

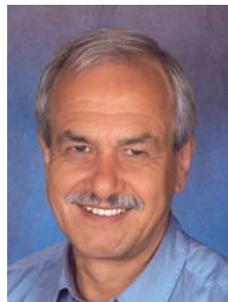
LOHAFEX: Deutsch-indisches Forschungsexperiment zur Eisendüngung des Meeres

Victor Smetacek

Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research of the Helmholtz Association Bremerhaven Germany | Alfred Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung der Helmholtz-Gemeinschaft, Bremerhaven, Deutschland

Syed Wajih Naqvi

National Institute of Oceanography, Goa of the Council of Scientific and Industrial Research, Indien



 A team of Indian and German scientists will conduct the iron fertilisation experiment LOHAFEX (Loha is Hindi for iron, FEX stands for Fertilisation EXperiment) from the German research vessel "Polarstern" early next year in the ocean surrounding Antarctica. LOHAFEX will stimulate rapid growth of oceanic plant life – the minute, unicellular algae known as phytoplankton – over an area of 300 square kilometres by fertilising it with 20 tonnes of dissolved iron sulphate. The team of physicists, chemists, biologists and geochemists will then study for seven weeks the effects of this algal bloom on the exchange of carbon dioxide (CO₂) between ocean and atmosphere as well as on the planktonic food chain and the organisms of the underlying sea floor. The undertaking is part of the Memorandum of Understanding between the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Bremerhaven of the Helmholtz Association and the National Institute of Oceanography, Goa of the Council of Scientific and Industrial Research (CSIR) that was signed in the presence of the Prime Minister of India and the Chancellor of Germany during her visit to India in October 2007. The costs of running the ship are being shared by Germany and India.

The results of the experiment will be of great interest to both ocean ecologists and geochemists because phytoplankton not only provide the food sustaining all oceanic life but also play a key role in regulating concentrations of the greenhouse gas CO₂ in the atmosphere. Indeed, there is reason to believe that fertilising the Southern Ocean with trace amounts of iron could help in transferring some of the CO₂ currently accumulating at an alarming rate in the atmosphere, to the deep ocean for a few centuries. Testing this hypothesis is one of the goals of LOHAFEX. Another goal is to study the effects of iron fertilisation on the zooplankton, in particular the shrimp-like krill, which is the main food of Antarctic penguins, seals and whales. Stocks of krill have declined by over 80% during the past decades and their response to the iron-fertilised bloom will indicate whether the decline is due to declining productivity of the region for which there is evidence. Thus, large-scale iron fertilisation of the krill habitat could well help in boosting their stocks to their former high

 Ein Team indischer und deutscher Wissenschaftler wird vom deutschen Forschungsschiff POLARSTERN aus im Frühjahr 2009 das Experiment der Meeresdüngung mit Eisen LOHAFEX (LOHA bedeutet in Hindi „Eisen“, FEX ist die Abkürzung für „Fertilisation EXperiment“) im Südlichen Ozean durchführen. LOHAFEX wird ein schnelles Wachstum von Meerespflanzen – und zwar winziger, einzelliger Algen, auch Phytoplankton genannt – durch die Düngung einer Fläche von 300 Quadratkilometern mit 20 Tonnen gelöstem Eisensulfat anregen. Das Team, bestehend aus Physikern, Chemikern, Biologen und Geochemikern wird dann während einer Dauer von sieben Wochen die Auswirkungen dieser Algenblüte auf den Austausch von Kohlendioxid (CO₂) zwischen Meer und Atmosphäre, auf die Plankton-Nahrungsketten und auf die Organismen des darunter liegenden Meeresbodens untersuchen. Das Unternehmen ist Teil einer Vereinbarung zwischen dem Alfred Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven, das zur Helmholtz-Gemeinschaft gehört, und dem National Institute of Oceanography des Council of Scientific and Industrial Research (CSIR) in Goa. Das Abkommen wurde in Gegenwart des indischen Premierministers und der deutschen Bundeskanzlerin anlässlich ihres Staatsbesuches in Indien im Oktober 2007 unterzeichnet. Die anfallenden Betriebskosten des Forschungsschiffes werden zu etwa gleichen Teilen von Deutschland und Indien getragen.

Die Ergebnisse des Experiments werden für Meeresökologen wie auch für Geochemiker von großem Interesse sein, da das Phytoplankton nicht nur die Nahrung zur Erhaltung jeglichen Lebens im Ozean bereitstellt, sondern auch eine Schlüsselrolle bei der Regulierung der Konzentration des Treibhausgases CO₂ in der Atmosphäre spielt. Tatsächlich gibt es Gründe zu glauben, dass die Düngung des Südlichen Ozeans mit Spuren von Eisen dazu beitragen könnte, einen Teil des CO₂, das zurzeit in der Atmosphäre in alarmierendem Ausmaß zunimmt, für einige Jahrhunderte in die Tiefen des Ozeans umzuleiten. Die Überprüfung dieser Hypothese ist eine der Aufgaben des LOHAFEX-Experiments. Eine weitere Zielsetzung ist die Untersuchung der Auswirkungen der Eisendüngung auf das Zooplankton, und im besonderen auf den garnelenähnlichen

densities and facilitate recovery of the decimated great whale populations.

The Indo-German team, comprising 32 scientists from India, 11 from Germany and 10 from Italy, Spain, Chile, France, UK and USA, will board "Polarstern" in Cape Town, S. Africa on January 7, 2009, and proceed to the experimental site in the southwest Atlantic at about 50°S latitude and 37°W longitude. They will disembark 70 days later in Punta Arenas, Chile, after spending an arduous two months in a desolate strip of cold, stormy ocean between the notorious "Roaring Forties" and "Furious Fifties". But the scientists will be immersed in a fascinating experiment on board a sturdy ship, so they will be able to work at wind speeds that would rock and roll an average research vessel. If successful, LOHAFEX will set a landmark in the upcoming struggle to mitigate the worst effects of dangerous climate change.

Earlier experiments have shown that fertilising a patch of sea surface in the Southern Ocean results in rapid growth of phytoplankton, which convert substantial amounts of CO₂ dissolved in the water into biomass. Such dense aggregations of algal cells are known as phytoplankton blooms. The CO₂ deficit in the surface layer caused by conversion to bloom biomass is compensated by uptake from the atmosphere until equilibrium is re-attained. The carbon in biomass consumed and respired by zooplankton and microbes in the surface layer refluxes back to the atmosphere within weeks or months but the carbon in organic particles in the form of dead algal cells and zooplankton faecal pellets that sink from the decaying bloom to the underlying deep ocean is sequestered from exchange with the atmosphere for centuries. The fate of carbon from the bloom could not be adequately determined in earlier experiments. LOHAFEX will now study the entire range of processes determining the partitioning of carbon between atmosphere and deep ocean in the experimental bloom. Such a mechanistic understanding of the complex network of cause and effect gained from studying the same bloom under natural conditions over relevant time scales is required to parameterise mathematical models predicting the out-come of larger scale fertilisation.

How much carbon could this method transfer from the atmosphere to the deep ocean, and for how long? The area covered by the nutrient-rich, iron-limited Southern Ocean, the only part of the ocean where this technique would have a measurable effect, is vast: 50 million square kilometres, 15 times the area of India and 140 times that of Germany. If the entire Southern Ocean were fertilised and a sizeable fraction of the bloom, equivalent to 20 grams carbon per square metre, sank well below 1,000 m, then about 1 billion tonnes of carbon (1 Gigatonne, Gt) would be sequestered annually for centuries. The carbon footprint (additional carbon emitted by

Krill, der die Hauptnahrung der antarktischen Pinguine, Robben und Wale darstellt. Die Krillbestände sind während der letzten Jahrzehnte um mehr als 80 Prozent zurückgegangen und deren Reaktion auf das durch die Eisendüngung angeregte Wachstum wird aufzeigen, ob dieser Rückgang auf der rückläufigen Produktivität der Region beruht, wofür es Anhaltspunkte gibt. So könnte eine weiträumige Eisendüngung des Krill-Habitats wohl dazu beitragen, eine Vermehrung der Bestände auf ihre frühere hohe Dichte zu bewirken und somit ein Zunehmen der dezimierten Großwal-Bestände zu ermöglichen.

Das deutsch-indische Team, bestehend aus 32 Wissenschaftlern aus Indien, elf aus Deutschland und weiteren zehn aus Italien, Spanien, Chile, Frankreich, England und den USA wird am 7. Januar 2009 in Kapstadt, Südafrika an Bord der POLARSTERN gehen und zur Forschungsstelle im südwestlichen Atlantik auf ca. 50 Grad südlicher Breite und 37 Grad westlicher Länge fahren. Nach 70 Tagen werden sie nach einem anstrengenden Aufenthalt in einem trostlosen Teil des kalten, stürmischen Ozeans zwischen den berühmten "Roaring Forties" und den "Furious Fifties" in Punta Arenas in Chile an Land gehen. Die Wissenschaftler werden dennoch mit dem faszinierenden Experiment gut beschäftigt sein. Die robuste Bauweise ermöglicht ein Arbeiten bei Windstärken, die ein normales Forschungsschiff heftig schaukeln würden. Falls das Experiment erfolgreich ist, wird LOHAFEX einen Meilenstein im Kampf um die Abschwächung der gefährlichsten Folgen, die durch den Klimawandel entstehen, setzen.

Frühere Experimente haben gezeigt, dass die Düngung einer kleineren Fläche im Südlichen Ozean ein rasches Wachstum des Phytoplankton zur Folge hat, das beträchtliche Mengen des im Meerwasser gelösten CO₂ in Biomasse umwandelt. Eine derartige dichte Ansammlung von Algenzellen wird als Phytoplankton-Blüte bezeichnet. Das Defizit an CO₂ an der Oberfläche, das durch die Umwandlung während der Blüte der Biomasse entstand, wird ausgeglichen durch entsprechendes Aufnehmen von CO₂ aus der Atmosphäre bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist. Kohlenstoff, der in der Biomasse verbraucht und vom Zooplankton und den Mikroben in der oberflächennahen Schicht ausgeatmet wird, wird innerhalb von Wochen oder Monaten in die Atmosphäre zurückgegeben, während Kohlenstoff in organischen Partikeln in Form von abgestorbenen Algenzellen und Kotkugeln des Zooplankton, die von der Blüte stammen, in die darunter liegenden tiefen Schichten des Ozeans sinken und auf Jahrhunderte von einem Austausch mit der Atmosphäre abgeschnitten sind. Der Verbleib des Kohlenstoffs aus der Blüte konnte in früheren Experimenten nicht in angemessener Form bestimmt werden. LOHAFEX wird nun in diesem Algenblüten-Experiment den gesamten Prozess untersuchen und die Verteilung des Kohlenstoffs in die Atmosphäre bzw. in die Meerestiefen ausloten. Ein derar-

the technique) would be minor: only a few million tonnes of freely available iron sulphate are needed annually and a very small percentage of ships, currently transporting 7 Gt of goods every year, including oil and coal, would be required for transport.

However, 1 Gt is not much compared to the annual atmospheric CO₂ increase of 3.5 Gt and the current carbon emissions of 7 Gt. However, other proposed techniques to capture and dispose of CO₂ are much more energy-intensive and faced with the problem of disposal which can be visualised the following way: If all the carbon in the excess CO₂ in the atmosphere released by humans in the last century (200 Gt) were converted to its elemental state (e.g. graphite) in the form of a rod of one square metre base (1 cubic metre of pure carbon weighs 2 tonnes), then this rod would extend for 100 million kilometres into space and, at today's rate of emissions, reach the sun within 20 years! Alternatively, a plate of carbon 1 m thick would cover an area of approximately 330,000 km², equivalent to that of Germany and represent about a third of the entire carbon contained in global terrestrial vegetation. Clearly even extensive reforestation could sequester only a small portion of the excess carbon.

The ocean, however, already contains 38,000 Gt of dissolved inorganic carbon (in the form of bicarbonate, carbonate and dissolved CO₂), so adding a few hundred Gt, if adequately diluted, is not going to make much of a difference. One Gt a year will add up to 100 Gt in a century of persevered fertilisation. Clearly, there is an urgent need to investigate the feasibility of this method and to assess its effect on the ocean biota. So far only one experiment (EIFEX, the results of which have not yet been published) carried out on board Polarstern, on which the senior author served as Chief Scientist, was able to follow the rain of organic particles sinking from the bloom because it was carried out in a stationary ocean eddy which LOHAFEX will repeat. The difference is that LOHAFEX will be carried out in a more promising region of the Southern Ocean, will last 10 days longer and is better prepared to monitor the particle rain from the bloom than was EIFEX.

The scientific community is sceptical about the efficacy of ocean iron fertilisation (OIF) because published results have not convincingly demonstrated that carbon was actually sequestered for relevant time scales. They are also apprehensive of possible negative side effects that could result from commercialisation of OIF in the carbon credit market specified in the Kyoto Protocol. We feel that the issue is too important to be left to market forces, particularly in view of the uncontrollable, ongoing over-exploitation of marine living resources. Recently, various scientific and international organisations have issued cautionary statements on OIF and called for more experiments before embarking on large-scale operations.

tiges mechanistisches Verständnis des Gesamtkomplexes von Ursache und Wirkung, das anhand des Studiums der Algenblüte unter natürlichen Bedingungen über einen entsprechenden Zeitraum hinweg gewonnen wird, ist erforderlich, um mathematische Modelle zu parameterisieren, die die Ergebnisse einer Großflächen-Düngung vorab berechnen können.

Wieviel Kohlenstoff kann mit Hilfe dieser Methode aus der Atmosphäre in die Meerestiefen transferiert werden und für wie lange? Die Fläche, über die sich der nährstoffreiche, eisenarme Südliche Ozean erstreckt, der als einziger Ozean für diese Technik einen messbaren Effekt liefern kann, ist unermesslich groß: 50 Millionen Quadratkilometer, 15 mal so groß wie Indien und 140 mal so groß wie Deutschland. Wenn eine Düngung des Südpolarmeers in seiner Gesamtheit vorgenommen würde, und ein beträchtlicher Anteil der Algenblüte, also etwa 20 g Kohlenstoff pro qm unter 1.000 m Meerestiefe sinken würde, dann könnten über 1 Milliarde Tonnen (1 Gigatonne = Gt) an Kohlenstoff jährlich auf Jahrhunderte entsorgt werden. Die zusätzlichen Kohlenstoffemissionen, die die Anwendung dieser Technik erzeugen würden, wären geringfügig: Lediglich einige Millionen Tonnen an Eisensulfat, das ohnehin als Nebenprodukt verschiedener industrieller Verfahren anfällt, wären erforderlich und nur verhältnismäßig wenige Schiffe würden für den Transport benötigt (derzeit jährlich 7 Gt an Gütern einschließlich Öl und Kohle).

Jedoch ist eine Gigatonne nicht viel im Vergleich zum jährlichen Zuwachs von 3,5 Gt an CO₂ in der Atmosphäre und den gegenwärtigen Kohlenstoff-Emissionen in Höhe von sieben Gt. Gleichwohl haben andere vorgeschlagene Verfahren zur Isolierung und Entsorgung von CO₂ einen weitaus höheren Energieverbrauch und bereiten Probleme bei der Entsorgung, was man sich folgendermaßen vorstellen kann: Wenn der gesamte Kohlenstoff im überschüssigen CO₂, das der Mensch während des letzten Jahrhunderts in die Atmosphäre abgegeben hat (200 Gt), in seinen Elementarzustand (z. B. Graphit) in Form einer Stange von 1 qm Grundfläche umgewandelt würde (1 cbm reiner Kohlenstoff wiegt 2 Tonnen), dann würde diese Stange 100 Millionen km weit in den Weltraum hinausragen und die Sonne innerhalb der nächsten 20 Jahren erreichen, wenn man die gegenwärtige Emissionsrate nicht verringert! Oder anders veranschaulicht: Eine Platte von 1 m Dicke würde eine Fläche von ungefähr 330.000 qkm bedecken, was der Gesamtfläche Deutschlands und etwa einem Drittel des Kohlenstoffs, der in der gesamten Vegetation auf allen Kontinenten gebunden ist, entspricht. Somit ist klar, dass nur ein geringer Teil des Kohlenstoffs in der Luft, der uns heute schon Probleme bereitet, durch großflächige Aufforstung zu entsorgen ist.

Das Meer enthält jedoch bereits 38.000 Gt von gelöstem, anorganischem Kohlenstoff (in Form von Hydrogenkarbonat,



We feel that an international agency manned by scientists and operating under the UN umbrella should be established to supervise and monitor OIF implementation. LOHAFEX is the first of the new generation of iron fertilisation experiments and the beginning of close cooperation between India and Germany in the field of ocean research to ameliorate the dangerous effects of ongoing climate change.

Victor Smetacek is Professor for Bio-Oceanography at the University of Bremen, and at the Alfred Wegener Institute in Bremerhaven.

Wajih Naqvi heads the Chemistry Department at the National Institute of Oceanography in Goa.

Both will serve as co-Chief Scientists on board LOHAFEX

Karbonat und gelöstem CO_2), so dass ein Zusatz von einigen hundert Gt in entsprechend gelöster Form verdünnt in tiefen Ozeanschichten keinen großen Unterschied ausmachen wird. Eine Gt pro Jahr macht 100 Gt in einem Jahrhundert anhaltender Düngung. Offensichtlich ist es dringend notwendig, die Machbarkeit dieser Methode zu erforschen und ihre Auswirkung auf die Meeresbiologie zu untersuchen. Bisher war lediglich ein Forschungsprojekt, das an Bord der POLARSTERN durchgeführt wurde (EIFEX, dessen Forschungsergebnisse zur Veröffentlichung demnächst eingereicht werden) in der Lage, das Absinken der organischen Partikel aus Algenblüten zu verfolgen, da das Experiment in einem stehenden, ozeanischen Wirbel platziert wurde. Diese Technik wird ebenfalls im Projekt LOHAFEX angewendet. LOHAFEX wird in einer vielversprechenderen Region durchgeführt, wird zehn Tage länger dauern und ist besser darauf vorbereitet, den Partikelregen aus der Algenblüte zu beobachten als das im Projekt EIFEX möglich war.

Die Wissenschaftswelt ist skeptisch hinsichtlich der Wirksamkeit einer großflächigen Meeresdüngung mit Eisen (OIF), da die veröffentlichten Resultate der bisherigen Experimente nicht in überzeugender Weise bewiesen haben, dass Kohlenstoff tatsächlich für längere Zeiträume entsorgt wurde. Man ist auch wegen möglicher negativer Folgen besorgt, die sich aus der Kommerzialisierung des OIF beim Handel mit Kohlenstoff-Emissionsrechten im Rahmen des Kyoto-Protokolls ergeben könnten. Wir sind der Meinung, dass diese Angelegenheit viel zu wichtig ist, um sie dem freien Markt zu überlassen, und zwar besonders im Hinblick auf die unkontrollierbare, fortwährende Ausbeutung der Meeresressourcen. Kürzlich haben verschiedene wissenschaftliche und internationale Organisationen in offiziellen Verlautbarungen Warnungen hinsichtlich OIF veröffentlicht und die Durchführung weiterer Experimente gefordert, bevor Großprojekte in Angriff genommen werden. Wir sind der Meinung, dass eine internationale Behörde gebildet werden sollte, die von Wissenschaftlern besetzt und unter der Schirmherrschaft der UNO alle OIF-Projekte beobachten und überwachen sollte. LOHAFEX ist das erste Eisendüngungsprojekt der neuen Generation und der Anfang einer engen Zusammenarbeit zwischen Indien und Deutschland auf dem Gebiet der Meeresforschung mit dem Ziel, die gefährlichen Auswirkungen des Klimawandels abzumildern.

Victor Smetacek ist Professor für Bio-Ozeanographie an der Universität Bremen und am Alfred Wegener Institut in Bremerhaven.

Wajih Naqvi ist Leiter der Abteilung Chemie am National Institute of Oceanography in Goa.

Die wissenschaftliche Leitung des LOHAFEX-Projektes liegt in Händen beider Wissenschaftler.