

## Planktonregen im Südpolarmeer: Das europäische Eisendüngungs- experiment EIFEX (European Iron Fertilization Experiment)

Philipp Assmy, Boris Cisewski, Joachim Henjes, Christine Klaas, Oliver Sachs, Victor Smetacek, Volker Strass

Die alljährlich durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe freigesetzten 6 Milliarden Tonnen Kohlenstoff in Form des Klimagases Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) sind Mitverursacher des zunehmenden Treibhauseffektes. Es gibt verschiedene Ansätze, das entstandene CO<sub>2</sub> langfristig der Atmosphäre zu entziehen. Wie die höheren Landpflanzen, nehmen auch Planktonalgen im Meer durch Photosynthese große Mengen CO<sub>2</sub> auf. Absterbende Algen haben somit einen bedeutenden Einfluss auf den Kohlenstoffhaushalt der Erde. Gelangt der in den Algen enthaltene Kohlenstoff in die Tiefsee, ist dieser langfristig dem Kontakt mit der Atmosphäre entzogen. Diesen Prozess bezeichnet man als biologische Kohlenstoffpumpe. Zur CO<sub>2</sub>-Entsorgung wurde vorgeschlagen, die biologische Kohlenstoffpumpe im Ozean durch Düngung von Planktonalgen mit Eisen zu verstärken. Um die Realisierbarkeit dieses Ansatzes zu testen, wurde vom Alfred-Wegener-Institut in Kooperation mit verschiedenen nationalen und internationalen Partnern das europäische Eisendüngungsexperiment EIFEX durchgeführt.

Das pflanzliche Plankton bildet die Basis der Nahrungskette im Weltozean – dem größten Ökosystem unserer Erde. Obwohl es nur einen Bruchteil (0,5 %) zur gesamten pflanzlichen Biomasse der Erde bei-

## Plankton rain in the Southern Ocean: The European Iron Fertilization Experiment EIFEX

Philipp Assmy, Boris Cisewski, Joachim Henjes, Christine Klaas, Oliver Sachs, Victor Smetacek, Volker Strass

*Fossil fuel combustion causes annual emissions of 6 billion tons of carbon in the form of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) which significantly contributes to the greenhouse effect. Different strategies have been proposed in order to reduce anthropogenic input of CO<sub>2</sub> into the atmosphere. Microalgae in the oceans (phytoplankton) take up large amounts of CO<sub>2</sub> via photosynthesis and influence the carbon budget of our planet by transferring carbon from the surface to the deep ocean through sinking. This process called the "biological pump" leads to a long-term withdrawal of carbon from the atmosphere. An enhancement of the biological pump of the ocean through iron fertilization of the phytoplankton has been proposed as a way to reduce atmospheric CO<sub>2</sub>. To test the feasibility of this approach, the Alfred Wegener Institute conducted an European iron fertilization experiment (EIFEX) on board R.V. Polastern in collaboration with several national and international partners.*

*Phytoplankton constitutes the first link of the food chain in the global ocean – the largest ecosystem in our planet. Although phytoplankton constitutes only a fraction (0.5 %) of the total plant biomass of the planet, it contributes about 30 % to the annual carbon-uptake via photosynthesis equivalent to approximately 150 billion tons. Consequently high turnover rates occur within the plankton, where growth, mortality and sinking rates are nearly balanced. In*

trägt, macht die planktische Primärproduktion etwa 30% der jährlichen Kohlenstoff-Aufnahme durch Photosynthese von rund 150 Milliarden Tonnen aus. Dieses Beispiel verdeutlicht die hohen Umsatzraten im Plankton, dessen Wachstums-, Sterbe- und Sinkraten sich ungefähr die Waage halten. In drei riesigen ozeanischen Regionen, dem äquatorialen und subarktischen Pazifik sowie dem Südpolarmeer, ist das Algenwachstum durch Eisenmangel begrenzt. Durch Eisendüngung in diesen Gebieten konnten in bisher 9 Experimenten eine rasante Vermehrung der Algen erreicht werden. Dies ging mit einer Abnahme des CO<sub>2</sub>-Gehaltes im umgebenden Meerwasser einher. Die erste Voraussetzung für eine künstliche Beschleunigung der biologischen Kohlenstoffpumpe durch den Aufbau von Algenbiomasse war also erfüllt. Die entscheidende Frage aber, welches Schicksal eine absterbende Algenblüte nehmen würde, war damit noch nicht beantwortet. Alle bisherigen Eisendüngungsexperimente waren zu kurz, um die Algenblüte bis zu ihrem Ende durch Erschöpfung der Nährstoffe oder Alterung der Zellen zu verfolgen.

Das europäischen Eisendüngungsexperiments EIFEX sollte den Zusammenbruch der eiseninduzierten Algenblüte und den Verbleib des darin enthaltenen Kohlenstoffs verfolgen. Während EIFEX wurden von Bord des Forschungsseisbrechers Polarstern 13 Tonnen gelöstes Eisensulfatpulver über eine Fläche von etwa 150 Quadratkilometern ausgebracht. Die sich dadurch entwickelnde Algenblüte wurde über einen Zeitraum von mehr als fünf Wochen verfolgt.

In der letzten Woche des Experimentes konnte eine signifikante Trübung des Tiefenwassers bis zum Meeresboden in etwa 4000 Meter als Folge der absterbenden und sinkenden Algenblüte beobachtet werden

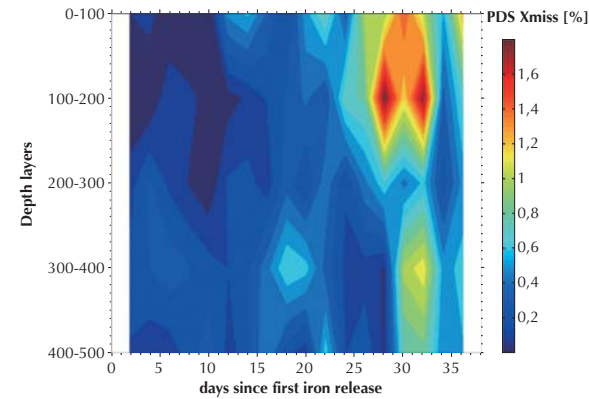
*three major oceanic regions, the equatorial and sub-arctic Pacific as well as the Southern Ocean the growth of the phytoplankton is limited low iron concentrations. Previous iron fertilization experiments in these region led to a rapid increase of phytoplankton biomass and a clear decrease in dissolved inorganic carbon concentrations (including CO<sub>2</sub>) in the water column. However, the fate of these phytoplankton blooms had not been studied yet. The aim of EIFEX was to follow the fate of the iron-induced phytoplankton bloom (growth and decay) and determine the influence of the bloom on the carbon budget of the fertilized patch. During EIFEX we fertilized an area of over 150 km<sup>2</sup> with 13 tons of iron sulfate dissolved in seawater. The temporal development of the phytoplankton bloom was followed over a period of more than five weeks. In the final week of the experiment a significant increase in turbidity of the deeper water layers down to the ocean floor could be observed as a result of the dying and sinking phytoplankton bloom. (Fig. 1: shows turbidity due to algal cells in the upper 500 meters of the water column as a function of time).*

*Microscopic analysis of water samples revealed the presence of aggregates composed of phytoplankton from the bloom together with zooplankton faecal material that sank out to deeper water layers. Geochemical measurements at the sediment/water boundary layer as well as the analysis of sediment cores indicated that a five millimeter thick layer of fresh plankton material had sedimented in the deep ocean (Figure 2). A detailed budget of the amount of carbon exported into the deep ocean is in preparation.*

*The EIFEX results indicate that iron fertilization can lead to transport of organic material to the deep*

(Abb. 1 zeigt die obersten 500 Meter). Mikroskopische Auswertungen ergaben, dass sich viele Algenketten der induzierten Blüte mit aufgelöstem Kotmaterial von Zooplankton zu Flocken verklebt hatten und in die Tiefe gesunken waren. Die Auswertung geochemischer Messungen an der Wasser/Sediment-Grenzfläche sowie analog dazu geborgene Sedimentkerne zeigten eine etwa fünf Millimeter dicke Schicht frisch abgestorbenen Planktons, das sich in der Tiefsee abgelagert hatte (Abb. 2). Detaillierte Bilanzen über die in die Tiefsee exportierte Kohlenstoff-Menge werden derzeit erstellt.

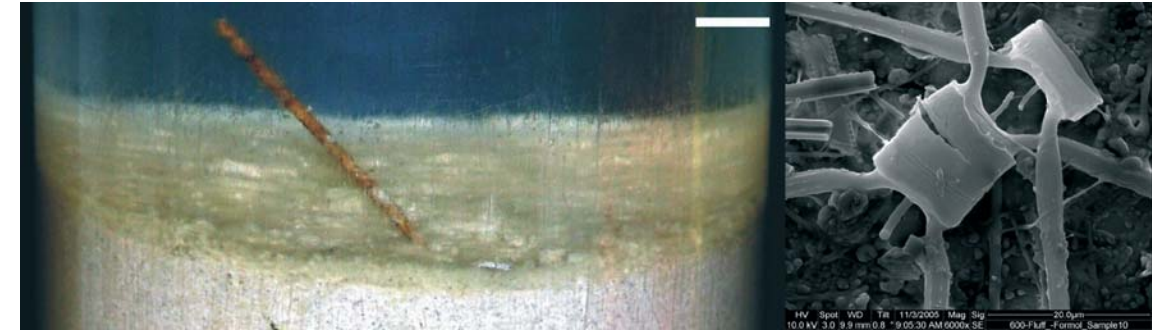
Die bisherigen Ergebnisse von EIFEX zeigen, dass sich durch Eisendüngung atmosphärisches CO<sub>2</sub> in organische Materie umwandeln und in die Tiefsee transportieren lässt. Das vom Menschen durch Freisetzung von CO<sub>2</sub> verursachte Treibhausproblem lässt sich damit jedoch nicht lösen. Die CO<sub>2</sub>-Mengen, die im gesamten Südpolarmeer biologisch entfernt werden könnten, machen nur einen geringen Anteil des jährlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes aus. Es ist daher ratsamer, die CO<sub>2</sub>-Freisetzung zu drosseln als einen regulierenden Mechanismus der Natur zu manipulieren. Hinsichtlich der zukünftigen Klimaentwicklung sollte das vorrangige Ziel einer nachhaltigen Energiepolitik eine effizientere Energienutzung in Kombination mit einer CO<sub>2</sub>-neutralen Energiegewinnung sein.



**Abb. 1: Trübungszunahme in der Tiefe durch die absinkende Algenblüte während EIFEX.**

*Fig. 1: Turbidity due to algal cells in the upper 500 meters of the water column as a function of time.*

*ocean. However, the amount of CO<sub>2</sub> which could be biologically removed by fertilization of the entire Southern Ocean amounts to only a minor fraction of the annual CO<sub>2</sub> –emissions. The overriding aim for a sustainable energy policy should be efficient energy use in combination with reduced CO<sub>2</sub> emissions.*



**Abb. 2: Geborgener Sedimentkern mit einer etwa 5 mm dicken Lage aus sedimentierten Resten der Algenblüte am Meeresboden (links). In der Bildmitte ist ein Tiefsee-Röhrenwurm zu sehen (Balken = 1 cm. Foto: U. Marx). Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme aus dem Algent Teppich mit einer der dominanten Kieselalgen (*Chaetoceros atlanticus*) während EIFEX (rechts).**

*Fig. 2: Salvaged sediment core from the sea floor with a 5 mm thick layer of sedimented remnants of the phytoplankton bloom (left). The centre of the picture shows an abyssal tube worm (scale bar = 1 cm. Foto: U. Marx). SEM-picture of fresh plankton material with one of the dominant diatom species (*Chaetoceros atlanticus*) during EIFEX (right).*