht.

## **1. Einleitung**

Das Arabische Meer unterscheidet sich in seinen biogeochemischen Eigenschaften erheblich von anderen tropischen Ozeanen gleicher Breite und es kann hinsichtlich des vertikalen organischen Kohlenstofftransports als eines der wichtigsten Seegebiete angesehen werden. Die zweimal im Jahr auftretenden starken Monsunwinde bewirken ein besonderes Muster an Oberflächenströmungen, die wiederum Auftriebsphänomene hervorrufen, die zu einer, den Monsunphasen spezifischen, Ausbreitung der Exportproduktion führen. Das in diesem Gebiet ausgeprägte Sauerstoffminimum führt Denitrifikationsprozesse herbei, die zu einem Absinken der Nitratkonzentration führen.

Ein eindimensionales physikalisch/biogeochemisches Prozeßmodell soll dazu beitragen, die besondere Rolle des Stickstoffs in der Arabischen See zu untersuchen. Die im Rahmen der JGOFS Expeditionen Meteor 323 im Mai 1995 und Sonne 117 im März 1997 gewonnenen Beobachtungen sollen u.a. den saisonalen Datensatz erweitern, der zur Validierung des Prozeßmodelles benötigt wird.

## **2. Ziele und Stellung im Verbundvorhaben**

Das übergeordnete Ziel des Teilprojektes 6 ist, mit Untersuchungen zur Produktion, zum Abbau und zum Partikeltransport in der Arabischen See, zur globalen Bilanzierung der ozeanischen Kohlenstoffflüsse im Rahmen von JGOFS beizutragen.

Die spezifischen Ziele sind im Einzelnen:

- Weiterentwicklung des numerischen Prozeßmodells, das der besonderen Rolle der Stickstoffumsätze hinsichtlich des Kohlenstoffkreislaufs im Arabischen Meer Rechnung trägt. Diese Modellaktivitäten sind konzeptionell in die Gesamtmodellierung des Verbundsantrages JGOFS-Indik eingebettet.
- Erweiterung des JGOFS-IO Datensatzes zur saisonalen Abdeckung kurz nach dem NO-Monsun, da für diesen Zeitraum kaum Messungen vorliegen und die Meßergebnisse zur Validierung des Prozeßmodells benötigt werden.
- Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Partikelbildung, -Abbau sowie -Export und dem vertikalen Spurenmetalltransport in Zusammenarbeit mit TP 10

Das Projekt läßt sich in zwei Teile aufgliedern:

Der erste Teil beinhaltet die in Zusammenhang mit der Universität Bremen (Prof. Balzer) durchgeführten Messungen, die während der Sonne-Reise 117 im März 1997 im Arabischen Meer durchgeführt wurden, um den saisonalen Datensatz zu erweitern.

Der zweite Teil liegt schwerpunktmäßig auf der Auswertung der auf den Seereisen Meteor-Reise 323 und Sonne-Reise 117 gewonnenen Daten und insbesondere auf die modellgestützte Interpretation und Synthese.

Im Modellbereich soll zunächst ein physikalisches Deckschichtmodell an das bereits entwickelte biogeochemische Modell gekoppelt werden, um eine realistischere Nährstoffzufuhr (als Randbedingung für Beginn und Höhe der Blüte), besonders während des NO-Monsuns, zu erreichen. Desweiteren soll, parallel dazu, der Zustandsvariablensatz des biologischen Modells durch Einführung einer zweiten Planktonart und durch die Trennung von Nitrat und Ammonium erweitert werden. Ziel ist es hierbei, durch die zusätzlichen Kompartimente eine genauere Modellierung des tiefen Chlorophyll Maximums und Exportproduktion zu ermöglichen. Zusätzlich war geplant, in der Arbeitsgruppe mit Prof. Balzer, die Adhäsion und Resorption verschiedener Schwermetalle an biogene Partikel zu modellieren. Die damit erschlossenen zusätzlichen Informationen sollen die Ungenauigkeiten in der Bestimmung des vertikalen Partikelfluß reduzieren.

Das vorliegende Projekt ist konzeptionell in zwei thematische Arbeitsgruppen innerhalb des Verbundantrages eingebunden. Zum einen ist hier die Arbeitsgruppe Scavenging und Aggregation in Zusammenarbeit mit den Teilprojekten 10 (Prof. Balzer, Bremen), 13 (Dr. Scholten, Kiel) und 7 (Prof. Zeitschel, Kiel) zu nennen, sowie die Arbeitsgruppe Prognostische Prozeßmodelle mit den Teilprojekten 16 (Maier-Reimer, Hamburg), 2 (Dr. Reuter, Oldenburg) und 7 (Prof. Zeitschel, Kiel). Enge Zusammenarbeit besteht auch mit der JGOFS-Arbeitsgruppe 'Daten und Modelle', insbesondere mit der aus der AG hervorgegangene Modellierungsgruppe, in der die Ergebnisse eindimensionaler Prozeßmodelle miteinander verglichen wurden.