



Institut für Meereskunde, Kiel  
Biologische Ozeanographie

---

Verbundprojekt: JGOFS/Arabisches Meer III

**Bilanzierung der epipelagischen Prozesse im Arabischen Meer  
während des SW-Monsuns**

Antragszeitraum: 01.01.1999 - 31.12.2000

BMBF - FKZ – BEO: 03F0241E

**Abschlußbericht 1999/00**

Dr. C. Sellmer

Dr. U. Zeller

Dipl. Biol. J. Herrmann

Prof. Dr. B. Zeitzschel

Prof. Dr. K. Lochte



---

Juni 2001

### Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart Abschlußbericht
3a. Titel des Berichts  Bilanzierung der epipelagischen Prozesse im Arabischen Meer während des SW-Monsuns	
3b. Titel der Publikation  Bilanzierung der epipelagischen Prozesse im Arabischen Meer während des SW-Monsuns	
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n))  Sellmer, Claudia; Zeller, Ute; Herrmann, Joachim; Zeitzschel, Bernt; Lochte, Karin	5. Abschlußdatum des Vorhabens 31.12.2000
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))  Sellmer, Claudia; Zeller, Ute; Herrmann, Joachim; Zeitzschel, Bernt; Lochte, Karin	6. Veröffentlichungsdatum 30.06.2001
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  Institut für Meereskunde an der Universität Kiel Biologische Ozeanographie Düsternbrooker Weg 20  24105 Kiel	7. Form der Publikation Druckversion und ADOBE PDF
	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen *) 03F0241E/7
	11a. Seitenzahl Bericht 26
13. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF)  53170 Bonn	11b. Seitenzahl Publikation 26
	12. Literaturangaben 14
	14. Tabellen 2
15. Abbildungen 8	
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Forschungszentrum Jülich GmbH, BEO, Projektträger Biologie, Energie, Umwelt des Bundesministeriums für Bildung und Technologie und des Umweltministeriums für Wirtschaft und Technologie, Bereich Meeres- und Polarforschung/Geowissenschaften Rostock-Warnemünde, 30.06.2001	
18. Kurzfassung Im Rahmen des Verbundvorhabens „Joint Global Ocean Flux Study – (JGOFS) Arabische See“ konzentrierten sich die Tätigkeiten des Teilprojektes 7 darauf, wesentlich zum Verständnis zentraler Prozesse des Kohlenstoffkreislaufs im westlichen Arabischen Meer beizutragen. Ziel war es, zu einer Bilanzierung des Kohlenstoffkreislaufs in dieser Meeresregion zu gelangen. Mit Beginn der Synthesephase im Januar 1999 war die Auswertungen der Feldbeobachtungen abgeschlossen und die Ergebnisse wurden synoptisch zusammengeführt. Zur projektübergreifenden Auswertung erfolgte eine Verknüpfung der verschiedenen Datensätze aus beteiligten Projekten sowie nationaler und internationaler Arbeitsgruppen. Zunächst wurden die den pelagischen Kohlenstofffluss bestimmen physikalischen und biologischen Prozesse zu einem konsistenten Gesamtbild zusammengefügt. Aus den Arbeiten des Teilprojektes ging ein umfangreicher Datensatz phytoplanktologischer sowie chemischer und hydrographischer Parameter hervor. Es zeigten sich deutliche regionale Unterschiede in den Strukturen des Epipelagials, anhand derer die Charakteristika drei verschiedener geographischer Regionen dokumentiert und graphisch dargestellt wurden. Unabhängig von den absoluten Meßwerten sind diese 'Modelle' der drei Regionen qualitativ repräsentativ für die Situation während des SW-Monsuns im westlichen Arabischen Meer. Als entscheidend für das Verständnis und die Charakterisierung der drei geographischen Regionen erwies sich die Zusammenführung zahlreicher Ergebnisse unterschiedlicher Methoden. Und so konnte dadurch erstmals eine umfangreiche und detaillierte Aufnahme des Gesamtsystems eines Filamentes erfolgen. Die phytoplanktologischen Daten wurden um heterotrophe Prozesse, welche die pelagischen Systeme im westlichen Arabischen Meer wesentlich beeinflussen und/oder kontrollieren, ergänzt. Die Synthese dieser Daten ermöglichte die Berechnung des Kohlenstoffflusses in und zwischen den verschiedenen Kompartimenten des Kohlenstoffkreislaufes. Die Datensätze aus dem TP-7 bilden damit eine Grundlage für die Einordnung und Interpretation der Beobachtungsdaten anderer Arbeitsgruppen. Sie liefern einen wesentlichen Beitrag für das Verständnis und die Quantifizierung der regionalen Kohlenstoffflüsse und können darüber hinaus zur Validierung numerischer Modelle sowie zur Interpretation von Satellitendaten herangezogen werden.	
19. Schlagwörter JGOFS Arabisches Meer, Bilanzierung epipelagischer Prozesse, Kohlenstoffbilanzierung, Kohlenstofftransfer, Sedimentation, Küstenauftrieb, Filament, SW-Monsun, Driftstudie	
20. Verlag	21. Preis

\*) Auf das Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden. **BMBF-Vordr. 3831/03.99**

**Document Control Sheet**

1. ISBN or ISSN planned	2. Type of Report Final report	
3a. Report Title  Bilanzierung der epipelagischen Prozesse im Arabischen Meer während des SW-Monsuns (Budgeting of epipelagical processes in the Arabian Sea during SW-monsoon condition)		
3b. Title of Publication		
4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s))  Sellmer, Claudia; Zeller, Ute; Herrmann, Joachim; Zeitzschel, Bernt; Lochte, Karin	5. End of Project 31.12.2000	6. Publication Date 30.06.2001
4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s))  Sellmer, Claudia; Zeller, Ute; Herrmann, Joachim;	7. Form of Publication Print version and ADOBE PDF	
8. Performing Organization(s) (Name, Address)  Institut für Meereskunde an der Universität Kiel Biologische Ozeanographie Düsternbrooker Weg 20  24105 Kiel Germany	9. Originator's Report No.	
	10. Reference No. 03F0241E	
	11a. No. of Pages Report 26	
	11b. No. of Pages Publication 26	
	12. No. of References 14	
13. Sponsoring Agency (Name, Address)  Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF)  53170 Bonn	14. No. of Tables 2	
	15. No. of Figures 8	
	16. Supplementary Notes	
17. Presented at (Title, Place, Date) Forschungszentrum Jülich GmbH, BEO, Projektträger Biologie, Energie, Umwelt des Bundesministeriums für Bildung und Technologie und des Umweltministeriums für Wirtschaft und Technologie, Bereich Meeres- und Polarforschung/Geowissenschaften, Rostock-Warnemünde, 30.06.2001		
18. Abstract  Within the frame of the „Joint Global Ocean Flux Study – (JGOFS) Arabian Sea” investigations of this project (7) lead to a better understanding of fundamental processes controlling the carbon cycle in the Western Arabian Sea during the SW-Monsoon. The aim was the qualification and quantification of the carbon cycle in this region. At the beginning of the synthesis in January 1999 the evaluation of the field data was completed and the results became compiled synoptically. For a project-wide evaluation the different data sets of the involved projects as well as from other national and international working groups were interlinked. First, the physical and biological processes that control the carbon fluxes were compiled to a consistent regional picture. A comprehensive data set of phytoplanktonic as well as chemical and hydrographical parameters resulted from the investigations of this project. Significant spatial differences in the structure of the epipelagial were detected by which the characteristics of three distinct geographical regions could be documented. Conceptual models of the different regions are presented which demonstrate the necessity of intense measurements for the understanding of a pelagic system. Independent from their absolute values these 'models' of the three regions are representing the situation in the Western Arabian Sea during SW-monsoon. Beyond that, for the first time it was possible to give an extensive and detailed description of an upwelling filament system. The phytoplanktonic data were extended by heterotrophic processes which mainly influence and/or control the pelagic systems in the Western Arabian Sea. The synthesis of these data allowed the assessment of the carbon flux in and between the different compartments of the carbon cycle. The data sets of this project form a fundamental for the assessment and interpretation of the observations of other working groups. They contribute substantially to the understanding and the quantification of regional carbon fluxes and can be used additionally for the validation of numerical models and interpretation of satellite data.		
19. Keywords JGOFS Arabian Sea, budgeting, assessment of epipelagical processes, carbon budget, carbon transfer, sedimentation, coastal upwelling, filament, SW-monsoon, Drift study		
20. Publisher	21. Price	

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Abschlußbericht</b> .....	<b>4</b>
1.1	Aufgabenstellung.....	4
1.2	Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde .....	5
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	5
1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	6
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	7
1.6	Wissenschaftliche Ergebnisse und Diskussion.....	7
1.6.1	Regionaler Vergleich epipelagischer Strukturen.....	8
1.6.2	Bedeutung der Coccolithophoriden für das Epipelagial .....	13
1.6.2.1	<i>In situ</i> -Messung der Kalkbildung .....	14
1.6.3	Kurzzeitliche Variabilität epipelagischer Strukturen in einem Filament.....	15
1.6.4	Kohlenstoffbilanzierung in einem Filament.....	17
1.6.4.1	Physikalische Arbeiten.....	17
1.6.4.2	Biologische Arbeiten .....	18
1.6.5	Datenmanagement.....	21
1.7	Ausblick und offenen Fragen .....	23
1.8	Publikationen der Ergebnisse .....	24
1.8.1	Veröffentlichungen bzw. eingereichte Veröffentlichungen in begutachteten Zeitschriften .....	24
1.8.2	Vorträge und Poster im In- und Ausland .....	24
1.8.3	Veröffentlichung von Datensammlungen .....	25
1.9	Literaturnachweis .....	26

## 1 Abschlußbericht

### 1.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen des Verbundvorhabens „Joint Global Ocean Flux Study – (JGOFS) Arabische See“ konzentrierten sich die Tätigkeiten des Teilprojektes 7 (TP-7) unter der Leitung von Prof. Dr. B. Zeitzschel primär auf die Untersuchungen der biologischen Bestände, Prozesse und Raten (Phyto- und Zooplanktonzusammensetzung, Verteilung und Biomasse, Chlorophyll *a* - Gehalt, Primärproduktion, Sedimentation) sowie auf die Beschreibung der hydrographischen Umweltbedingungen im Epipelagial des westlichen Arabischen Meers z. Z. des SW-Monsuns. Ziel der Arbeiten des Teilprojektes ist es, das Verständnis zentraler Prozesse des Kohlenstoffkreislaufes im westlichen Arabischen Meer zu verbessern und schließlich zur Bilanzierung des Kohlenstoffkreislaufs in dieser Meeresregion beizutragen. Während der Feldphase standen daher Untersuchungen der biogeochemischen Prozesse im Epipelagial und des vertikalen Partikelflusses in verschiedenen Produktionsregimen des westlichen Arabischen Meeres im Vordergrund. Darüber hinaus sollten folgende zentrale Themenbereiche bearbeitet werden:

- Welche Bedeutung haben autotrophe Kalkbildner (Coccolithophoriden) im Kohlenstoffkreislauf des Arabischen Meeres?
- Welche Rolle spielt das Mesozooplankton bei der Partikelmodifikation und dem Export organischer Materie aus der euphotischen Zone?

Mit Beginn der Synthesephase im Januar 1999 war geplant, die Auswertungen der Feldbeobachtungen abzuschließen und die Ergebnisse synoptisch zusammenzuführen. Zur übergreifenden Auswertung sollte hierzu eine Verknüpfung der verschiedenen Datensätze aus beteiligten Projekten sowie nationaler und internationaler Arbeitsgruppen erfolgen.

Im Rahmen des Teilprojektes 7 sollte die Synthese physikalischer und biologischer Arbeiten zu einem konsistenten Gesamtbild der Prozesse, die den pelagischen Kohlenstofffluss bestimmen, führen. Folgende Arbeiten wurden angestrebt:

#### 1. *Auftriebsbilanzierung*

Physikalischen Arbeiten:

- Berechnungen der Geschwindigkeitsfelder
- Geostrophie und
- Abschätzungen der vertikalen Ekman-Geschwindigkeiten aus Windfeldern.

Dies sollte die Aufstellung einer Massenbilanz ermöglichen und schließlich zu einer Stoffbilanz von z. B. Nährsalzen und Kohlendioxid führen.

## 2. Bilanzierung des Kohlenstoffs im Epipelagial

- Quantifizierung des entzogenen gelösten Kohlendioxids, der für den Aufbau von partikulärem anorganischen (autotrophe Kalkbildner) und organischen Kohlenstoff, durch die Kalkbildung bzw. die Photosynthese der autotrophen Organismen genutzt wird.
- Bestimmung des Kohlenstofftransfers von Primär- zu Sekundärproduzenten innerhalb der Nahrungskette
- Abschätzung des Kohlenstofftransports durch sinkende Partikel aus der euphotischen Zone

### *Datenmanagement*

- Integration der noch ausstehenden Daten in die Datenbank
- Datenprodukte für die nationale/internationale Synthese
- Vorbereitung der Daten zur Langzeitarchivierung
- Veröffentlichung der Daten in internationalen Katalogen

## 1.2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die wissenschaftlichen Arbeiten konnten fristgerecht aufgenommen werden.

Die Stelle des Datenmanagers war im Berichtsjahr 1999 nur während der ersten 6 Monate besetzt. Durch den Fortgang von Herrn Dipl. Oz. T. Mitzka kam es kurzfristig zu Einschränkungen in der Weiterführung der Aufgaben im Datenmanagement. Erst im Januar 2000 konnte die Stelle wieder besetzt werden. Seither hat Herr Dipl. Biol. Joachim Herrmann die Arbeiten des zentralen Datenmanagements im nationalen JGOFS-Programm übernommen und erfolgreich weitergeführt (s. Kap. 1.3).

Die hydrographische Stelle war nur für das 1. Berichtsjahr bewilligt. Die phytoplanktologischen Arbeiten wurden im Vorgängerprojekt bis Ende 1998 im Rahmen dieses Teilprojektes durchgeführt und mündeten im Mai 1999 in einer Dissertation [SELLMER, 1999]. Frau Sellmer wird seit Juli 1999 aus der Grundausrüstung finanziert. Mit einem Teil ihrer Arbeiten beteiligt sie sich weiterhin an der Synthesephase des TP-7.

## 1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Im ersten Jahr des Berichtszeitraumes wurden hydrographische Ergebnisse des Teilprojektes durch Ergebnisse anderer Projekte (z. B. WOCE) ergänzt, erste Berechnungen aufgestellt und in Form eines Posters auf einem internationalen Workshop (WOCE - India Ocean Workshop, New Orleans, USA) vorgestellt. Biologische Ergebnisse wurden als Poster und in einem Vortrag auf nationalen Workshops präsentiert (8. JGOFS-Workshop, Bremen; AG Daten und Modelle ‚Indik‘, Hamburg). Weiterhin sind 1999 zwei Dissertationen aus dem Teilprojekt hervorgegangen, die als Berichte aus dem Institut für Meereskunde erschienen sind. Zwei Veröffentlichungen wurden eingereicht (Kap. 1.8).

Im zweiten Jahr des Berichtszeitraumes wurden die Arbeiten planmäßig fortgesetzt. Von insgesamt vier vorgestellten Postern basierten zwei auf Ergebnissen aus der Zusammenarbeit mit nationalen Arbeitsgruppen (Symposium in Bremen, Biogeochemical Cycles: German contribution to the International JGOFS). Es wurden 5 Veröffentlichungen eingereicht, wovon 3 auf projektübergreifenden Arbeiten basieren (Kap. 1.8).

Das Datenmanagement konnte mit Beginn des Jahres 2000 wieder aufgenommen werden. Ausgehend von einer Inventur der vorhandenen Daten wurde das Datenbankkonzept überarbeitet. Weiterhin wurde das Datensicherungskonzept überprüft und den Erfordernissen an eine sichere Datenrekonstruktion angepasst. Anhand der Ergebnissen der Inventur wurde die Homepage des Datenmanagements aktualisiert.

Vom 4. bis 6. Juni 2000 fand in Kiel das internationale Treffen des ‚JGOFS Data Management Task Teams‘ (DMTT) statt. Weiterhin war auch das Datenmanagement mit einem Poster auf dem Symposium in Bremen, 2000 vertreten.

#### **1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde**

Das Teilprojekt 7 ist Teil des deutschen JGOFS Verbundprojektes „Arabische See“. Arbeiten des TP-7 sollen im wesentlichen im interdisziplinären Austausch mit anderen Arbeitsgruppen des Verbundes sowie mit JGOFS Arbeitsgruppen im Ausland und anderen thematisch assoziierten Projekten zu einem besseren Verständnis der pelagischen Kohlenstoffflüsse und der Bedeutung einzelner Komponenten für die Biologische Pumpe in verschiedenen Produktionsregimen des Arabischen Meeres beitragen [Implementation Plan, SCOR, 1992].

Die im Rahmen dieses Projektes vom 1. 1. 1999 bis zum 31. 12. 2000 durchgeführten Arbeiten schließen sich an zwei Vorläuferprojekte an (I: 1. 1. 1995 – 31. 12. 1996, II: 1. 1. 1997 – 31. 12. 1998). Während sich die beiden ersten Projektabschnitte vorwiegend mit der Erhebung und Analyse von Felddaten beschäftigten, liegt der Schwerpunkt in dem III. Projektabschnitt auf der Synthese der Felddaten unter Einbeziehung zusätzlicher nationaler und internationaler Daten.

Basis der planktologischen Arbeiten innerhalb des TP-7 sind die Felduntersuchungen während METEOR 32/5 und SONNE 120. Erstmals seit der ‚Internationalen Indischen Ozean Expedition‘ (IIOE, engl. International Indian Ocean Expedition, 1959 – 65) lieferte diese Studie (METEOR 32/5, 1995) einen umfassenden und detaillierten Satz phytoplanktologischer Daten sowie hydrographischer und chemischer Begleitparameter des Epipelagials des westlichen Arabischen Meeres zur Zeit des SW-Monsuns. Dieser Datensatz wurde im Rahmen einer Dissertation zu einem Gesamtbild zusammengefügt [SELLMER, 1999; SELLMER und VON BRÖCKEL, beim Editor Januar 2000 (DSR) eingereicht]. Die Ergebnisse dieser ersten Expedition bedingten die Fragestellungen und Ziele der zweiten Expedition (SONNE 120, 1997). Während dieser zweiten Studie stand die Untersuchung und Verfolgung eines Auftriebsfilamentes von seinem Entstehungsort im Küstenauftrieb vor Oman bis in den offenen Ozean im Vordergrund des wissenschaftlichen Interesses (s. Folgeantrag 1997/98).

Für die physikalischen Arbeiten wurden in der Synthesephase vor allem historische hydrographische Daten aus dem World Ocean Atlas (Version 1994) und von einzelnen WOCE-Schnitten aus dem Arabischen Meer für weiterreichende Analysen genutzt. Für die biologischen Arbeiten wurden zusätzliche Beobachtungsdaten aus allgemein verfügbaren Datenarchiven übernommen. Hierzu zählen vor allem amerikanische Daten der US-JGOFS Arabian Sea Process Study 1995. Weiterhin wurden eigene Ergebnisse durch die des britischen JGOFS Programmes ARABESQUE und der holländischen JGOFS Programme ergänzt. Ergebnisse einzelner Themenbereiche, wie die Sinkstofffallenstudien der seit 1986 im westlichen, zentralen und östlichen Arabischen Meer

durchgeführten Untersuchungen, wurden ebenfalls hinzugezogen [HAAKE *et al.*, 1993b]. Die für alle Studien herangezogene Literatur ist umfangreich und wird hier daher nicht gesondert aufgelistet. Hierzu wird auf die einzelnen Dissertationen, Veröffentlichungen bzw. eingereichten Veröffentlichungen verwiesen (s. Kap. 1.8).

Zur Kalibrierung biooptischer Messgeräte (TP-2) wurden planktologische Daten (z. B. Chlorophyll *a*) zur Verfügung gestellt.

Nach Übernahme des Datenmanagements durch den neuen Datenmanager wurde eine umfassende Bestandsaufnahme des Ist-Zustandes vorgenommen. Dazu gehörte unter anderem eine Inventur der vorhandenen Rohdatenbestände. Sie ergab einen Rohdatenbestand von fast 300 MB (vgl. Tab. 1, Kap. 1.6.5).

### **1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Die bereits in den Vorläuferprojekten I und II begonnene Zusammenarbeit mit anderen deutschen JGOFS Teilprojekten wurde in dieser Phase fortgesetzt und intensiviert. Besonders intensive Zusammenarbeit bestand mit dem Teilprojekt für mikrobiologische Arbeiten (TP-8, Hoppe). Gemeinsame Arbeiten und Erkenntnisse wurden in mehreren Postern auf nationalen und internationalen ‚Meetings‘ vorgestellt (s. Kap. 1.8, Publikationen) und sind darüber hinaus in Veröffentlichungen erschienen bzw. eingereicht [HOPPE *et al.*, subm. to DSR, Februar 2000; ULLRICH *et al.*, subm. to Mar. Ecol. Prog. Ser., 2001]. Enge Zusammenarbeit besteht weiterhin mit dem Teilprojekt zur Modellierung (TP-17, Willebrand/Zeitzschel). Das TP-7 hat sich außerdem in der Arbeitsgruppe „Daten und Modelle, Indik“, engagiert. Grundlagendaten der Expedition METEOR 32/5 dienten der Validierung von Modelldaten (Kawamiya, TP-17) und flossen in eine Veröffentlichung ein [KRIEST und EVANS, 2000].

Auf internationaler Ebene besteht eine Zusammenarbeit bei der Auswertung von Ergebnissen vor allem der 2. Expedition (SONNE 120) mit der AG Burkill (Plymouth, U. K.). Erste Ergebnisse (s. auch Kap. 2.2 und Abb. 5) sind bereits auf Postern vorgestellt worden. Inzwischen liegt hierzu ein Manuskript vor [SELLMER *et al.*, Manuskript], was derzeit von den beteiligten Wissenschaftlern diskutiert und in naher Zukunft eingereicht wird.

#### *Datenmanagement*

Naturgemäß war besonders im Bereich des Datenmanagements die Zusammenarbeit mit anderen Institutionen besonders wichtig. Neben den deutschen Instituten, die an JGOFS beteiligt sind, ist das deutsche Datenmanagement in die Strukturen des internationalen JGOFS Datenmanagements eingebunden (Data Management Task Teams - DMTT). Datenanfragen erreichten den Datenmanager nicht nur aus dem direkten nationalen/internationalen Umfeld von JGOFS, sondern auch von externen Wissenschaftlern und Arbeitsgruppen.

### **1.6 Wissenschaftliche Ergebnisse und Diskussion**

Mit diesem Berichtszeitraum endet die Beteiligung des TP-7 am deutschen Gesamtvorhaben JGOFS Arabische See. Um abschließend nochmals ein Gesamtbild aller wesentlichen Ergebnisse des Teilprojektes 7 zu liefern, werden nachfolgend spezifische Kernaspekte der ersten beiden

Förderperioden, die inzwischen um wesentliche Erkenntnisse ergänzt wurden (Coccolithophoriden und Mesozooplankton), nochmals zusammengefasst dargestellt. Diese Arbeiten der ersten beiden Förderphasen sind die Voraussetzung für die Bilanzierung des regionalen Kohlenstoffkreislaufs. Im Anschluss daran werden die wesentlichen Ergebnisse der Synthesearbeiten der dritten und letzten Förderperiode vorgestellt, vor allem soweit diese bereits Eingang in Veröffentlichungen, eingereichten Veröffentlichungen bzw. Manuskripten fanden. Für Detailuntersuchungen und Einzelergebnisse wird auf diese Veröffentlichungen verwiesen. Die entsprechenden Titel sind in Kap. 1.8 aufgelistet.

Neue Fragestellungen, die sich während der Bearbeitung der dargestellten Arbeiten in der Synthesephase herauskristallisierten, werden in Kap. 1.7 gesondert behandelt.

### 1.6.1 Regionaler Vergleich epipelagischer Strukturen

#### 1. Antragsphase (1995/1996)

Während der ersten Expedition (METEOR 32/5) stand die Beschreibung und die Charakterisierung des Epipelagials im westlichen Arabischen Meer zur Zeit des SW-Monsuns hinsichtlich der physikalischen, chemischen und biologischen Merkmale im Vordergrund. Der Schwerpunkt lag dabei auf einer phytoplanktologischen Betrachtungsweise der Besonderheiten dieses Meeresgebietes. Diese Studie lieferte erstmalig einen umfassenden und detaillierten Satz phytoplanktologischer Daten sowie hydrographischer und chemischer Begleitparameter des Epipelagials des westlichen Arabischen Meeres zur Zeit des SW-Monsuns (SELLMER, 1999; SELLMER und VON BRÖCKEL, subm.). Es zeigten sich deutliche regionale Unterschiede in den Strukturen des Epipelagials, anhand derer die Charakteristika drei verschiedener geographischer Regionen dokumentiert und graphisch dargestellt wurden (Abb. 1).

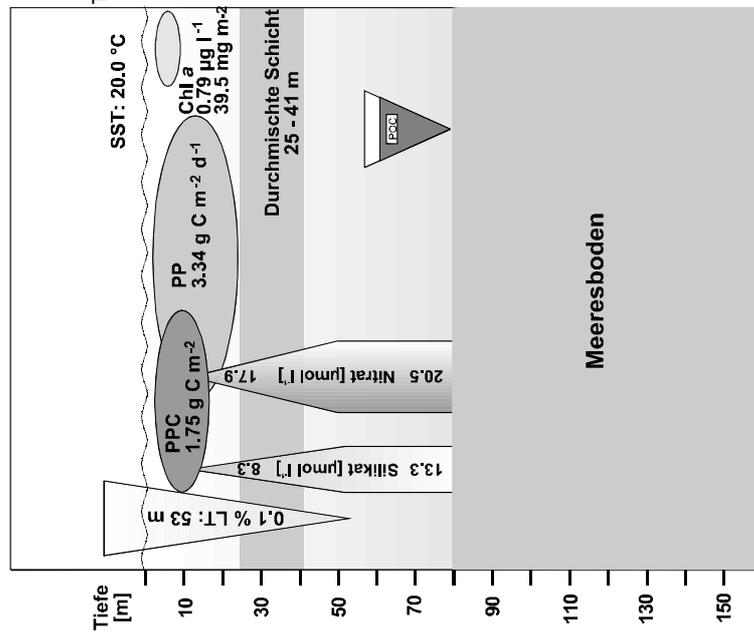
- (1) **DIE KÜSTENAUFTRIEBSREGION VOR OMAN** spiegelte die typischen Strukturen eines Auftriebsgebietes wider. Sie war charakterisiert durch geringe Oberflächentemperaturen von 20 °C, geringe Durchmischungstiefen zwischen 25 m und 41 m und einer mit 53 m stets tieferen euphotischen Zone. Die Nährsalzkonzentrationen in der Oberfläche (6.5 m) und der durchmischten Schicht waren mit  $8.3 \mu\text{g Si(OH)}_4 \text{ l}^{-1}$  bzw.  $17.9 \mu\text{g NO}_3^- \text{ l}^{-1}$  hoch. Die Chl *a*-Konzentration lag bei  $0.79 \mu\text{g l}^{-1}$  und der PPC bei  $1.75 \text{ g C m}^{-2}$ . Die Primärproduktion von durchschnittlich  $3.34 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  basierte vornehmlich auf neuen Nährsalzen (Neue Produktion), die durch den Auftrieb nährsalzreichen Wassers aus tieferen Schichten in die euphotische Zone eingetragen wurden. In dieser Region war die absolute POC-Sedimentation aus der euphotischen Zone verglichen mit den anderen beiden Regionen am höchsten, die POC Verlusten als prozentualer Anteil der Primärproduktion mit < 1 % jedoch gering. CaCO<sub>3</sub> von Gehäusen planktischer Foraminiferen stellte den größten Anteil am vertikalen Partikelfluss. Die Phytoplanktongemeinschaft wurde von Bacillariophyceen vornehmlich der Gruppen *Rhizosolenia* und *Chaetoceros* geprägt. Diese Region war weiterhin durch eine hohe Zooplanktonbiomasse (> 3000 Individuen m<sup>-3</sup>) mit geringer Artendiversität gekennzeichnet (Abb. 2a). Das Zooplankton setzte sich zu 55-93% überwiegend aus Copepoden zusammen. Bemerkenswert für diese Region ist die Dominanz der calanoiden Copepodenart *Calanoides carinatus* mit 500-1171 Individuen m<sup>-3</sup>, was 42-65% der gesamten Copepodenarten in dieser Region entsprach. *C. carinatus* ist ein typischer Vertreter in Auftriebsregionen, wie z. B. vor

Westafrika und im Indischen Ozean, wo er während des SW-Monsuns vor Somalia und Oman in hohen Abundanzen anzutreffen ist und eine bedeutende Rolle bei der Partikelmodifikation durch Fraß einnimmt [HIRCHE, 1980; SCHNACK, 1982; SMITH, 1982, VERHEYE, 1991; ZELLER und ZEITZSCHEL, 1996, ZELLER, 1998]. Erste durchgeführte Berechnungen zeigten, dass allein der Bestand von *C. carinatus* bis zu 42% der Primärproduktion wegfressen kann. Dieser Wert kann sich jedoch bis auf 51% erhöhen, wenn zwei weitere herbivore calanoide Copepodenarten (*Eucalanus* spp. und *Rhincalanus* spp.), die eine ähnliche Filtrationsrate wie *C. carinatus* aufweisen und mit ähnlich hoher Abundanz im Untersuchungsgebiet vertreten sind, mit einbezogen werden. Berechnungen zur Produktion von Kotballenkohlenstoff für die Art *C. carinatus* und POC Messungen aus Sinkstofffallenmaterial zeigten, dass in der Region des Küstenauftriebs vor der Küste Omans über 77% der Kotballen in dieser Region nicht zum Sinken kommen sondern entweder in der Wassersäule verbleiben und/oder lateral verfrachtet werden (Abb. 3).

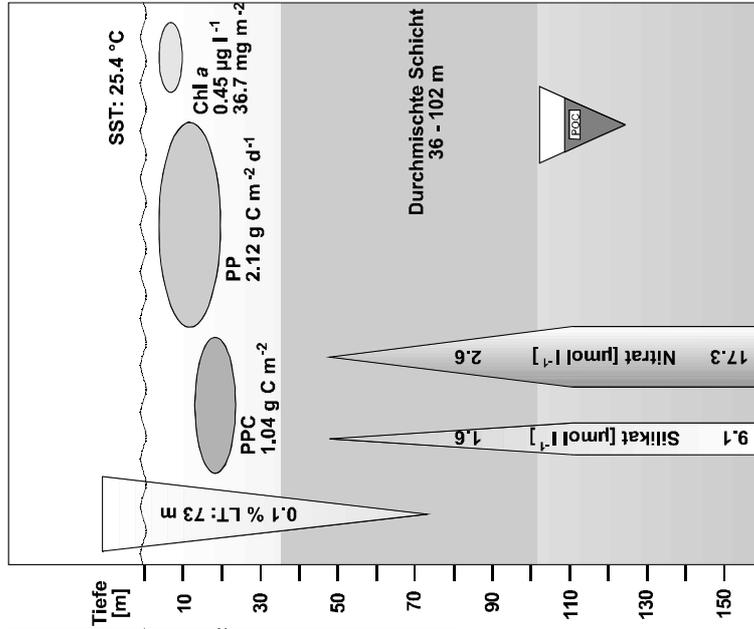
- (2) **DIE FINDLATER JET REGION** im Einflussbereich der gleichnamigen atmosphärischen Strömung war sehr heterogen. Es kamen oligotrophe und eutrophe Verhältnisse nebeneinander vor. Filamente, die sich vom Küstenauftrieb bis in diese Region erstrecken, sind ein besonderes Merkmal des nördlichen Arabischen Meeres. Die euphotische Zone lag stets innerhalb der sehr variablen durchmischten Schicht (36-102 m). Es wurden in dieser Regionen sowohl hohe Nährsalzgehalte als auch Konzentrationen nahe der jeweiligen Nachweisgrenzen registriert. Der Chl *a*-Gehalt lag im Mittel bei  $0.45 \mu\text{g l}^{-1}$  und der PPC bei  $1.04 \text{ g C m}^{-2}$ . Die Primärproduktion lag bei  $2.12 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , wobei, hervorgerufen durch eine Blüte der Prymnesiophyceengattung *Phaeocystis*, lokal eine maximale Produktionen von  $8 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  erreicht wurde. Die POC-Sedimentation aus der euphotischen Zone sowie die Verlustraten an der Primärproduktion waren mit  $< 1 \%$  stets gering. Wiederum war  $\text{CaCO}_3$  von den Gehäusen planktischer Foraminiferen Hauptbestandteil des vertikalen Partikelflusses aus der euphotischen Zone. Die Phytoplanktongemeinschaft setzte sich hauptsächlich aus Vertretern der Bacillariophyceen, Prymnesiophyceen und Cryptophyceen zusammen. Obwohl auch in dieser Region der Anteil der Copepoden am Mesozooplanktonbestand mit über 54% in der Größenordnung der Küstenauftriebsregion lag, unterscheidet sich diese Region von der vorigen durch eine höhere Artendiversität (Abb. 2b). Ergebnisse aus der Vertikalverteilung zeigten, dass 90% des Zooplanktonbestandes auf die obersten 100 m der Wassersäule beschränkt waren und erheblich niedrigere Konzentrationen ( $1672 \text{ Individuen m}^{-2}$ ) aufwiesen als im Küstenbereich. Weiterhin wurde eine Abnahme in der Konzentration von *C. carinatus* ( $32 \text{ Individuen m}^{-3}$ ) beobachtet. Daraus folgt, dass diese Art während des SW-Monsuns in der Küstenauftriebsregion verbleibt.
- (3) **DAS ZENTRALE ARABISCHE MEER** ist während des SW-Monsuns charakterisiert durch oligotrophe, homogene Bedingungen im Epipelagial. Die durchmischte Schicht reichte von 75-111 m und die euphotische Zone lag mit bis zu 114 m stets darunter. Eine Nutrikline war stark ausgebildet, wobei die durchmischte Schicht durch Nährsalzerschöpfung gekennzeichnet war. Unterhalb dieser stiegen die Nährsalzkonzentrationen stark an. An der unteren Grenze der durchmischten Schicht befand sich ein tiefes Chl *a*-Maximum ( $0.4 \mu\text{g l}^{-1}$ )

und ein Biomassemaximum. Der Chl *a*-Gehalt in der durchmischten Schicht lag bei  $0.28 \mu\text{g l}^{-1}$ , der Phytoplanktonkohlenstoffgehalt (PPC) bei  $0.27 \text{ g C m}^{-2}$ . Die Primärproduktion ( $0.87 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) basierte vornehmlich auf innerhalb der durchmischten Schicht regenerierten Nährsalzen (Regenerierte Produktion). Unterhalb der durchmischten Schicht fand jedoch aufgrund hoher Nährsalzkonzentrationen und ausreichender Lichtverhältnisse Neue Produktion statt. Hauptbestandteil des Partikelflusses war  $\text{CaCO}_3$  von Gehäusen planktischer Foraminiferen. Die POC Verlustraten an der Primärproduktion waren mit  $< 1 \%$  sehr gering. Die Phytoplanktongemeinschaft wurde von Pico- und Nanoplankton dominiert. Das Mesozooplankton zeichnete sich in dieser Region durch eine hohe Artendiversität mit geringer Individuenzahl ( $39383 \text{ Individuen m}^{-2}$ , integriert über  $1000 \text{ m}$ ) aus (Abb. 2c). Eine deutliche Abnahme in der Individuenzahl von  $318 \text{ Individuen m}^{-3}$  auf  $< 50 \text{ Individuen m}^{-3}$  konnte an der Obergrenze der Sauerstoffminimumzone (OMZ) in ca.  $150 \text{ m}$  beobachtet werden. Auch in dieser Region dominierten die Copepoden mit  $49\text{-}79\%$  den gesamten Zooplanktonbestand, wobei innerhalb der Copepoden die Gruppe der Cyclopoiden mit  $33\text{-}92\%$  gegenüber den Calanoiden bestandsbildend waren. Die Cyclopoiden sind überwiegend omnivore Organismen, die in regenerierten Systemen in großer Anzahl vorkommen und nur geringfügig zum Kohlenstofffluss beitragen.

Küstenauftriebsregion



Findlater Jet Region



Zentrales Arabisches Meer

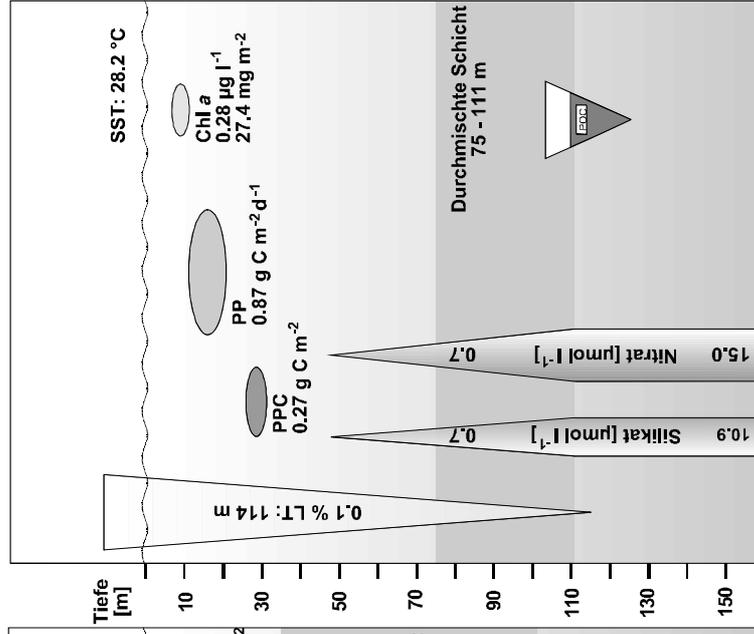
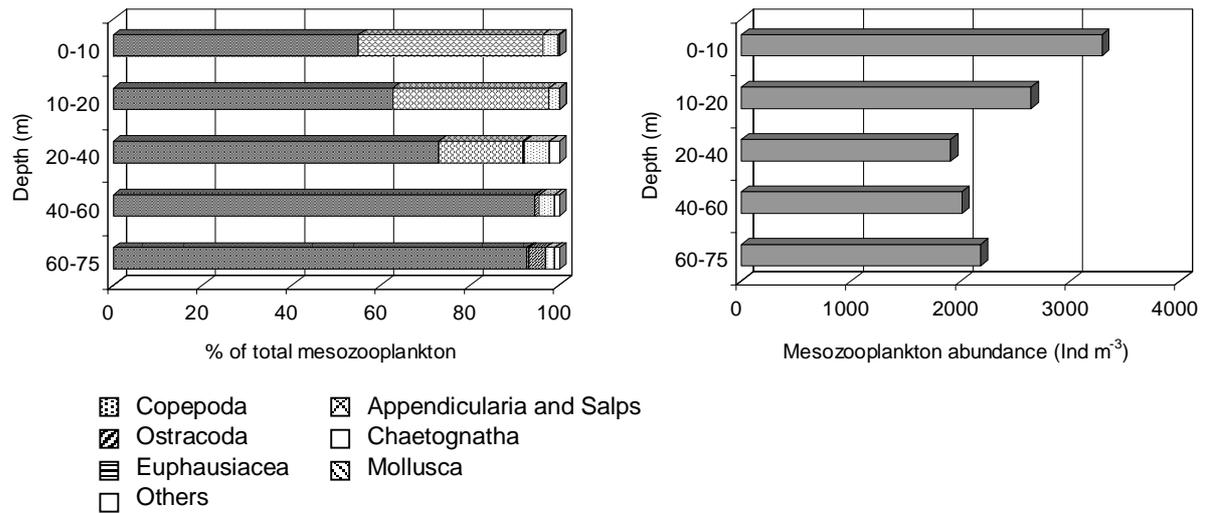
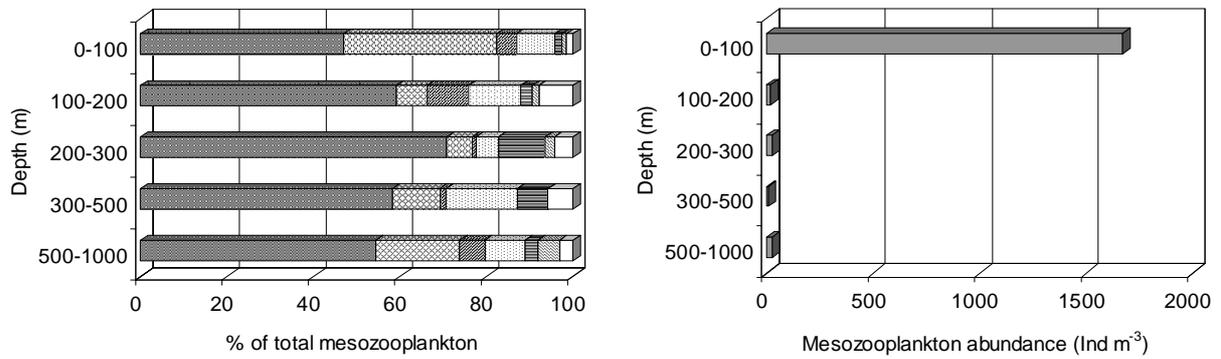


Abb. 1. Überblicksdarstellung der drei definierten Regionen des westlichen Arabischen Meeres. SST (Sea Surface Temperature: Oberflächentemperatur; 0.1 % LT (0.1 % Lichttiefe): euphotische Zone; PPC: Phytoplanktonkohlenstoff; PP: Primärproduktion; Chl a: Chlorophyll a; POC: Partikulärer organischer Kohlenstoff, sedimentiert aus der euphotischen Zone. Die Fläche der Symbole bzw. die Breite der Pfeile (Nitrat und Silikat) sind proportional zu ihren Werten.

**a) Küstenauftriebsregion**



**b) Findlater Jet Region**



**c) Zentrales Arabisches Meer**

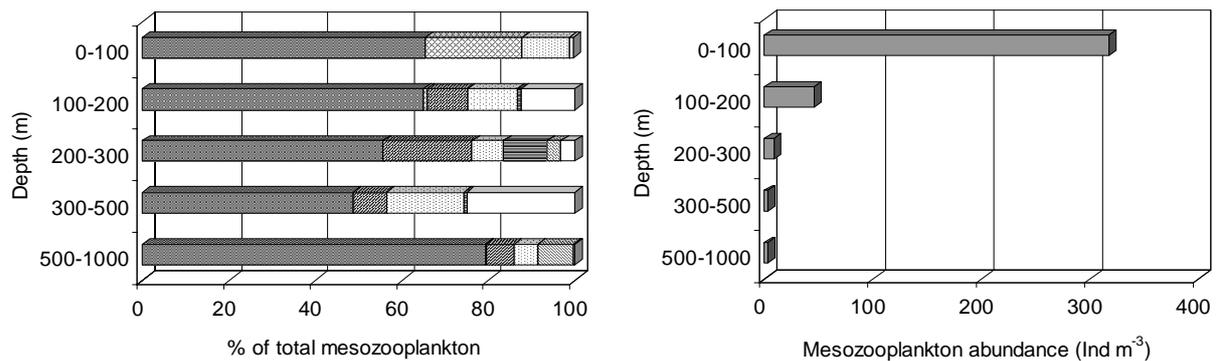


Abb. 2 a-c): Relative und absolute Mesozooplankton Zusammensetzung und Vertikalverteilung über die jeweiligen Tiefenintervalle 0-75 m bzw. 1000 m, der drei definierten Regionen des westlichen Arabischen Meeres.

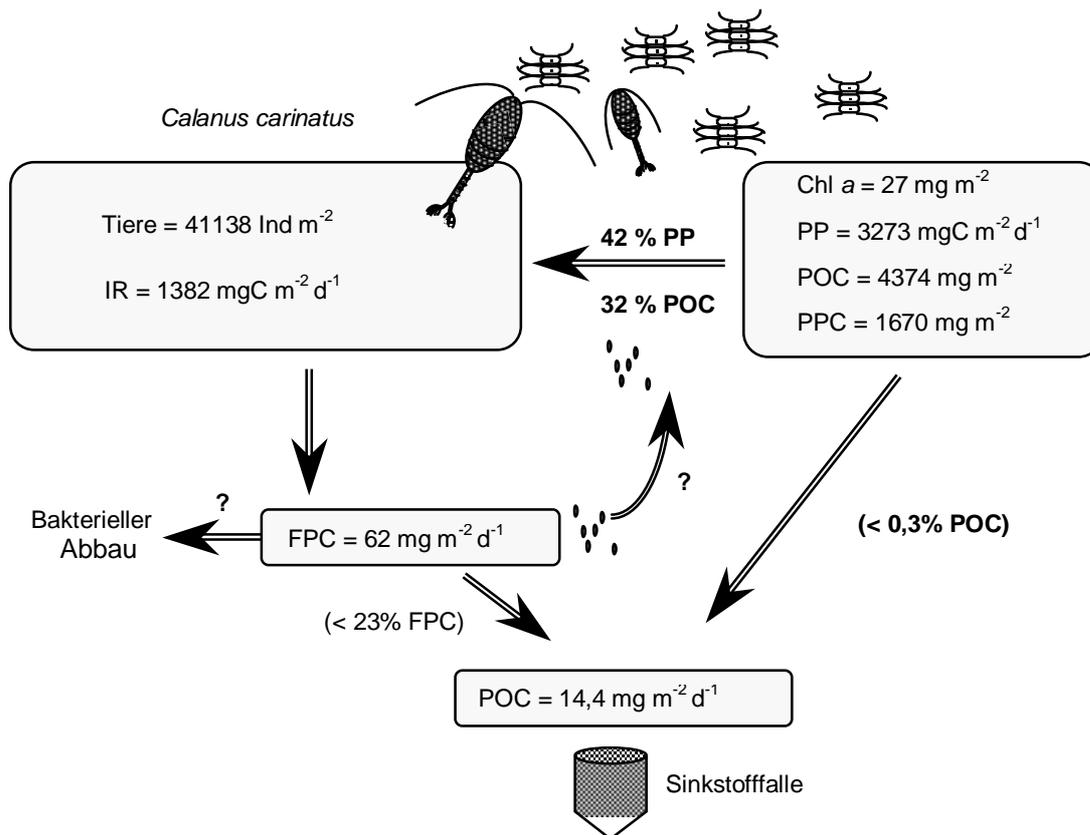


Abb. 3: Schematische Darstellung zur Rolle des Mesozooplanktons als "grazer" und Kotballenproduzent am Beispiel einer Station in der Küstenauftriebsregion vor Oman für *Calanoides carinatus*. Der Bestand bzw. die Raten von: Chl a: Chlorophyll a, PP: Primärproduktion, POC: partikulärer organischer Kohlenstoff, PPC: Phytoplanktonkohlenstoff, IR: Fressrate, FPC: Kotballenkohlenstoff, integriert von der Oberfläche bis zur 1%-Lichttiefe (0-35 m). Werte an den Pfeilen: prozentualer Anteil dessen, was von *C. carinatus* aufgenommen bzw. exkretiert wird. Tiefe der Sinkstofffalle: 67 m.

### 1.6.2 Bedeutung der Coccolithophoriden für das Epipelagial

1. und 2. Antragsphase (1995/1996 und 1997/1998)

Coccolithophoriden werden als bedeutende Primärproduzenten im nördlichen Arabischen Meer angesehen [CODISPOTI, 1991], weil ihr Eintrag in Sinkstofffallenmaterial und in das Sediment des Arabischen Meeres [RAMASWAMY *et al.*, 1991; HAAKE *et al.*, 1993a+b; ROTH, 1994] als groß galt. Auch mittels CZCS (Coastal Zone Color Scanner) beobachtete Blüten während des SW-Monsuns 1982 [BROCK und McCLAIN, 1992] haben diese Annahme verstärkt. Diese Beobachtungen führten dazu, dass Coccolithophoriden als bedeutende Phytoplanktongruppe im Kohlenstoffkreislauf des Arabischen Meeres in den Blickpunkt des wissenschaftlichen Interesses rückten und rechtfertigten die Untersuchung der Rolle dieser Organismengruppe im mikrobiellen Nahrungsgefüge und ihre Bedeutung für den Kohlenstofftransport.

Untersuchungen zur Rolle dieser Phytoplanktongruppe waren daher ein Ziel des TP-7. Während der METEOR Expedition 32/5 waren die Coccolithophoridenzellzahlen jedoch so gering, dass die Bearbeitung des Probenmaterials an die Nachweisgrenzen der eingesetzten Methoden bzw. Geräte stieß. Amerikanische Kollegen, die während des selben Zeitraumes Untersuchungen zum

Phytoplanktonvorkommen durchführten, konnten die angenommene große Bedeutung der Coccolithophoriden ebenfalls nicht bestätigen [LATASA und BIDIGARE, 1998].

Auch während des Untersuchungszeitraumes der Expedition So 120 stellten Coccolithophoriden keine das Phytoplankton dominierende Biomasse. Während eines Driftexperimentes dieser Expedition nahmen die Zellzahlen und die Artenvielfalt der Coccolithophoriden zwar stetig zu, ihr Anteil am Phytoplanktonkohlenstoff war mit maximal 6 % (St. 52, Phase II) jedoch von untergeordneter Bedeutung. Experimente zu *in situ* Kalkbildungsraten der Coccolithophoriden (s. Kap. 1.6.2.1) zeigten, dass die anorganische Bindung von Kohlenstoff die organische Kohlenstofffixierung dieser Organismen ebenfalls nicht überstieg. Die höchsten Kalkbildungsraten wurden bei maximalen Zellzahlen (St. 52, Phase II) gemessen. Dies entsprach auf der Basis von Kohlenstoff lediglich 12 % der Primärproduktion.

Die hohen Kalziumkarbonat Anteile am Partikelfluss konnten daher nicht von diesen Organismen stammen. Die einzige andere Quelle für  $\text{CaCO}_3$  waren planktische Foraminiferen, die in hohen Abundanzen im Sinkstofffallenmaterial beobachtet wurden (Mittelwert: 8378 Individuen  $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ). Pelagische Foraminiferen waren daher für die hohe Sedimentation von Kalziumkarbonat verantwortlich [SELLMER, 1999].

#### **1.6.2.1 *In situ*-Messung der Kalkbildung** 2. Antragsphase (1997/1998)

Wegen der Bindung anorganischen Kohlenstoffs als Kalziumkarbonat und der damit verbundenen Erhöhung des  $\text{pCO}_2$  sind Untersuchungen zur Kalkbildung dieser Organismen für die JGOFS-Fragestellung besonders wichtig. Während der Expedition SONNE 120 wurden daher *in situ* Kalkbildungsmessung der Coccolithophoriden durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten [SELLMER, 1999], dass die Erfassung der Kalkbildungsraten im Feldversuch mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden ist. Untersuchungen mit der  $^{14}\text{C}$ -Methode blieben bisher auf Kulturversuche beschränkt [z.B. PAASCHE, 1962, 1963, 1964, 1965; SIKES *et al.*, 1980; SIKES und WILBUR, 1982; NIMER und MERRETT, 1992; NIMER *et al.*, 1992], in denen zumeist nur Reinkulturen von Coccolithophoriden inkubiert wurden. *In situ*-Messungen dieser Methode zur Erfassung der Kalkbildung der Coccolithophoriden sind - soweit bekannt - in der Literatur noch nicht beschrieben worden.

Experimente zur *in situ*-Bestimmung der Kalkbildungsraten können nach den Ergebnissen der Expedition So 120 nur gelingen, wenn eine hohe Abundanz von Coccolithophoriden vorliegt. Absolute Kalkbildungsraten konnten lediglich auf Stationen mit  $> 10^5$  Zellen  $\text{l}^{-1}$  mit der  $^{14}\text{C}$ -Methode aufgezeigt werden. Die Zellkonzentrationen der Kulturversuche lagen deutlich  $> 10^6$  Zellen  $\text{l}^{-1}$ . Das spricht dafür, dass die vorgefundenen *in situ* Konzentrationen der Coccolithophoriden zu gering waren, als dass die Kalkbildung mit dieser Methode zu quantifizieren wäre. Daraus resultierend ergibt sich ein weiterer möglicher Schwachpunkt dieser Methode. In der vorgestellten Untersuchung wurde eine Aktivität von  $25 \mu \text{Ci NaH}^{14}\text{CO}_3$  pro Probe verwendet. Die in Kulturversuchen eingesetzte Aktivität ist mit  $125 \mu \text{Ci NaH}^{14}\text{CO}_3$  [z. B. NIMER und MERRETT, 1992] deutlich höher. Eine Konzentrationserhöhung der *in situ* Messungen war allerdings nicht möglich da das Forschungsschiff SONNE keine aus-

reichende Umgangsgenehmigung für derartige hohe Mengen von radioaktiv markiertem Kohlenstoff hat.

Vorversuche im Nordostatlantik mit einem größeren Inkubationsvolumen (1 l) und  $25 \mu\text{Ci NaH}^{14}\text{CO}_3$  pro Probe bei vergleichbaren Coccolithophoridenzellzahlen wurden im Sommer und Herbst durchgeführt (eigene unveröffentlichte Daten). Aber auch hier ergaben sich starke Abweichungen in den Doppelproben und zum Teil sogar negative Werte. Dies zeigt deutlich, dass die angewandte Methode für derart geringe Zellzahlen der Coccolithophoriden nicht sensibel genug ist. Deshalb wurde im Vorfeld der Expedition nach anderen Messtechniken gesucht. Eine verfeinerte Methode beispielsweise wäre die Inkubation mit radioaktiv markiertem Kalzium. Es könnte direkt über die Inkorporation des markierten Kalziums die Kalkbildung berechnet werden, die fehlerbehaftete Differenzbildung wie bei der  $^{14}\text{C}$ -Methode entfällt. Der Einsatz von radioaktiv markiertem Kalzium ist aber mit vielerlei logistischen Problemen behaftet und sein Einsatz war sowohl auf FS METEOR als auch auf FS SONNE untersagt. Für zukünftige Untersuchungen wäre es wünschenswert, Kalkbildungsraten ohne Radioaktivität zu erfassen. Dies wäre z.B. mit einem  $\text{CO}_2$ -Infrarotdetektor, der sogar direkt an Bord eingesetzt werden kann, erreichbar. Das Prinzip beruht darauf, dass in einem geschlossenen System das Kalziumkarbonat mittels Säure aufgelöst wird. Das dabei entstehende Kohlendioxid, vom  $\text{CO}_2$ -Detektor gemessen, ist ein Maß für den Anteil des Kalziumkarbonates der Probe. Die finanzielle Situation des Projektes ermöglichte leider die Anschaffung eines solchen Gerätes nicht (Folgeantrag 1997/98).

Wenngleich die absoluten Werte der Kalkbildung (s. o.) wegen der genannten methodischen Probleme [SELLMER, 1999] und vor allem bedingt durch die geringen Abundanzen der Coccolithophoriden starke Abweichungen in den Parallelen aufwiesen, so konnte dennoch eine Korrelation zwischen der Abundanzzunahme der Coccolithophoriden und dem Anstieg der Kalkbildung beobachtet werden. Die gemessenen Werte sollten daher nicht als absolute Daten interpretiert werden, können aber durchaus als relatives Maß der Kalkbildung der Coccolithophoriden angesehen werden.

Somit lässt sich abschließend zusammenfassen, dass Coccolithophoriden im Untersuchungszeitraum des SW-Monsuns keine bedeutenden Primärproduzenten im Epipelagial des Arabischen Meeres waren. Sie waren ebenfalls nicht maßgeblich am vertikalen Kohlenstoffexport beteiligt. Nach dem derzeitigen Kenntnisstand haben diese Organismen keine große Bedeutung für den Kohlenstoffkreislauf im Arabischen Meer. Es bleibt zu klären, ob die zuvor angenommene wichtige Bedeutung der Coccolithophoriden lediglich in den Studien, die diese Hypothesen stellten, zu sehen war, oder ob Coccolithophoridenblüten tatsächlich ein regelmäßiges Phänomen im nördlichen Arabischen Meer sind – von uns jedoch nicht erfasst wurden.

### **1.6.3 Kurzzeitliche Variabilität epipelagischer Strukturen in einem Filament**

#### **2. Antragsphase (1997/1998)**

Die Ergebnisse der Expedition SONNE 120 sind u.a. bereits detailliert im Schlussbericht 1997/1998 sowie in SELLMER [1999] dargestellt. Einzelergebnisse sind beschrieben in HOPPE *et al.* (1999, *subm.*) und HOPPE *et al.* (2000, *subm.*). Eine für ein Auftriebsgebiet untypische Situation, nämlich der Mangel eines Makronährsalzes – im vorliegenden Fall Silikat – ist ebenfalls bereits in einer Veröffentlichung

beschrieben [VON BRÖCKEL *et al.*, subm. 1999]. Im folgenden werden die Ergebnisse der Expedition SONNE 120 kurz zusammengefasst.

Während der Expedition SONNE 120 wurde ein Filament von seinem Entstehungsort im Küstenauftrieb vor Oman bis in den offenen Ozean verfolgt und physikalisch, chemisch und biologisch beschrieben. Ein Drifter (LAGRANGE'sche Probennahmestrategie) mit einer Sinkstofffalle, positioniert unterhalb der euphotischen Zone, wurde im Küstenauftrieb ausgesetzt und über 19 Tage verfolgt. Die Sinkstofffalle dokumentierte den vertikalen Partikelfluss aus der euphotischen Zone. Es fand während dieser Zeit eine intensive Wassersäulenbeprobung statt. Es gelang erstmals über einen längeren Zeitraum phytoplanktologische Ereignisse innerhalb eines Filamentes zu verfolgen. In diesem hoch dynamischen System spielten advective Prozesse eine große Rolle. Die Ergebnisse geben das Zusammenspiel von zeitlicher Sukzession und Advektion wieder, die in drei verschiedene Phasen unterteilt werden konnten. Grundlage dieser Einteilung bildete die Clusteranalyse der Phytoplanktonzusammensetzung. Alle anderen Parameter folgten dieser Gliederung. Phase I umfasste die ersten fünf Stationen, Phase II die sechs darauffolgenden und Phase III die letzten drei Stationen - bereits im offenen Ozean. Während sich die abiotischen Umweltparameter nicht wesentlich änderten, zeigte sich ein deutlicher Wechsel in der Phytoplanktonzusammensetzung sowie der Beteiligung der einzelnen Größenklassen an der Primärproduktion. Die Oberflächentemperatur und der Oberflächensalzgehalt nahmen zu, und die durchmischte Schicht wurde deutlich mächtiger. Die euphotische Zone verflachte sich von 54 m auf 47 m. In der durchmischten Schicht nahmen die Nitrat- und Silikatkonzentrationen leicht zu. Nitrat stieg von  $12.68 \mu\text{mol NO}_3^- \text{l}^{-1}$  auf  $15.60 \mu\text{mol NO}_3^- \text{l}^{-1}$  und Silikat von  $6.87 \mu\text{mol Si(OH)}_4 \text{l}^{-1}$  auf  $8.57 \mu\text{mol Si(OH)}_4 \text{l}^{-1}$  an. Die Chl *a*-Konzentration sank von  $1.12 \mu\text{g l}^{-1}$  auf  $0.70 \mu\text{g l}^{-1}$ . Die Primärproduktion nahm zunächst von  $1.88 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Phase I) auf  $1.55 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Phase II) ab und stieg in Phase III wieder leicht an ( $2.10 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ). Entsprechend zeigte sich der Phytoplanktonkohlenstoff. Er nahm von  $2.91 \text{ mg m}^{-2}$  auf  $1.97 \text{ mg m}^{-2}$  ab und erreichte in Phase III mit  $2.34 \text{ mg m}^{-2}$  wieder einen höheren Wert. In Phase I prägten Bacillariophyceen das Phytoplankton in der durchmischten Schicht. Sie stellten 51 % der Primärproduktion. Unterhalb der durchmischten Schicht dominierten jedoch pico- und nanoplanktische Organismen die Phytoplanktongemeinschaft. Diese waren hier mit jeweils 39 % an der Primärproduktion beteiligt. Mit Phase II trat ein Wechsel zu den  $\mu$ -Flagellaten auf. Die Entwicklung in Phase III verlief unbeständig. Es dominierten weiterhin die  $\mu$ -Flagellaten, doch traten vor allem Dinophyceen und erneut Bacillariophyceen auf.

Die drei Phasen ließen sich – wie auch erwartet – nur bedingt in den Sinkstofffallenuntersuchungen wiederfinden. Der Gesamtpartikelfluss nahm von Phase I bis Phase III deutlich ab. Entsprechend der hohen Produktion im Küstenauftrieb (Phase I) wurde hier die höchste Sedimentationsrate gemessen.  $\text{CaCO}_3$  machte stets den Hauptbestandteil des Sinkstofffallenmaterials aus, was durch die hohen Abundanzen pelagischer Foraminiferen im Sinkstofffallenmaterial zu erklären ist. Die höchste P<sub>Si</sub>-Sedimentationsrate wurde in Phase I registriert, was auf den Beginn der Sedimentation der Bacillariophyceenblüte im Küstenauftrieb zurückzuführen ist. Es zeigt sich aber während des Driftexperimentes ein weiterer P<sub>Si</sub>-Sedimentationspuls, dessen Anteil am Gesamtpartikelfluss als Trockengewicht (TG) nur geringfügig kleiner war als in der ersten Phase. Dies lässt auf einen lateralen Eintrag von Bacillariophyceen aus der Küstenregion schließen. Auffällig ist die stetige POC-Sedimentationszunahme entlang der Drifttrajektorie. Bezogen auf den Partikelfluss wurde der POC-

Anteil größer. Im Vergleich zur Primärproduktion nahmen der POC Anteil, der aus dem System heraus sedimentierte, jedoch ab. Sedimentiertes Chl *a* ist ein Indikator für 'frisches' Phytoplankton, da es das primär gebildete Photosynthese-Pigment des Phytoplanktons ist [LIBBERT, 1993]. Die geringen Anteile von unabgebautem Chl *a* während des gesamten Driftexperimentes zeigen, dass das abgesunkene Material nicht als 'frisch' bezeichnet werden kann. Weiterhin hat demnach kein schneller Transport von primär gebildeter Materie aus der Oberfläche in tiefere Wasserschichten stattgefunden. Dies wird darüber hinaus von den - gegenüber der Wassersäule - höheren C:N-Verhältnissen im Sinkstofffallenmaterial unterstrichen. Abb. 4 fasst die pelagischen Prozesse der Driftstudie schematisch zusammen.

#### **1.6.4 Kohlenstoffbilanzierung in einem Filament**

##### **3. Antragsphase (Synthese, 1999/2000)**

In gemeinsamer Auswertearbeit mit den Arbeitsgruppen (TP-8, Mikrobiologie) und Burkill/UK (Pico- und Mikrozooplankton) wurde damit begonnen, das Datenmaterial zusammenzuführen, um zu einer Beschreibung und Bilanzierung der physikalischen biologischen Prozesse in der euphotischen Zone während verschiedener Phasen der Driftstudie (s. Kap. 1.6.3 und Abb. 4) zu gelangen und die Stoffflüsse zwischen den einzelnen Kompartimenten zu quantifizieren.

##### **1.6.4.1 Physikalische Arbeiten**

Zur Quantifizierung der den Kohlenstofffluss steuernden Prozesse musste zunächst die Größe und die räumliche Verbreitung der Filamente bestimmt werden. Hierfür musste einerseits die von der Windschubspannung abhängige vertikale Auftriebsgeschwindigkeit berechnet werden, als auch im weiteren die lateralen Transporte entlang der Küste bzw. *offshore* abdrehende Strömungen bestimmt werden. Aus der Literatur sind für diese Region nur wenige vergleichbare Resultate vorhanden. Diese ersten Berechnungen erfolgten zunächst unter Hinzunahme eigener Daten der Expedition METEOR 32/5 und v.a. aus Wetterdaten vom 'European Centre of Medium-Range Weather Forecast' (ECMWF). Diese Transportdaten (s. Jahresbericht 1999) wurden dann mit den Geschwindigkeiten, die in den drei Phasen des Driftexperimentes der Expedition SONNE 120 gemessen wurden, verglichen. Das verfolgte Filament, das sich parallel zur Küste mit einem Abstand von 50 km bis 80 km bewegte und sich direkt zwischen Küste und dem East Arabian Current Jet befand, zeigte zunächst nordostwärtige Strömungsgeschwindigkeiten von  $8 \text{ cm s}^{-1}$  bis  $20 \text{ cm s}^{-1}$ . Die Wurzeln des Filaments sind dabei südwestlich vor Ras Sharbatat zu suchen ( $56.5^\circ \text{ E} / 18^\circ \text{ N}$ ) und sein Ausbreitungspfad erstreckt sich über 150 km nach Nordosten. Bei Erreichen des relativ steilen Kontinentalabhanges ab  $18.4^\circ \text{ N}$  dreht es aufgrund der Zunahme in der potentiellen 'Vorticity' in südsüdwestliche Richtung ab. Die Geschwindigkeit nimmt hier weiter bis zu  $30 \text{ cm s}^{-1}$  zu. Das Filament, das immer noch als eine  $2^\circ \text{ C}$  bis  $3^\circ \text{ C}$  kältere Wassermasse zu identifizieren ist, jedoch schon zunehmend mit dem deutlich wärmeren und salzhaltigeren Umgebungswasser (Arabian Sea Water, ASW) vermischt ist, ändert seine Richtung wiederum, nachdem es den Schelfvorsprung vor Ras Sharbatat wieder erreicht hat, und wendet sich nun nach Südosten mit der Tendenz weiter nach Nordosten zu schwenken (Abnahme in der potentiellen 'Vorticity'). Dies lässt auf den zunehmenden Einfluss des East Arabian Current Jet schließen, was auch die hohen Geschwindigkeiten von  $50 \text{ cm s}^{-1}$  in diesem Driftabschnitt bestätigen.

Der Massentransport dieses Filaments beträgt bei einer Tiefe von ca. 100 m und einer Breite von ca. 40 km 0.8 Sv, die möglicherweise dem East Arabian Current Jet zugetragen werden (s. Jahresbericht 1999, Abb. 1).

#### 1.6.4.2 Biologische Arbeiten

Zu den phytoplanktologischen Daten wurden heterotrophe Bestände und Prozesse, die die pelagischen Systeme im westlichen Arabischen Meer wesentlich beeinflussen und/oder kontrollieren (TP-8, Mikrobiologie/Bakterien; AG Burkill/UK, Mikro- und Mesozooplankton), hinzugezogen. So konnte ein umfassendes Gesamtbild der biologischen Prozesse im Epipelagial während verschiedener Phasen der Driftstudie erstellt werden. Darüber hinaus ermöglichte der Zusammenfluss dieser Daten die Berechnung des Kohlenstoffflusses in und zwischen den verschiedenen Kompartimenten des Kohlenstoffkreislaufes. Diese sind schematisch in Abb. 5 dargestellt. Wesentliche Ergebnisse werden hier nochmals kurz aufgezeigt.

Es konnte generell eine positive Korrelation in der Vertikalverteilung von Primärproduktion, den Chl *a* - Konzentrationen und der bakteriellen Nettoproduktion gefunden werden (s. Schlussbericht TP-8). Dies weist auf eine enge Kopplung zwischen bakteriellem Wachstum und Phytoplanktonproduktivität hin. Die integrierte bakterielle Nettoproduktion erreichte im Mittel 29% der Primärproduktion. Bakterienzahlen (TBN) und -produktion (BP) wurden mit den Abundanzen heterotropher Nanoflagellaten (HNF) verglichen, um die Beziehungen zwischen Bakterien und ihren wichtigsten, potentiellen Grazern zu untersuchen. In der oberen Wassersäule (bis 150 m) schwankten die HNF - Konzentrationen zwischen  $0,9$  und  $3,4 \times 10^9$  Zellen  $m^{-3}$  (AG Burkill/UK; Sellmer *et al.*, Manuskript). Es zeigte sich jedoch keine gute Korrelation zwischen TBN, bakterieller Zellproduktion und den HNF Abundanzen, was auf eine ‚top down – control‘ bakterivorer Protozoa durch größeres Zooplankton zurückzuführen sein könnte. Die hohen Mesozooplanktonbestände, die in diesem küstennahen Auftriebssystem beobachtet wurden, sind ein Hinweis auf einen hohen Fraßdruck des Meso- auf das Mikrozooplankton (s. Jahresbericht 1999).

Die durchgeführten Mesozooplankton Untersuchungen ergaben, dass nicht nur *C. carinatus* einer der Hauptgrazer des Phytoplanktons war, sondern dass sich weitere große herbivore Organismen (*Eucalanus monachus* und Salpen) bedeutend auf den Verbleib des durch das Phytoplankton gebundenen Kohlenstoffs auswirken. So konnte festgestellt werden, dass bei ähnlichen Nahrungskonzentrationen *E. monachus* erheblich höhere Fraßraten ( $12 \mu\text{g C Tier}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) als *C. carinatus* ( $3 \mu\text{g C Tier}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) aufwies. Darüber hinaus belegen die Berechnungen des potentiellen Fraßdruckes des Mesozooplanktons deutliche Unterschiede zwischen der Auftriebsregion (*inshore*, Schelfregion, Wassertiefe < 200 m) und den umliegenden Regionen (*offshore*, offener Ozean, Wassertiefe > 200 m). Obwohl in beiden Regionen die durchschnittlichen Phytoplanktonkonzentration nur gering variierten ( $1401 \text{ mg C m}^{-2}$  *offshore* und  $1412 \text{ mg C m}^{-2}$  *inshore*), wurde der niedrigste Fraßdruck (2-5% der Phytoplanktonbiomasse) für die *offshore* Stationen berechnet, während die *inshore* Stationen einen deutlich höheren Fraßdruck (14-68% der Phytoplanktonbiomasse) aufwiesen. Dieser Unterschied ist auf die unterschiedliche Phytoplanktonzusammensetzung bzw. Zellgröße zurückzuführen [ZELLER, eingereicht].

Eine genauere Analyse der Nährstoffverhältnisse belegte eine Silikatlimitation während der ersten Tage des Driftexperimentes. Dieses für ein Auftriebsgebiet ungewöhnliches Phänomen ist beispielsweise auch im Küstenauftrieb vor Peru beobachtet worden [DUGDALE und WILKERSON, 1998]. Die Studie startete demnach offenbar nach dem eigentlichen Auftriebsphänomen, denn eine Bacillariophyceenblüte hatte sich bereits entwickelt und das Silikat aufgebraucht. Dieser Sachverhalt wird in einer Veröffentlichung ausführlich vorgestellt [VON BRÖCKEL *et al.*, eingereicht]. Die Berechnungen zur Bilanzierung des Kohlenstoffflusses entlang des Filamentes [SELLMER *et al.*, Manuskript] zeigten, dass sowohl das Meso- als auch das Mikrozooplankton [EDWARDS, AG Burkill/UK, pers. Mitteilung] bis zu 80 % der täglichen Primärproduktion aufnehmen können. Dies bedeutet einen nahezu 100 %-igen Wegfraß der täglichen Primärproduktion und damit somit ein ‚top-down‘ kontrolliertes System. Offenbar wurde der Kohlenstofffluss dieser hochvariablen Region zu Beginn durch Nährsalzlimitierung bestimmt und im weiteren Verlauf zusätzlich durch Fraßdruck kontrolliert.

Der Partikelfluss aus der euphotischen Zone [SELLMER, 1999] war durch eine starke Variabilität gekennzeichnet. Die höchsten Flussraten der Hauptkomponenten des vertikalen Partikelflusses Kalziumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), partikuläres Silikat (PSi) und POC/PON wurden entsprechend des maximalen Gesamtpartikelflusses zu Beginn der Untersuchung gemessen und machten im Mittel 50-97 % des Gesamtpartikelflusses aus.  $\text{CaCO}_3$  machte während der gesamten Studie den Hauptanteil des Gesamtpartikelflusses aus, wobei die Kalkschalen pelagischer Foraminiferen (Kap. 1.6.2.) den Hauptanteil mit bis zu 87 % stellten. Die höchsten POC- und PON-Anteile von 21 % bzw. 4 % wurden in den ersten Tagen des Driftexperimentes registriert. Die prozentualen Anteile von PSi am Gesamtpartikelfluss schwankten zwischen < 1 % und 5 % mit maximalen Beteiligungen zu Beginn und zum Ende des Experimentes.

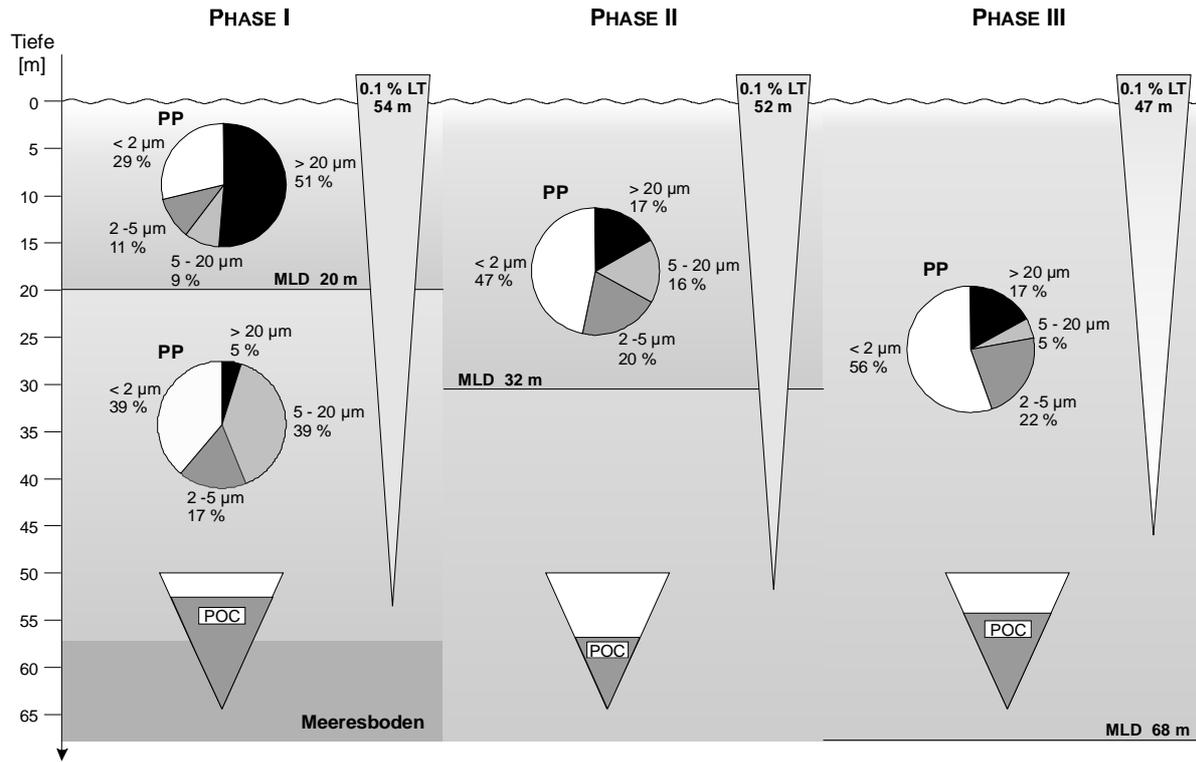


Abb. 4: Zusammenfassende schematische Darstellung der pelagischen Prozesse in den drei Phasen der Driftstudie während der Expedition SONNE 120. Kreisdiagramme: Größenfraktionierte Primärproduktion (PP); 0.1 % LT: 0.1 % Lichttiefe, euphotische Zone; MLD: Tiefe der durchmischten Schicht; POC: Partikulärer organischer Kohlenstoff, sedimentiert aus der euphotischen Zone.

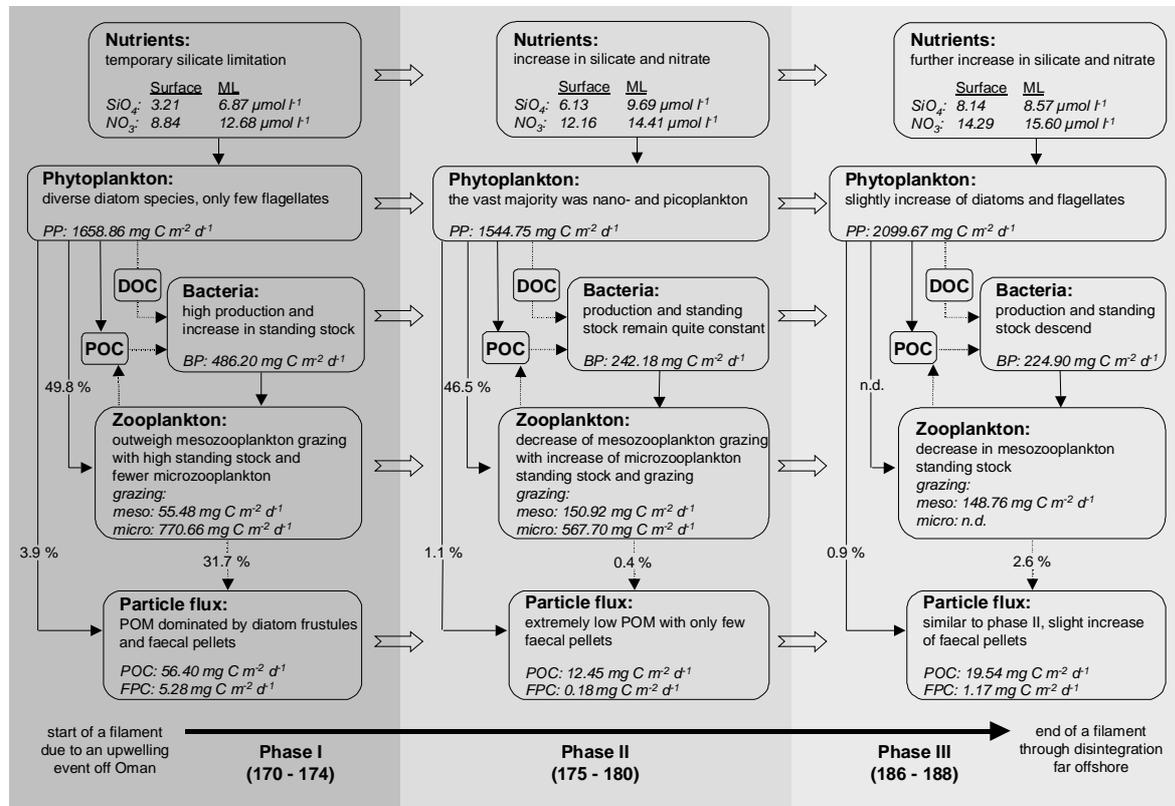


Abb. 5: Kohlenstofffluss zwischen den verschiedenen biologischen Kompartimenten innerhalb der drei Phasen des Filamentes.

### 1.6.5 Datenmanagement

#### *Datenbestand/-abgabe*

Die Zahl der abgegebenen Daten hat sich in der Projektphase 1999/2000 stark erhöht. Allein zwischen Januar und Dezember 2000 stieg das Datenvolumen um 128%. Neue Daten wurden entweder vom Datenmanager bei dem entsprechenden Wissenschaftler angefordert oder sie wurden von diesen direkt abgeliefert. Tab. 2 gibt eine Übersicht, wie sich der aktuelle Datenbestand auf die verschiedenen Datentypen verteilt.

Tab. 1: Datenbestandsentwicklung

Stand	Zahl der Dateien	Datenvolumen
Januar 2000	3331	295.9 MB
Dezember 2000	4348	676.8 MB

Tab. 2: Aufteilung der abgegebenen Daten in Datentypen am Ende des Projektzeitraumes

Datentyp	Zahl der Dateien	prozentuale Verteilung	Datenvolumen	prozentuale Verteilung
Profile	2842	65.4 %	218.6 MB	32.3 %
Zeitreihen	541	12.4%	421.2 MB	62.2 %
Diskrete Probandaten (Schöpfer, Pumpen)	664	15.3%	33.8 MB	5.0 %
Netzfänge	27	0.6%	1.0 MB	0.1 %
Kalibrierungsdaten	174	4.0%	30 KB	
Infos, Metadaten	100	2.3%	2.1 MB	0.3 %
SUMME	4348		676.7 MB	

#### *Datenverarbeitung*

Die abgelieferten Daten wurden nach und nach in ein relationales Datenbankmodell auf Basis von MS Access 2000 überführt, wobei die Datendateien und die Abfragemasken getrennt voneinander verwaltet werden. Abb. 6 zeigt einige wesentliche Elemente des Datenbankmodells.

Diese aufgearbeiteten Daten, bei denen der einzelne Messwert mit seinen zur Verfügung stehenden Metainformationen verknüpft ist, ist die Grundlage für das Webangebot des Datenmanagement und die Langzeitarchivierung der gesammelten Daten.

Im Juni 2000 wurde eine neu gestaltete Webseite (siehe Abb. 7) des deutschen JGOFS-Datenmanagements freigeschaltet. Sie ist unter <http://www.ifm.uni-kiel.de/jgofs/dm/> zu finden. Der Zugriff auf das Webangebot hat sich auf durchschnittlich 100 Zugriffe pro Monat erhöht.

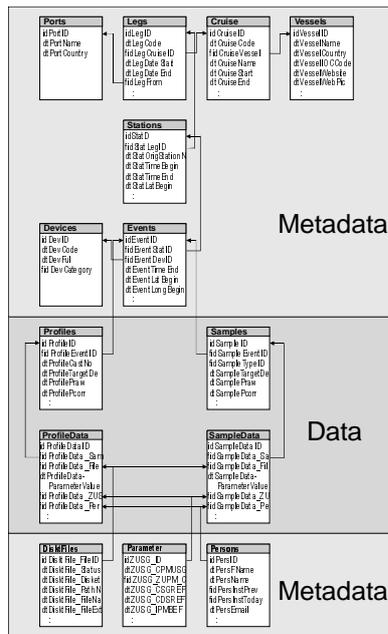


Abb. 6: Ausschnitt aus dem verwendeten relationalen Datenbankmodell

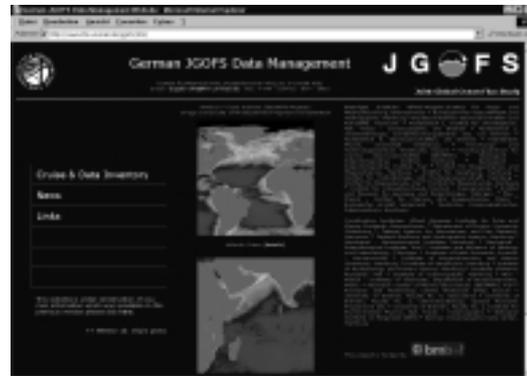


Abb. 7: Homepage des deutschen JGOFS-Datenmanagements

### Datenanfragen/-weitergabe

Anfang 1999 konnte eine CD-ROM mit CTD-, XBT- und SeaSoar-Daten der Prozessstudie in der Arabische See an das International Project Office (IPO) in Bergen übergeben werden (siehe Abb. 8).



Abb. 8: Internationale JGOFS CD-ROM für Daten aus der Arabischen See

Im Jahre 2000 wurden zahlreiche direkte Datenanfragen aus Deutschland, Groß-Britannien, USA, Indien und Norwegen bearbeitet. Zusätzlich standen im (noch) beschränktem Umfange Daten zum direkten Download von der Webseite des deutschen JGOFS-Datenmanagements zur Verfügung.

Im Rahmen eines im Juni 2000 in Kiel durchgeführten Workshop des Data Manager Task Teams (DMTT) wurden unter anderem Beschlüsse für ein gemeinsames Datenformat (CSV) gefasst und die zukünftige Produktion einer internationalen Datensammlung auf CD-ROM vereinbart.

Während des internationalen JGOFS-Workshop im September 2000 in Bremen wurde darüber hinaus diskutiert, wie der JGOFS-Datenbestand in die Pangaea-Datenbank (AWI-Bremerhaven, Uni Bremen) des „World Data Center“ am MARUM integriert werden kann.

## 1.7 Ausblick und offenen Fragen

Im folgenden werden kurz die Punkte wiedergegeben, zu deren Klärung Mitarbeiter des TP-7 wesentlich beitragen konnten.

- Innerhalb des Projektes wurde erstmalig ein umfassender und detaillierter Satz phytoplanktologischer Daten sowie hydrographischer und chemischer Begleitparameter des Epipelagials des westlichen Arabischen Meeres z. Z. des SW-Monsuns zu einem Gesamtbild zusammengefügt [SELLMER, 1999].
- Es zeigten sich deutliche regionale Unterschiede in den Strukturen des Epipelagials, anhand derer die Charakteristika drei verschiedener geographischer Regionen dokumentiert und graphisch dargestellt wurden. Unabhängig von den absoluten Messwerten sind diese 'Modelle' der drei Regionen qualitativ repräsentativ für die Situation während des SW-Monsuns im westlichen Arabischen Meer (Abb. 1).
- Als entscheidend für das Verständnis und die Charakterisierung der drei geographischen Regionen erwies sich die Zusammenführung zahlreicher Ergebnisse unterschiedlicher Methoden: Temperatur und Salzgehalt zur Beschreibung der Deckschicht sowie Licht- und Nährsalzmessungen zur Darstellung der abiotischen Umweltbedingungen des Phytoplanktons. Die Größenfraktionierungen des Chl *a*-Bestandes und der Primärproduktion ermöglichten die Zuordnung der beteiligten Größenklassen an der Biomasse und der Kohlenstofffixierung. Mikroskopische Untersuchungen dienten darüber hinaus einer Identifikation einzelner Phytoplanktonklassen oder Phytoplanktonarten und einer Bestimmung des Kohlenstoffgehaltes einzelner Individuen und Gruppen. Die als  $\mu$ -Flagellaten zusammengefassten Phytoplanktongruppen konnten durch Pigmentmessungen (HPLC) einzelnen Phytoplanktonklassen zugeordnet werden [SELLMER, 1999].
- Während der 2. Expedition konnte eine umfangreiche und detaillierte Aufnahme des Gesamtsystems erfolgen. Zu den phytoplanktologischen Daten kamen heterotrophe Prozesse, die die pelagischen Systeme im westlichen Arabischen Meer wesentlich beeinflussen und/oder kontrollieren (TP-8, Mikrobiologie/Bakterien; AG Burkill/UK, Mikro- und Mesozooplankton).
- Die Synthese dieser Daten ermöglichte die Berechnung des Kohlenstoffflusses in und zwischen den verschiedenen Kompartimenten des Kohlenstoffkreislaufes (Kap. 1.6.4).
- Weitergehende Untersuchungen zu Vorkommen und Ausmaß von Coccolithophoridenblüten werden klären müssen, ob diese Phytoplankter tatsächlich den Kohlenstoffkreislauf in dieser Meeresregion wesentlich bestimmen und wenn ja, ob dies nur zu bestimmten Jahreszeiten oder ganzjährig zutrifft.

## 1.8 Publikationen der Ergebnisse

Die nachfolgenden Listen umfassen die im Berichtszeitraum erschienenen Veröffentlichungen, eingereichten Manuskripte, vorgestellten Poster und Vorträge sowie Daten CD-ROMs.

### 1.8.1 Veröffentlichungen bzw. eingereichte Veröffentlichungen in begutachteten Zeitschriften

- HOPPE H.-G., S. ULLRICH, K. VON BRÖCKEL, C. SELLMER, . Relationship between bacterial C-demand and C-supply by settling and suspended POM in the deep Arabian Sea. Deep-Sea Research – Sonderband (beim Editor Januar 2000 (DSR) eingereicht).
- KRIEST I., 1999. The influence of phytoplankton aggregation on sedimentation - a model study. Berichte aus dem Institut für Meereskunde an der Christian-Albrechts-Universität, 306, 135 pp.
- KRIEST I., G. T. EVANS, 1999: Representing phytoplankton aggregates in biogeochemical models. Deep-Sea Research 46, 1841-1859.
- KRIEST I., G. T. EVANS, 2000: A vertically resolved model for phytoplankton aggregation. Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet. Sci.), 109, No. 4, 453-469.
- SELLMER C., 1999. Phytoplanktologische Studien im Westlichen Arabischen Meer zur Zeit des SW-Monsuns – Ein Beitrag zum Verständnis des regionalen Kohlenstoffkreislaufs. Bericht des Institutes für Meereskunde an der Universität Kiel, 309, 154 pp.
- SELLMER C., VON BRÖCKEL, K.,. SW-Monsoon in the Western Arabian Sea: Phytoplankton Dynamics Deep-Sea Research – Sonderband (beim Editor Januar 2000 (DSR) eingereicht).
- ULLRICH S., K. JESKULKE, R. KREHL, H.-G. HOPPE, C. SELLMER, K. VON BRÖCKEL, : Bacterial carbon flow in the Arabian Sea during SW – monsoon: Response to wind forcing. Mar. Ecol. Prog. Ser. (beim Editor 2000 eingereicht).
- VON BRÖCKEL K., C. SELLMER, I. KRIEST,. Silicate limitation in a filament: a typical temporal feature within coastal upwelling systems? Journal of Plankton Research, eingereicht Dezember 1999.
- ZELLER U.,. Mesozooplankton community structure and grazing impact in the western Arabian Sea during the Southwest Monsoon. Deep-Sea Research – Sonderband (beim Editor Januar 2000 (DSR) eingereicht).

### 1.8.2 Vorträge und Poster im In- und Ausland

- HERRMANN J., 2000. German JGOFS Data Management. Berichte aus dem Fachbereich Geowissenschaften der Universität Bremen, 162, 14. Biogeochemical Cycles: German contribution to the International JGOFS, 18.-21. September 2000, Bremen.
- HOPPE H.-G., S. ULLRICH, K. VON BRÖCKEL, C. SELLMER, 1999. Relationship between bacterial C-demand and C-supply by settling and suspended POM in the deep Arabian Sea. Berichte aus dem Fachbereich Geowissenschaften der Universität Bremen, 150, 24. 8. JGOFS-Workshop 02./03. Dezember 1999, Bremen.
- HOPPE H.-G., S. ULLRICH, K. VON BRÖCKEL, C. SELLMER, 2000. Bacterial C-demand (mineralization) in the aphotic depths of the Arabian Sea exceeds measured C-fluxes from the euphotic zone. Berichte aus dem Fachbereich Geowissenschaften der Universität Bremen, 162, 53-54. Biogeochemical Cycles: German contribution to the International JGOFS, 18.-21. September 2000, Bremen.
- PETUHOV K., J. WANIEK, 1999. Distribution of characteristic hydrographic parameters during the SW-Monsoon 1997 along the drift trajectory. WOCE Report, 164/99. WOCE India Ocean Workshop, New Orleans, LA, USA, 22-25.09.98.
- SELLMER C., 1999. Zusammenfassung der planktologischen Datensätze der Fahrten Meteor 32/5 und Sonne 120. Vortrag im Rahmen der AG Daten und Modelle, Indik. Am 27.10.99 in Hamburg.
- SELLMER C., K. VON BRÖCKEL, 1999. SW-Monsoon in the Western Arabian Sea: Production and Fate of Calcium Carbonate. Proc. Indian Academy of Science, Earth Planet. Sciences, Bangalore.

- SELLMER C., K. VON BRÖCKEL, U. ZELLER, S. ULLRICH, E. EDWARDS, P. BURKILL, 1999. Carbon flow dynamics of a cold water filament: Data assimilation and synthesis. Berichte aus dem Fachbereich Geowissenschaften der Universität Bremen, 150, 46-47. 8. JGOFS-Workshop 02./03. Dezember 1999, Bremen.
- SELLMER C., K. VON BRÖCKEL, 2000. Biogeochemical-described Regions of the Western Arabian Sea during the SW-Monsoon. Berichte aus dem Fachbereich Geowissenschaften der Universität Bremen, 162, 41. Biogeochemical Cycles: German contribution to the International JGOFS, 18.-21. September 2000, Bremen.
- VON BRÖCKEL K., C. SELLMER, I. KRIEST, 2000. Silicate limitation in a filament. Berichte aus dem Fachbereich Geowissenschaften der Universität Bremen, 162, 32-33. Biogeochemical Cycles: German contribution to the International JGOFS, 18.-21. September 2000, Bremen.
- ZELLER U., 2000. The role of mesozooplankton in the Arabian Sea. Berichte aus dem Fachbereich Geowissenschaften der Universität Bremen, 162, 73. Biogeochemical Cycles: German contribution to the International JGOFS, 18.-21. September 2000, Bremen.

### **1.8.3 Veröffentlichung von Datensammlungen**

- JGOFS Data Management Task Team, 1999. CTD, XBT and SeaSoar Data. Arabian Sea Process Study 1990-1997. JGOFS International Collection.

## 1.9 Literaturnachweis

- BROCK J. C., C. R. MCCLAIN (1992) Inter-annual variability in phytoplankton blooms observed in the northwestern Arabian Sea during the Southwest Monsoon. *J. Geophys. Res.*, 97, 733-750.
- CODISPOTI, L. A. (1991) Primary productivity and carbon and nitrogen cycling in the Arabian Sea. In: S. Smith (ed.), U.S. Joint Global Ocean Flux Study, Arabian Sea Process Study, U.S. JGOFS Planning Report 13, Woods Hole Oceanographic Inst., MA, 75-85.
- HAAKE B., V. ITTEKKOT, S. HONJO, S. MANGANINI (1993a) Amino acid, hexosamine and carbohydrate fluxes to the deep Subarctic Pacific (Station P). *Deep-Sea Res.*, 40, 547-560.
- HAAKE B., V. ITTEKKOT, T. RIXEN, V. RAMASWAMY, R. R. NAIR, W.B. CURRY (1993b) Seasonality and interannual variability of particle fluxes to the deep Arabian Sea. *Deep-Sea Res.*, 40, 1321-1344.
- HIRCHE H. J. (1980) The cultivation of *Calanoides carinatus* Krøyer (copepoda: calanoida) under different temperature and food conditions – with a description of eggs and nauplii. *J. Mar. Biol. Ass., U.K.*, 60, 115-125.
- RAMASWAMY V., R. R. NAIR, S. MANGANINI, B. HAAKE, V. ITTEKKOT (1991) Lithogenic fluxes to the deep Arabian Sea measured by sediment traps. *Deep-Sea Res.*, 38, 169-184.
- ROTH P. H. (1994) Distribution of coccoliths in sediments. In: Winter A. und W.G. Siesser (eds.) *Coccolithophores*. Cambridge University Press, Cambridge, 179-198.
- SCHNACK S. B. (1982) Feeding habitats of *Calanoides carinatus* (Krøyer) in the upwelling area off Northwest Africa. *Rapp. P.-V. Réun. Cons. Int. Explor. Mer.* 180, 303-306.
- SCOR (1992). Joint Global Ocean Implementation Plan. SCOR - Issue, IGBP - Report No. 23.
- SCOR (1995). The JGOFS Arabian Sea Process Study, JGOFS Report No. 17.
- SMITH S. L. (1982) The northwestern Indian Ocean during the monsoons of 1979: distribution, abundance and feeding of zooplankton. *Deep-Sea Research*, 29, 1331-1353.
- ZELLER U., 1998. Grazing rate and biomass of mesozooplankton in the Arabian Sea during the SW-Monsoon. *Ocean Sciences Meeting 1998, EOS, Vol. 79, No. 1, OS22C-24.*
- ZELLER U., B. ZEITZSCHEL, 1996. Distribution of mesozooplankton in the Arabian Sea during the SW-Monsoon. *Ocean Sciences Meeting 1996, EOS, Vol. 76, No. 3, OS12B-17.*
- VERHEYE H. M. (1991) Short-term variability during an anchor station study in the southern Benguela upwelling system: Abundance, distribution and estimated production of mesozooplankton with special reference to *Calanoides carinatus* (Krøyer, 1849). *Prog. Oceanog.* 28, 91-11