

## Die Expedition ANT-XXV/3

### Wochenberichte

[22. Januar 2009](#): Passage durch den Südatlantik

[3. Februar 2009](#): Die Suche nach einem geeigneten Ozeanwirbel und der Beginn unseres Experiments

[17. Februar 2009](#): Entwicklungen in unserem Garten

[26. Februar 2009](#): Was hätte passieren können, aber nicht geschah

[9. März 2009](#): Unser Garten wird beweidet

### Zusammenfassung und Fahrtverlauf

Der dritte Fahrtabschnitt der Antarktisexpedition ANT XXV ist dem deutsch-indischen Eisendüngungsexperiment LOHAFEX (LOHA ist das Hindi Wort für Eisen und FEX steht für Fertilization EXperiment) gewidmet. Die Fahrt wird gemeinsam durchgeführt vom National Institute of Oceanography (NIO) Goa des Council of Scientific and Industrial Research, Indien, und dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft. Ein interdisziplinäres Team bestehend aus 48 Wissenschaftlern aus Indien (29), Deutschland (10), Italien (3), Spanien (2), Großbritannien (2), Frankreich und Chile (jeweils 1) werden an Bord „Polarstern“ eng zusammenarbeiten, um die im gedüngten Fleck des Ozeans zu erwartende Algenblüte zu verfolgen und dessen Einfluss auf die Chemie und Biologie für mindestens 45 Tage zu untersuchen.

In den letzten 10 Jahren haben sich in-situ Eisendüngungsexperimente als verlässliche Methode herausgestellt biogeochemische und ökologische Hypothesen zu testen, die durch andere Mittel nicht zugänglich sind. Das interdisziplinäre Experiment LOHAFEX wird eine Reihe von unabhängigen, aber miteinander verbundenen Hypothesen testen, von denen einige im Folgenden erwähnt sind:

- a) John Martins Eisen-Hypothese mit ihren Geo-Engineering Folgen.
  - b) Die Planktonartenzusammensetzung in einer experimentell induzierten Blüte im produktiven Südwesten des Atlantischen Sektors wird sich von Planktonblüten vorheriger Experimente in Niedrigproduktionsgebieten unterscheiden.
  - c) Die Krebstiere des Zooplanktons, insbesondere Krill, sind nahrungslimitiert, was den gegenwärtigen Rückgang der Krillbestände erklären könnte.
  - d) Eisendüngte Blüten führen zur Produktion schädlicher Gase mit nachteiligen Folgen für die Atmosphäre.
- Diese und andere Hypothesen sprechen fundamentale Fragen der Erdsystem- und Biodiversitätsforschung an, die relevant für unser Verständnis von der Rolle der marinen Biosphäre für das Klima der Vergangenheit und der Gegenwart sind sowie zu einem besseren Verständnis der Funktionsweise mariner Ökosysteme führen.

### Reiseverlauf

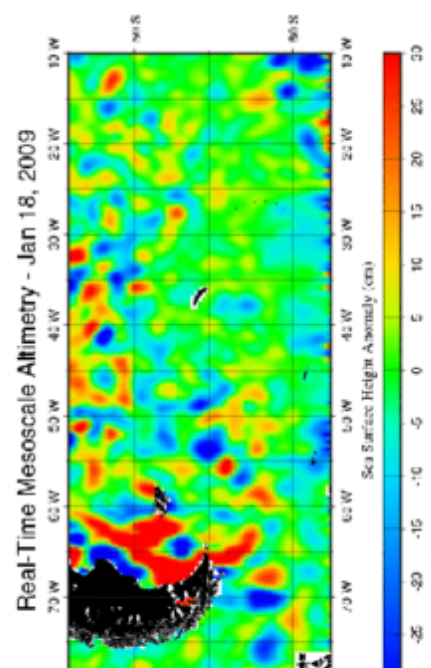
- 7. Januar 2009: Auslaufen Kapstadt, Südafrika
- 17. März 2009: Ankunft Punta Arenas, Chile

**ANT XXV/3, Wochenbericht Nr. 1**  
**Januar 2009**

Pünktlich um 20 Uhr am Abend des 7. Januar verließ das stolze Forschungsschiff Polarstern den Hafen von Kapstadt, mit 14 Wissenschaftlerinnen, 35 Wissenschaftlern und einem Kameramann an Bord, unterwegs zu einer herausfordernden Entdeckungsreise. Wir versammelten uns am Peildeck des Forschungsschiffes, vor uns die große blaue Weite, hinter uns die funkelnden Lichter Kapstadts, gebettet in den Schoß des Tafelbergs, die langsam aus unserem Sichtfeld verschwanden. Es war der letzte Landkontakt für die kommenden 70 Tage, welche wir in einem selbst gewählten Exil im windumtobten abgelegenen Südpolarmeer verleben werden. Die Trennung war daher ein magischer Moment für alle. Er war außerdem das Ergebnis von 3 Jahren systematischer Planung und harter Arbeit: das Schreiben von Forschungsanträgen für die jeweiligen staatlichen Geldgeber, Bestellen von Ausrüstung, Ausbilden der teilnehmenden Wissenschaftler und Studenten, Erstellen endloser Listen beim Packen der unzähligen Kisten mit unseren Forschungsgeräten, gefolgt vom logistischen Altraum, alles von den verschiedensten Instituten zu Polarstern zu transportieren. Als nun auch die letzte Kiste an Bord war, empfanden wir Genugtuung, dass der 2004 in einem Bremerhavener Restaurant entstandene Plan nun endlich umgesetzt wird. Eine beträchtliche Anzahl von Menschen verschiedener Nationen hat dazu beigetragen, diesen Moment möglich zu machen und wir wollen an dieser Stelle unsere Dankbarkeit für diese Unterstützung ausdrücken.

An den darauf folgenden Tagen wurden Container ausgepackt, Kisten in diverse Labore getragen, Instrumente aufgebaut und mit Gurten gesichert, um sie für die raue See zu rüsten, die nicht lange auf sich warten ließ. Glücklicherweise beruhigte sich die See nach wenigen Tagen und bei strahlend blauem Himmel erholten sich diejenigen rasch, die anfänglich mit Seekrankheit zu kämpfen hatten und begannen nun mit Begeisterung ihr neues zuhause zu erkundigen. Wir haben uns der Herausforderung gestellt, das bisher längste und umfangreichste Experiment in den berühmten "Roaring Forties" durchzuführen. Dieses Experiment wird lang erwartete, zusammenhängende Datensätze über die Ökologie und die Rolle des Südpolarmeeres im globalen Klimagefüge liefern. Wir haben uns dieser großen Herausforderung angenommen und waren geschockt zu hören, dass wir von Umweltorganisationen angegriffen wurden. Unsere jeweiligen Institute haben Pressemeldungen zu unserer Verteidigung auf die Lohafex- Website (siehe unten) gestellt, weswegen wir die Inhalte hier nicht wiederholen werden.

Das Ziel unseres Experiments ist es, einen kleinen Fleck Ozean innerhalb des natürlichen Rahmens zu manipulieren, um die Prozesse zu verstehen und zu quantifizieren, welche die ständig wechselnden und noch kaum verstandenen ozeanischen Ökosysteme prägen. Die Zugabe einer sehr geringen Menge Eisen im Bereich des Südpolarmeeres ist vergleichbar mit dem Gießen eines von Dürren geprägten Landstriches: Pflanzen erwachen zum Leben, beginnen zu wachsen und ernähren die Tiere und Mikroben, die auf sie angewiesen sind. Die Analogie ist nicht weit hergeholt: Genau wie Wasser, das über den Ozeanen verdunstet und über den Kontinenten abregnet und sie so ergrünen lässt, wird Eisen durch Staubwolken von den Kontinenten weit hinaus in den offenen Ozean getragen, mit einem ähnlichen Effekt. Dieser Austausch globalen Ausmaßes zwischen den Kontinenten und den Ozeanen besteht bereits seit über 600 Mio. Jahren, als die ersten Pflanzen das Land besiedelt haben. Während der Effekt des Gießens an Land seit Jahrtausenden bekannt ist, sind die Faktoren, die das Pflanzenwachstum im Meer steigern, noch nahezu unbekannt. Das ist der Grund, warum wir das marine



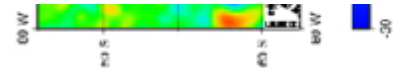
Pflanzenleben besser verstehen müssen - die winzigen einzelligen Algen des Phytoplanktons, welche in der sonnendurchfluteten Oberflächenschicht des Meeres wachsen – ebenso wie wir die Gräser, Büsche und Bäume um uns herum verstehen. Experimente in die wirkliche Welt hinaus zu tragen ist ein mächtiges Mittel um die nötigen Erkenntnisse zu erlangen.

Jedes der Dutzend Experimente (davon 5 im Südpolarmeer), die in den letzten 15 Jahren durchgeführt wurden, erbrachte Informationen, die interessant genug waren, um in den führenden wissenschaftlichen Magazinen veröffentlicht und auf den Wissenschaftsseiten renommierter Zeitungen kommentiert zu werden. Unglücklicherweise, obgleich verständlich, hat sich die Aufmerksamkeit auf einen einzelnen Aspekt der Experimente gerichtet (der Durchführbarkeit der Kohlenstoff-Versenkung), wodurch die erbrachten, fundamentalen Einblicke in die Funktionsweise ozeanischer Ökosysteme und die vielen neuen Fragen, die sich daraus ergeben, in den Hintergrund gedrängt wurden.

Bei allen Experimenten wurde das Wachstum der vorhandenen Phytoplanktonarten angeregt. Jedoch hat nur eine einzige Gruppe, bekannt als Diatomeen oder Kieselalgen, ihre Zellzahlen erhöht und mit ihrer Biomasse die experimentell erzeugten Blüten dominiert. Diatomeen zeichnen sich durch reich verzierte, geometrisch symmetrische Zellen aus, die aus glasklarem Silizium bestehen. Dieselben Diatomeen dominieren auch die natürlichen Blüten in produktiven Regionen, von den Polen bis in die Tropen, inklusive der Nordsee. Die Gründe, warum die kleineren, schneller wachsenden Zellen der anderen Algengruppen ihre Zellzahl nicht erhöhen, werden noch diskutiert. Die wahrscheinlichste Erklärung ist mit dem besseren Fraßschutz der Diatomeen zu begründen, wodurch sie länger überleben als die anderen Algen. Diese werden ebenso schnell wie sie wachsen von der ganzen Bandbreite der marinen Weidegänger und Krankheitserreger des Planktons dezimiert werden, vergleichbar mit einem gut gemähten Rasen. Die Hypothese der Fraßregulierung des Phytoplanktons hielt sich für Jahrzehnte im Hintergrund, da sie nur adäquat in Experimenten wie unserem getestet werden kann. Es ist unmöglich die natürlichen Dichten von Prädatoren und Pathogenen im Labor zu simulieren, egal wie groß die Versuchsbehälter sind. Es sind Antworten auf Fragen wie diese, die LOHAFEX, wenn erfolgreich durchgeführt, auch liefern wird.

Alle bisherigen Experimente haben dazu geführt, unser Verständnis von der Dynamik des Planktons und dessen Einfluß auf die chemischen Prozesse seiner Umgebung zu erweitern. Unsere Bemühungen werden die aus früheren Experimenten erlangten Erkenntnisse entweder bekräftigen oder widerlegen und zusätzlich eine Quelle neuer Informationen liefern. An Bord warten mehrere Teams von Wissenschaftlern renommierter Institute begierig darauf, ihr Fachwissen und neuesten Instrumente zum Einsatz zu bringen, um die von der Düngung hervorgerufenen Veränderungen in der Biodiversität und Produktivität des Ozeans zu dokumentieren. Die aus diesem kontrollierten Experiment gewonnenen Erkenntnisse sollen helfen, die Vielzahl gewonnen Daten die bisher in den Ozeanen gewonnen wurden zu interpretieren: von der mikroskopischen Auswertungen einzelner Wassertropfen bis hin zu Satellitenaufnahmen der Meeresoberfläche.

Wir haben den größten Teil der letzten Woche damit verbracht, eine Region nordöstlich der Insel Süd-Georgien anzusteuern. Süd-Georgien ist von Küstengewässern beeinflusst und wird wahrscheinlich anders auf Eisenzugabe reagieren, als die in bisherigen Studien untersuchten ozeanischen Gewässer. Wir planen unser Experiment in einem stabilen Ozeanwirbel, der beim Aufeinandertreffen von ozeanischen Frontensystemen entsteht. Diese schnell fließenden Strömungsbänder wiederum sind für den gewaltigen, ostwärts fließenden Antarktischen Zirkumpolarstrom verantwortlich, der den antarktischen Eisschild gegen die wärmeren Wassermassen aus niedrigen Breitengraden abschirmt. Die Begrenzung des zu düngenden Flecks auf einen stabilen Ozeanwirbel mit geschlossenem Kern wird verhindern, dass er in Filamente zerfällt und sich mit dem umgebenden Wasser mischt. Diese Ozeanwirbel sind auf Satellitenbildern als Erhebungen bzw. Senken erkennbar und werden täglich im Internet aktualisiert. Die Satellitenbilder zeigen zwar eine Anzahl von Ozeanwirbel innerhalb des Untersuchungsgebietes, allerdings sind viele von ihnen zu dynamisch und zu kurzlebig für unser Experiment. Letzte Woche



Satellitenaufnahme des westlichen Südatlantiks vom 18. Januar mit den Positionen der Ozeanwirbel als blaue und rote Kleckse. Wir untersuchen zur Zeit die Ozeanwirbel östlich der Insel Südgeorgien in der Mitte des Bildes. Die Spitze Südamerikas ist im linken Bildausschnitt zu sehen. (Aufnahme: Colorado Center for Astroynamics Research)



Ein deutsch-indisches Team von Mikrobiologen wird den Einfluss von Eisendüngung auf bakterielle Biodiversität und Wachstum untersuchen. (Foto: Bernhard Fuchs, Alfred-Wegener-Institut)

auf unserem Weg Richtung Südgeorgien inspizierten wir einen Ozeanwirbel mit viel versprechender Zirkulationsstruktur näher. Doch er hatte zu geringe Konzentrationen des essentiellen Nährstoffs Kieselsäure, aus welchem die Diatomeenschalen bestehen. Jetzt können wir zwischen 2 Ozeanwirbeln in unserer Region wählen und peilen den südlicheren der beiden an, der wahrscheinlich angemessene Kieselsäurekonzentrationen aufzeigt.

An Bord sind 30 indische Wissenschaftler, von denen einige bereits im Ausland gelebt haben. Aber für die Mehrheit, unter ihnen viele junge Studenten und Studentinnen, ist das der erste direkte Kontakt mit der europäischen Kultur und den dazugehörigen Traditionen. Nach der anfänglichen Phase des sich gegenseitigen Kennenlernens (die Stewardessen wissen nun vegetarisches indisches Essen zu servieren und die indische Körpersprache zu interpretieren, die sich in Kopfwackeln ausdrückt – und die Inder ihrerseits haben gelernt deutsche Betten zu beziehen), ist die Mannschaft entzückt von der warmen Freundlichkeit der lächelnden Inder. Im Gegenzug sind diese überwältigt von der Effizienz und Bereitschaft der Mannschaft jederzeit zu helfen. Kurz gesagt: die Stimmung an Bord ist ausgezeichnet und wird nicht von den Ereignissen betrübt, die unser Forschungsvorhaben im Moment verfolgt. Im Gegenteil, es hat dazu geführt, den Zusammenhalt zwischen uns zu verstärken und die Motivation noch zu erhöhen; jetzt, wo wir wissen, dass unsere Mission im Rampenlicht der Öffentlichkeit steht.



Gayatree Narvenkar (NIO), Hema Naik (NIO) und Wajih Naqi (NIO) sind verantwortlich geringste Veränderungen im CO<sub>2</sub>-Gehalt des Meerwasser mit neusten Instrumenten zu messen. (Foto: Thomas Bresinsky, Caligari-Film/Alfred-Wegener-Institut)

Essen ist wichtig bei einem anstrengenden Vorhaben wie dem unseren, und kann nach den ersten Wochen voller Neuheiten schnell monoton werden. Doch wir haben Glück, einen talentierten Koch aus Goa dabei zu haben, der in der Küche den beiden ausgebildeten deutschen Köche (einem von ihnen wurde vor der Ausfahrt die Grundlagen des indischen Koches vermittelt) und dem Bäcker hilft. Wir genießen allesamt die großartige Vielfalt exzellenten Essens und die indischen Vegetarier fangen an, frisches deutsches Brot, Käse und Kuchen zu schätzen.

Unsere gesamten Aktivitäten werden von einem fleißigen Kameramann dokumentiert, der für einen bedeutenden deutschen Fernsehsender arbeitet. Seine ständige Anwesenheit schmälerte seine Beliebtheit nicht, sondern lehrte uns seine filmerischen Tätigkeiten kaum noch wahrzunehmen und uns nicht mehr wie Bollywood-Schauspieler zu benehmen. Was nicht bedeutet, dass wir keine Bollywood-Filme sehen, wenn es die Zeit erlaubt...

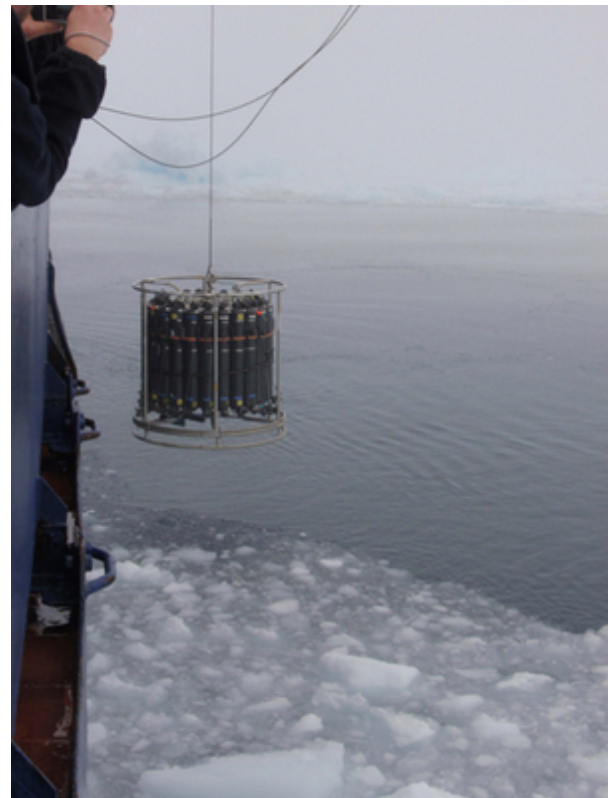
Wir schicken euch allen warme Grüße von einem Schiff voller neugieriger Wissenschaftler, die sich in dieser entlegenen Ecke des Ozeans eingenistet haben, um hier zu leben.

Wajih Naqi und Victor Smetacek

## ANT XXV/3, Wochenberichte Nr. 2, 3 und 4

12. Januar - 1. Februar 2009

Die ersten zwei Wochen fuhren wir Ozeanwirbel an, die wir schon seit längerer Zeit auf Satellitenbildern beobachtet hatten, und überprüften diese auf ihre Eignung. In der dritten Woche begannen wir mit dem eigentlichen Experiment. Ein räumlich und zeitlich begrenztes Experiment wie LOHAFEX muss in einem Ozeanwirbel durchgeführt werden, der praktisch die Charakteristik eines Reagenzglases hat. Er muss stabil genug sein, um nicht in den Weiten des Ozeans zu verschwinden und tief genug, um die Auswirkungen der Düngung von der Oberflächenschicht über die darunter liegende Wassersäule bis zum Meeresboden verfolgen zu können. Das sind hohe Anforderungen in einer Region des Ozeans, die derart tief reichend und dynamisch ist wie der mächtige Antarktische Zirkumpolarstrom. Bereits zwei vorangegangene Experimente mit Polarstern wurden erfolgreich in geschlossenen, rotierenden Zentren stationärer Ozeanwirbel durchgeführt. Beide Ozeanwirbel erstreckten sich bis zum Meeresboden und wurden von mäandrierenden Bändern starker Strömungen, so genannten Fronten, gebildet. Diese Ozeanwirbel befanden sich im östlichen Atlantik südlich von Afrika und wurden ohne großen Aufwand, jedoch wie sich im Nachhinein zeigte, mit einer großen Portion Glück gefunden. Dieses Mal wollten wir die Reaktion einer Planktongemeinschaft in einem Ozeanwirbel im produktiveren westlichen Südatlantik untersuchen. Tägliche Satellitenbilder der Region nördlich von Süd-Georgien zeigten Variationen in der Höhe des Meeresspiegels um mehrere Dezimeter, die sich deutlich als blaue und rote Flecken (Senken bzw. Erhebungen) vom grünen Hintergrund des ansonsten flachen Meeres hervorhoben (siehe Satellitenbild im ersten Bericht). Wir hatten im Vorfeld einen blauen Ozeanwirbel mit kaltem Wasser im Zentrum ausgewählt, der aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften im Uhrzeigersinn rotiert. Dieser Wirbel erschien in den letzten Jahren regelmäßig an einer Faltung des Meeresbodens und verblieb dort für einen ausgedehnten Zeitraum. Allerdings stellte sich das Wirbel-Feld in diesem Jahr als weitaus dynamischer heraus, mit roten und blauen Flecken die ständig um Platz ringen.



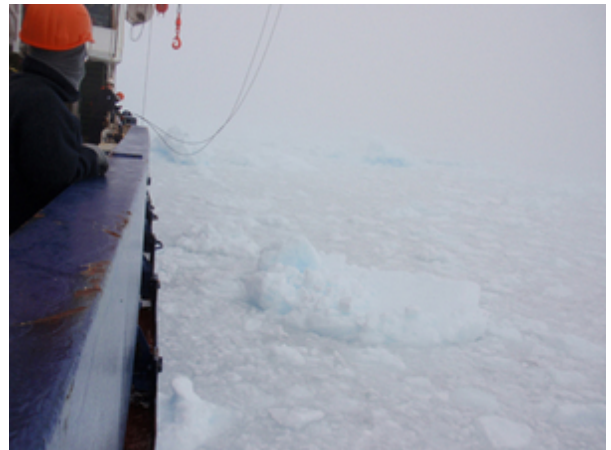
Die CTD-Rosette wird im Eisfeld zu Wasser gelassen, im Hintergrund ein Eisberg. Foto: V. R. Sundereswaran, CCMB / Alfred-Wegener-Institute

Ein italienischer Physiker mit Sitz in Paris entwickelte kürzlich ein mathematisches Modell, das sich auf Satellitendaten der Meereshöhe stützt. Er verwendete Methoden aus der Chaostheorie einschließlich der Lyapunov-Exponenten, um das Entstehen und Vergehen von Ozeanwirbeln zu erklären. Er freute sich über die unerwartete Gelegenheit, sein theoretisches Modell auf unsere Bedürfnisse zuzuschneiden und arbeitete akribisch an der Auswertung der verschiedenen Ozeanwirbel in unserem Untersuchungsgebiet. Seine innovative Darstellung der Strömungsfelder und der sich daraus entwickelnden Wirbel im Modell ist eine attraktive Art der Visualisierung von physikalischen Prozessen im Ozean. Die Ergebnisse seiner sorgfältigen Analysen erreichten uns 5 Tage nach Abreise und waren alles andere als ermutigend. Er verglich den von uns 2004 vermessenen EIFEX-Wirbel mit den Wirbeln aus unserem Zielgebiet und zeigte, dass der geschlossene Kern des EIFEX-Wirbels ein Idealfall war, in starkem Kontrast zu denen nördlich von Süd-Georgien, die alle kein geschlossenes Zentrum hatten. Im Licht dieser ernüchternden Prognose untersuchten wir auf unserem Weg einen Wirbel, der dem von EIFEX ähnelte und entlang desselben Breitengrades (48 °S) lag. Er entstand an der Ostseite des Schweißs mit erhöhter Produktivität, der von der Antarktischen Halbinsel ausgeht und sich weit bis in den westlichen Südatlantik erstreckt. Diese Zone erhöhter Produktivität zeichnet sich durch Ablagerungen von Sporen üblicherweise in Küstengewässern vorkommenden Diatomeenarten (Kieselalgen) im darunter liegenden Sediment aus.

Wie bereits im ersten Bericht erwähnt, war der Rohstoff Kieselsäure, aus dem Diatomeenschalen bestehen, bereits bis in eine Tiefe von 100m von vorangegangenen Diatomeenblüten aufgebraucht worden. Nicht einmal die spätsommerliche EIFEX-Blüte, die von stark verkieselten Diatomeen dominiert war, vermochte die Kieselsäure auf derart niedrige Werte zu senken. Es ist gut belegt, dass Kieselsäure im nördlichen Antarktischen Zirkumpolarstrom während des Sommers erschöpft ist, da die Diatomeen hier einen geringeren Vorrat zur Verfügung haben, wenn sie im Frühjahr zu wachsen beginnen. Weiter südlich ist die Versorgung während der Frühjahrsblüte höher, weswegen es die Diatomeen (die Hauptgruppe mit einem obligaten Bedarf an diesem Element) nicht schaffen, alles zu verbrauchen, bis die winterliche Tiefendurchmischung einsetzt. Aufgrund der erhöhten Produktivität erstreckt sich die Abreicherung von Silikat im Südwestlichen Atlantischen Sektor viel weiter in den Süden, daher gehört der geschlossene Kern des Wirbels offensichtlich zu diesem Sektor.

Die Zusammensetzung der Planktongemeinschaft bestätigte, dass es sich um ein spätes Stadium des Jahreszyklus handelte. Die Diatomeen beinhalteten dünnchalige, nadelförmige Arten der Gattung Rhizosolenia und Proboscia, die hohen Dichten in Küstengewässern erreichen können. Außergewöhnlich war die große Anzahl nicht toxischer Dinoflagellaten der Gattung Ceratium, die charakteristisch für Spätsommerblüten entlang der Küsten und des offenen Nordatlantik sind, aber nach unserer Kenntnis in solchen Konzentrationen noch nicht so weit im Süden beobachtet wurden. Eine weitere Besonderheit war die große Anzahl Zooplankter, dominiert von der Gruppe der Ruderfußkrebse (Copepoden), die eine zentrale Stelle im Nahrungsnetz zwischen einzelligem Plankton und größeren Tieren wie Fischen darstellen. Die ausgewachsenen Tiere der dominanten Arten umfassten ein Größenspektrum von 0,2 bis 2mm. Die große Menge an Jungtieren dieser Arten weist darauf hin, dass deren Eltern Wochen bis Monate zuvor ein reichhaltiges Nahrungsangebot genossen haben müssen.

Nachdem bestätigt wurde, dass dieser Wirbel (Wirbel 1) einen geschlossenen Kern mit niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten aufwies und somit für das Experiment geeignet war, fuhren wir weiter westwärts in Richtung des Wirbel-Feldes in unserem vorher ausgewählten Untersuchungsgebiet nördlich der Insel Süd-Georgien. Unterwegs machten wir aus zweierlei Gründen einen Abstecher nach Süden. Der eine war, etwas über die Natur der Wirbel nordöstlich von Süd-Georgien in Erfahrung zu bringen, und der andere, einem der großen Eisberge einen Besuch abzustatten, auf den uns unser Meteorologe während seines täglichen unterhaltsamen Wetterberichts aufmerksam gemacht hat. Die Eisberge bewegten sich in nord-östliche Richtung und der größte von ihnen war über 15 km lang, aber zu weit im Süden, so dass wir beschlossen, einen kleineren abzufangen, der sich weiter nördlich befand. Wir sind bereits so vielen Eisberge begegnet, dass ihre Gegenwart zur Routine wurde. Obwohl einige die Größe von Kathedralen hatten, war der Effekt ihres Schmelzwassers auf die Umgebung gering. Wir hatten gehofft, den Einfluss von Schmelzwasser großer Eisberge und dem darin enthaltenen eisenhaltigem Staub auf die Umgebung aufzeichnen zu können.



Das von einem zerfallenden Eisberg gebildete Trümmereisfeld. Foto: V. R. Sundereswaran, CCMB / Alfred-Wegener-Institut

#### Das Eisbergtrümmereisfeld

Während der Nacht passierten wir ein 45 km großes Gebiet geringeren Salzgehaltes (< 33,4 im Vergleich zu 33,9 des Umgebungswassers), das eindeutig die Spur eines schmelzenden Eisberges war. Bei Erreichen des ausgewählten Eisberges, waren wir erstaunt, dass es sich um eine Ansammlung kleinerer Eisberge in einem umfangreichen Feld dicht gepackter Eistrümmer handelte, das stark an Meereis erinnerte. Doch anstatt flacher Eisschollen erstreckten sich unregelmäßig geformte Eisklumpen im Größenbereich von Metern um uns herum. Wir verbrachten einen Tag damit, den „See“ aus frischem aber kälterem Wasser zu vermessen, der sich inmitten des offenen Ozeans geformt hatte. So konnten wir unsere Beprobungsstrategie festlegen und feststellen wie lange sich dieser „See“ halten würde. Die erste Station legten wir so tief ins Innere des Eisfeldes wie möglich. Ein normales Schiff hätte gefährliche Beulen davon getragen, doch für Polarstern waren es bloß Krümel von Eis, die leicht zur Seite geschoben wurden, als sie majestätisch durch die eisige Landschaft glitt.

Das Gefühl komplett von Eis umgeben zu sein, war ein ganz besonderer Moment für die Menschenmenge, die sich an Deck versammelt hatte. Ein atemberaubendes Erlebnis für die Neulinge, da es für viele von ihnen der erste Kontakt mit natürlichem Eis überhaupt war. Die Menge jubelte erst vor Begeisterung, verfiel aber bald in meditatives Schweigen, der Ehrwürdigkeit der

Umgebung angemessen. Der Wind hatte sich gelegt, der Himmel war grau und ein leichter Nebel trug zu der besonderen Atmosphäre bei. Wir flüsterten nur noch miteinander, so verzaubert waren wir von dem Eis um uns herum. Allerdings brach allzu plötzlich Geschäftigkeit aus, als Polarstern in sicherer Entfernung der vielen Eisbergen rüttelnd zum Halten kam und ihre mächtigen Bugstrahler (Propeller an Bug und Heck, die seitlichen Antrieb ermöglichen) die Eistrümmer beiseite schoben, so dass wir mit unserer Arbeit beginnen konnten. Unser Haupt-Instrument, die CTD-Rosette, wurde herabgelassen und eine Gruppe versammelte sich um den Bildschirm im Windenleitstand, auf dem die Profile der verschiedenen Sensoren erschienen. Diese zeichnen beim Vieren und Hieven durch die Wassersäule die folgenden Eigenschaften auf: Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoffkonzentration, Chlorophyll Fluoreszenz (ein Maß für die Menge an Phytoplankton im Wasser) und Trübung (ein Maß für den Gehalt der schwebenden Partikel, vor allem Plankton, im Wasser). Diese Instrumente sind unsere Sinnesorgane und wir sind geübt darin, Strukturen in ihren Profilen zu lesen und zu deuten. Auf dem Weg nach oben wurden die zylindrischen 12 Liter Probenflaschen einzeln in den gewünschten Tiefen geschlossen. An den gewonnenen Wasserproben wird anschließend eine Anzahl weiterer Eigenschaften mittels verschiedener Instrumente in den Laboren gemessen.

Die Temperatur- und Salzgehaltsprofile zeigten an, dass der Schmelzwassereinfluss 25 m tief reichte. Dieser „See“ war salzärmer und daher trotz seiner niedrigen Temperatur nahe dem Gefrierpunkt leichter als das umgebende Meerwasser. Das kalte Wasser kühlte die darüber liegende Luft ab, so dass sich zur Abenddämmerung dichter Nebel über die Szenerie legte. Da die Eisberge um uns herum aufgrund von Reflexionen der Eistrümmer schwer auf dem Radarschirm zu erkennen waren, und der dichte Nebel sie nahezu unsichtbar machte, entschieden wir uns aus Sicherheitsgründen die Station nach dem Einholen eines Netzes zu verlassen. Die Nacht verbrachten wir damit, die Peripherie der Eistrümmer zu umfahren und flache Profile mit der CTD zu nehmen. Während des Tages wollten wir ein paar Stationen innerhalb des Eisfeldes wiederholen. Allerdings hielt sich der Nebel am nächsten Tag, so dass wir entschieden, zur Wirbelsuche zurückzukehren, nachdem wir eine Station in einiger Entfernung des Schmelzwassersees als Basislinie probiert hatten.

#### Die Suche geht weiter

Westlich der Eisberge waren die Kieselsäurekonzentrationen sogar noch geringer als im Wirbel 1 mit weniger Diatomeen und mehr Ceratium-Zellen. Um zu ermitteln, wie weit die niedrigen Kieselsäurewerte nach Süden reichten, steuerten wir einen Wirbel bei 52° S an. Unser Modellierer in Paris, den wir inzwischen das „Orakel“ nannten, betrachtete ihn als guten Kandidaten, so dass wir zumindest seine Berechnungen testen konnten. Wir führten Nährstoffmessungen im Oberflächenwasser durch und fanden überall extrem niedrige Kieselsäurekonzentrationen vor. Offensichtlich war die gesamte Region, die wir für unser Experiment ausgesucht hatten, von mehr oder weniger der gleichen Silikat-verarmter Planktongemeinschaft beherrscht. Diese Beobachtung war beruhigend, zeigte sie doch, dass die Ergebnisse unseres Experimentes auf weite Gebiete des Süd-Atlantiks übertragbar sein würden.

Auf unserem Weg zu dem Wirbel-Feld nördlich von Süd-Georgien legten wir unsere Fahrtroute so, dass sie den blauen (Wirbel 2) und den roten Fleck (Wirbel 3) durchschnitt. Die Karte des Orakels zeigte, dass die Wirbel keine geschlossenen Kerne besaßen und unsere Strömungsmessungen spiegelten tatsächlich starke Strömungen wider, die dicht nebeneinander in entgegengesetzte Richtungen zeigten. Das hieß, es gab keinen geschlossenen Kern mit niedrigen

Strömungsgeschwindigkeiten im Zentrum. Wir konnten also den Vorhersagen des Orakels trauen, dass die Wirbel in dieser Region sehr dynamisch und somit für ein Langzeitexperiment wie unseres nicht geeignet sind. Eine Station in der Mitte des Wirbels ließ eine flache Durchmischungsschicht von nur 25 m erkennen, was die ungewöhnlich hohen Oberflächentemperaturen dieser Region verständlich macht (10° C). Das Dichteprofil (eine Funktion von Temperatur und Salzgehalt) wies „Stufen“ unterhalb der Deckschicht auf, was auf ein Überlagern verschiedener Wassermassen hindeutet. Die Wirbel waren demnach nicht tief „verwurzelt“, was wiederum ihr dynamisches Verhalten auf den Satellitenbildern erklärte.



Wissenschaftler zapfen an Deck Wasserproben aus der CTD-Rosette. Foto: M. Ettlin, Alfred-Wegener-Institut

Noch ein weiterer Grund, das Experiment nicht in der vorher ausgesuchten Region durchzuführen, waren die hohen Chlorophyll-Konzentrationen (1,2 mg Chl m<sup>-3</sup>) in der flachen Oberflächenschicht im Zentrum von Wirbel 2. Diese Konzentrationen waren doppelt so hoch wie erwartet und im Rahmen von Konzentrationen, die unsere Düngung bei dieser Art von Phytoplanktongesellschaft hervorrufen würde. Satellitenbilder zeigten sogar noch höhere Werte weiter nördlich an. Es gab wenige Eisberge hier, so dass das Eisen aus Staub stammen muss, der mit dem Wind wahrscheinlich aus Patagonien eingetragen wurde. Die Heterogenität der Planktongemeinschaft während des langen nordwärts gerichteten Fahrtabschnittes wurde auch bei regelmäßigen mikroskopischen Untersuchungen des Oberflächenwassers beobachtet. Die regionalen und saisonalen Muster in der Verteilung von Phytoplanktonarten zu erklären, ist eine der großen Herausforderungen die sich biologischen Meereskundlern stellt. Es ist zu erwarten, dass verschiedene Arten unterschiedliche Einflüsse auf die Nahrungskette und damit auf den globalen Kohlenstoffkreislauf haben. Zumindest ist dies unsere Erfahrung mit Land-Ökosystemen, wo ersichtlich ist, dass verschiedene Pflanzenarten (z.B. Laub- oder Nadelbäume) unterschiedliche Auswirkungen auf ihre Umgebung haben, eingeschlossen der Biodiversität.

Seit Beginn des letzten Jahrhunderts fanden viele Forschungsexpeditionen statt, darunter eine Reihe von Polarsternfahrten, die die Verteilung und Häufigkeit von Planktonarten in Beziehung zu physikalischen und chemischen Eigenschaften ihrer Umgebung in den unterschiedlichsten Regionen des Südlichen Ozean systematisch untersucht haben. Die Daten haben zur Formulierung mehrerer Hypothesen geführt, die unterschiedliche Faktoren für die Zusammensetzung und Häufigkeit der Arten verantwortlich machen. Letztere haben Rückkopplungseffekte auf die Chemie ihrer Umgebung und somit den globalen Kohlenstoffkreislauf. Die Hypothesen sind allerdings mit weiteren Felduntersuchungen kaum zu testen. Das liegt daran, dass die Geschichte einer Wassermasse, die eine bestimmte Artengesellschaft beherbergt, stets fehlt. Dieses Wissen kann man durch experimentelle Manipulation einer vorhandenen Gemeinschaft im Feld erlangen. Nur so können die Anfangsbedingungen aufgezeichnet und die Prozesse messend verfolgt werden, die zu Veränderungen in der Gemeinschaft durch steigende und dann sinkende Produktivität führen. Diese Abläufe können mit Vorgängen im umgebenden, unberührten Wasser verglichen werden.

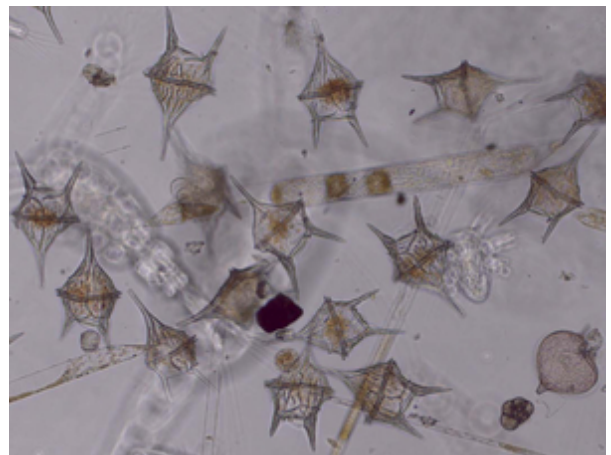
#### Einige Notizen zum Phytoplankton

Den Hauptbeitrag zur Phytoplanktonbiomasse des Wirbels nördlich von Süd-Georgien lieferten kleine Zellen, die zu der Algengruppe der Haptophyceen („Greifpflanzen“) gehören. Diese Algengruppe hat einen signifikanten Anteil an der Produktivität der Ozeane. Der Name beruht auf dem lasso-ähnlichen Fortsatz, den sie ausstrecken und eindrehen können und der zwischen zwei Flagellen sitzt, die der Fortbewegung dienen. Die 5-10 Mikrometer (1 Mikrometer = 0,001 mm) großen Zellen sind mit Chloroplasten ausgefüllt, in denen die Photosynthese stattfindet. Sie werden daher zur Gruppe des Phytoplanktons oder pflanzlichen Planktons gerechnet. Sie können jedoch auch Partikel wie beispielsweise Bakterien fressen, die sie mit ihrem Lasso einfangen – damit wären sie also auch geeignet, der Gruppe der einzelligen „Tiere“ oder Protozoen zugeteilt zu werden.

Zusätzlich zu ihren grundverschiedenen Ernährungsweisen

(Mixotrophie oder gemischte Ernährung genannt), zeigt der komplexe Lebenszyklus verschiedener Haptophyceen-Arten, dass klein nicht unbedingt einfach bedeuten muss. Die verschiedenen Stadien des Lebenszyklus haben recht unterschiedliche Auswirkungen auf die Chemie ihrer Umgebung, weswegen es notwendig ist, den Lebenszyklus unter Freilandbedingungen genauer zu studieren. LOHAFEX bietet nun diese Gelegenheit.

Die Haptophyceen beinhalten mehrere Gruppen, von denen die Coccolithophoriden oder Kalkalgen eine entscheidende Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf spielen. Ihre Zellen sind mit gemusterten Plättchen aus Kalziumkarbonat (Kalk) bedeckt, die nach dem Tod der Zellen absinken und sich am Meeresboden ablagern. Über geologische Zeiträume hinweg haben diese winzigen Kalkplättchen dicke Lagerstätten, wie die berühmten weißen Klippen von Dover und die Kalkfelsen der Insel Rügen, gebildet. Obwohl sie Kohlenstoff im Sediment ablagern, hat die Kalkbildung im Meereswasser einen entgegengesetzten Effekt: Kalziumkarbonatablagerung in den Plättchen führt zu einer Abnahme von gelöstem anorganischem Kohlenstoff (die Summe von CO<sub>2</sub>, Bikarbonat und Karbonationen), aber gleichzeitig zu einer Zunahme von gelöstem CO<sub>2</sub>, was der Intuition widerspricht. Das gleiche gilt auch für Kalkskelette und -schalen von Korallen bzw. Muscheln. Wenn die überschüssigen CO<sub>2</sub>



Die Phytoplanktonart *Ceratium pentagonum* vom Eisfeld mit Diatomeen und juvenilen Copepoden im Hintergrund. Foto: M. Montresor, SZN / Alfred-Wegener-Institut



–Moleküle in organisches Material eingebaut werden, ist der Netto-Effekt auf das CO<sub>2</sub>-Gleichgewicht zwischen Meerwasser und Atmosphäre etwa neutral. Aber wenn die Kalkschalen aus der Oberflächenschicht heraus sinken und das organische Material von Mikroben und Zooplankton zersetzt wird, dann gelangt das überschüssige CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre zurück. Ausgedehnte Blüten von Kalkalgen treten regelmäßig im Nordatlantik auf und erscheinen als weiße Streifen und Flecken auf Satellitenbildern. Sie kommen auch im Südatlantik vor, sind aber nicht so ausgeprägt, dass sie auf Satellitenbildern zu erkennen wären. Sollte jedoch Eisendüngung das Wachsen von Kalkalgen in einem eisen- und siliziumlimitierten nördlichen Ring des Zirkumpolarstroms begünstigen, würde es zu einer Netto- Abgabe von CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre führen, anstatt zu einer CO<sub>2</sub>-Senke.

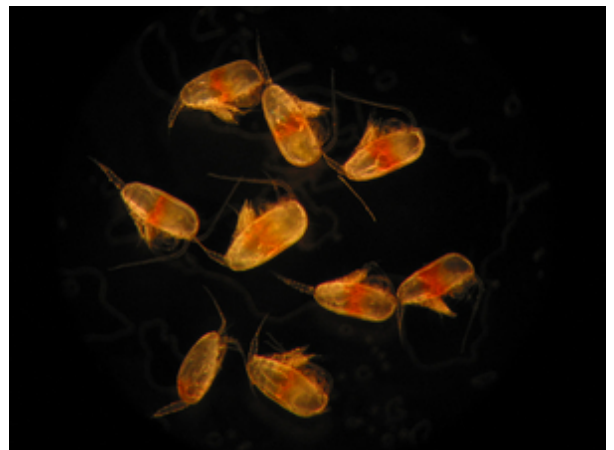
Kalkalgen waren im warmen Wasser des dynamischen Wirbel-Feldes zahlreich vorhanden und trugen maßgeblich zu der Blüte im Zentrum vom Wirbel 2 bei. Die Faktoren, die zu den Blüten geführt haben, sind nur unzureichend verstanden und wir hätten gerne das Experiment dort durchgeführt, um die Reaktion auf die Düngung genauer zu beobachten. Jedoch würde ein Untersuchungsgebiet so klein wie das unsere in einem derart unstabilen Wirbel innerhalb weniger Tage zerfasern und verschwinden. Dieses Gebiet war eindeutig für ein Langzeitexperiment wie das unsere nicht geeignet.

Glücklicherweise war die Planktongemeinschaft im Wirbel 1, den wir zuvor weiter östlich untersucht hatten, vom gleichen Typus, jedoch in einem früheren Sukzessionsstadium. Wirbel 1 befindet sich auf demselben Breitengrad aber sehr viel weiter westlich als der EIFEX-Wirbel. Die geringeren Kieselsäurekonzentrationen zeigten, dass er sich im produktiven Einflussbereich des Südwestatlantiks befindet. Die Menge und Zusammensetzung des Zooplanktons waren ebenfalls der zuvor beprobten Region sehr ähnlich: dieselben Arten von Ruderfußkrebse dominierten die Biomasse, Salpen waren auffällig selten und räuberisches Zooplankton war durch wenige Chaetognathen (Pfeilwürmer) aber Amphipoden im Überfluss vertreten. Der einzige auffallende, aber verblüffende Unterschied lag in der Pigmentierung der Copepoden. Im ersten Wirbel waren sie durchsichtig mit einigen wenigen roten Punkten, während die gleichen Arten weiter westlich durch strahlend rote Antennen oder ein oranges Gürtelband gekennzeichnet waren.

#### Beginn des Experiments

Also kehrten wir um, Kurs Ost, zum Wirbel 1 und wurden auf dem Weg dorthin von starken Westwinden und Strömungen wie auf Flügeln getragen. Wir kamen bereits am 24. Januar dort an. Unsere neuen, aktuellen Messprofile der oberen Wasserschichten bis 200 m bestätigten die Genauigkeit der Satelliten-Altimeterbilder, und ein Querschnitt mittels CTD-Profilen zeigte eine Kuppel aus kaltem Wasser im Zentrum des Wirbels mit sehr geringen Strömungsgeschwindigkeiten. Wir hatten offensichtlich den stabilen, geschlossenen Kern gefunden. Doch das Oberflächenwasser schien dynamischer zu sein. Wir setzten eine mit Positionssender ausgestattete Boje so nah wie möglich im Zentrum des Wirbels aus, um Klarheit über die dort herrschenden Oberflächenströmungen zu bekommen. Während wir gespannt die Bewegung der Boje anhand der übermittelten Positionen beobachteten, fuhren wir weitere Schnitte durch, um ein besseres Bild von der Dynamik der Oberflächenschicht zu bekommen.

Am 25. Januar hatten wir das Zentrum des Wirbels mit hinreichender Sicherheit lokalisiert und begannen mit der „Nullstation“, der Station zur Ermittlung der Ausgangsbedingungen vor unserem Düngungsexperiment. Diese wichtige, umfangreiche Station dauerte bis tief in die Nacht des 26. Januar. Am Abend kam der Telefonanruf, der uns die Entscheidung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung mitteilte: Wir hatten die erhoffte Erlaubnis zur Durchführung des Experiments erhalten! Die auf dem Arbeitsdeck versammelte wissenschaftliche Besatzung brach in Jubel aus. Sofort begannen wir die zwei 6 Kubikmeter fassenden Tanks mit je 775 kg in



Die kleinere Copepodenart *Clausocalanus laticeps* mit roten Bändern um den Bauch. Foto: G. Mazzochi, SZN / Alfred-Wegener-Institut



Die Copepodenart *Calanus simillimus* mit roten Antennen aus den Gewässern nördlich von Süd-Georgien. Foto: G. Mazzochi, SZN / Alfred-Wegener-Institut

Meerwasser gelöstem Eisensulfatpulver zu füllen. Nachdem die „Nullstation“ beendet war, führten wir weitere kleinräumige Schnitte der Strömungsprofile durch und begannen am Morgen des 27. Januar mit der Düngung. Dazu wurde eine zweite Boje 3 km nördlich der ersten ausgebracht. Diese zweite Boje sollte das exakte Zentrum des Wirbels markieren. Auch drei frei schwebende Sinkstofffallen, die sich in vorprogrammierten Tiefen aufhalten, bevor sie wieder auftauchen, wurden in 200 m und 450 m Tiefe ausgesetzt.

Dann wurde die Eisensulfatlösung durch einen Schlauch am Heck in das Propellerwasser geleitet, während die Polarstern die im Wirbelzentrum treibende Boje in einer sich öffnenden Spirale umrundete. Weil das ausgebrachte Eisen rasch von Organismen aufgenommen oder in unlösliche Rostpartikel umgewandelt wird, haben wir der Eisenlösung kontinuierlich das inerte Gas Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) in Spurenmengen zugegeben. Da SF<sub>6</sub> in sehr geringen Konzentrationen gemessen werden kann, dient es uns dazu, den gedüngten Fleck zu markieren. Insgesamt waren nur 480 Gramm dieses biologisch inaktiven Gases ausreichend, um den gesamten Fleck zu markieren. Während ein Tank innerhalb von 2,5 Stunden geleert wurde, befüllten die sich abwechselnden Teams von Wissenschaftlern den anderen Tank mit in Salzwasser gelöstem Eisensulfat. Eisensulfat ist ungiftig und wird in Tablettenform zur Behandlung von Anämie eingesetzt. Die von uns verwendeten 25 kg Säcke Eisensulfat werden freiverkäuflich in gleicher Qualität von Baumärkten und Einkaufszentren für die Behandlung von Rasen angeboten. Nichtsdestotrotz hinterlässt die Substanz auf Kleidung unlösliche Rostflecken und große Mengen Staub können die Atemwege und Augen irritieren. Deswegen trafen wir maximale Schutzvorkehrungen, um die Belastung so klein wie möglich zu halten. Dafür wurden die Teams mit Schutzanzügen und Masken ausgestattet. Eine Fläche von 300 km<sup>2</sup> wurde mit einer Gesamtmenge von 10 Tonnen Eisensulfat gedüngt, das entspricht 1/5000 Gramm Eisen auf 1 Kubikmeter Wasser oder 1/10 der Eisenkonzentration in einer Flasche Mineralwasser. Da die durchmischte Wasserschicht nur halb so tief wie angenommen war, verwendeten wir nur die Hälfte der ursprünglich geplanten Menge.

Das Schiff kehrte dann zur zentralen Boje zurück, wo wir neue Messungen an der Nullstation durchführten, um erste Reaktionen der Planktongemeinschaft auf die Eisendüngung zu ermitteln. Wie erwartet, waren keine messbaren Auswirkungen in den Umwelteigenschaften oder Zusammensetzung des Planktons zu erkennen, was bestätigte, das wir die gleiche Wassersäule beprobt hatten, und dass unsere Instrumente mit hohem Präzisionsgrad arbeiten. Wie bereits bei früheren Experimenten beobachtet, erhöhte sich die photosynthetische Effizienz des Phytoplanktons, gemessen mit einem Fast Repetition Rate Fluorometer (FRRF), deutlich: Der Beweis, dass die zelluläre Photosynthese-Maschinerie aufgrund von Eisenmangel unter ihrer Kapazität gelaufen war. Innerhalb der Zelle sind Eisenatome am Energietransfer beteiligt und sind Bestandteil vieler organischer Moleküle wie zum Beispiel von Ko-Enzymen, die für Wachstum verantwortlich sind. Wird Eisen verfügbar, werden die Zellen aktiv und beginnen mit der Synthese neuer Moleküle.

Ebenso wie sich Pflanzen an Land an die Verfügbarkeit von Wasser in ihrer jeweiligen Umgebung angepasst haben, kann man bei den verschiedenen Phytoplanktonarten davon ausgehen, dass sie an die Eisenkonzentration ihrer Umgebung angepasst sind. Dies wurde bereits für unterschiedliche Diatomeenarten gezeigt, die entweder auf hohe Eisenkonzentrationen in Küstengewässern oder an die niedrigen Konzentrationen im abgelegenen Ozean angepasst sind. Unser Wissen über die Faktoren, die die Lebenszyklen des marinen Phytoplanktons steuern, ist beschränkt. Tatsächlich fangen wir gerade erst an, ihre Rolle in der Gestaltung der saisonalen Zyklen zu verstehen, wozu besonders die Anwendung von modernen molekularbiologischen Methoden beitragen. Unsere mikroskopischen Untersuchungen des vorgefundenen Planktons enthüllten die Anwesenheit einiger Arten, die üblicherweise in Küstengewässern gefunden werden, weshalb wir annehmen, dass diese schneller als die typischen ozeanischen Arten reagieren werden. Die Artenvielfalt und Abundanz des Phytoplanktons während der Entwicklung der Blüte verfolgen wir mit besonderer Aufmerksamkeit mittels Mikroskopie und mittels der molekularen Methoden.



Die Nationalhymne wird gesungen nach dem Hissen der Fahne am indischen Tag der Republik. Foto: M. Ettl, Alfred-Wegener-Institut

Am Ende unserer ersten Stationen nach Düngung beprobt wir die Sedimentoberfläche mit einem Multicorer und das größere Zooplankton mit einem Schleppnetz (Rectangular Midwater Trawl, kurz RMT). Anschließend bargen wir die 3 Sinkstofffallen, die nach 4 Tagen genau im gedüngten Fleck wieder aufgetaucht waren. Unsere nächste Aufgabe war eine

ausführliche „Außenstation“ in einer ungedüngten Wassersäule innerhalb des Kerns, aber außerhalb des gedüngten Flecks, durchzuführen. Die Eigenschaften der Wassersäulen waren auf beiden Seiten des Wirbelkerns in etwa gleich. Am Sonntag begannen wir mit dem so genannten Scanfish den gedüngten Bereich zu kartieren. Dieses Instrument wird hinter dem Schiff geschleppt während es zwischen Wasseroberfläche und 200 m Tiefe unduliert. Der Scanfish ist mit allen Sensoren der CTD sowie einem FRRF ausgestattet. Das Ergebnis: Die Bojen befinden sich innerhalb des gedüngten Bereichs und die Chlorophyllkonzentration um die Bojen beginnt zu steigen. Wir erwarten die weiteren Entwicklungen mit Spannung.

Eine Feier an Bord

Der 26. Januar war der Indische Tag der Republik. Wir feierten diesen Tag mit Hissen der indischen Flagge. Dazu sangen die indischen Wissenschaftler auf dem windigen Oberdeck die indische Nationalhymne. Danach zogen wir uns in den Blauen Salon zurück und hörten kurze, aber bewegende Reden. Angestoßen wurde mit Orangensaft und nach indischem Brauch servierten die indischen Wissenschaftler selbst zubereitetes Karotten-Halwa. Die erste Stewardess hatte die Messe mit vielen kleinen, extra für diesen Anlass gebastelten indischen Flaggen dekoriert, unter denen wir die gewünschten indischen vegetarischen Gerichte genossen. Die indischen Teilnehmer hatten ein kulturelles Programm vorbereitet, das die Vielfalt der indischen Kultur und Sprachen feierte, und zu dem die Crew geladen war. Der Abend begann mit einer kurzen Einführung in die indische Kultur auf Deutsch und Englisch, gefolgt von Liedern und Gedichten in allen auf dem Schiff anwesenden indischen Sprachen: Zuerst Hindi, dann Rajasthani, dann weiter südwärts mit Bengali, Marathi, Oriya, Konkani, Kannada, Telugu, Malayalam und zuletzt Tamil. Dazwischen erhielt ein Kathak-Tanz schallenden Applaus. Die Crew war entzückt.

Ende der Woche wurden die Kartierung des Flecks mit dem Scanfish und unterwegs durchgeführte Messungen von SF6 und anderen Eigenschaften des Oberflächenwassers fortgesetzt.

Mit den besten Grüßen von einem Schiff voll neugieriger Wissenschaftler in bester Stimmung und freudiger Erwartung der weiteren Entwicklungen,

Wajih Naqvi and Victor Smetacek

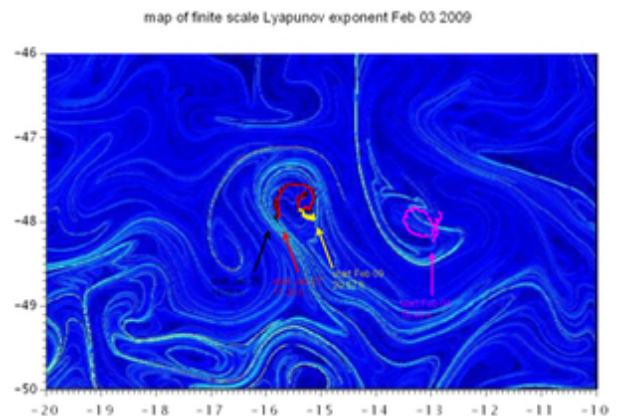
## ANT XXV/3, Wochenbericht Nr. 5

### 8. Februar bis 15. Februar 2009

Die letzte Woche verbrachten wir damit, die Bewegungen der im Zentrum des Wirbels ausgesetzten beiden Bojen mit Besorgnis zu verfolgen. Deren exakte Position kann fast in Echtzeit auf der Internetseite des Herstellers überwacht werden. Die Bojen sind speziell entwickelt worden, um Bewegungen des Oberflächenwassers zu markieren. Sie bestehen aus einem geschlossenen Metallball von 40 cm Durchmesser, der tief im Wasser liegt, um nicht vom Wind geschoben zu werden. Ihre Position in der Oberfläche ist durch einen Treibanker bestimmt, der an der Boje mit einem dünnen Draht befestigt ist. Der Treibanker besteht aus 7 m langen, dünnen Kunststoffsegeln, die die Boje in 30 m Tiefe „verankern“. Die beiden Bojen wurden 3 km voneinander entfernt ausgesetzt wobei die nördliche der beiden während der Düngung des Flecks als Zentrum diente. Wir gingen davon aus, dass sie für die Dauer des Wirbels wenig verdriften würden, da sie sich im strömungsarmen Zentrum befanden. Allerdings hatten wir nicht mit dem Transportpotenzial einer scheinbaren Kraft gerechnet, die als Trägheitsoszillation bekannt ist. Sie offenbarte unseren besorgten Augen ihre Anwesenheit durch kreisende, aber stetig nordwärts gerichtete Bewegungen der Bojen.

Diese Kraft überträgt Windenergie in kreisenden Bewegungen der Ozeanoberfläche mit einer Periode von 16 Stunden in unseren Breitengraden, jedoch in Drehungen gegen den Uhrzeigersinn, da wir uns in der Südlichen Hemisphäre befinden. Diese zeigte sich in den ersten Kreisen, die die Bojen vollführten. Die Trägheitsoszillation wird von der im Uhrzeigersinn ausgerichteten Rotationsrichtung unseres Wirbels überlagert und kann bei starken Strömungen komplett verdeckt werden. Die Bojen kreisten zuerst langsam nordwärts bis sie das Band der schnellen Strömungen erreichten, das unseren Wirbel in seiner Position hält. Diese Strömung lenkte ihre Bewegung nach Osten, dann nach Süden ab (obwohl wir es erwartet hatten, waren wir erleichtert, als es tatsächlich passierte). Schließlich gelangten sie so an ihre derzeitige Position, von wo aus sie sich langsam in Richtung Westen und damit zurück in den geschlossenen Kern des Wirbels bewegen. Wir befürchteten, die äußere Flanke des Flecks könne möglicherweise an dem schnellen Strömungsband „hängenbleiben“, aus dem Zentrum des Wirbels heraus gezogen werden und in Filamente zerfransen. Aber zum Zeitpunkt des Schreibens dieses Wochenberichtes scheint es, als wäre das nicht passiert. Die Bojen bewegen sich kaum und so nah zusammen wie eh und je, da die nordwärts gerichtete Initialoszillation von dem umgebenden Strömungsfeld ausgeglichen wird. Daraus resultiert die Streckung des einst kreisrunden Flecks in nord-südliche Richtung. Diese Ergebnisse sind als solche schon interessant und sie tragen außerdem zum besseren Verständnis kleinskaliger Durchmischungsprozesse bei, in diesem Fall von Wassermassen des Zirkumpolarstroms, auf ihrem Weg um die Antarktis, bevor sie entlang seiner nördlichen Grenze in den tiefen Ozean untertauchen.

Am Wochenende warnte uns unser Meteorologe, dass der Ausläufer eines starken Sturms im Süden bald unser Gebiet als Band starker Winde überqueren würde. So brachen wir die Scanfish-Kartierung des Flecks ab und verbrachten die ersten Tage der letzten Woche auf der Flucht nach Norden. Dies war eine willkommene Pause von der harten Arbeit in den Tagen zuvor, in welchen wir eine Station nach der anderen durchgezogen hatten. Hätten wir den Sturm im Wirbel ausgehalten, hätte aufgrund der mächtigen Wellen niemand arbeiten oder schlafen können. Der Wind blies uns nach Osten, deshalb fuhren wir, nachdem er genügend abgeschwächt war, in Richtung Süden zu dem roten Wirbel (mit warmem Kern), der an unseren im Osten grenzt. Im Zentrum dieses benachbarten Wirbels, der sich im Gegensatz zu unserem gegen den Uhrzeigersinn dreht (siehe Bild im ersten Bericht), setzten wir eine Boje aus, um zu sehen, wie er auf Initialoszillation reagiert. Danach wendeten wir uns unserem Wirbel zu und steuerten die Bojen in Ost-Nord-Ost-Kurs an. Sie hatten zu unserer großen Erleichterung



Weg der 3 Bojen in unserem Wirbel und der Boje im benachbarten, sich entgegen drehenden Wirbel überlagert auf der Orakels Visualisierung des Strömungsstrukturen an Hand der Verteilung der finitskaligen Lyapunov-Exponenten am 3. Februar in unserer Region. Graphic: Francesco d'Ovidio / Alfred-Wegener-Institut

inzwischen angefangen, sich in westliche Richtung zu bewegen, d.h. sie kehrten ins Zentrum des Wirbels zurück. Ungefähr eine Stunde bevor wir sie erreichten, stieg die photosynthetische Effizienz (angegeben im FRRF) drastisch an: wir hatten die Schwelle zu unserem gedüngten Fleck überquert. Obwohl klar war, dass der Fleck dort sein musste und das Phytoplankton weiterhin auf die Düngung mit steigender photosynthetischer Effizienz antworten würde, ist es immer ein Moment von großer Freude und Erleichterung wenn man nach mehreren Tagen der Abwesenheit wieder den Fleck findet.

Um sicher zu gehen, dass die Zwillingsbojen noch zentral im Fleck positioniert waren, fuhren wir zwischen ihnen hindurch und setzten unseren Weg bis zum anderen Ende des Flecks fort, das sich durch rasches Abfallen der Fv/Fm-Raten nach einigen Meilen anzeigte. Anschließend kehrten wir zu den Bojen zurück und führten dort die nächste lange In-Station durch – eine Woche nach der Düngung. Die Chlorophyll-Konzentrationen waren signifikant angestiegen, was erkennen ließ, dass die Phytoplanktonzellen das erhaltene Eisen in die Produktion dieses für die Biosphäre zentralen Moleküls investierten. Da das erneute raue Wetter uns davon abhielt, weitere Stationsarbeit zu tun, führten wir einen Ost-West-Transekt mit 8 km Abstand durch und bewegten uns dabei nordwärts. So kartierten wir die äußeren Grenzen unseres Flecks mittels FRRF und SF6-Messungen. Nachdem wir das großskalige Gitter vervollständigt hatten, legten wir ein kleineres Gitter mit Abständen zwischen den Schnitten von nur 3 km auf dem Fleck, um kleinskalige Konzentrationsgefälle innerhalb und Vermischungen an den Rändern zu erfassen. Das Wetter hatte sich inzwischen beruhigt, so dass wir eine weitere In-Station unmittelbar neben den Bojen nahmen, nachdem wir sicher waren, dass sie sich innerhalb des Flecks befanden. Sie bewegten sich nun in westlicher Richtung und wir verfolgten ihre Spur in den 20 Stunden der Station. Allerdings waren wir konsterniert als sich während der Stationsarbeit herausstellte, dass der Fleck ihnen nicht folgte. Deshalb war die Station nicht repräsentativ für den Fleck und demnach verschwendeter Aufwand.

Wieder fuhren wir Transekte, um den Fleck zu lokalisieren und fanden heraus, dass er sich nach Süden statt nach Westen bewegt hatte. Darum setzten wir eine vierte Boje in einem Gebiet mit starken Signalen aus und beschrieben einen perfekten Kreis von 6 km Durchmesser um sie herum – um sicher zu gehen, dass es sich nicht um den Rand des Flecks handelte. Danach führten wir eine In-Station im Zentrum durch, die sich als perfekte In-Station herausstellte: mit Chlorophyllkonzentrationen über 1,2 mg Chl m<sup>-3</sup> hatten sich die Werte verdoppelt. Auch die meisten anderen Messungen deuteten darauf hin, dass das Ökosystem reagierte. Auf die Veränderungen und deren Implikationen werden wir in zukünftigen Berichten eingehen. Jetzt war entscheidend, dass der Fleck intakt war, sich nicht viel bewegte und voraussichtlich im Kern des Wirbels bleiben wird, zumindest so lange, wie er besteht.

Prozessstudien wie die unsere sind stets mit Risiko verbunden, weil ihr Erfolg davon abhängt, ob der zu studierende Prozess lange genug verfolgt werden kann, um einen aussagekräftigen Datensatz zu erhalten, und ob die Messungen umfassend genug sind, um alle Aspekte abzudecken, die zum quantitativen Verständnis nötig sind. Der Prozess, den wir zu verstehen versuchen, ist ein Bindeglied in der Kette von Rückkopplungsmechanismen, die das Klima der Erde bestimmen. Es wird von der Biologie der Organismen angetrieben, die die Oberflächenschicht der Ozeane bewohnen und von denen die große Mehrheit einzellig ist und von den kleinsten Organismen (Zwergbakterien, etwas kleiner als ein Mikrometer) bis zu den riesigen Zellen verschiedener Protozoen und Algen (gerade für das bloße Auge sichtbar mit etwa einem Millimeter) reicht. Das Leben in diesem Größenbereich ist für unsere Sinnesorgane nicht zugänglich. Deshalb haben biologische und chemische Ozeanographen eine breite Palette an Techniken entwickelt, um zumindest indirekte Informationen über die Wirkungsweise dieses größten Ökosystems der Erde zu sammeln. Das Ziel ist zu verstehen, wie es funktioniert und welche Rolle die unterschiedlichen Typen von Ökosystemen im globalen Klimaszenario spielen. Das konkrete Ziel von LOHAFEX ist es, ein planktonisches Ökosystem in einer späten Phase seiner saisonalen Entwicklung durch Erhöhung des Phytoplanktonwachstums zu stören, um anschließend das Schicksal der neu aufgebauten Biomasse innerhalb des planktonischen Nahrungsnetzes zu verfolgen und die Wirkung auf die Chemie der Oberflächenschichten zu bestimmen,



Zwei frischproduzierte Copepodenkotballen mit Kieselalgenzellen zwischen und unter ihnen sowie ein Ceratium und ein Foraminifer (Kammerling, das runde Objekt) auf der rechten Seite. Foto: Marina Montresor, SZN / Alfred Wegener Institute

insbesondere auf den Gasaustausch zwischen Luft und Wasser.

In dem ausgedehnten Gebiet des Ozeans, den wir bisher untersucht haben, schien die Planktongemeinschaft vom selben Typ zu sein: von kleinen Phytoplanktonzellen dominiert und von Fraßaktivitäten voranging zweier Copepodenarten reguliert, von denen die größere (*Calanus simillimus*, Bild in vorherigem Bericht) etwa so groß wie eine kleine Mücke ist (3 mm in der Länge). Die andere Art (*Oithona similis*) ist viel kleiner und zarter, ungefähr 0,7 mm lang. Beide Arten konsumieren etwa die gleiche Nahrung: Phytoplankton- und Protozoenzellen, die größer als 0,005 mm sind. In der Vergangenheit glaubte man, Copepoden würden wahllos fressen, indem sie Partikel aus dem Wasser sieben. Aber die verbesserte Kameratechnik hat gezeigt, dass sie tatsächlich ziemlich selektiv in ihrem Fressverhalten sind: sie greifen nach einzelnen vorbei schwebenden oder schwimmenden Partikeln, essen einige davon und werfen andere wieder. Die Copepoden scheinen die kleinen Ciliaten (Wimpertierchen) zu bevorzugen: winzige kegelförmige Tiere von nur 0,01 mm Größe, die mit hohen Geschwindigkeiten mittels Propellerschläge ihres Wimperkranzes herumzischen. Die Wimper sind kürzer aber stärker als Flagellen und umzingeln den „Mund“. Ciliaten sind die Räuber im mikrobiellen Nahrungsnetz, das wir später beschreiben werden.



Eine schwebende Sinkstofffalle PELAGRA mit ihren Betreibern. Foto: Patrick Martin, NOCS / Alfred-Wegener-Institut

Erwachsene weibliche *C. simillimus* finden sich selten in unseren Proben, also vermehrt sich deren Population nicht. Fast alle Individuen sind Jugendliche, die noch an Größe zulegen, bis sie das Larvenstadium erreichen, in welchem sie im tiefen Ozean überwintern. Die meisten haben dieses Stadium bereits erlangt, d.h. ihr Körperaufbau ist abgeschlossen und die aufgenommene Nahrung wird nun wahrscheinlich in Fett umgewandelt als Vorbereitung auf die Überwinterung tief unten in der Wassersäule. Fett und Öl sind Kohlenwasserstoffe, die hauptsächlich aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen, so dass die anderen Nährstoffe (Stickstoff, Phosphor und wahrscheinlich auch Eisen) dem Ökosystem zurückgegeben werden. In anderen Worten: diese Copepoden extrahieren und sondern nur Energie von ihrer Nahrung ab und überlassen die Bausteine (Nährstoffelemente) dem Phytoplankton zum Recycling. Im Gegensatz dazu verbringt die von Küstengewässern bis in den offenen Ozean allgegenwärtige Art *Oithona similis* ihr gesamtes Leben in der Oberflächenschicht. Deswegen besteht ihre Population sowohl aus Erwachsenen als auch aus sämtlichen Larvenstadien. Die Weibchen produzieren Eier, die sie in Eiersäcken tragen und die zahlreichen winzig kleinen Larven flitzen in den Wasserproben herum, die wir über einem feinmaschigen Netz aufkonzentriert haben. Diese Art behält ganz klar die aufgenommenen Nährstoffe zurück und investiert die Proteine und die DNS in das Wachstum der Population. Erst ihre Räuber regenerieren die Nährstoffe und führen sie ins System zurück, abhängig davon, ob die Nahrung in Fettreserven eingelagert oder für das eigene Wachstum oder für die Eiproduktion benutzt werden. Allerdings scheint der Fraßdruck auf den Copepoden bis jetzt relativ gering zu sein, wie wir noch sehen werden.

Der erhebliche Fraßdruck, der auf das einzellige Plankton (inklusive des Phytoplanktons) lastet, wird durch die Fülle des gut gekauten Kotmaterials in der Oberflächenschicht belegt. Kotballen von Copepoden (siehe Bild) sinken in Laborgefäßen schnell ab, weshalb angenommen wird, dass ihre Ausscheidungen erheblichen Anteil am organischem Partikelregen haben: Die Biologische Kohlenstoffpumpe (BCP) die Kohlenstoff in die Tiefsee transportiert. Über die quantitative Rolle der unterschiedlichen Prozesse, die die Pumpe antreiben, herrscht noch Unklarheit; die Hauptquellen sind sinkende Algenzellen, Kotmaterial des weidenden Zooplanktons und den Fraßdruck der Tiefsee-Räuber, die sich von überwinternden Copepoden ernähren und dabei deren Kohlenstoff in der Tiefe behalten. Die Überlebenden Tiere kehren ja im darauf folgenden Jahr an die Oberfläche zurück. Da die biologische Kohlenstoffpumpe im globalen Kohlenstoffkreislauf bei der Regulation der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen eine der Hauptprozesse ist, besteht ein dringender Bedarf, die treibenden Faktoren besser zu verstehen.

Es ist schwierig, Partikel, die von der Oberflächenschicht durch die tiefe Wassersäule sinken, zu verfolgen, da sie sich in dem gewaltigen Wasservolumen, das sie auf dem Weg nach unten durchqueren, rasch verdünnen. Da die Quantifizierung der einzelnen Komponenten



der biologischen Kohlenstoffpumpe einer der Hauptanliegen von LOHAFEX ist, befinden sich auch zwei kürzlich entwickelte Techniken zum Verfolgen des Flusses an Bord. Eine davon ist die trichterförmige, schwebende Sinkstofffalle PELAGRA, die von einer Gruppe in Southampton, Großbritannien, entwickelt wurde. Die Fallen können programmiert werden, um in einer vorgegebenen Tiefe (wenige hundert Meter) für einen bestimmten Zeitraum (wenige Tage) zu bleiben, währenddessen sie sinkende Partikel in 4

Polycarbonatbehältern sammeln, die sich vor der Rückkehr an die Oberfläche wieder schließen (siehe Bild). Wir haben 5 Fallen an Bord, von denen jeweils mindestens zwei im Einsatz sind, eine unter und eine außerhalb des Flecks, um eine vollständige Erfassung

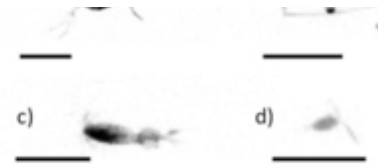
sicherzustellen. Der Umgang erfordert sehr viel Geschicklichkeit und Erfahrung, sie haben jedoch bisher sehr gut funktioniert. Die in 200 und 450m Tiefe ausgesetzten Sammelbehälter waren, abgesehen von einigen Zooplanktonorganismen, die hinein geschwommen waren, fast leer. Diese wurden sorgfältig unter einem Mikroskop entfernt, keine einfache Tätigkeit an Bord eines rollenden Schiffes. Die verbleibenden Partikel in den Sammelbehältern wurden gründlich begutachtet und anschließend konserviert, um sie im heimatischen Labor weiteren Analysen zu unterziehen. Eine interessante bereits gewonnene Erkenntnis ist die kleine Menge an Copepodenkot, die, in der Oberflächenschicht produziert, tatsächlich in die Tiefe sinkt. Dies weist darauf hin, dass der Großteil vor Ort recycelt wird. Jedoch sinkt etwas von dem Kotmaterial aus und wir wollen feststellen, ob der Anteil unter dem Flecken ansteigt - mehr Nahrung, mehr Kot, verstärktes Absinken - oder nicht. Für diesen Zweck messen wir die Produktionsrate und verfolgen das Schicksal des Kotmaterials.

Die andere Technik zur Abschätzung der Menge und Zusammensetzung absinkender Partikel ist das Beobachten ihrer Tiefenverteilung mit Hilfe des Kamerasystems UVP, das von einem Team in Villefranche, Frankreich, entwickelt wurde. Es ist an der CTD angebracht und fotografiert in rascher Abfolge mit 5 Bildern pro Sekunde jeweils 1-Liter-Wasserscheiben, die von einem Stroboskoplicht beleuchtet werden, während es mit 1m/s von der Oberfläche bis 3000m Tiefe herabgelassen wird. Diese Kamera erfasst Partikel bis 0,06 mm Durchmesser und liefert Bilder von Objekten bis zu einer Größe von 0,5 mm, die mit dem Auge identifiziert werden können. Sogar in der tiefsten Schicht, zwischen 2000 und 3000m sind immer noch etwa 3 Objekte pro Bild und etwa ein Zehntel der Bilder enthält identifizierbare Objekte, was mehr als erwartet ist. Ein speziell dafür programmierter Computer sortiert die erfassten Partikel in wenige Gruppen: Verschiedene Arten von Zooplankton, diffuser Detritusklumpen und kleine Partikel. Diese werden zu vertikalen Profilen von Abundanz und Biovolumen umgewandelt. Das Kamerasystem liefert Details aus der Biologie der Copepoden, die durch Netzfänge oder akustische Techniken nicht gesammelt werden können (siehe Bild).

Wir sind nun in der Routinephase des Experiments eingetreten: Wir führen Stationen inner- und außerhalb des Flecks in regelmäßigen Intervallen durch, während wir seine Bewegungen innerhalb des Wirbels überwachen. Obgleich die Arbeit ermüdend ist, sind wir glücklich und gespannt auf die weiteren Entwicklungen.

Mit herzlichen Grüßen,

Wajih Naqvi und Victor Smetacek



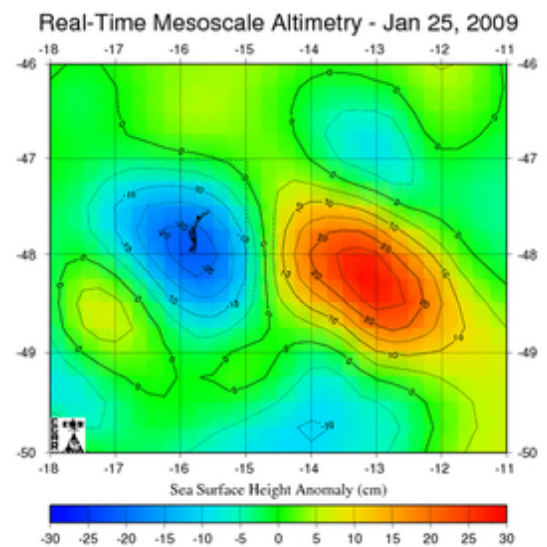
Bilder von Copepoden in der Natur aufgenommen mit dem VPN-Kamerasystem. Der Strich ist 5 mm lang und die Tiefe in der die Aufnahmen genommen wurden ist angegeben. Bilder: Pieter Vandromme, UPMC-CNRS / Alfred-Wegener-Institut

### ANT XXV/3, Wochenbericht Nr. 6

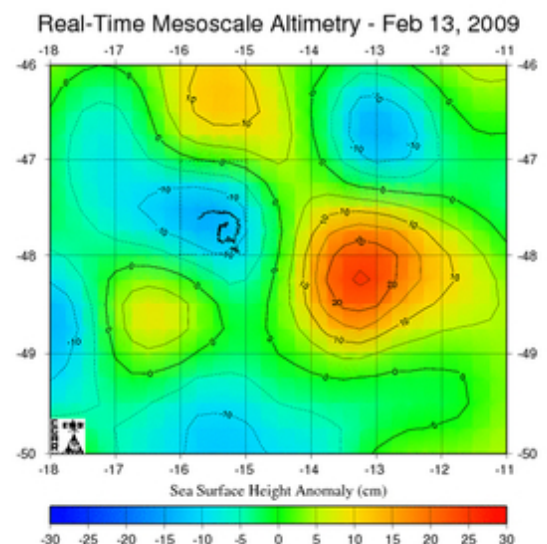
Der Wirbel um uns änderte auf ominöse Weise seine Form während wir emsig unseren Versuchsgarten hüteten. Was zuvor als auffallend blauer Klecks in einer weiten Fläche von Grün auf den Satellitenbildern der Meeres-Oberflächenauslenkung zu sehen war, begann vor unseren besorgten Augen zu verblassen und zu schrumpfen. Die Bilder zeigten, dass die kleinen Wirbel im Süden und Westen nun unseren Wirbel an die Flanke seines Gefährten, des roten Wirbels, drängten, während dieser stärker wurde (siehe Bild). Das Zentrum unseres Wirbels bewegte sich nach Nordosten, aber das neueste Modell des Orakels beruhigte uns. Es zeigte, dass nur der äußere, ungedüngte Ring des rotierenden, geschlossenen Kerns abgeschält wurde als er die Südseite unseres Wirbels passierte. Diese „Pelle“ unseres Wirbels wurde als Faden nach Osten gezogen und um das Strömungsband gewickelt, das den roten Kern umfloss und somit zu seiner Verstärkung beitrug. Da wir unseren Fleck im Zentrum des Kerns platziert hatten, hofften wir, dass er seine Integrität beibehalten und noch für einige Zeit in unserem Wirbel verbleiben würde. Dies wurde durch die Zwillingssbojen, die sich nordwärts bewegten und sich in enger werdenden Kreisen in die sichere nordöstliche Ecke unseres abflachenden Wirbels begaben, bestätigt. Unglücklicherweise, und ein hydrodynamisches Problem für sich, sind sie nun weit von unserem Fleck entfernt obgleich einander so nah wie je zuvor.

Bereits eine Woche zuvor hatten wir eine dritte Boje ausgesetzt, um eine Region mit besonders hohem Chlorophyllgehalt zu markieren. Sie verblieb in der östlichen Flanke des Wirbels, kleine flache Schleifen beschreibend, im Gleichgewicht zwischen der nach Norden drückenden Trägheitsschwingungen und der nach Süden gerichteten Strömung. Die Position des Flecks um die Boje hatte sich also geändert, so mussten wir ihn neu vermessen, um eine geeignete Stelle für die nächste In-Station zu bestimmen. Unser Meteorologe warnte uns erneut vor einem drohenden Sturm, weswegen wir uns entschieden, vor dem Rückzug nach Norden die nächste Außen-Station westlich des Flecks, auf der anderen Seite des Wirbelkerns zu nehmen. Es war Nacht und auf unserem Weg dorthin stellten wir recht hohe photosynthetischen Effizienzen fest, deren Erklärung auf dem Radarschirm auf der Brücke zu sehen war: wir durchquerten ein Feld von Eisbergen. Offensichtlich hatten wir Konkurrenz bekommen: hier war eine zusätzliche Quelle von Eisen im Wirbel. Unsere einzige Option war es, die Außen-Station nördlich des Wirbelkerns zu nehmen, da wir das Gebiet bald verlassen mussten. Wir nahmen uns außerdem vor, nach unserer Rückkehr Messungen um einen größeren Eisberg vorzunehmen.

Wir kehrten 2 Tage später zurück, gut ausgeruht und auf die nächste



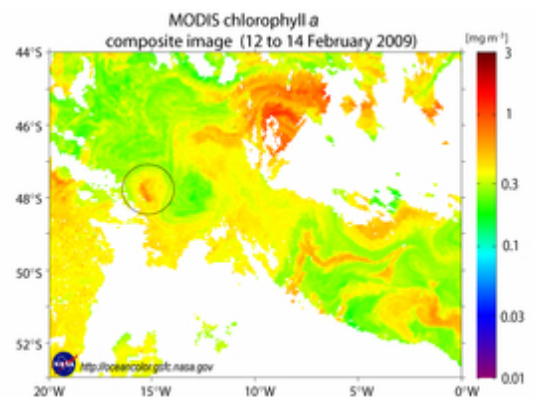
1. Die wandelnde Form unseres blauen Wirbels. Das Bild 1 a ist vom 25. Januar, kurz vor der Düngung, und 1 b ist vom 13. Februar 2009. Die Strecken, die die Bojen in 2-Wochen-Perioden zurückgelegt haben, sind eingefügt. Grafik: Ines Borrione / Alfred-Wegener-Institut





In-Station vorbereitet. Die Boje hatte sich kaum bewegt, wir fanden den Fleck und bald darauf auch eine geeignete Stelle. Der Sturm hatte die durchmischte Schicht vertieft; die Chlorophyllkonzentrationen hatten sich wenig verändert, zum Teil wegen der Verdünnung mit Tiefenwasser, das sich in die Oberflächenschicht eingemischt hatte. Allerdings hatten die photosynthetischen Effizienzen noch nicht die hohen Werte erreicht, die in vorherigen experimentellen Blüten gemessen wurden, obwohl wir uns schon in der dritten Woche nach der Düngung befanden. Hierfür gab es zwei mögliche Erklärungen: die schneller wachsenden Algenzellen, die ihre Wachstumseffizienz angehoben hatten, wurden selektiv vom Zooplankton beweidet; oder das gesamte Phytoplankton war in eine weitere Eisenlimitation geraten, da wir das erste Mal nur die Hälfte des Eisens zugegeben hatten. Es gab Anzeichen für beide Möglichkeiten: a) die Kieselalgen und eine andere Algenart (*Phaeocystis*), von der wir eine Zunahme im Wachstum erwarteten, hatten deutlich abgenommen, und b) die anfängliche Korrelation zwischen Chlorophyll und gemessenen Eisenkonzentrationen hielten in der zweiten Woche nicht an. Einen klaren Beweis würde eine erneute Düngung des Flecks mit den 10 Tonnen Eisensulfat erbringen, die wir von der ersten Düngung noch gespart hatten.

Nachdem wir die Lage des Flecks im Verhältnis zur Boje bestimmt hatten, begannen wir die zweite Düngung am Wochenende. Wieder stiegen Teams von Freiwilligen in die Schutzkleider und fingen an, jeweils einen Tank mit Eisensulfatlösung zu beschicken, während der andere entleert wurde. Wir hatten seit einigen Stunden keine Signale von den Bojen mehr empfangen, waren aber unbesorgt, da sich der Fleck in den vorangegangenen Tagen kaum bewegt hatte. Da die Boje sich diesmal am nördlichen Ende des verlängerten Flecks befand, entschieden wir uns, ihn von Norden nach Süden zu düngen, in Ost-West-Zickzack-Linien mit 1,6 km langen Abständen. Das Schiff wendete jedes Mal nach Süden, wenn die Werte der photosynthetischen Effizienz fielen. Da wir davon ausgingen, dass der Großteil des Fleckes südlich der Boje lag, waren wir verblüfft, wie schnell die Breite des Fleckes nach Süden hin abnahm, nachdem wir die ursprüngliche Bojenposition passiert hatten. Die Erklärung kam, als die Bojensignale wieder eintrafen: Die Boje war dabei, rapide nach Norden zu driften. Die Strategie musste geändert werden. Wir unterbrachen die Düngung und eilten nach Norden, wo wir einen breiten Streifen des Flecks ziemlich weit nördlich der Boje fanden. Der Teil des Flecks, den wir verfehlt hatten, wurde nachgedüngt, diesmal nach Norden fahrend, die Spur der Boje korrigierend.



Satellitenaufnahme der Chlorophyllkonzentrationen an der Meeresoberfläche mit unserer eingekreisten Blüte. Man beachte die entschieden größere natürliche Blüte oben rechts und die höheren Werte im Südosten. Grafik: NASA (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>)

Wir hatten unseren Fleck in hoch aufgelösten Satellitenbildern der Chlorophyllkonzentrationen gesucht, konnten aber aufgrund der dicken Wolkenschicht, die jedes Mal gerade dann über unserer Region lag, wenn ein Satellit sie überflog, nur Andeutungen erkennen. Am 15. Februar erschien er endlich als ein deutlicher, länglicher Klecks mit Chlorophyllkonzentrationen, die doppelt so hoch waren wie die des umgebenden Wassers. Über 600 km weiter nordöstlich lag eine größere und stärkere Blüte östlich der kleinen Gough Insel, die vermutlich die Quelle des Eisens war. Das Bild zeigt auch, dass im Großen und Ganzen die Chlorophyllkonzentrationen im Südwesten (in gelber Farbe) höher als im Norden (in grüner Farbe) waren, vermutlich aufgrund des Eiseneintrags durch Eisberge. Unser Wirbel umschloss angereichertes Wasser aus dem Südwesten, wohingegen der „warme“ Wirbel (der grüne Klecks neben unserer Blüte) nährstoffarmes Wasser aus dem Norden enthielt.

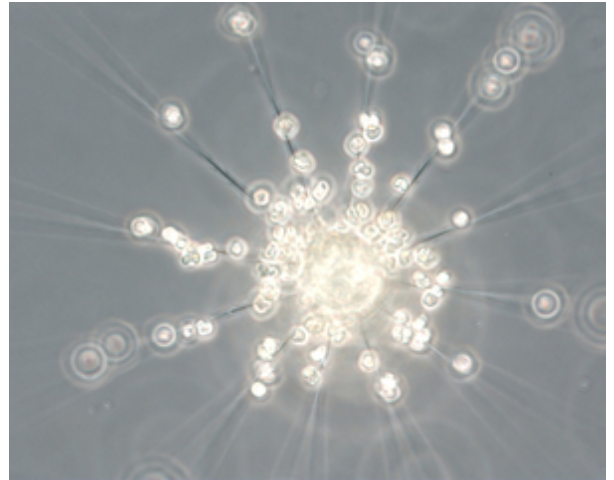
Kieselalgen bildeten, wie erwartet, die erste Phytoplanktongruppe, die auf die Eisendüngung ansprach, ihr weiteres Wachstum war allerdings durch Silikatmangel limitiert. Die meisten anwesenden Arten reagierten auf die verbesserten Wachstumsbedingungen, indem sie die Reste der Kieselsäure, die von der letzten Blüte übrig waren, aufzehrten. Das konnten wir nachweisen, indem wir einen neu entwickelten Farbstoff, der nur frisch produzierte Silikatschalen anfärbt, zu natürlichen Proben gaben, die dann für 24 Stunden unter natürlichen Lichtbedingungen gehältert wurden. So konnte man neue Schalen gut erkennen. Beschädigte Zellen der nadelförmigen, dünnschaligen Kieselalgen der Gattungen *Rhizosolenia* und *Proboscia* sind häufig in Netzproben, aber wir waren überrascht zu sehen, dass der Schaden repariert wurde – erkennbar an der Verdichtung leuchtenden Farbstoffes rund um das zerbrochene Ende der Zelle. Wir hatten nicht erwartet, dass Kieselalgen dazu in der Lage sind. Abgesehen von Netzen, sind wahrscheinlich nur größere Zooplankter fähig, diese Schalen zu knacken.

Die Tatsache, dass einzelne Zellen Angriffe überleben, unterstützt die Idee, dass die Entwicklung von Schutzmechanismen die Evolution der Kieselalgen vorantrieben und gestaltet hat. Das gesamte Erbgut (Genom) zweier, vor kurzem sequenzierten Arten lässt vermuten, dass Kieselalgen noch viele Überraschungen liefern werden, wenn wir gelernt haben, ihre Gene zu entschlüsseln.

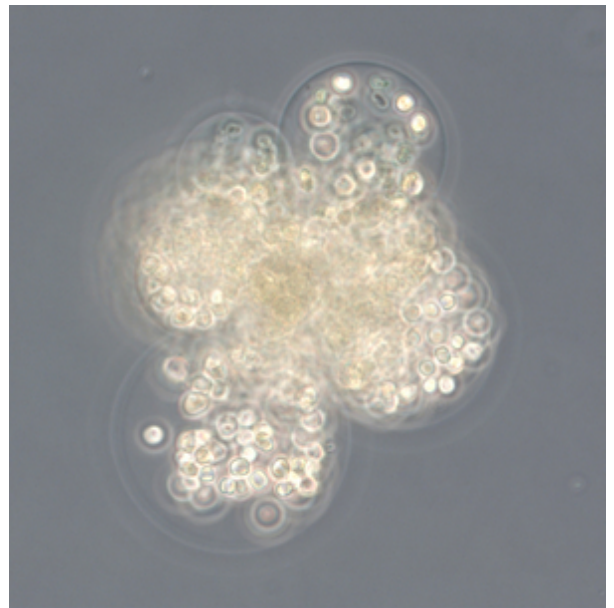
Innerhalb weniger Tage nach der Düngung hatten sich die Diatomeenzellzahlen etwa verdoppelt, aber ein paar Tage später waren die meisten ihrer Zellen von den weintrauben-artigen, frühen Kolonien der weit verbreiteten Art *Phaeocystis* besiedelt. Diese gehören zur Algengruppe der Haptophyten, um die es bereits in einem früheren Bericht ging, als die Kalkalgen (Coccolithophoriden) vorgestellt wurden. Deren Anzahl ist übrigens in unserem Wirbel, inklusive des Fleckes, gesunken. Dichte Blüten von *Phaeocystis* kommen entlang der Kontinentalränder vieler Ozeane vor, die Deutsche Bucht mit eingeschlossen. Die dortigen Blüten sind in Verruf geraten, da sie in unansehnlichen, meterdicken Bändern steifen Schaums an den Stränden enden, die Touristen der Umweltverschmutzung zuschreiben. Das brachte ihnen den Namen Schaumalge ein. In der Nordsee treten sie nach der Frühjahrsblüte von Kieselalgen auf, die - im Gegensatz zu *Phaeocystis* - diskret verschwindet, indem die meisten Zellen nach Verbrauch von Kieselsäure auf den Meeresboden absinken. Die Zunahme in der Intensität der *Phaeocystis*-Blüten wurde auf die höhere Zufuhr von Stickstoff ins Meer zurückgeführt, die durch überdüngte Flüsse und Regen verursacht wird, und daher als Anzeichen für Eutrophierung von Küstengewässern gilt. Deshalb werden *Phaeocystis*-Blüten weitläufig negativ angesehen. Allerdings ist diese Auffassung subjektiv und ungerechtfertigt.

Dichte *Phaeocystis*-Blüten entstehen regelmäßig entlang der arktischen und antarktischen Küsten und Schelfgebieten, oft gemeinsam mit Kieselalgen – weit entfernt von jeglicher Eutrophierung und in Gegenwart hoher Kieselsäurekonzentrationen. Tatsächlich nehmen ihre Blüten in Ausmaß und Intensität den zweiten Platz nach den Kieselalgen ein. Trotz intensiver Forschung in den letzten Jahrzehnten sind sowohl die auslösenden Faktoren für ihre Blüten als auch deren Auswirkungen auf das Zooplankton immer noch kaum verstanden. Kontroversen verhüllen außerdem das Schicksal ihrer Biomasse. In Küstenregionen zerplatzen die Kolonien, wonach den befreiten Zellen Flagellen wachsen und sie damit zu „normalen“, solitären Haptophyten werden. Diese kleinen Flagellaten werden dann von kleinen Zooplanktern abgegrast. In antarktischen Gewässern sind *Phaeocystis*-Kolonien in tiefen Proben gefunden worden, weshalb einige Wissenschaftler vermuten, dass sie einen effizienteren Beitrag zur biologischen Kohlenstoffpumpe (BKP) leisten als die Diatomeen. Als diese Kolonien nun in unseren Proben auftraten, waren wir gespannt zu sehen, ob Eisendüngung zu einer *Phaeocystis*-Blüte führt, und welche Auswirkung sie auf das Zooplankton und die BKP haben würde.

Wie alle ihre verwandten Haptophyten, sind *Phaeocystis*-Zellen kleine, solitäre Flagellaten, die beträchtliche Mengen der Substanz DMSP produzieren, eine Vorstufe des Gases DMS, das in die Atmosphäre entweicht. DMS wird dort oxidiert und liefert Kondensationskeime für die Wolkenbildung. Diese Wolken haben kleinere Tröpfchen als normale Wolken und sind daher weißer. Sie reflektieren mehr Sonnenlicht zurück in den Weltraum und kühlen dadurch die Atmosphäre. Im Gegensatz zu all ihren Verwandten hat die blütenbildende Art *Phaeocystis* eine Kolonienphase, die aus einer einzigen Zelle hervorgeht,



3. a) *Phaeocystis*-Zellen, die sich gerade an den Stacheln einer Kieselalge (*Corethron pennatum*) nieder gelassen haben (die Zellen sind 0.005 mm groß). b) Ältere Kolonien, die eine Kieselalgenzelle überwuchert haben (die größte Kolonie ist 0.05 mm groß). Foto: Marina Montresor, SZN / Alfred-Wegener-Institut



3. b) *Phaeocystis*-Zellen, die sich gerade an den Stacheln einer Kieselalge (*Corethron pennatum*) nieder gelassen haben (die Zellen sind 0.005 mm groß). b) Ältere Kolonien, die eine Kieselalgenzelle überwuchert haben (die größte Kolonie ist 0.05 mm groß). Foto: Marina Montresor, SZN / Alfred-Wegener-Institut

die ihre Beweglichkeit verliert und eine Kapsel um sich herum aufbaut. Die Zellen teilen sich im Inneren dieser Kapsel, die sich dabei entsprechend ausdehnt (Foto). Innerhalb von 2 Wochen entsteht eine millimetergroße, kugelige Kolonie, deren Peripherie mit tausenden kleinen Zellen voll gepackt ist. Blüten bestehen nur aus diesen Kolonien. Manipulationen ganzer Kolonien mit Mikro-Techniken haben gezeigt, dass sie von einer zähen, unelastischen Haut umgeben sind und daher als wassergefüllte Bällchen anstatt schleimgefüllte Geleekugel, wie weitläufig geglaubt, zu betrachten sind. Die starke Haut bietet Schutz vor Fraßfeinden und Viren. Das scheint die Antwort der Haptophyten auf die Silikatschale der Kieselalgen zu sein. Obwohl die einzelnen Zellen von Ciliaten und anderen Zooplanktern verschlungen werden, sind die großen Kolonien schwer von kleineren Räubern zu knacken. Dies zeigt, dass Verwundbarkeit mit zunehmender Größe abnimmt – eine allgemeingültige Regel, die aus der Ökologie als „Entkommen durch Größe“ bekannt ist. Diese Regel wird durch die Tatsache untermauert, dass die kleinen Kolonien an Kieselalgen, insbesondere an den Stacheln großer Arten, angeheftet waren, vermutlich um sich vor Ciliaten zu schützen, die große Kieselalgenzellen nicht verschlingen können.

Allerdings sind die kleinen Kolonien, wie bereits oben erwähnt, vor Mitte der Woche aus unserem Fleck verschwunden. Der Schwund kann nur aufgrund gezielten Abgrasens passiert sein, denn die Kolonien gedeihen gut in unseren großen Flaschen an Bord mit Wasserproben aus dem Fleck. Da die Copepoden dort entfernt worden waren, nehmen wir an, dass es ihre Fraßaktivität war, die die Phaeocystis-Blüte im Keim erstickt hat. Diese Beobachtungen deuten daraufhin, dass die Fraßaktivität in der Entstehungsphase von Kolonien entscheidet, wie viele von ihnen überleben, um zu Blütengröße heranzuwachsen. Die Implikationen dieser biologischen Kontrolle des Kohlenstoffkreislaufs liegen auf der Hand. Wir haben an Bord Experimente angesetzt, um diese Hypothese zu testen und warten nach wie vor gespannt auf weitere interessante Entwicklungen in unserem Garten.

Die Stimmung an Bord ist so gut wie eh und je und die verschiedenen Disziplinen teilen ihre Beobachtungen während der regelmäßigen abendlichen Treffen mit Enthusiasmus. Sowohl junge Studenten als auch erfahrene Wissenschaftler präsentieren ihre Ergebnisse, so dass alle bestens darüber informiert sind, was innerhalb und außerhalb des Fleckes vor sich geht. Der Geist echter Interdisziplinarität zeigt sich auch darin, dass Gruppen, die rund um die Uhr arbeiten müssen, Hilfestellung von Freiwilligen aus anderen Gruppen erhalten, deren Probenbearbeitung nicht so zeitaufwendig ist.

Mit unseren besten Wünschen aus den Tausenden Vierzigern,

Wajih Naqvi and Victor Smetacek



Im Vortragssaal auf Polarstern werden die wissenschaftlichen Arbeiten vorgestellt und diskutiert. Foto: Victor Smetacek, Alfred-Wegener-Institut

### ANT XXV/3, Wochenbericht Nr. 7

Nachdem wir am Montag die zweite Düngung unseres Flecks beendet hatten, begaben wir uns auf die Suche nach einem großen Eisberg, um die Wirkung seines Schmelzwassers auf die Umgebung zu studieren. Weiter südlich waren wir mehrfach auf ausgedehnte, von Schmelzwasser beeinflusste Gebiete gestoßen, die jedoch von riesigen, zerfallenden Eisbergen von mehreren Kilometern Länge stammten. Bald entdeckten wir auf dem Radarschirm einen großen Eisberg in einigen Kilometern Entfernung und fuhren auf ihn zu. Die See war ruhig und die Sonne blickte bisweilen hervor. Mit Kameras behängte, ausgeruhte Wissenschaftler versammelten sich auf dem Arbeitsdeck, um den Eisberg aus der Nähe zu betrachten: ein stattlicher Koloss 60 m hoch (mit Sextanten gemessen) und wenige hundert Meter breit wie lang. Er sah aus wie eine hockende Sphinx, seine Seiten von den Brechern geglättet, die an ihm empor brandeten. Auf seinem Kopf balancierten riesige Klötze wie eine überdimensionierte Krone. Da er nicht besonders stabil erschien, hielten wir uns in gehörigem Abstand, während wir CTD-Stationen rund herum nahmen, um seinen Einfluss auf der Oberflächenschicht festzustellen. Viele von uns beobachteten ihn noch, fasziniert von der Art und Weise, wie seine Farben von blassem Blau zu strahlendem Weiß mit vielen Grauschattierungen dazwischen changierten. Plötzlich erhob sich ein Schrei als Stücke der Krone begannen, herab zu fallen. Vor unseren erschreckten Augen fing die gesamte Front an zu zerbröckeln und zu rutschen, Lawinen von Eisgeröll rauschten ins Meer. Große Stücke stürzten mit Getöse in die Wellen. Innerhalb von Minuten war der Eisberg auf eine Spur seiner zuvor gewaltigen Präsenz reduziert. Obwohl wir uns in sicherem Abstand befanden, waren wir vor dem Spektakel erstarrt. Einer von uns hat die gesamte Sequenz als Film festgehalten, weshalb wir später alle den Fall des stattlichen Eisbergs miterleben konnten.



Der Eisberg nachdem er vor uns zusammenbrach. Foto: V. R. Sundareswaran, CCMB / Alfred-Wegener-Institut



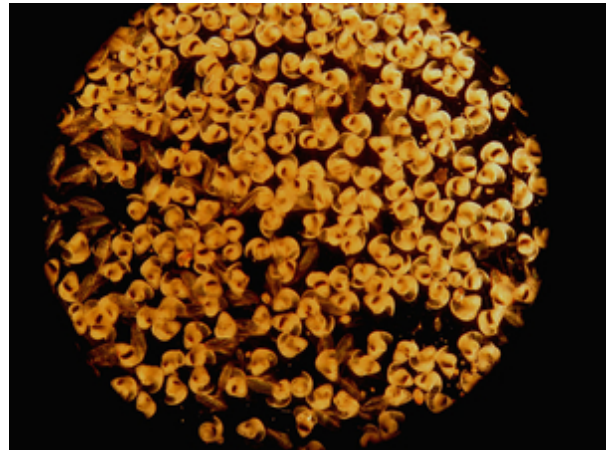
Der Eisberg bevor er vor uns zusammenbrach. Foto: Kevin Saw, NOCS / Alfred-Wegener-Institut

Die Ergebnisse der Eisberguntersuchung waren enttäuschend: Da es keine wahrnehmbaren Anzeichen von Schmelzwasser um den Eisberg gab, muss die Zugaberate von Süßwasser gegenüber der Vermischungsrate mit der Umgebung fast vernachlässigbar gewesen sein. Offensichtlich hinterlassen die kleineren Eisberge nur diffuse Signale, die dementsprechend schwerer zu erfassen sind, als in den ausgedehnten Feldern von Eisgeröll, die dem Einsturz von riesigen Eisbergen folgen. Es ist möglich, dass das aus den vielen kleineren Eisbergen freigesetzte Eisen für die verhältnismäßig hohen Hintergrundwerte von Chlorophyll im Wirbelkern - im Vergleich zu den verarmten Gewässern weiter nördlich und östlich - verantwortlich war. Weil dieses Niveau seit unserer Ankunft gehalten wurde, ist das Eisen entweder kontinuierlich durch zerfallende Eisberge nachgeliefert worden, oder die gedüngte Planktongemeinschaft hat es in der Oberflächenschicht in einem quasi Gleichgewichtszustand effizient recycelt. Wie wir später sehen werden, unterstützen die Entwicklungen im Fleck die zweite Erklärung.

Nach dem Eisberg-Streifzug fuhren wir mit der nächsten Out-Station fort, um unserem Fleck Zeit zu geben, die neuen Eisenschlieren unterzumischen. In der Zwischenzeit bewegte sich die Boje, um die wir gedüngt hatten, bedrohlich weiter nach Norden, und wir atmeten erleichtert auf als sie Mitte der Woche endlich nach Nordosten ablenkte. Dass sie nun beunruhigend nah an dem Band schneller Strömungen geraten war, die unseren Wirbel umkreisen, wurde von seiner Spur und seiner Geschwindigkeit in den darauf folgenden Tagen demonstriert. Da wir nicht sicher waren, ob die Boje aus dem Fleck gerutscht

war, beschlossen wir, die Stelle der nächsten In-Station wieder mit einer Boje zu markieren. Dafür sammelten wir die allererste Boje wieder ein, die auf unserem Weg zurück in den Fleck lag.

Nachdem wir eine Nacht lang die neue Position unseres Flecks entlang der nordöstlichen Peripherie unseres Wirbels kartiert hatten, stellten wir mit Besorgnis fest, dass er noch weiter als die Boje in das Band schneller Strömungen ragte, das unseren Wirbel von dem angrenzenden warmen Wirbel trennte. Nachdem wir eine geeignete Stelle im Fleck gewählt hatten, setzten wir die eingesammelte Boje aus, nannten sie von da an 1A und führten die In-Station durch. Währenddessen korrigierten wir die Schiffsposition kontinuierlich, um auf Höhe der Boje zu bleiben, die nun mit einer atemberaubenden Geschwindigkeit von über 20 km pro Tag nach Südosten reiste. Offensichtlich wurde der Fleck mit dem Band starker Strömungen geschleppt, das wir nun „Highway to Hell“ nannten, da es den Fleck aus unserem blauen Wirbel herausziehen und als dünnen Streifen entlang des äußeren Randes des roten Wirbels anschmiegen würde, wo er bald mit der Umgebung verschmelzen würde. Mit einem Gefühl drohenden Verhängnisses wandten wir uns der Arbeit zu. Während der Woche wurden neutral treibende Sinkstofffallen innerhalb und außerhalb des Flecks ausgesetzt und eingesammelt. Die Behälter enthielten mehr Material als vorher, der Gesamtgehalt gesammelten Materials war allerdings gering.



Ein großer Fang der planktonischen Schnecke *Limacina*, die als Meeresschmetterling bekannt ist. Die hier abgebildeten Exemplare haben ihre „Flügel“ gefaltet und in die Schale eingezogen. Einige Individuen der großen Copepodenart *C. simillimus* sind auch zu sehen. Foto: Gauri Mahadik, NIO / Alfred-Wegener-Institut

Trotz der zweiten Düngung blieben die Chlorophyllkonzentrationen im Fleck mehr oder weniger konstant bei doppelt so hohen Werten wie außerhalb. Verdünnung aufgrund lateraler Vermischung mit umgebendem, ungedüngtem Wasser war nicht der Grund dafür, da der Fleck mehr oder weniger scharf abgegrenzt war: in Schnitten, die den Fleck bei nächtlichen Kartierungen durchquerten, erschien er als ein steilwandiges, ausgedehntes Plateau von Punkten in den halbminütlich erhobenen FRRF-Werten. Zweifellos muss Vermischung mit umgebenden Wassermassen während der Drehungen im Wirbelkern stattgefunden haben, aber nicht schnell genug, um die Aufrechterhaltung von höherer Phytoplankton-Biomasse - widerspiegelt in den Chlorophyllkonzentrationen - zu verbergen. Allerdings wurde in allen vorherigen Experimenten ein stetiger Anstieg in den ersten Wochen beobachtet, somit benahm sich die Planktongemeinschaft in unserem Fleck grundlegend anders, folglich waren wir dabei, neue Entdeckungen zu machen.

Zugegebenermaßen waren unsere Beobachtungen nicht unerwartet, denn es ist seit einer Weile bekannt, dass sich Planktongesellschaften in zwei Kategorien unterteilen lassen: Phytoplanktonblüten und regenerierende Systeme. Im Allgemeinen treten Blüten bei hohen Nährstoffgehalten auf und dauern von einer bis acht Wochen an, abhängig von Temperatur und Lichtversorgung. Sie sind von hohen Chlorophyllwerten charakterisiert, die fluktuieren können, wenn verschiedene Arten einander ersetzen bis ein essentieller Nährstoff weiteres Wachstum limitiert. Blüten sind meistens von Diatomeen dominiert, die Kieselsäure benötigen, so dass ihr Biomasseaufbau beendet wird, sobald dieses Element limitierende Konzentrationen erreicht, d.h. wenn sie ihre Schalen nicht mehr erzeugen können. Das geht gewöhnlich mit massenhaftem Absinken und Transport von organischem Material in die tiefe Wassersäule und zum Meeresboden einher, welches eine bedeutende Nahrungsquelle für dort lebende Organismen darstellt.

In einigen Regionen werden sowohl Kieselsäure als auch Stickstoff gleichzeitig erschöpft, so dass dünnwandige Diatomeenarten die dickwandigen ersetzen, wenn die kritische Ressource am schwinden ist. In vielen Küsten- und Schelfgebieten wird Kieselsäure jedoch lange vor dem Nitrat aufgebraucht. Der Rest des Nitrats wird dann von anderen Algengruppen genutzt, besonders von Kalkalgen und *Phaeocystis*-Kolonien im Falle der Haptophyten oder von *Ceratium* als Vertreter der Dinoflagellaten – wie in vorherigen Berichten erwähnt. Obwohl sie ziemlich abundant waren, schaffte es keine der beiden Gruppen in unserer Blüte; erstere vermutlich aufgrund zu



niedriger Temperaturen und die beiden anderen aller Wahrscheinlichkeit nach deshalb, weil sie vom Fraßdruck in Schach gehalten wurden. So ging unsere Blüte trotz ausreichender Nährstoffe in die nächste Phase über. Dies ist ein wichtiger Befund, denn es deutet darauf hin, dass nur Diatomeen dazu in der Lage sind, regelmäßig Blüten im Antarktischen Zirkumpolarstrom zu erzeugen. Wir werden später zu den Implikationen dieses wichtigen Punktes zurückkehren.



Das Multinetz mit seinen Betreibern/innen. Foto: V. R. Sundareswaran, CCMB / Alfred-Wegener-Institut

Recycelnde oder sich regenerierende Systeme bewahren monatelang ein Gleichgewicht, basierend auf der Balance zwischen Auf- und Abbau von organischem Kohlenstoff. Die täglichen Raten chlorophyllbasierter Primärproduktion, ausgedrückt als Menge von organischem, photosynthetisch hergestellten Materials pro Quadratmeter Meeresoberfläche, hängen von den Zufuhraten des limitierenden Elements ab. Die Zufuhr wird durch die Remineralisierung von organischem Material durch Veratmung von allen nicht-photosynthetischen Organismen bewerkstelligt, die daher als heterotroph bezeichnet werden (im Gegensatz zu autotroph) und von Bakterien bis zu Walen reichen. Es war klar, dass unser Fleck ein recycelndes Stadium erreicht hatte, aber dass es anscheinend genauso stabil ausbalanciert war wie das recycelnde System drum herum überraschte uns, weil die recycelte Menge mindestens doppelt so groß war. Da Nährstoffe, einschließlich Eisen, offensichtlich den weiteren Biomasseaufbau nicht limitierten, musste es die Beweidungsrate sein, die das obere Niveau festlegte, in dem das System operierte. Worüber wir uns nicht sicher waren, war die Frage, ob sich mehr Zooplankton im Fleck angesammelt hatte (durch Einwanderung oder Reproduktion) oder ob die bereits anwesenden Tiere doppelt so viel fraßen wie die außerhalb. Für beide Szenarien gab es Hinweise.

Für die erste Hypothese sprachen drei Beobachtungen. Ein Vergleich aller Netzfänge deutete darauf hin, dass die Abundanzen des großen nicht-reproduzierenden Copepoden (*Calanus simillimus*) dazu neigten, innerhalb des Flecks höher zu sein, vermutlich, weil sie davon angezogen wurden. Wie solche kleinen Tiere in der Lage sind, sich darin zu versammeln, wird später behandelt. Der andere, viel kleinere Copepode (*Oithona similis*) war dabei sich in vielen In-Stationen kräftig zu vermehren, obwohl die Anzahl der Larven in den Proben beträchtlich zu variieren schien, was wahrscheinlich auf den Wegfraß durch den größeren Copepoden zurückzuführen war. An der letzten Station innerhalb des Flecks entdeckten wir eine große Menge von planktonischen Schnecken (Pteropoden der Art *Limacina retroversa australis*) die bekannt sind für ihre hohen Reproduktionsraten. Sie sehen aus wie Gartenschnecke, messen aber nur wenige Millimeter im Durchmesser. Ihre Füße sind zu flügelartigen Fortsätzen modifiziert, mit denen sie sich, ähnlich einer Fledermaus, flatternd durchs Wasser bewegen, weshalb sie auch Meeresschmetterlinge genannt werden. Da sie bei den meisten Fängen in geringen Anzahlen vorhanden waren, zeigte dieser Schwarm, der sowohl aus Eier produzierenden Erwachsenen als auch Jugendstadien bestand, dass sie auf das verbesserte Nahrungsangebot reagiert hatte, jedoch nur in dieser vorher unbeprobten Ecke des Flecks. Möglicherweise wurde ihre Zahl von den umherstreunenden Schwärmen räuberischer Amphipoden in Schach gehalten, die in großen Teilen des Flecks zuzunehmen schienen, aber hier nicht so stark vertreten waren.

Die andere Alternative, dass die dominanten, obgleich sich nicht reproduzierenden Copepoden innerhalb des Flecks mehr fraßen, wurde durch die Beobachtungen der frisch gefangenen Tiere bestärkt. Sie sind ziemlich transparent, so dass es einfach zu sehen ist, wie viel sie gefressen haben. Das kann dann gemessen werden, indem die Anzahl der Kotballen gezählt wird, die frisch gefangene Individuen produzieren, die in einem Becherglas gehalten wurden. Tatsächlich wurden merklich vollere Mägen und höhere Kotballenproduktionsraten bei Copepoden aus dem Fleck festgestellt. Offensichtlich waren die Fraßraten der Tiere außerhalb des Flecks durch das Nahrungsangebot begrenzt. Das Zooplankton profitierte offenbar von der Eisendüngung.



Eine Geburtstagsparty im Teeladen (Zillertal). Foto: Victor Smetacek, Alfred-Wegener-Institut

Am Ende der Woche unternahmen wir einen schnellen Transekt mit CTD-Einsätzen durch den warmen Wirbel, um seine physikalischen Eigenschaften mit denen des blauen Wirbels zu vergleichen. Es gab dort keine Eisberge und die Chlorophyll-Konzentrationen waren auch niedriger. Ein kurzer Blick auf die Planktongemeinschaft seines geschlossenen Kerns ergab, dass die großen Copepoden von einer anderen Art vertreten waren. *Oithona* war selten und die Zusammensetzung seines räuberischen

Zooplanktons unterschied sich erheblich: Anstatt Amphipoden dominierten Pfeilwürmer (Chaetognathen). Die Gesamtbiomasse des Zooplanktons war wesentlich geringer. Leider war es nicht möglich gewesen, hier ein Parallel-Experiment durchzuführen, so konnten wir nur Mutmaßungen darüber anstellen, wie dieses siliziumlimitierte System reagiert hätte.

Unsere besten Wünsche von einem Schiff voll mit Wissenschaftlern, die sich mittlerweile ganz an das Leben in den Tausenden Vierzigern angepasst haben, und brennend darauf hoffen, mehr Informationen über unseren Garten zu sammeln, bevor er letztlich von den an seinen Seiten nagenden Strömungen zerrissen wird,

Wajih Naqvi und Victor Smetacek

## **The Expedition ANT-XXV/3**

### **Weekly Reports**

[22 January 2009](#): The passage across the South Atlantic

[3 February 2009](#): The search for a suitable eddy and start of the experiment

[17 February 2009](#): Developments in our garden

[26 February 2009](#): What might have, but did not happen

[9 March 2009](#): Watching our garden being grazed

[15 March 2009](#): Keeping up with the patch

### **Summary and itinerary**

The third cruise leg of Antarctic expedition ANT XXV is dedicated to the Indo-German iron fertilization experiment LOHAFEX (LOHA is Hindi for iron, FEX stands for Fertilization EXperiment). The cruise will be jointly carried out by the National Institute of Oceanography (NIO) Goa of the Council of Scientific and Industrial Research, India, and the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, member of the Helmholtz Association of German Research Centres. The interdisciplinary team of 48 scientists from India (29), Germany (10), Italy (3), Spain (2), UK (2), France and Chile (1 each) on board "Polarstern" will closely collaborate in monitoring the algal bloom expected to grow in the fertilized patch of ocean and studying its effects on the chemistry and biology for at least 45 days.

In-situ iron fertilization experiments have emerged in the last 10 years as a reliable method for testing biogeochemical and ecological hypotheses not accessible by other means. The interdisciplinary experiment LOHAFEX will test a range of independent yet interconnected hypotheses of which some are mentioned here:

- a) The iron hypothesis of John Martin with its geo-engineering corollary.
- b) Plankton species composition in an experimental bloom induced in the more productive southwest Atlantic Sector will differ from the plankton in blooms stimulated by previous experiments carried out in low productivity waters. This will have a strong effect on sinking of the bloom and on the ratio of carbon: silica of the sinking flux.
- c) Crustacean zooplankton, including krill, is food limited, with its perspectives for explaining the current decline in krill stocks.
- d) Iron-fertilized blooms lead to production of noxious gases with harmful effects on the atmosphere.

These, and other hypotheses address fundamental questions of integrated earth system science and biodiversity that are relevant to our understanding of the role of the marine biosphere in past and ongoing climate change as well as of the functioning of marine ecosystems.

### **Cruise itinerary**

- 7. January 2009: Depart from Cape Town, South Africa
- 17. March 2009: Arrive in Punta Arenas, Chile



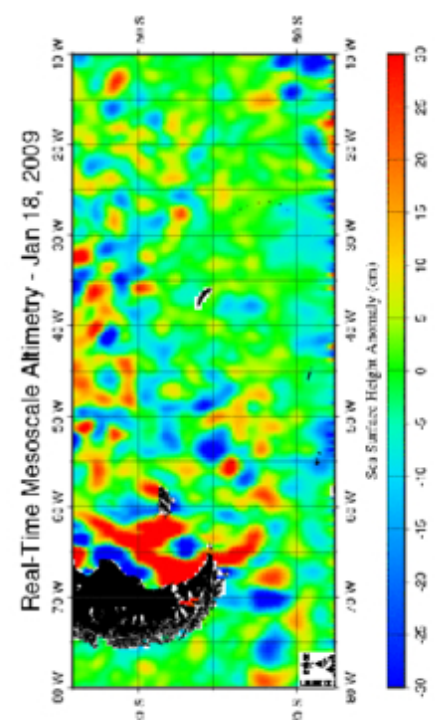
## ANT XXV/3, Weekly Report No. 1 January 2009

Punctually at 8:00 pm on 7th January our proud and sturdy research vessel Polarstern steamed out of the harbour of Cape Town with a scientific crew of 49, including a cameraman, bound on an ambitious voyage of discovery. We gathered on the top of the vessel heading into the great blue yonder, with excitement mounting as the twinkling lights of Cape Town cradled in the lap of Table Top Mountain, slowly faded from sight. This was our last contact with land for the next 70 days, which will be spent in self-inflicted exile on the wind-tossed, remote ocean, so the separation was a magic moment for all. It was also the culmination of 3 years of planning and hard work: writing research proposals for our respective governmental funding agencies, ordering equipment, training the scientists and students now on board, drawing up endless lists while packing innumerable boxes with the tools of our trade, followed by the logistical nightmare of transporting everything from our various institutions to Polarstern. Knowing that now every box was on board, we felt elated that our plans, conceived in a Bremerhaven restaurant in 2004, had been achieved. A great number of people in our various countries were involved in making this moment possible and we wish now to express our gratitude for their support.

The following days were spent unpacking the containers, carrying boxes to our various labs, setting up the instruments and tying them down securely while battling a bout of rough seas which hit us shortly after departure. Luckily, those stricken by sea-sickness recovered quickly as we sailed into a calm sea under blue skies a few days later, so the excitement returned as we started exploring our new home. We had set ourselves the daunting task of carrying out the longest and most comprehensive iron fertilization experiment so far in the notorious „roaring forties“ in order to provide eagerly awaited information on the ecology and role in the global climate machinery of the Southern Ocean, and now we were determined to rise to the challenge. So we were concerned about the storm being instigated against our mission reached us to fertilise the Southern Ocean. Our institutions have posted press releases on our web sites (see below) in our defence, so we will not repeat their contents here.

The aim of our experiment is to manipulate a speck of ocean in a natural manner in order to study and quantify the processes which shape the ever-changing, yet poorly-understood ocean ecosystems. Adding trace amounts of iron to a patch of the Southern Ocean is like watering a patch of drought-stricken landscape: plants spring to life, start growing and feeding the animals and microbes depending on them for sustenance. The analogy is not far-fetched: just as water evaporated from the oceans rains over the land and turns it green, so iron carried by dust blown off the continents settles over the ocean with a similar effect. This exchange of Gaian proportions between the continents and oceans must have persisted ever since the land was colonised by plants, some 600 million years ago. Whereas the effects of watering on land have been known since many millennia, the effects of enhancing plant growth in the vast oceans are still poorly understood. This is because we have yet to understand oceanic plant life – the minuscule unicellular algae of the phytoplankton that grow suspended in the sunlit surface layer – the way we understand the grasses, bushes and trees around us. Carrying out experiments in the real world, instead of just observing it, is a powerful tool to gather the necessary information.

Each of the dozen experiments (5 in the Southern Ocean) carried out



over the past 15 years has yielded information interesting enough to be published in leading scientific journals and commented on in the science pages of newspapers. Unfortunately, albeit understandably, given its implications, attention has focussed on a single aspect of these experiments (the feasibility of carbon sequestration), and overlooked the fundamental insights on the functioning of ocean ecosystems they have also provided, not to mention the new questions they have raised.

All experiments have stimulated growth of the phytoplankton species present in the fertilised patch, but so far, only a single group known as diatoms, whose cells are encased in ornate, geometrically symmetrical shells made of glassy silicon, have increased their cell numbers and dominated biomass of the experimental blooms. The same diatoms also dominate natural blooms in productive regions, from the poles to the tropics, including the North Sea, although the reasons why the smaller, faster-growing cells of various other algal groups also present do not build up their cell numbers, are still under debate. The most likely explanation is that the diatoms are better protected, hence survive longer than the other algae which are cropped as fast as they grow, like a well-mowed lawn, by the gamut of grazers and pathogens present in the plankton. This grazer-control hypothesis of phytoplankton has been lurking in the background for decades as it can only be tested adequately by experiments such as ours which are subject to natural densities of predators and pathogens impossible to simulate in the laboratory, no matter how large the containers used. It is answers to these kinds of questions that LOHAFEX, if successfully carried out, will also provide.

All experiments have led to advances in our understanding of plankton dynamics and their effect on the chemistry of their environment. Our undertaking will corroborate or refute interpretations acquired from previous experiments and, in addition, provide a wealth of new information. We have on board teams of scientists from reputed institutes eager to bring their expertise and latest instruments to bear on documenting the changes our fertilisation will elicit on the biodiversity and production of the ocean. The information acquired from this controlled experiment will be used to interpret the reams of puzzling data gathered so far by observations of the ocean at large, ranging from microscopic evaluation of drops of water sampled by research ships, to the ocean-wide images of the sea surface provided by satellites.

We spent most of last week heading for the region north and east of the island of South Georgia because it is under the influence of coastal waters and likely to respond differently to iron addition than the oceanic waters studied in previous experiments. We intend carrying out our experiment in a stable eddy formed by meandering of the frontal jets that drive the mightiest current in the ocean – the vast, eastward flowing Antarctic Circumpolar Current – which shields the Antarctic ice cake from the warming waters of lower latitudes. Locating the fertilised patch in a stable eddy with a closed core will prevent its being drawn into filaments and merged with the surrounding waters. These eddies are visible in satellite images of sea-surface height (altimeter) daily updated on the web. They show a number of eddies in the selected region but many of them are too dynamic and short-lived for our experiment. We inspected one which lay on the way last week and found it lacking in silicic acid, the raw material of which the diatom shells are made. However, its circulation structure appeared promising. We are now engaged in comparing the structures and contents of different eddies further to the West.

Of the 30 Indian scientists on board, many are young students for whom this is their first direct contact with European culture and traditions. After the initial phase of getting to know each others' ways (the stewardesses now know how to serve vegetarian Indian meals and interpret Indian body language expressed by head-wagging, and the Indians on their part have learned how to make German beds), the crew is charmed by the gentle friendliness of the smiling Indians who in turn, are overwhelmed by the efficiency and readiness of the crew

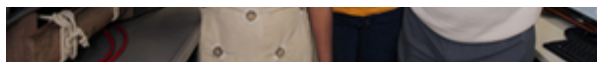
Satellite image of sea surface height from 18th January of the western South Atlantic showing the location of eddies as red and blue blobs. We are now studying the eddies East of the island of South Georgia in the middle of the picture. (Copyright: Colorado Center for Astrodynamics Research)



The Indo-German team of microbiologists who will be studying the effects of iron addition to the ecosystem on bacterial biodiversity and growth. (© Bernhard Fuchs, Alfred-Wegener-Institut)



to help as much as they can. In short, the mood on board is excellent and has not been tainted by the uncertainty now haunting our mission. On the contrary, it has served to strengthen the bonds between us and raise the high level of motivation to even greater heights, now that we know that we are performing our mission in the public limelight.



Gayatree Narvenkar (NIO), Hema Naik (NIO) and Wajih Naqvi (NIO) responsible for recording minute changes in CO<sub>2</sub> concentrations with state-of-the-art instruments. (© Thomas Bresinsky, Caligari-Film/Alfred-Wegener-Institut)

All our activity is being documented by a diligent camera man, working for a major German TV channel, whose persistent presence has not detracted from his popularity but has taught us to overlook his activity and stopped us from performing like Bollywood actors when the lights are on. Not to say we are not watching Bollywood films when time allows....

Food is important in an arduous mission like ours which could become monotonous after the first few weeks of novelty wear off, but we are lucky to have a talented Goan cook working in the kitchen, helping the two skilled German cooks and baker, one of whom received training in Indian cooking before the voyage. Indian and European cuisine is served at all meals and we are all enjoying the wide variety of excellent food. The Indian vegetarians are getting to appreciate fresh German bread and cheese and many Germans have dal, rice and curry at every meal.

We send you all warm greetings from a ship full of eager scientists bracing themselves for the tasks ahead in this remote, inhospitable corner of the globe,

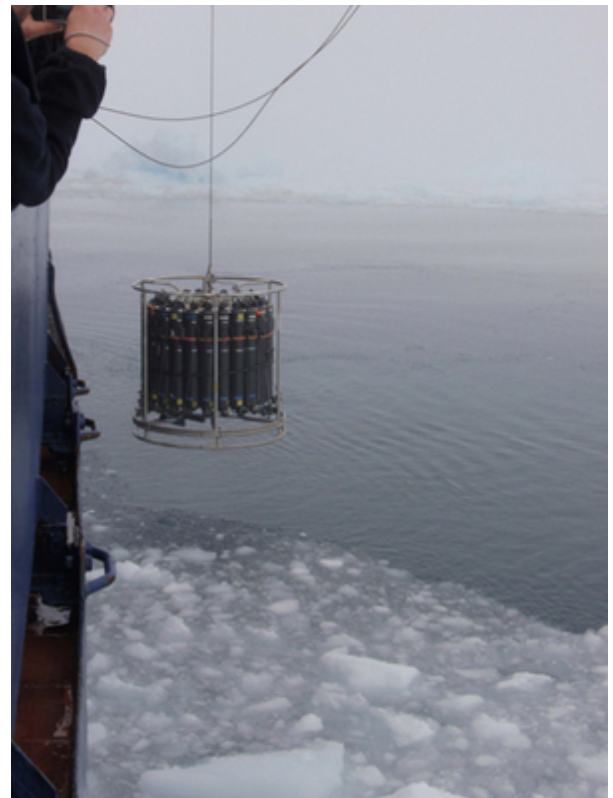
Wajih Naqvi and Victor Smetacek

## ANT XXV/3, Weekly Reports No. 2, 3 and 4

12 January - 1 February 2009

The first two weeks were devoted to the search for a suitable eddy in which to carry out the experiment and the third week to start it. A small-scale experiment such as LOHAFEX has to be carried out in a suitable container stable enough to prevent it from being dispersed in the vast ocean and deep enough to follow the effects of fertilization of the surface layer through the underlying water column down to the deep sea floor. These are tall orders in an oceanic region as restless and deep-reaching as the mighty Antarctic Circumpolar Current (ACC). Two previous experiments had been successfully conducted from Polarstern in closed, rotating cores of stationary eddies extending down to the bottom formed by meandering bands of strong currents caused by hydrographical discontinuities known as fronts.

These eddies were located in the eastern Atlantic south of Africa and had been found without much trouble, but, as hindsight shows, with a huge portion of good luck. We now intended to study the response of a plankton community in an eddy of the more productive western South Atlantic. Daily satellite altimeter images of the region north of South Georgia showing decimetre-scale variations of sea surface altitude had always been studded with eddies appearing as blue and red blotches in a flat sea of green: dimples and pimples respectively, across the face of the ocean (see picture in previous report). We had selected a site where a blue eddy with colder water in the centre, hence spinning clockwise, appeared regularly in previous years in a fold of the bottom topography and stayed there for prolonged periods. However, this year the eddy field is much more dynamic with the red pimples and blue dimples jostling with each other for space.



The CTD rosette being lowered in the water of the ice field with ice berg in the background. Photo: V. R. Sundereswaran, CCMB / Alfred Wegener Institute

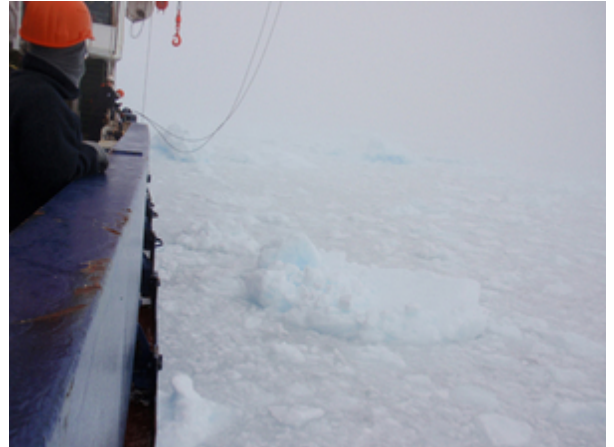
A physicist working in Paris had recently developed a numerical analysis based on data from satellite altimeter observations. He used methods from the chaos theory toolbox including Lyapunov exponents for application to the study of eddies appearing and dispersing in altimeter images. He was delighted by the opportunity to tailor his arcane models to our needs in the Southern Ocean and worked hard to test the various eddies in our study area. His model's depiction of the flow fields shaping the structures of eddies is an eye-catching new way of visualising the dynamic face of the ocean. The results of his carefully prepared analyses reached us 5 days after sailing and were not encouraging. He compared the EIFEX eddy we had mapped in 2004 with those in our envisaged study area and showed that the closed core of the former had been an ideal case, in striking contrast to those north of South Georgia which all had leaky cores. In the light of his discouraging prognosis, we inspected an eddy, similar to the EIFEX one and along the same latitude ( $48^{\circ}$  S), which lay on the way. It was located at the eastern side of the plume of higher productivity, signalled by the presence of spores of coastal diatom species in the underlying sediments, which emanates from the Antarctic Peninsula and stretches across the western South Atlantic.

As mentioned in the first report, we found that silicic acid, the raw material of diatom shells, had been almost completely used up to a depth of 100 m by previous diatom blooms. Even the EIFEX bloom dominated by thick-shelled diatoms, which had grown during the late summer, did not manage to deplete silicic acid to these low values. It is well established that silicic acid is exhausted in the northern ACC by mid-summer due to the fact that diatoms here have a smaller supply at their disposal to start with in the spring. Further south the spring supply is much higher so the diatoms (the major group with an obligate demand for this element) do not manage to use it all up by the time winter deep mixing commences. However, in the Southwest Atlantic Sector silicon depletion extends much further south due to its higher productivity, so the closed core of this

eddy evidently belonged to this sector.

The composition of the plankton community confirmed that it represented a late stage in the seasonal cycle. The diatoms comprised thin-shelled, needle-shaped species of the genera *Rhizosolenia* and *Proboscia*, some of which reach high densities in coastal waters, and there were also large numbers of a non-toxic dinoflagellate belonging to the genus *Ceratium* which is characteristic of late summer blooms along the coasts and open ocean of the northern Atlantic but has not been observed, to our knowledge, at these concentrations so far south. Another remarkable feature was the large number of zooplankton dominated by the crustacean group known as copepods which are the major link in the food chain leading from unicellular plankton to larger animals such as fish. The adults of the species present spanned a size range from 0.2 to 2 mm but the large numbers of juvenile stages of all species indicated that their parents must have enjoyed an abundant food supply some weeks to months previously.

After confirming that this eddy (eddy 1) had low current speeds in its centre and hence contained a closed core suitable for the experiment, we proceeded westward to the eddy field in our pre-selected study area north of the island of South Georgia, but made a detour to the south for two reasons. One was to ascertain the nature of the eddies to the northeast of South Georgia, the other was to visit one of the large icebergs which our meteorologist had been pointing out in satellite photographs during his daily, entertaining briefings. They were moving in a north-easterly direction and the biggest was over 15 km in length but too far to the south, so we chose to intercept a smaller one located at 49° S. We had already encountered so many icebergs by now that their presence had become routine but, although some were as big as cathedrals, the effects of their melt water on the surroundings were minor. But we hoped to be able to record the influence of melt water and the iron-containing dust in it, in the surroundings of a larger iceberg.



The ice field formed by a crumbling ice berg. Photo: V. R. Sundereswaran, CCMB / Alfred Wegener Institute

The ice field around a crumbling ice berg

During the night we passed through a 45 km stretch of lower salinity water (<33.4 compared to the surroundings of 33.9) which was clearly the trace of a melting ice berg. On approaching the position of the selected one, we were surprised to find that it was a collection of smaller icebergs in an extensive field of densely packed ice rubble reminiscent of sea ice but, instead of flat floes, irregular shaped lumps in the metre-size range stretched around us. We spent a day mapping the “lake” of fresher but colder water that had formed in the middle of the open ocean, trying to ascertain how we would sample it and how long the lake would last. We decided to first take a station as deep inside the ice field as possible. A normal ship would have been dangerously dented by now, but for *Polarstern* these were mere crumbs of ice, easily nudged aside as she passed majestically through the icy landscape.

The sensation of being completely surrounded by ice was a magic moment for the crowd that had assembled on deck, a breathtaking experience for the novices, for many of whom this was the first contact with natural ice. The crowd first whooped with excitement but soon lapsed into a meditative silence commensurate with the grandeur of the surroundings. The wind had died down, the skies were grey, and a light fog added to the eerie atmosphere. We found ourselves whispering to each other, so awed were we by the ice around us. But all too soon activity broke out as *Polarstern* rumbled to a halt at a safe distance from the many icebergs and her powerful bow thrusters (propellers located at the bow and aft of the ship allowing sideward propulsion) blew aside the ice rubble so that we could start the station. Our chief instrument, the CTD rosette, was lowered and a group gathered in the winch control room around the monitor on which the profiles of its various sensors appear. These record the following properties of the water column through which it is lowered: temperature, salinity, oxygen, chlorophyll fluorescence (a measure of the amount of phytoplankton in the water), turbidity (a measure of the cloudiness of the water, i.e. the total amount of particles suspended in it). These instruments are our sense organs and we have trained ourselves to read structures in their profiles. On the way up, 12 L cylindrical bottles attached in a rosette of 24 around the sensors are closed individually at desired depths to obtain water samples on which a host of other properties are measured by scores of instruments in the labs.

The temperature and salinity profiles showed that the melt-water influence reached down to 25 m. This “lake” of fresher, hence

lighter water was stabilised deeper down by its colder temperature which, not surprisingly, was close to the freezing point at the surface. The cold water cooled the air above it and by dusk a dense fog descended on the scene. Since the ice bergs around us were difficult to distinguish on the radar screen due to reflection from the ice rubble, and the dense fog rendered them invisible, we decided, for safety reasons, to leave the station after taking a net haul which again was full of copepods. We spent the night steaming round the periphery of the crumbled ice berg taking shallow profiles with the CTD with the intention of repeating a few more stations inside the ice rubble during the day. However, the fog remained so we decided to continue on our mission after taking a station some distance from the melt-water lake as a baseline.

#### The search continued

Silicic acid concentrations were even lower than in eddy 1, with fewer diatom and more *Ceratium* cells comprising the phytoplankton. In order to ascertain how far south the low silicic acid values reached, we aimed for an eddy located at 52°S for comparison with those to the north. Our modeller in Paris, whom we now called the “Oracle”, found this one to be a good candidate, so at the least we would acquire information to test his calculations. We were measuring nutrient concentrations continuously in the water piped through the ship’s intake system and found extremely low silicic acid concentrations everywhere. Clearly, we would encounter more or less the same type of silicon-starved plankton community throughout the region we had selected for the experiment. This finding was reassuring as it meant that the results of our experiment would be applicable to a vast region of the Southwest Atlantic.

On our way to the eddy field in the region north of South Georgia we aimed our transect so as to cut through a blue (eddy 2) and a red blob (eddy 3). The oracle’s maps showed that the group of eddies had leaky cores and indeed our current measurements through eddy 2 clearly demonstrated that strong currents flowing in opposite directions were closely juxtaposed, i.e. there was no closed core with low current speeds in the centre. So we could trust the Oracle’s predictions that the eddies in this region were very dynamic, hence not suitable for a long-term experiment such as ours. A station taken in the centre of eddy 2 revealed a shallow mixed layer only 25 m deep which also explained the unusually high surface temperatures of the region (well above 10° C). The density profile (a function of temperature and salinity) exhibited “steps” in the deep water column indicating over-layering of different water masses. This meant that the surface eddies were not deep-rooted, which in turn explained their dynamic behaviour in the satellite images.

Yet another reason not to carry out the experiment in the pre-selected region were the high chlorophyll concentrations (1.2 mg Chl m<sup>-3</sup>) in the shallow surface layer in the centre of eddy 2, i.e. in the innermost band of currents. These concentrations were twice as high as expected and in the range of concentrations our fertilization would induce in this type of plankton community. Satellite images showed even higher concentrations to the North. There were few ice bergs here, so the iron must have come with wind-blown dust probably emanating from Patagonia. The patchiness in plankton abundance and composition was also observed by microscopic evaluation of surface water sampled by the ship’s intake system during the long, northward transect. Although the community-type was basically the same, there were differences in the relative proportions of species contributing to the total assemblage of phytoplankton cells. Explaining regional and seasonal patterns in the distribution of phytoplankton species is one of the major challenges facing bio-oceanography because one can expect different species to have different effects on the food web they support and ultimately the global carbon cycle. At least this is our experience from land ecosystems where everybody can see that different plant species (e.g. deciduous or evergreen tree species) can have different effects on their environment, including biodiversity.

Since the beginning of the last century many research expeditions, including a series of Polarstern cruises, have carried out systematic surveys of the distribution and abundance of planktonic species in relation to the physical and chemical properties of the environment in various regions of the Southern Ocean. The data gathered from these cruises has led to formulation of



The CTD rosette is being tapped on deck. Photo: M. Ettlin, Alfred Wegener Institute

various hypotheses regarding the factors shaping the species composition and their possible feedback effects on the chemistry of their environment, including the carbon cycle, that are difficult to test with further field observations. This is because information on the past history of a water mass harbouring a particular species assemblage is always missing. This information can only be acquired by experimental manipulation of a given assemblage in a natural manner, because one can record the initial conditions and then follow the processes leading to shifts in the community driven by rising and then declining productivity and compare them with processes in the surrounding, unaffected waters.

### Some notes on phytoplankton

The phytoplankton species contributing to the high biomass in eddy 2 comprised mainly small cells belonging to an algal group responsible for a significant share of the ocean's productivity and known as haptophytes ("grasping plants"). The name comes from a lasso-like appendage, which they can extend and curl, located between the two flagellae with which they swim in the direction they choose. The cells are only 5-10 micrometers (1 micrometer = 0.001 mm) in diameter and most of the cell is filled with the chloroplasts in which photosynthesis takes place, qualifying them for inclusion in the phytoplankton or plant plankton. However, they can also feed on particles such as bacteria which they capture with their lasso and which would qualify them for inclusion with the unicellular "animals" or protozoa. In addition to their two distinctly different modes of nutrition (known as mixotrophy or mixed nutrition) the complex life cycles of different haptophyte species clearly demonstrates that small is not necessarily simple. The different life cycle stages have radically different effects on the chemistry of their environment, so it is necessary to study them further because of their bearing for the outcome of an experiment carried out with this particular community.



The phytoplankton species *Ceratium pentagonum* from the ice field with diatoms and juvenile copepods in the background. Photo: M. Montresor, SZN / Alfred Wegener Institute

The haptophytes comprise several groups of which the coccolithophorids or chalk algae play a major role in the global carbon cycle because they are covered with intricately patterned, minute scales made of calcium carbonate (chalk) which subsequently sink and settle on the sea floor where they form thick deposits over geological time scales. The famous chalk cliffs of Dover and the island of Rügen in the Baltic were formed by these algae. Although they bury carbon in the sediments, the effect of chalk algae on sea water is quite the opposite: calcium carbonate deposition in the scales leads to a decrease of total dissolved inorganic carbon (the sum of CO<sub>2</sub>, bicarbonate and carbonate ions) but at the same time to an increase in concentration of free dissolved CO<sub>2</sub> which is quite counter-intuitive. By the way, this rule also applies to the carbonate skeletons and shells of corals and molluscs. If the excess CO<sub>2</sub> molecules are incorporated into organic matter, the net effect on the CO<sub>2</sub> equilibrium between sea water and atmosphere is close to neutral, but if the chalk scales sink out of the surface layer and the organic matter is digested by microbes and zooplankton within it, then the excess CO<sub>2</sub> outgases to the atmosphere. Extensive blooms of chalk algae are a regular feature in the North Atlantic and appear as white streaks and splotches in satellite images. They are also present in the South Atlantic but are not strong enough to be seen in satellite images. However, if iron fertilization encourages growth of chalk algae in the iron- and silicon-limited northern band of the ACC, the net effect would result in a release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere, instead of the other way round.

Chalk algae were abundant in the warm waters of the dynamic eddy field and contributed substantially to the bloom in the centre of eddy 2. Since the factors leading to their blooms are poorly understood, we would have loved to carry out our experiment there to see how they reacted. But an experimental patch as small as ours in such an unstable eddy would soon be pulled into filaments and disappear within a few days. Clearly this region was not suited for a long-term experiment such as we intended carrying out.

Luckily, the plankton community in eddy 1 we had inspected further east was of the same type but in an earlier stage of succession than those of the region north of South Georgia. It was located at the same latitude as the EIFEX eddy but much further to the West. Its much lower silicic acid concentrations clearly demonstrated that it was well within the productive south-western zone of the South Atlantic. The abundance and composition of the zooplankton were also very similar throughout the region we had sampled so far: the same species of copepods dominated the biomass, salps were conspicuously absent and a few chaetognaths but abundant amphipods represented the predators. The only apparent but

intriguing difference was in pigmentation of the copepods which were transparent with only a few red spots in the first eddy, but further to the West the same species had brilliant red antennae and another species had an orange girdle.

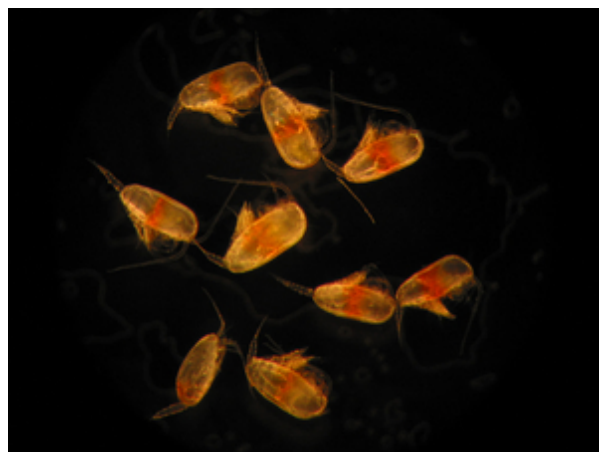
### Start of the experiment

We headed back eastwards to eddy 1 and were sped on our way by strong westerly winds and currents. We arrived there on the 24th January. The current meter profiles of the upper 200 m confirmed the accuracy of the altimeter image and a transect of CTD profiles showed a dome of cold water in the eddy centre with very low current speeds – the closed, stable core – but the surface layer appeared to be more dynamic. We deployed a buoy equipped with positioning instruments as close to the centre as possible and followed its track while we carried out transects to obtain more information on the dynamics of the surface layer.

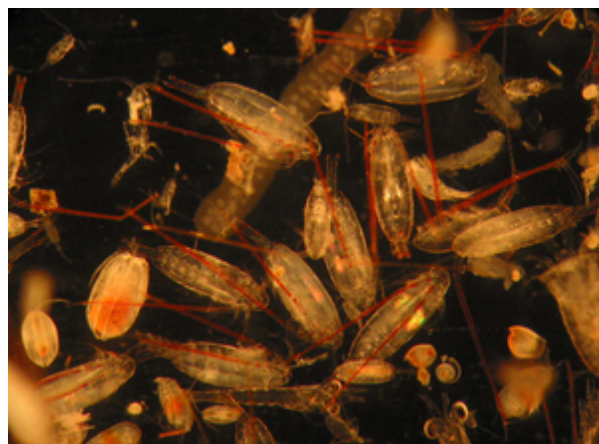
Since we had identified the centre of the eddy with reasonable confidence by midday of the 25th January, we started the first baseline station which lasted well through the night. In the evening of the 26th the decision of the Federal Ministry of Research to allow the experiment to commence was delivered by telephone and announced to the scientific crew assembled on the working deck who broke out in loud cheers. Immediately after receiving the green light we filled both the two 6 m<sup>3</sup> tanks with 775 kg of iron sulphate powder dissolved in sea water and commenced fertilization the next day after completing the baseline station and deploying a second buoy two miles north of the first, where we now thought the true centre was. We also deployed 3 neutrally buoyant sediment traps that are programmed to stay at pre-planned depths, in this case one at 200 m and 2 at 450 m depth, and return to the surface after a given time period.

The iron sulphate solution was released through a hose trailing in the ship's propeller wash while she spiralled around the drifting buoy in widening concentric circles one km apart. Since the iron is rapidly taken up by the biota or converted into insoluble colloidal rust, the inert gas sulphur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) was continuously added in trace amounts to the iron solution in order to mark the fertilised patch as SF<sub>6</sub> can be measured at very low concentrations. A total of 480 g of this biologically inert gas is sufficient to mark the entire patch. A tank was emptied in about 2.5 hours and was filled by teams of scientists while the contents of the other was being released. Iron sulphate tablets are used to treat patients suffering from anaemia and we used the same quality grade sold in gardening shops and department stores for treating lawns. Nevertheless, the substance is converted into rust which stains clothing and large amounts of the dust can irritate eyes and nose so we took maximum precautions to reduce exposure to the minimum by having those doing the job wear protective clothing and masks. An area of 300 km<sup>2</sup> was fertilised with a total of 10 tonnes of iron sulphate which took 30 hours to complete. We administered only half the quantity originally planned because the mixed layer was only half as deep as expected.

The ship then returned to the central buoy where we repeated the measurements carried out at the baseline station (Day 0) to ascertain the initial response of the plankton community to the iron addition. As expected, there was no measurable response in most environmental properties confirming that we were sampling the same water column and that our instruments were working at a high degree of precision. As recorded in all previous experiments, the photosynthetic efficiency of the phytoplankton, measured with a Fast Repetition Rate Fluorometer (FRRF), increased significantly, indicating that their cellular machinery had been working below capacity due to iron limitation. Within the cell, iron atoms are involved in transferring energy and are an essential part of many organic molecules such as co-enzymes, so when iron becomes available, the cells are activated and can start synthesizing new molecules.



The smaller copepod species *Clausocalanus laticeps* with orange bands round its midriff. Photo: G. Mazzochi, SZN / Alfred Wegener Institute



The copepod species *Calanus simillimus* with red antennae north of South Georgia. Photo: G. Mazzochi, SZN / Alfred Wegener Institute



Just as land plants have adapted their needs to the water supply of their particular environment, so different phytoplankton species can be expected to be adapted to the iron concentrations of their environment. This has been shown for various diatom species that are adapted to either the high iron concentrations prevalent in coastal waters or the low ones of the remote ocean. Hence, the former species respond more strongly to iron input than the latter. However, their response also depends on the life cycle stage in which they happen to be when the iron input occurs. Our knowledge of the factors driving the life cycles of marine phytoplankton is restricted, indeed we are just beginning to recognise their role in shaping seasonal cycles, aided by the application of modern, molecular biological tools.

Microscope examination of the plankton revealed the presence of many species commonly found in coastal waters, so we expect them to respond more rapidly than the typically oceanic species. We are closely following the species diversity and abundance of the phytoplankton assemblage using both microscopy and molecular tools as the bloom develops.

At the end of the station we sampled the sediments on the sea floor underlying the patch with a Multicorer and the larger zooplankton by towing a large net known as the Rectangular Midwater Trawl (RMT). The traps, which had surfaced close to each other in the meantime, were then recovered. Our next task was to carry out a long station in an unfertilized water column within the core but outside the patch which would serve as the first "out station". The water column properties were much the same at both sites. On Sunday we started mapping the patch with the towed undulating instrument called Scanfish which carries all the sensors in the CTD in addition to an FRRF. The buoys are within the patch and chlorophyll concentrations around them are rising. We are awaiting further developments with suspense.

#### A celebration on board

The 26th January is India's Republic Day so it was celebrated with a flag-hoisting ceremony on the windy top deck followed by singing of the national anthem after which we retreated to the Blue Saloon to listen to short, but moving speeches and toast each other with orange juice and carrot halwa prepared by the scientists. The head stewardess had decorated the mess with bunting of Indian flags she had painstakingly prepared for the occasion while we enjoyed Indian vegetarian dishes specially requested for the occasion. The Indian contingent had prepared a cultural event celebrating India's diversity to which the crew was invited. It started with an introduction to unique Indian traditions delivered in English and German followed by songs and poems rendered in all the languages represented on the ship. It started with Hindi, then Rajasthani and moved southward with Bengali, Marathi, Oriya, Konkani, Kannada, Telugu, Malayalam and finally Tamil. In between a Kathak dance performance received resounding applause. The crew were charmed.

We are currently mapping the patch with the Scanfish and underway measurements of SF6 and other properties of the surface waters.

With our best wishes from a ship full of excited scientists in excellent humour looking forward to the developments ahead,

Wajih Naqvi and Victor Smetacek



Singing the national anthem after hoisting the flag on the Indian Republic Day (January 26th). Photo: M. Ettlin, Alfred Wegener Institute

## ANT XXV/3, Weekly Report No. 5

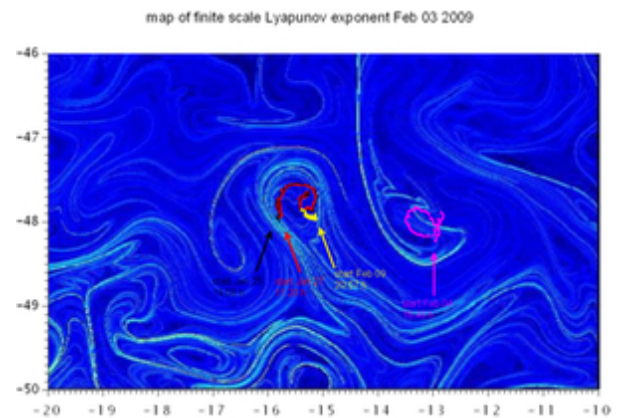
8 February 2009 to 15 February

Last week was spent anxiously watching the movements of the two buoys we had deployed in the centre of the eddy. They are specially designed to mark the movement of surface water and their exact positions could be monitored almost in real time on the manufacturer's web site. The buoy is a sealed metal ball of 40 cm diameter that lies low in the water to avoid being pushed by winds. Its location in the surface is determined by a drogue attached to it by a thin wire and consisting of 7 m long, thin plastic sails which "anchor" it at 30 m depth. The 2 buoys were deployed 3 km apart and the northerly one was used as the centre while fertilizing the patch. We expected them to bob around where we had placed them for the duration of the eddy but we had not reckoned with the transporting abilities of an apparent force known as inertial oscillation that revealed its presence in the looping northward motion of the buoys before our apprehensive eyes.

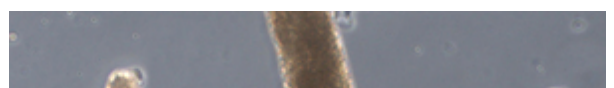
This force transfers wind energy into circular motion of the ocean surface with a period of 16 hours at our latitude but with counter-clockwise rotation in our hemisphere (the Southern) evident in the initial loops made by the buoys. The inertial oscillation is superimposed on the clockwise rotation of our eddy and its effect may be completely obscured when currents are strong. The buoys at first looped slowly northward until they reached the band of swift currents keeping our eddy in position. This current then deflected their movement to the east and then south (we breathed a sigh of relief when this happened, even though we were expecting it to happen) and finally to their current position where they are moving slowly to the west, back into the closed eddy core. We were worried that the outer flank of our patch might "stick" to the swift band of currents and be pulled out of the eddy centre in filaments, but at the time of writing this does not seem to have occurred. The buoys are almost stationary and close together as ever, the inertial oscillation pushing northward is counter-balanced by the current field surrounding them. This results in horizontal mixing of the surface layer and elongation in a north-south direction of the once circular patch. These results are interesting in their own right as they contribute to our understanding of small-scale mixing of water masses of the Circumpolar Current on their way around Antarctica before they are submerged to the deep ocean along its northern boundary.

During the first few days of last week we were forced to interrupt the Scanfish survey of the patch and retreat to the north to avoid a vicious band of winds trailing a strong storm passing along to the south. This was a welcome respite from the hard work we had been carrying out taking station after station during the previous days. Had we weathered the storm in the eddy, no one would have been able to work or sleep because of the jarring bumps caused by the passage of huge waves. The wind blew us to the east, so after it had subsided sufficiently, we steamed due south and deployed a buoy in the centre of the companion red (warm core) eddy adjoining ours to the east but spinning counter-clockwise (see picture in first report) to monitor the intensity of its opposite rotating motion. We then returned to our eddy and headed west-north-west toward the buoys that had now, to our great relief, started moving due westward, i.e. they were returning toward the eddy centre. About an hour before we reached them, the photosynthetic efficiency signalled by the FRRF rose sharply: we had entered our fertilized patch. Although we knew the patch had to be there, and the phytoplankton continuing to respond to iron fertilization with enhanced photosynthetic efficiency, entering the patch after some days of separation is always a moment of great elation and relief.

To make sure that the twin buoys were still located reasonably well inside the patch, we passed between them and continued until we



Track of the three buoys in our eddy and the one in the adjacent counter-clockwise eddy superimposed on the Oracle's visualization of the flow structure highlighted by the finite scale Lyapunov exponent distribution on February 3 in our region. Graphic: Francesco d'Ovidio / Alfred Wegener Institute



reached the other side of the patch, signalled by sharply decreasing Fv/Fm ratios and then returned to the buoys where we took the next long, in-patch station, one week after fertilization. Chlorophyll concentrations had increased significantly indicating that the phytoplankton cells had invested the iron received in raising production of this crucial molecule. Since the weather had roughened again preventing our doing further station work, we carried out east-west transects 8 km apart while moving northward to map the outer boundaries of our patch with FRRF and SF6 measurements. After completing the large-scale grid we nested a smaller one with latitudinal transects only 3 km apart on the patch to ascertain small-scale patchiness within it and mixing along its boundaries. The weather had calmed down so we took another in-station next to the buoys after making sure they were well within the patch. They were now moving westward rapidly and the ship followed their track during the 20 hour station. However, we were dismayed at finding, during the station, that the patch was not following them. So this station was not representative of the patch and hence had been a waste of effort.



Two freshly produced copepod faeces with diatom cells between and below them and a Ceratium and a foraminifer (the round object) on the right. Photo: Marina Montresor, SZN / Alfred Wegener Institute

We again carried out transects to locate the patch and found that it had continued moving south instead of west. So we deployed a fourth buoy in an area of strong signals and described a perfect circle of 6 km diameter around it to ensure that it was not at the edge of the patch after which we took an in-station in its centre. This proved to be a perfect in-station with chlorophyll concentrations above 1.2 mg Chl m<sup>-3</sup>, about double the initial values. Most of the other measurements also indicated that the ecosystem was responding and we shall describe the changes and their implications in future reports. The important thing was that the patch was intact, it was not moving much and was clearly going to stay within the eddy core, at least for the time being.

Process studies such as ours are inherently risky because their success depends on whether the process under study can be followed long enough to yield a meaningful data set and whether the measurements are comprehensive enough to cover all the aspects needed to understand it quantitatively. The process we are trying to understand is a link in the chain of feedback processes that shape earth's climate. It is driven by the biology of the organisms inhabiting the surface layer of the ocean of which the vast majority are unicellular and range in size from just under one micrometer (the size of dwarf bacteria) to about a millimetre (attained by giant cells of several groups of protozoa and algae), when they just become visible to the naked eye. Life in this size range is inaccessible to our sense organs so biological and chemical oceanographers have developed a broad range of techniques to gather indirect information on the workings of this largest planetary ecosystem with the aim of understanding how it functions and what role the different types of ecosystems play in the global climate scenario. The aim of LOHAFEX is to perturb a planktonic ecosystem in a late stage of its seasonal development by stimulating phytoplankton growth, and then following what happens to the new biomass within the planktonic food web and what effect it has on the chemistry of the surface layer, in particular the air-sea exchange of gases.

In the vast tract of ocean we have investigated so far, the plankton community appears to be of the same type, dominated by small phytoplankton cells and ruled by the grazing activity of mainly two copepod species of which the larger (*Calanus simillimus*, picture in previous report) is about the body size of a small mosquito (3 mm in length). However, the other species *Oithona similis* is much smaller, about 0.7 mm in length. Both species consume much the same food: phytoplankton and protozoan cells larger than about 0.005 mm. In the past, it was believed that copepods indiscriminately fed by sieving particles from the water but the improvement in camera technology has revealed that they are actually quite selective in their feeding behaviour: they grab individual particles floating or swimming past them, eating some and rejecting others. In general, copepods seem to



A neutrally buoyant sediment trap PELAGRA with its

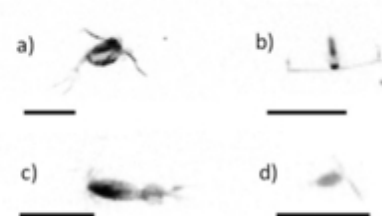
prefer the small ciliates: tiny cone-shaped animals which dart around at high speed by means of a ring of cilia - hair-like appendages, shorter but stronger than flagellae - surrounding their "mouths", which they beat like propellers. They are the predators within the microbial food web which we shall describe later.

operators. Photo: Patrick Martin, NOCS / Alfred Wegener Institute

Adult *C. similis* females are rare in our samples, so this species is not multiplying. Almost all the individuals are juveniles growing in size until they reach the larval stage in which they hibernate in the deep ocean. Most have already reached this stage, i.e. their body machinery is complete, and their food is now presumably being converted into fat in preparation for hibernation which is spent deep down in the water column. Fats and oils are hydrocarbons consisting mainly of carbon and hydrogen, so the other plant nutrients: nitrogen, phosphorus and presumably also iron, are recycled back to the ecosystem. In other words, these copepods are extracting and sequestering only energy from their food and returning the building blocks (nutrient elements) for recycling by the phytoplankton. In contrast, *Oithona similis*, which is ubiquitous from the coast to the open ocean, spends all its life in the surface layer, so its population consists of adults as well as all the larval stages. The females are producing eggs, which are carried in egg sacs, and the numerous, minute larvae flit around in water samples concentrated with fine-meshed nets. This population is clearly retaining the nutrients it is absorbing from its food and investing the proteins and DNA in population growth. Their predators will then be recycling the nutrients back into the system, depending on whether fat reserves are being accumulated or whether food is being invested in body growth and eggs. However, as we shall see in later reports, predation on the copepod populations seems, until now, relatively low.

The substantial grazing pressure exerted on the unicellular plankton, including the phytoplankton, is evidenced by the abundance of well-chewed faecal material present in the surface layer. Copepod faeces have high sinking rates in laboratory jars so it is expected that their defecation contributes significantly to the rain of organic material transporting carbon to the deep sea known as the biological carbon pump (BCP). However, opinions are divided as to the quantitative role of the different processes fuelling the pump of which sinking algal cells, faecal material from grazing zooplankton and predation of deep-sea organisms on hibernating copepods at depth, which retains their carbon there (the survivors return to the surface the next year), are the main sources. Since the BCP is one of the major processes involved in the global carbon cycle regulating atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations, there is an urgent need to improve our understanding of the factors driving it.

It is difficult to track particles sinking from the surface layer through the deep water column because they are quickly diluted in the vast volume they traverse on the way down. Since quantifying the different components of the BCP is a major aim of LOHAFEX, we have on board two recently developed techniques to record this flux. One of these is the funnel-shaped neutrally buoyant sediment trap called PELAGRA, developed by a group in Southampton, UK, that are programmed to stay at a given depth (a few 100 m) for a given time period (a few days) where they collect sinking particles in 4 polycarbonate jars that are closed before the trap surfaces (see picture). We have 5 traps on board of which at least two are in operation at a given time: one under and the other outside the patch to ensure full coverage. Handling them requires a great deal of skill and experience but they have functioned very well so far. The traps, deployed at 200 and 450 m depths, have come up with almost empty collection cups, apart from some zooplankton organisms that presumably swam into them. These are painstakingly removed under a microscope, no mean feat on board a rolling ship, and the remaining particles in the collection jars examined thoroughly before being preserved for further analyses in the home lab. One interesting result already achieved is the small amount of copepod faeces produced in the surface layer that actually sink to depth, indicating that the bulk is recycled. However, some of the faecal material does sink out and it is of interest to see whether the proportion increases under the patch: more food, more faeces, more sinking, or not. We are monitoring production rate and fate of the faeces.



Pictures of copepods in the wild obtained with the VPN camera system. Scale bar corresponds to 5 mm. The depth at which each picture was taken is indicated. Photo: Pieter Vandromme, UPMC-CNRS / Alfred Wegener Institute

The other technique to estimate the amount and composition of sinking particles is to observe their depth distribution with a camera system called UVP developed by a team in Villefranche, France. It is attached to the CTD and rapidly photographs 1 litre slabs of water illuminated by strobe lights at 5 frames per second while lowered at a speed of 1m a second from the

surface to 3000m depth. This camera records particles down to 0.06 mm diameter and provides images of objects larger than 0.5 mm that can be identified by eye. In the upper 100 m there are about 50 objects above 0.06 mm in diameter per picture of which half a dozen are large enough to be identified. Even in the deepest layer, between 2000 and 3000m, there are still around 3 objects per picture and an identifiable one every ten images on average which is more than expected. A carefully programmed computer sorts the recorded objects in few groups: various types of zooplankton, detrital material and small particles, thus providing vertical profiles of abundance and bio-volume. The system is particularly good at capturing copepods and their faeces, thus revealing details of copepod natural history that cannot be gleaned from net catches or acoustic techniques (see picture).

We are now well into the routine phase of the experiment: taking stations inside and outside the patch at regular intervals while monitoring its movements within the eddy. Although the work is tiring, we are happy and excited by the prospects ahead.

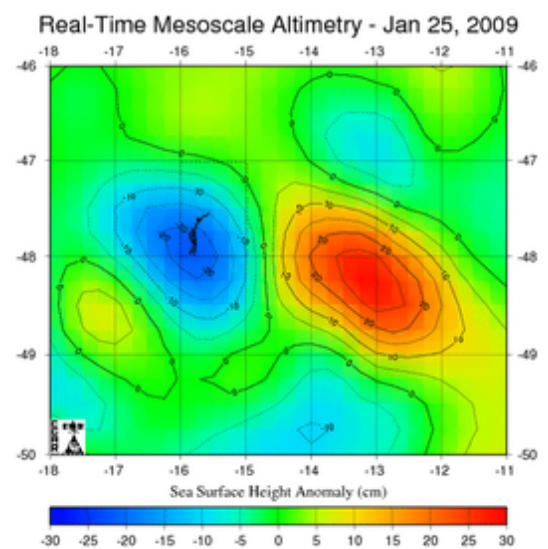
Wajih Naqvi and Victor Smetacek

### ANT XXV/3, Weekly Report No. 6

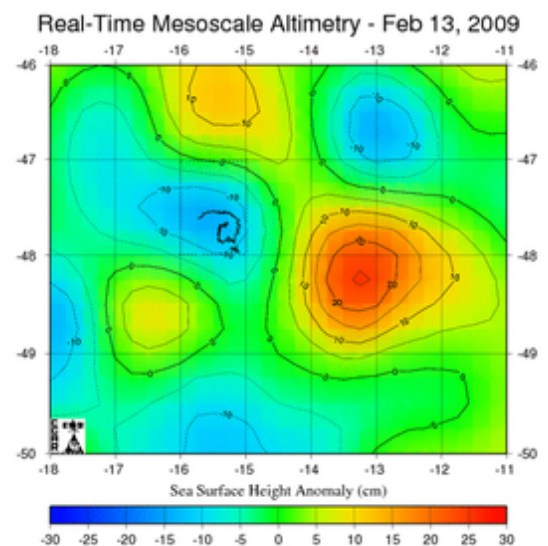
The eddy around us ominously changed its shape while we were busy tending our experimental garden. What had once been a prominent blue blob in a wide expanse of flat green on daily satellite images of sea surface height, started fading and shrinking before our apprehensive eyes. The images showed that the four smaller eddies to the south and west were now squeezing our eddy against the flank of its companion red eddy to the east which was strengthening at the same time (see picture). The centre of our eddy moved to the northeast, but we were reassured by the oracle's most recent model. It indicated that only the outer, unfertilized rim of the rotating closed core was being peeled off as it passed the southern opening of our eddy. This "peel" from our eddy was dragged eastward as a filament, and wrapped around the band of currents flowing around the red core thereby contributing to its growing strength. Since our patch had been placed in dead centre of the core, there was hope that it would maintain its integrity and stay within our eddy for some time. This was confirmed by the twin buoys which moved northward and snuggled themselves in tightening circles into the safe north-eastern corner of our flattening eddy. Unfortunately, and a hydrodynamic problem in itself, they were now far from our patch, albeit close together as ever.

We had deployed a third buoy in the previous week to mark a region of high chlorophyll in our patch and this one stayed in the eastern flank of the eddy, making small flat loops due to the balance of forces between the northward-pushing inertial oscillation and the weak, southward-moving currents. However, the position of the patch around the buoy changed, so we were forced to map it again before selecting the site for the next in-station. Our meteorologist again warned us of an impending storm, so we decided to take an out-station to the west of the patch, on the other side of the eddy core, before retreating to the north. On our way to it, we noticed unusually high photosynthetic efficiencies just as the radar screen on the bridge showed that we were crossing a fleet of icebergs. Clearly, we had competition: there was an additional source of iron in the eddy. Our only option was to take the out-station in the eddy core to the north as we had to leave the area soon. We also resolved to make measurements around a large iceberg after our return.

We returned 2 days later, thoroughly rested and prepared for the next in-station. The buoy had barely moved and we found the patch and a suitable site soon. The storm had deepened the mixed layer and chlorophyll concentrations had not changed much, partly due to the dilution effect of mixing deep water upward. However, photosynthetic efficiencies had also not yet risen to the high values recorded in previous experimental blooms although we were into the third week following fertilization. There were two possible explanations: the faster



1 a The changing shape of our blue eddy. The picture 1 a is from the 25th January, just prior to fertilization, and 1 b from 13th February 2009. Tracks of the buoys for 2 week-periods have been inserted. Graphic: Ines Borrione / Alfred Wegener Institut



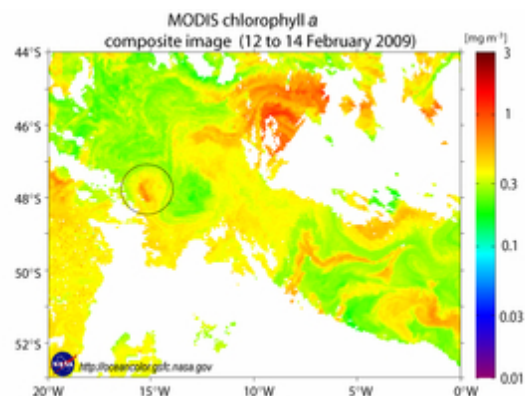
growing algal cells, which had jacked up their growth efficiencies, were being selectively grazed by the zooplankton, or the phytoplankton as a whole had again run into iron limitation since we had not added much the first time. There was evidence for both possibilities: a) the diatoms and another algal species (*Phaeocystis*) that was expected to proliferate had declined significantly, and b) the correlation between chlorophyll and iron concentrations recorded in the second week no longer held. Clearly, proof would come from re-fertilizing the patch with the 10 tonnes of iron sulphate we had saved from the first fertilization.

After determining the location of the patch relative to the buoy, we started the second fertilization over the weekend. Again teams of volunteers donned their gear and started filling each tank with ferrous sulphate solution while the contents of the other was being released. We had not received signals from the buoys for some hours but we were not worried as the patch buoy had not moved much in the past days. Since the buoy by this time was located at the northern end of the elongated patch, but was moving northward when the last position was received, we decided to fertilize the patch from north to south by crossing it in east-west zigzags at 1.6 km intervals. The ship turned south at each end when photosynthetic efficiency values fell. Since most of the patch was expected to lie south of the buoy, we were consternated at how rapidly the breadth of the patch declined after we crossed its position. The explanation came when signals from the buoy were again received: it was speeding northward and then eastward rapidly while we were fertilizing. The strategy had to be changed: we stopped iron release and sped northward where we found a broad stretch of patch well north of the buoy. So we re-fertilized the portion of the patch we had missed, this time moving north while making corrections for the buoy's drift.

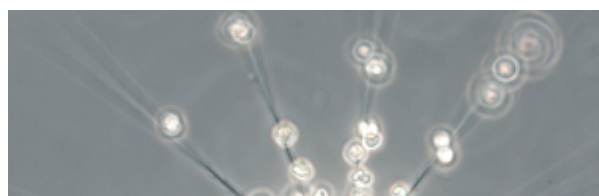
We had been looking for signs of our patch in high-resolution satellite images of sea-surface chlorophyll concentrations but only hints of it could be discerned through the dense cloud cover overlying our region whenever the satellites passed overhead. Finally on 15 February it appeared as a distinct, elongated patch with chlorophyll concentrations twice as high as in the surrounding waters. About 600 km to the northeast lay a much larger and more intense bloom to the east of a tiny island called Gough Island which was probably the source of its iron, but we were left wondering as to what type of plankton ecosystem it was nurturing (see picture). The picture also showed that, by and large, chlorophyll concentrations in the southwest (shades of yellow) were higher than in the north (shades of green), possibly due to iron input from icebergs. Our eddy contained enriched water from the southwest, whereas the red eddy (the green blob next to our bloom) contained impoverished water from the north.

As expected, diatoms were the first phytoplankton group to respond to iron fertilization but their further growth was limited by silicon deficiency. Most of the species present responded to the improvement in growth conditions by mopping up the remnants of silicic acid left behind by the last bloom. This we ascertained by adding a newly developed dye, which stains only freshly laid down silica shells, to natural samples maintained on board. The needle-shaped, thin-shelled diatoms of the genera *Rhizosolenia* and *Proboscia* are often found broken in net catches, but we were surprised to see, from the glowing dye accumulating around the broken tip of a cell, that the damage was being repaired. Who would have thought that diatoms are capable of such sophisticated behaviour? Apart from nets wielded by humans, probably only large zooplankton are capable of breaking their shells. So the fact that they can survive attack supports the idea that development of protective mechanisms is a driving force shaping their evolution. The genomes of two species recently sequenced suggest that diatoms have many more surprises in store for us, once we learn to decipher their genes.

A few days after fertilization, diatom cell numbers about doubled but a few days later, most of their cells were festooned with the grape-like, early colonies of a wide-spread genus *Phaeocystis* belonging to the algal group of haptophytes dealt with in an earlier report in which the chalk algae (coccolithophorids) were introduced. Their numbers, by



Satellite image of sea-surface chlorophyll concentrations with our bloom encircled. Note much larger natural bloom on the upper right and the generally higher values in the southeast than elsewhere. Graphic: NASA (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>)

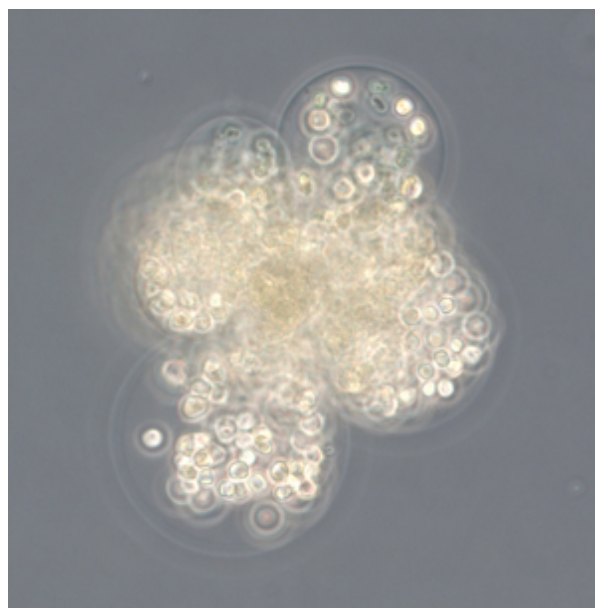


the way, have declined in our eddy, including the patch. The genus *Phaeocystis* has been observed to form dense blooms along continental margins of many oceans including the German Bight. The blooms there have nuisance value because they result in unsightly, metre-thick bands of stiff foam along beaches, that tourists attribute to pollution. This has earned them the name of foam-alga. In the North Sea, they appear after the diatom spring bloom, which, in contrast, disappears discreetly with most of the cells sinking to the sea floor after removing all the silicic acid. The increase in the intensity of *Phaeocystis* blooms has been attributed to excess nitrogen entering the sea through polluted rivers and rainfall and promoted as evidence of eutrophication of coastal seas. Thus, *Phaeocystis* has a bad reputation in the minds of many people. However, this view is subjective and unjustified.

Dense blooms of *Phaeocystis* appear regularly along Arctic and Antarctic coasts and shelves, often together with diatoms, far from any eutrophication and in the presence of high silicic acid concentrations. Indeed, in terms of extent and intensity their blooms are second only to the diatoms. Despite intense research in many labs, the factors triggering their blooms are still poorly understood, as also their impact on the zooplankton. Controversy also shrouds the fate of their biomass. In coastal regions the colonies eventually burst, releasing their cells which grow flagellae and become normal, solitary haptophytes. Grazing on them by small zooplankton is reported to be intense. In Antarctic waters their remnants have been recorded in deep samples leading some researchers to suggest that they are more efficient contributors to the biological carbon pump than diatoms. So when the colonies appeared in our samples, we were keen to see whether iron fertilization would lead to a bloom of this species and what effect it might have on the zooplankton and the BCP.

Like all its haptophyte relatives, *Phaeocystis* cells are small, solitary flagellates which produce copious amounts of the substance DMSP, a precursor of the gas dimethyl sulphide (DMS) which escapes to the atmosphere and, after oxidation, provides condensation nuclei for cloud formation. These clouds have smaller droplets than normal clouds and are hence whiter. They reflect more sunlight back into space hence have a cooling effect on the atmosphere. In contrast to all their relatives, the bloom-forming species of *Phaeocystis* enter a colonial stage initiated by a single cell which loses motility and builds a capsule around itself. The cell divides inside its capsule, which expands concomitantly and within 2 weeks spherical colonies more than a mm in diameter, full of thousands of cells along its periphery, can arise (see picture). Blooms are only made by these colonies. Manipulation of whole colonies with sophisticated micro-techniques has revealed that, contrary to the widespread belief that the colonies are balls of jelly, they are actually bags of water contained in a tough, inelastic skin which is difficult to break and provides protection against grazers and infection by viruses. This appears to be the haptophyte's answer to the silica shells of diatom. Clearly, although the solitary cells are eaten voraciously by ciliates and other zooplankton, the large colonies are difficult to handle by smaller herbivores, implying that vulnerability decreases with increasing size, a general principle in ecology known as "size escape". This was also demonstrated by the fact that most of the early stages of colonies were clinging to diatom cells, particularly the spines of some species, presumably to hide from roving ciliates that cannot ingest large diatom cells.

However, as mentioned above, the little colonies disappeared from the patch before midweek which could only have been due to selective grazing, because colonies were thriving in samples of patch water maintained in large bottles on board. As copepods had been removed from the latter we assume that it was their grazing activity



3 a) *Phaeocystis* cells freshly attached to the spines of a diatom (*Corethron pennatum*) in the process of colony formation (cells are 0.005 mm). b) Older colonies overgrowing a diatom cell (the largest colony is 0.05 mm across). Photo: Marina Montresor, SZN / Alfred Wegener Institute





which nipped the *Phaeocystis* bloom in the bud. These observations suggest that grazing pressure at the time of colony formation determines whether enough survive to make a bloom. The implications of this biological control for the carbon cycle are obvious. We started experiments on board to test this hypothesis and were left looking forward to further interesting developments in our garden.



The scientific work is regularly presented in the auditorium of RV Polarstern. Photo: Victor Smetacek, Alfred Wegner Institute

The mood on board is as good as ever and we are sharing our observations from all the different disciplines with enthusiasm during the regular evening meetings. Both young students and senior scientists present their results so that everybody is well informed about what is going on in our patch and outside it. The spirit of true inter-disciplinarity is also reflected in the help that groups, who have to work round the clock, get from volunteers from other groups whose samples take less time to process.

With our best wishes from the Roaring Forties,

Wajih Naqvi and Victor Smetacek

### ANT XXV/3, Weekly Report No. 7

After completing the second round of fertilization last Monday we left the patch searching for a large iceberg in order to study the effects of its melt water on the surroundings. We had encountered extensive areas influenced by melt water further to the south, but these had been giant icebergs several or more kilometres long. We soon spotted one of the larger ones in our eddy on the radar screen and headed straight for it. The sea was calm and the sun was peeping out occasionally, so groups of rested scientists were sauntering around on deck, eager to view the iceberg. It turned out to be a compact chunk of ice: 60 m above water (measured with a sextant) and a few hundred metres in length and breadth. It was shaped like a squat sphinx, its flanks polished by the waves that surged up its sides. On its head were balanced huge chunks of ice like an oversized crown. It did not appear stable so we kept a prudent distance from it while taking CTD casts around it, looking for signs of melt water. Many of us were still watching it, fascinated by the way it changed shape and colour from pale blue to gleaming white, with many shades of grey in between. Suddenly a shout went up as pieces of the crown started tumbling down. Then before our startled eyes, the entire front started crumbling and collapsing like an avalanche, pushing a field of ice rubble into the sea. Big chunks toppled over and fell in the waves with huge splashes. Within minutes the iceberg was reduced to a vestige of its former towering presence. Although at a safe distance, we were stunned by the spectacle. One of us had caught the entire sequence on film so we could all witness later the fall of a stately iceberg.

The results of the iceberg survey were disappointing: there was no discernible signal of melt water at any of the corners we sampled indicating that the discharge rate, in relation to the rate of mixing around it, was negligible. Apparently these smaller icebergs leave behind only diffused signals that are accordingly less easy to map than the extensive fields of ice rubble ensuing from collapsed giant bergs. It is possible that iron released from the many smaller icebergs was responsible for the higher level of background chlorophyll in the eddy core as compared to the impoverished water further to the east and north. As these levels have been maintained since our arrival, the iron is either being continuously replenished by collapsing icebergs and dispersal of rubble, or the fertilized planktonic community is efficiently recycling the iron in a quasi-steady state in the surface layer. As we shall see later, the developments in our patch provide support for the latter explanation.

After the iceberg foray, we proceeded to the next out-station, giving our patch time to mix the new streaks of iron. In the meantime the drifting buoy around which we had re-fertilized, continued moving due northward, and we breathed a sigh of relief when, by mid-week, it was finally deflected to the northeast. That it was now disturbingly close to the band of swift currents sweeping around our eddy was demonstrated by its path and speed during the next few days. Since we were not sure whether the buoy had slipped out of the patch, as the first two buoys – the twins – had somehow accomplished, we decided to retrieve one of them, since it lay on our way to the patch, and use it to mark the site of the next in-station.

After a night spent mapping the new position of our patch along the



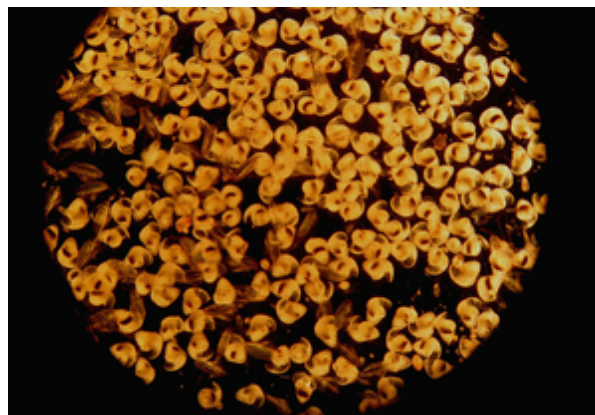
The iceberg after it collapsed in front of us. Photo: V. R. Sundareswaran, CCMB / Alfred Wegener Institute



The iceberg, before it collapsed in front of us. Photo: Kevin Saw, NOCS / Alfred Wegener Institute



north-eastern periphery of our eddy, we were troubled to find that it extended even further into the band of swift currents separating our eddy from the adjacent red one to the east, than the buoy did. We selected the most promising site in the patch, deployed the buoy we had recovered, which we now called 1a, and carried out the in-station while continuously correcting the ship's position to keep up with the buoy, by now travelling southeast at the breathtaking speed of over 20 kilometres per day. Clearly the patch was moving with the band of strong currents we dubbed "the highway to hell" because it would drag the patch out of our blue eddy and drape it around the outer rim of the red eddy as a thin strip that would soon merge with its surroundings. We went about our work with a sense of impending doom. During the week we also collected and deployed neutrally buoyant sediment traps inside and outside the patch. The cups contained more material now than before, but the total amounts collected were small.



A large catch of the planktonic snail *Limacina* known as sea butterfly. The specimens shown here have folded their "wings" and retracted them into the shells. Some individuals of the large copepod *Calanus simillimus* can also be seen. Photo: Gauri Mahadik, NIO / Alfred Wegener Institute

Despite the re-fertilization, chlorophyll concentrations over most of the patch stayed more or less constant at double the outside values. Dilution due to lateral mixing with surrounding, unfertilized water was not the reason, because, over most of its border, the patch was sharply demarcated: in sections crossing it during mapping at night time it appeared as a steep-sided plateau of dots extending for many miles in FRRF values recorded every half-minute. No doubt, mixing with surrounding water was taking place while the patch was gyrating within the eddy, but not fast enough to obscure continuous build-up in phytoplankton biomass reflected in the chlorophyll concentrations. Besides, a steady increase over the first weeks was observed in all previous experiments, so the plankton community in our patch was behaving in a fundamentally different manner, hence we were making new discoveries.

Admittedly, our observations were not unexpected because it has long been appreciated that planktonic communities fall into two broad categories: phytoplankton blooms and recycling or regenerating systems. Generally, blooms occur when nutrients are abundant and last from one to eight weeks depending on temperature and light supply. They are characterised by high chlorophyll levels that can fluctuate as different species replace each other until an essential nutrient becomes limiting to further growth. Blooms tend to be dominated by diatoms which require silicic acid, so their biomass build-up is terminated when this element reaches limiting concentrations, i.e. shells can no longer be made. This is generally accompanied by mass sinking and transport of organic matter to the deep water column and sea floor which represents a major source of food to the organisms living there.

In some regions both silicic acid and nitrogen are depleted simultaneously with thinner-shelled diatom species replacing the thicker-shelled ones as the critical resource dwindles. However, in many coastal and shelf regions, silicic acid is exhausted well before nitrate, the remainder of which is then utilized by non-diatom algae, in particular chalk algae and colonies of *Phaeocystis* of the haptophytes, or *Ceratium* of the dinoflagellates mentioned in previous reports. Although quite abundant, none of these groups "made it" in our bloom, the former presumably due to low temperatures and the latter two in all likelihood because they were kept in check by grazing pressure. So our bloom entered the next phase despite abundant nutrients. This is a crucial finding because it indicates that only diatoms regularly manage to make blooms in the Antarctic Circumpolar Current. We shall return to the implications of this important point later.



The Multinet with its operators Photo: V. R. Sundareswaran, CCMB / Alfred Wegener Institute

Recycling or regenerating systems maintain a steady state for months based on the balance between production and breakdown of organic carbon. Daily rates of chlorophyll-based primary production, expressed as the amount of organic material produced by photosynthesis under a square meter sea surface depend on the rate of supply of the limiting element from remineralisation of organic matter by respiration of all the non-photosynthesizing organisms collectively known as heterotrophs (as opposed to autotrophs) and ranging from bacteria to whales. Clearly our patch had entered a recycling state

but what was surprising was that it appeared as stably balanced as the recycling systems around it, although the amount being recycled was at least twice as large. Since nutrients including iron were apparently not limiting further biomass build-up, it must be the rate of grazing which was imposing the upper level at which this system was operating. What we were not sure about was whether more grazers had accumulated in the patch (by migration or reproduction) or whether those present were eating twice as much as those outside. There was evidence for both scenarios.

First, a comparison of all net catches indicated that abundances of the large, non-reproducing copepod (*Calanus simillimus*) tended to be higher inside the patch presumably because they were attracted to it. How such small animals manage to congregate within it will be dealt with later. Second, the other, much smaller copepod (*Oithona similis*) was vigorously reproducing in the in-stations, although the numbers of larvae in the samples seemed to vary considerably, possibly due to predation by the large copepod. Third, at the last in-patch station we discovered a large stock of a planktonic snail – the pteropod *Limacina* – known to have very high reproduction rates. It is only a few millimetres in diameter but looks like the familiar garden snail. Its foot is modified into wing-like appendages with which it flaps through the water like a bat in slow motion, which has earned it the name of sea butterfly. Since they were present in low numbers in most catches throughout the region, this particular swarm, comprising both egg-bearing adults and juveniles, indicated that they had responded to the improved food supply but only in this previously un-sampled corner of the patch. Possibly, their numbers were kept in check by the roving swarms of predatory amphipods that seemed to be increasing in the region of the patch we had been sampling so far, but were less abundant here.

The other alternative, that the dominant, albeit non-reproducing copepods inside the patch were eating more, was supported by observations of freshly caught animals. They are quite transparent, so it is easy to see how much they have eaten. This can then be measured by counting the number of faecal pellets produced by freshly caught individuals maintained in a beaker. Indeed, distinctly fuller guts and higher pellet production rates of copepods from inside the patch were recorded, indicating that feeding rates of the animals outside were limited by the food supply. Clearly, the zooplankton was profiting from the iron fertilization.

At the end of the week we carried out a quick transect with CTD casts through the warmer red eddy, since we were close to it, to compare its physical structure with that of the colder blue eddy. There were no icebergs here and chlorophyll concentrations also lower. A brief glance at the plankton community of its closed core revealed that another species dominated the large copepods, *Oithona* was rare and the composition of its predatory zooplankton, comprising Chaetognaths (arrow worms) rather than amphipods, differed markedly; overall biomass was substantially lower. Unfortunately, we were not able to carry out a parallel experiment here, so were left guessing as to how this particular, silicon-limited system might have responded.

Our best wishes from a ship full of scientists, now fully adapted to life in the roaring forties, fervently hoping to gather more information from our garden before it is finally torn apart by the currents gnawing at its sides,

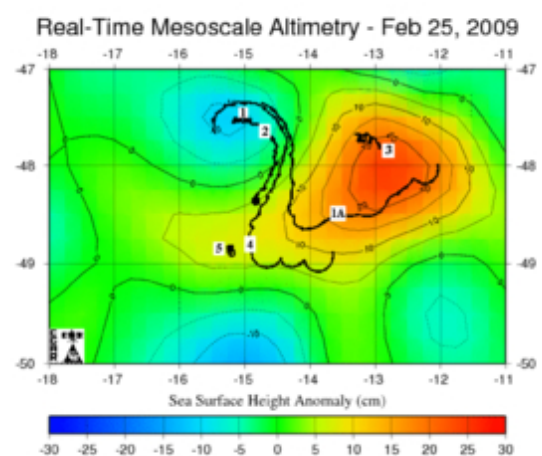
Wajih Naqvi and Victor Smetacek



At a birthday party in the „tea shop“ (chai ki dukan). Photo: Victor Smetacek, Alfred Wegener Institute

### ANT XXV/3, Weekly Report No. 8

On the journey back from the neighbouring red eddy (the warm one) which we had visited over the previous weekend, we anxiously watched the path of the 2 buoys in the patch: buoy # 4, around which we had re-fertilized a week ago, and buoy # 1a, which was one of the twins we had re-deployed at the last in-station, when the patch was at the north-eastern periphery of the eddy. The other twin, buoy # 2, around which we had carried out the first fertilization, had disengaged itself from the patch weeks ago and was now closer to the eddy core than the patch. All three buoys had been moving south-eastward along parallel arcs over the weekend with buoy # 1a along the outermost track. With furrowed brows and gloomy looks we gathered round the computers in the user room, updating each new position of the buoys, read from the computer with internet access, onto the laptop which displayed their tracks relative to the borders of the eddy's current location. The ship's track and the underway measurements of temperature and salinity were on a third computer screen and the FRRF values appeared on a fourth. Then suddenly, our faces lit up as the new positions indicated that buoy # 4 was turning slightly south-west, i.e. veering out of the band of strong currents encircling the blue and red eddies – the “highway to hell” – and back into our eddy's influence. There was hope that our patch would be retained. When the FRRF values shot up after we crossed its path, indicating that the patch we had just entered was on the other side and within the eddy, we smiled and shook hands.



Buoy (drifter) trajectories from 17 February – 1st March superimposed on an altimeter image from 25 February 2009. The actual location of the eddy boundaries is reflected more accurately by the drifter tracks than the altimeter image. Figure: Ines Borrione

We again spent the night mapping the position of the patch and found to our relief that buoy # 1A had left it, so, when some hours later the unfaithful buoy again veered to the south, we were no longer concerned and in the following days watched it “go to hell” around the periphery of the red one, to be followed a few days later by buoy # 4. After mapping the patch, we carried out our in-station at the site where chlorophyll concentrations were highest. There were only few pteropods (sea butterflies) here, unlike the swarm we had encountered during the last in-station of the previous week. Clearly there was spatial heterogeneity within the elongated patch, so we decided to assess its extent with a Scanfish survey crisscrossing it, followed by two transects – one north-south and the other east-west - with short stations comprising CTD dips that sampled only the upper 200 m and a single multinet tow from 200 m depth to the surface.

The Scanfish is a sleek instrument, carrying the same sensors as the CTD, which undulates from surface to 200 m depth while towed behind the ship. We had brought it along to map the patch but the many growlers (small pieces of icebergs) had deterred us from using it previously, except for one survey just after the first fertilization. However, this time there were no icebergs around, so after completing the in-station, we started the Scanfish survey followed by the south to north transect. A short, sharp storm had been forecasted and indeed it arrived almost suddenly before we reached the northern boundary of the patch; luckily, the last station indicated that we were close to it.



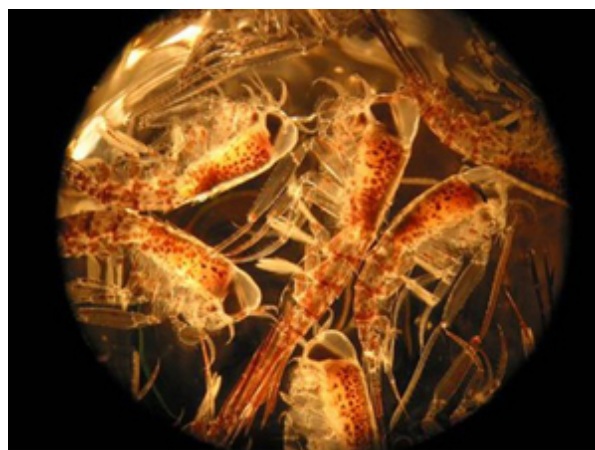
Although wind speeds were predicted to be very high, their duration would be short, so there was no need to leave the eddy. Polarstern was buffeted by winds of force 10 (over 100 km hour) for 8 hours with gusts reaching to force 11 but she is a sturdy ship and, with her nose in the wind proceeding forward at slow speed, we weathered the storm during a night when nobody got much sleep. The wind subsided by morning so we returned to the patch and, after the obligate re-mapping, marked the site with the highest chlorophyll concentrations with our remaining buoy # 5 and completed the east-west transect when wave heights had declined enough to resume station work. Another long in-station was taken over the weekend close to buoy # 5 which had not moved much since deployment. As usual, free-floating sediment traps were deployed and recovered inside and outside the patch at intervals of a few days in between the stations.



Deployment of the Scanfish for oceanographic measurements. Photo: Victor Smetacek, Alfred Wegener Institute

The results of the transects showed that our patch was indeed fairly homogeneous within its boundaries, which were sharply delineated to the south and along its sides, but was trailing a long tail of diluted water to the north. The pteropod swarm was not encountered again but the VPN images (the camera system attached to the CTD) showed that there were about twice as many copepods (*Calanus simillimus*) per square metre inside the patch compared to outside. Even more striking were the high densities of their main predators – the amphipod *Themisto gaudichaudii* – we had found at 3 previous in-stations: their numbers ranged from 30 to 138 specimens per square metre. Imagine that many 2 – 3 cm large beetles living off tens of thousands of 2 mm long aphids (the equivalent of *C. simillimus* densities), themselves feeding on the plants on a square metre of garden and you have an impression of the biomass of larger zooplankton maintained by our patch. At our latitude the amount of sunlight available to the plants is the same as in a cloudy August in northern Europe, so, although the plankton are distributed over a deep water column, the analogy is justified.

We found several species of amphipods in the RMT tows but *Themisto* was by far the most abundant. They are tough, active animals, equipped with a range of grappling, sharply hooked legs in the front and paddle-like legs on their abdomen with which they scurry about in the buckets in which the net catches are emptied. It is a voracious carnivore that evidently feeds on other large zooplankton such as salps, chaetognaths (arrow worms) but also the local euphausiids (cousins of the better known krill of the south). Small groups even attacked the tiny fishes (myctophids) in the net catches, reducing them to skeletons in tens of minutes. In feeding experiments on board they also captured and ate copepods. They are visual predators with large compound lenses on top of the head (the translucent “caps” in the picture) indicating that they hunt by looking for prey above them, silhouetted against the weak light of the night sky. The black spots on the sides of the head in the picture are actually the retinas below the lenses. In the virtual absence of fishes (we caught very few mesopelagic fishes in the night net tows), amphipods are the only visual predators on plankton in this stretch of ocean, so the amazing transparency of their potential prey - from copepods to salps and chaetognaths – is witness to their predation pressure and their acute eye sight.



Closeup of the Amphipod *Themisto gaudichaudii*. Photo: Humberto Gonzalez, UACH-COPAS

Amphipod numbers increased within the patch in the weeks following fertilization and by the middle of the experiment there were ten times more inside it than outside. They probably roam about in swarms and presumably entered our patch from the sides and stayed within it because of the higher copepod (*C. simillimus*) density. Previous experiments have also found higher copepod densities within iron-fertilized patches compared to outside. Since copepods, unlike amphipods and krill, are too small to swim into the patch horizontally, they are believed to congregate within it by adjusting their patterns of daily vertical migration. They feed on plankton in the surface layer only during the night and descend to a depth of around 100 m (demonstrated by the VPN images) where they spend the day, presumably invisible to visual predators. Their light sensors (they do not have lenses, so cannot see images) enable them to determine the appropriate depth, which depends on the depth of light penetration, which in turn depends on the amount of light-absorbing particles, particularly phytoplankton, in the surface layer. If surface and deeper layers move at different speeds then copepods spending the day at deeper depths, i.e. under a more transparent surface layer will be transported away from it. If they encounter a surface layer with more plankton, they will stay higher up during the day and hence add to the population already there. At this stage we cannot judge whether the VPN data are representative but will have to wait until the copepods in the net catches are counted and the relative movements of

surface and deeper water layers in the patch have been analysed. So we cannot yet say what attracted the amphipods to the patch.

Our blue eddy is located on the western flank of an undersea mountain range known as the Mid-Atlantic Ridge which extends through the middle of the Atlantic Ocean from about our latitude in the South to Iceland in the North. The sea floor under our eddy rises from 4200 m to only 3200 m depths from its southern to its north-eastern boundaries. Since we did not know what to expect from our bloom, we had taken cores of the surface sediment with a Multicorer from a shallow (3,360 m) and a deep (4,183 m) site during the first week of the experiment, in order to find out whether the previous bloom had left behind a layer of fluff on the sea floor. Although we expected the sediment composition to be different, we were surprised by its magnitude: at the shallow site the sediments were largely calcium carbonate (coccoliths and foram shells) with almost no diatom shells but at the deeper site, which was below the carbonate dissolution depth, the sediments consisted mainly of diatom shells as elsewhere under the deep ACC. We also found many small black stones, both of basaltic origin (magma) and encrusted nodules, lying on the surface at both sites. There were hardly any signs of freshly sedimented diatoms (fluff) at either of the sites. During this week we took our third Multicorer sample from 3758 m depth. The sediment cores were quite similar to those from the previous deep station.



A big wave. Photo: Margrith Ettl, Alfred Wegener Institute

We are now nearing the end of this arduous cruise but our spirits are high because we are enjoying what we are doing. One hears a lot of laughter in the labs and corridors, even at the evening meetings where the different groups present their results “hot off the instruments”. The presentations are applauded enthusiastically as we are intrigued by the processes apparently going on in the eddy, both inside and outside the patch. The initial disappointment when our bloom stopped increasing biomass has given way to the dawning of new insights on how iron-limited systems dominated by zooplankton recycle iron. Ours is a truly interdisciplinary endeavour without a hint of rivalry, and cooperation has tightened as we have come to know each other better and appreciate the individual contributions to unravelling the story of the LOHAFEX patch. The crew of Polarstern are as superb as ever.

Our only companions are the majestic wandering albatrosses, effortlessly soaring over the tossing waves, that have come to accept us as part of the seascape of the eddy. Possibly, they consider us a peculiar looking iceberg. The several other bird species regularly around us are less conspicuous and ignore our presence. We have been visited during stations by a few lonely seals or penguins, generally juveniles who appeared to be lost. They were excited by our presence and evinced eagerness to come on board. At each visit, word quickly spreads and everybody goes rushing out from their labs with their cameras, striving to get as many pictures as possible. We were sorry that we could not offer them hospitality. That whales did not make an appearance (except for 2 sei whales early on in the experiment, and one or two others glimpsed in the distance) is the only disappointment harboured by most of us.

With our very best wishes from the Roaring Forties,

Wajih Naqvi and Victor Smetacek