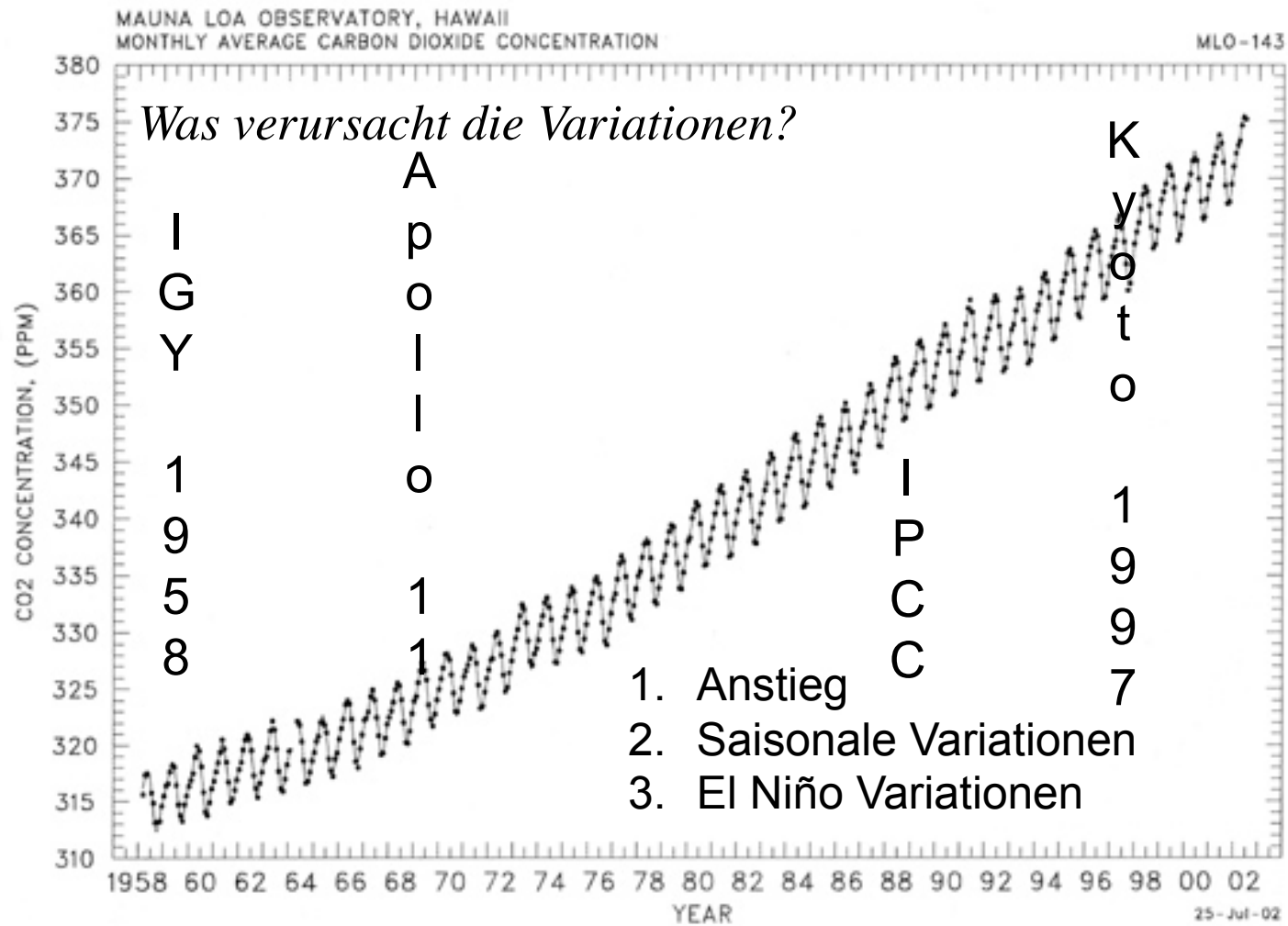


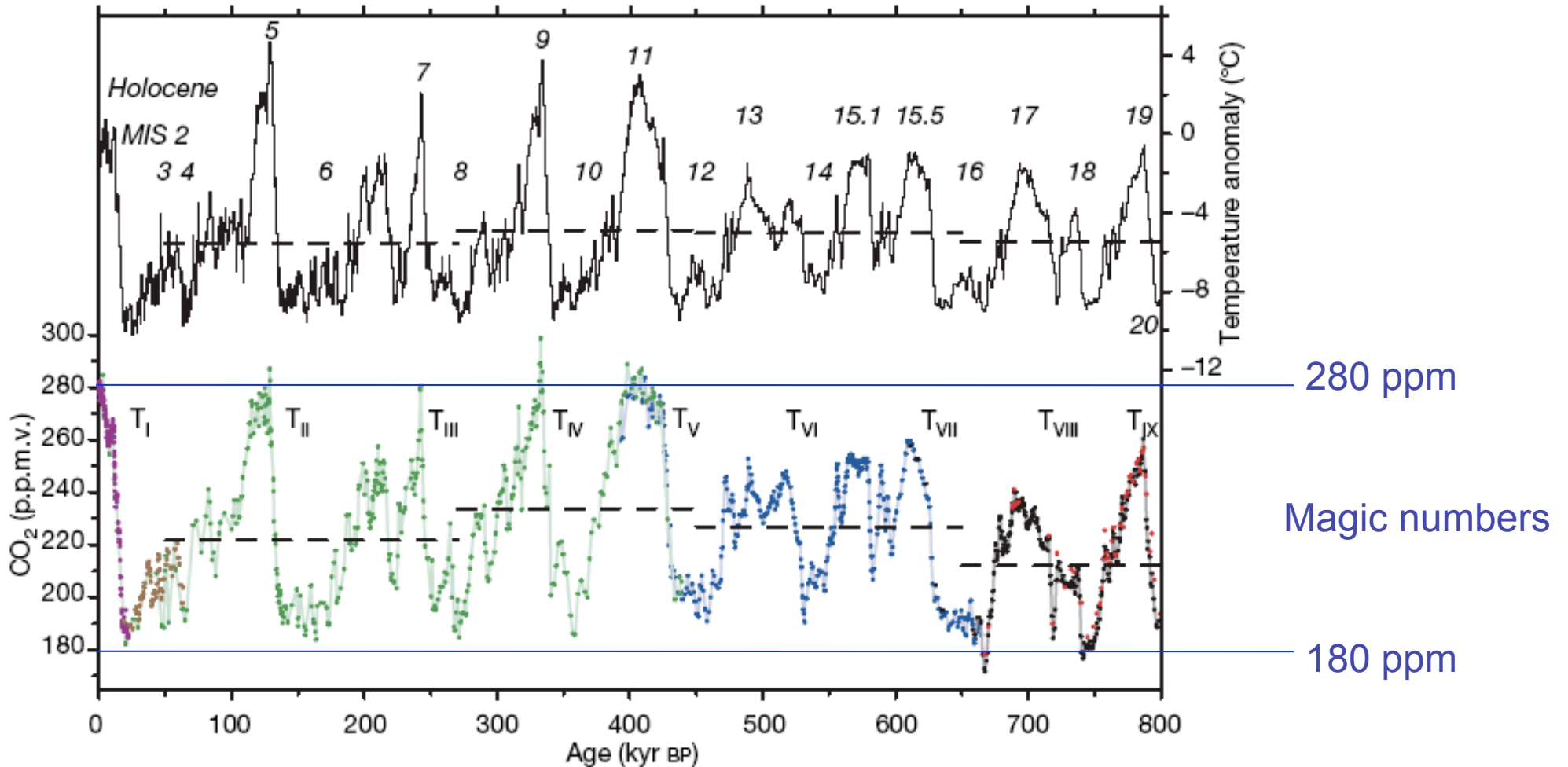
Ozeane und ihr CO₂ Austausch



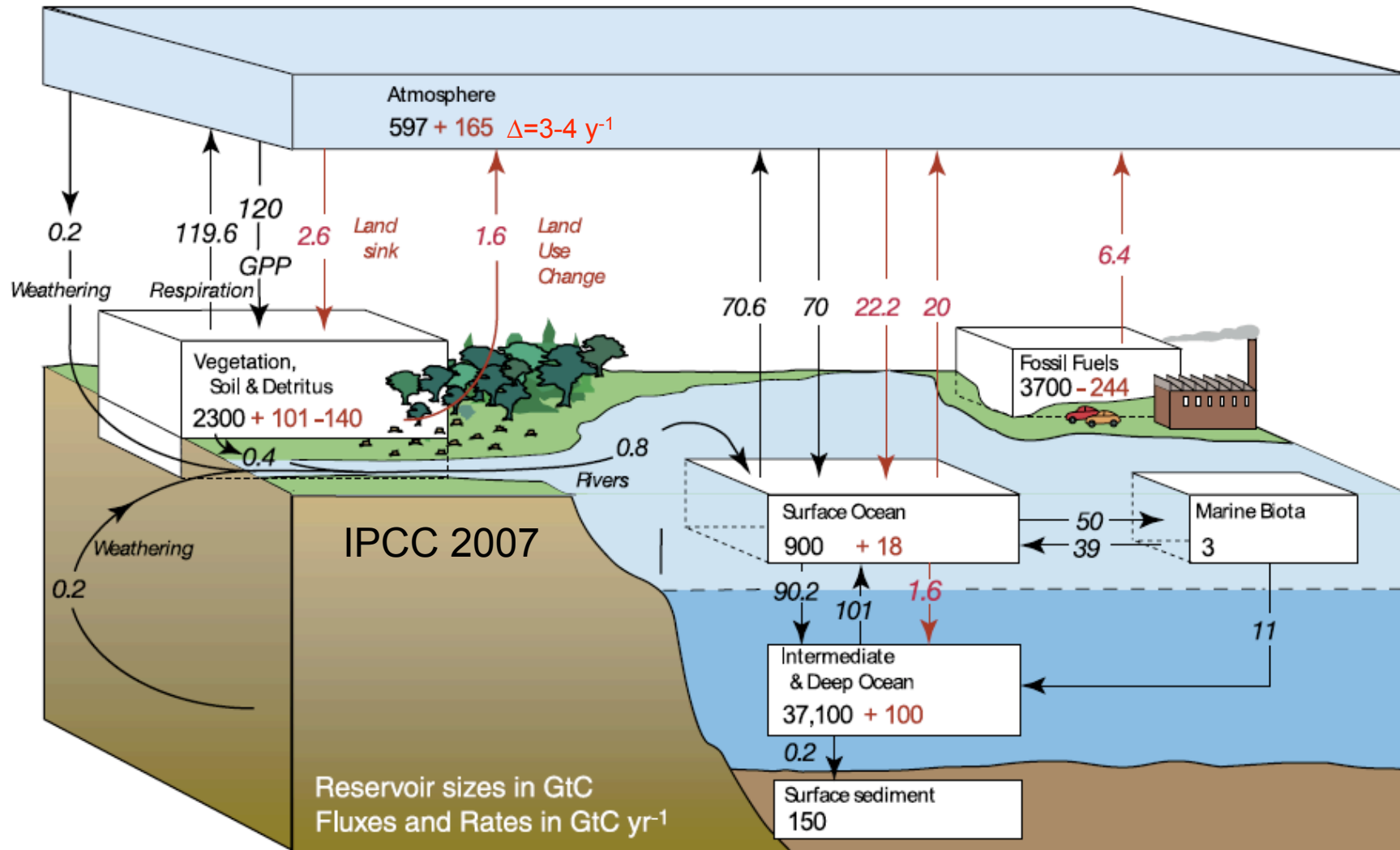
Ulrich Bathmann
Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meereskunde
ulrich.bathmann@awi.de

Mauna Loa CO₂ („Keeling“) Kurve





Lüthi et al., 2008, Nature



1 Gt C = 1 Pg C = 10¹⁵ g C

1 ppm CO₂ = 2.12 Pg C

Der globale Kohlenstoffkreislauf

**Der Ozean ist das größte aktive C Lager
(38 000 Pg C; 50 x atm.)**

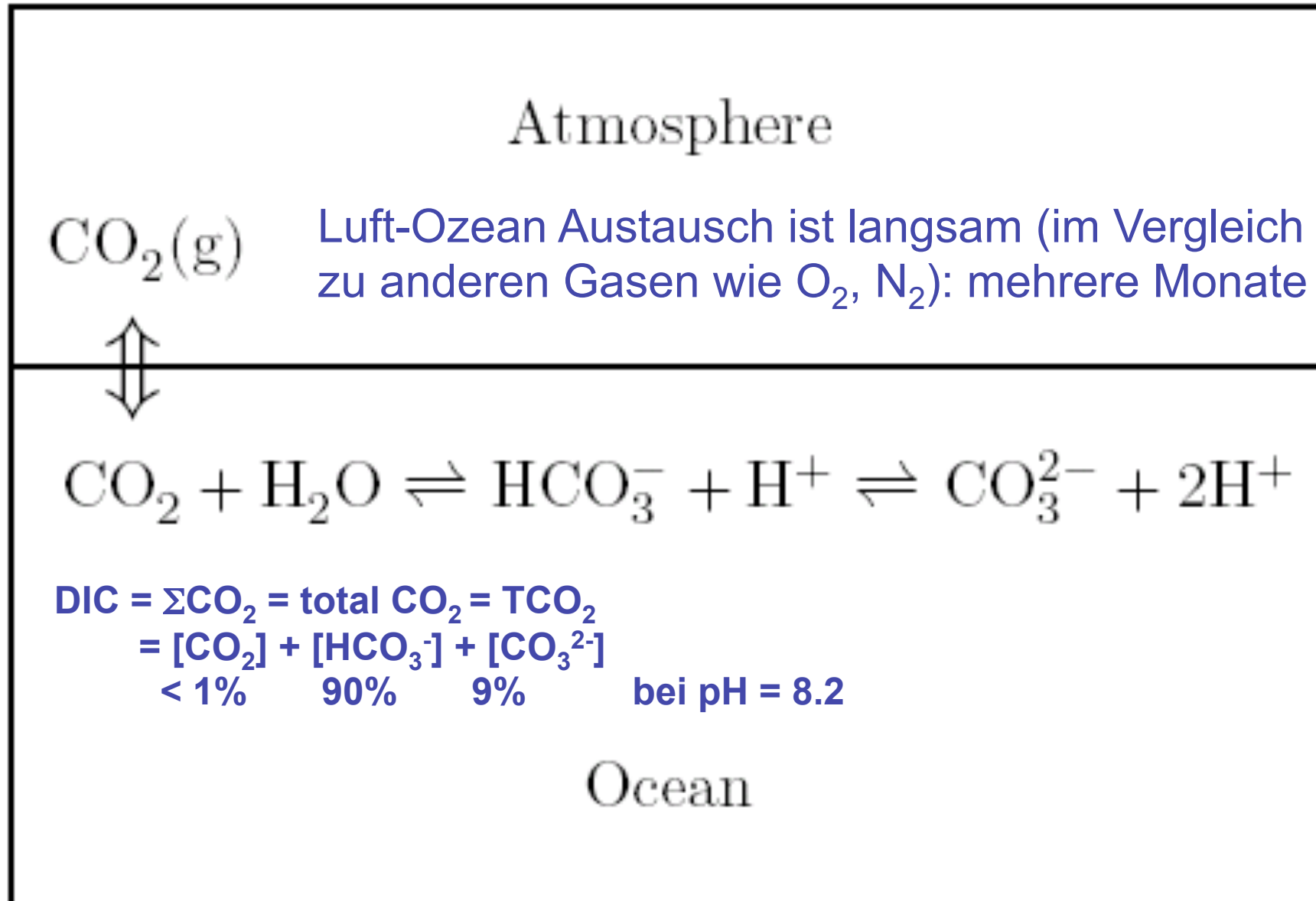
C liegt im Ozean vor als...

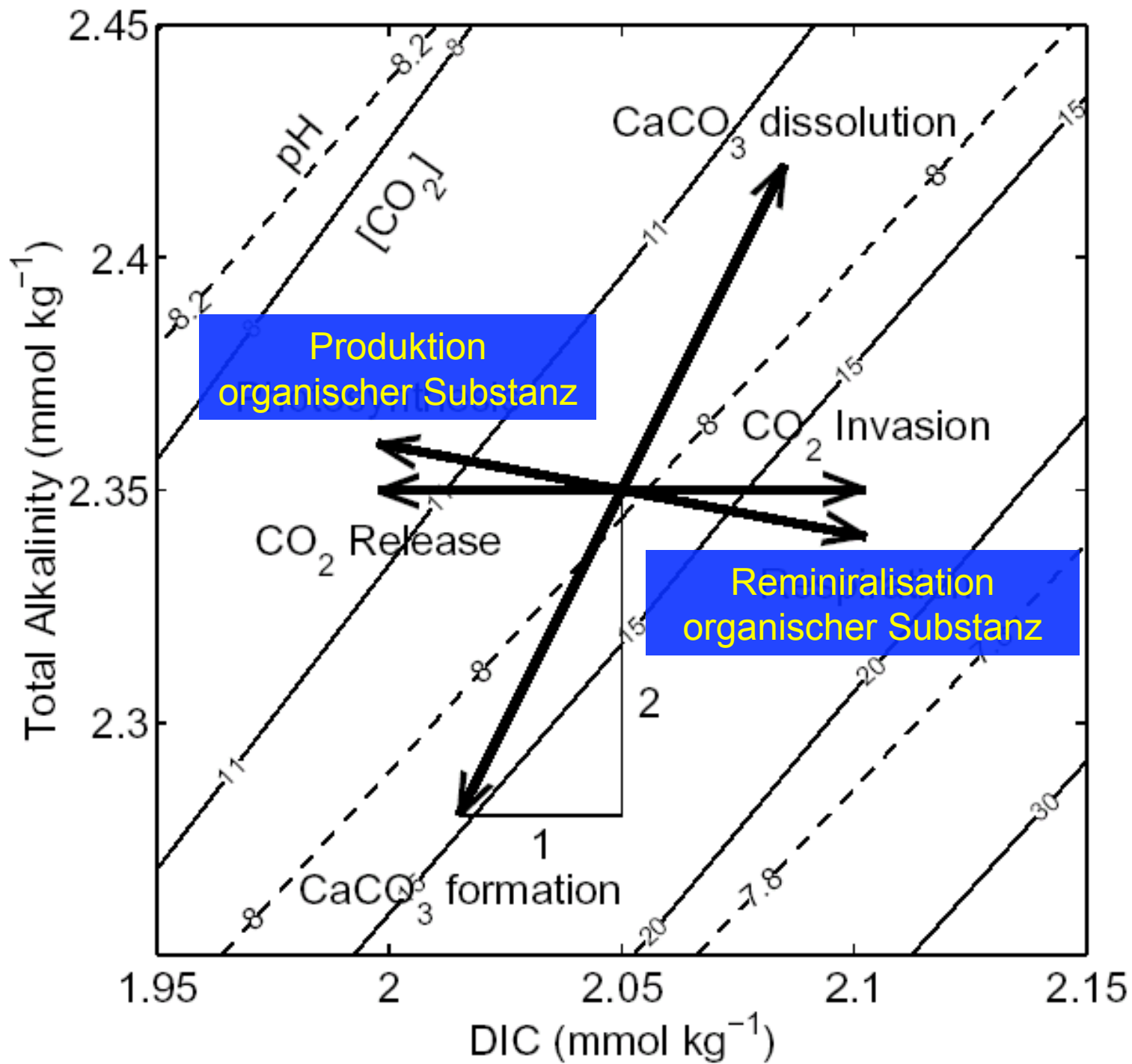
DIC = dissolved inorganic carbon (überwiegend),

DOC = dissolved organic carbon (relativ viel),

POC = particulate organic carbon (gering aber sehr aktiv),

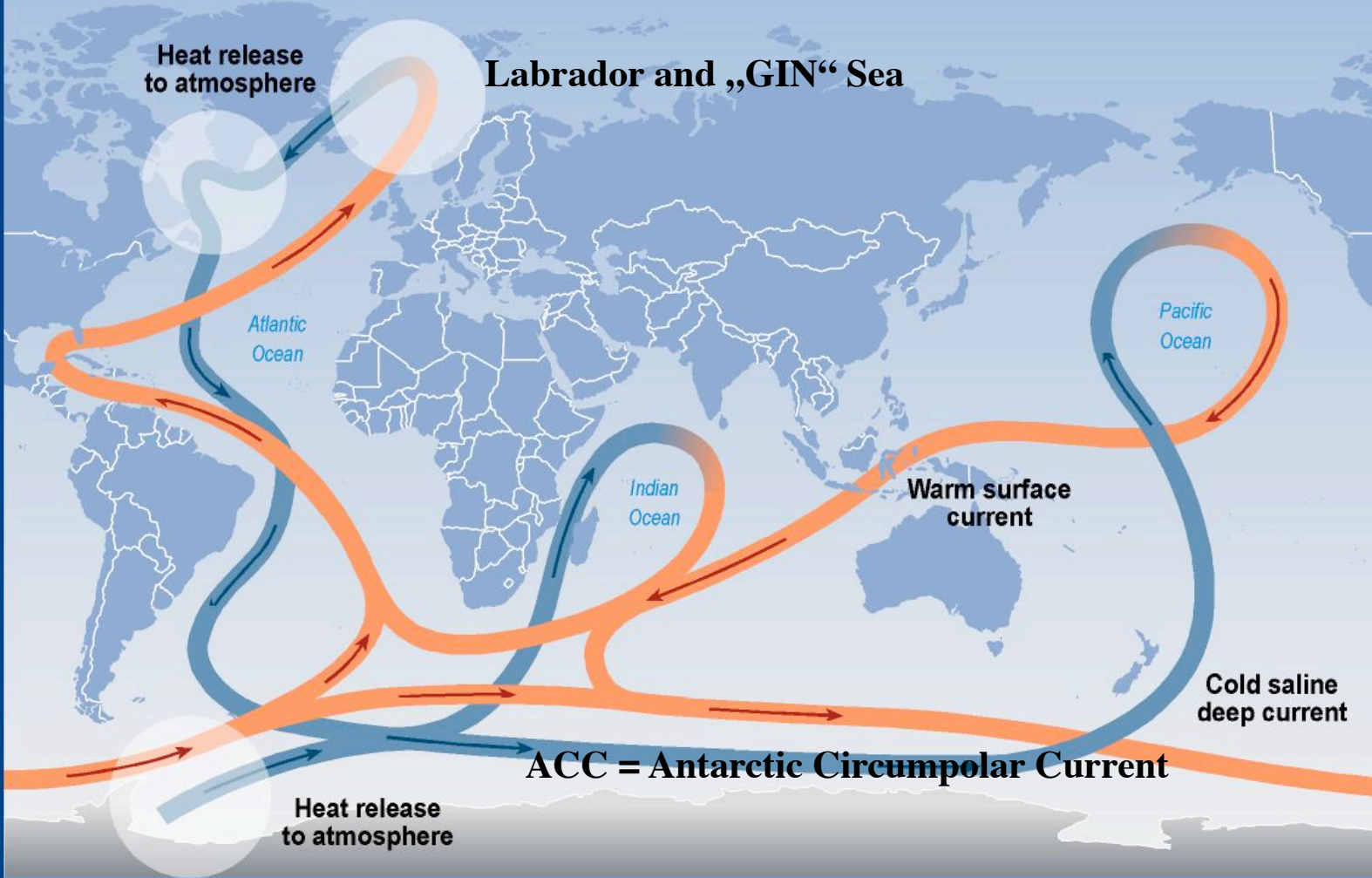
PIC = particulate inorganic carbon (noch weniger; CaCO₃ als Kalzit oder Aragonit; Ikait).



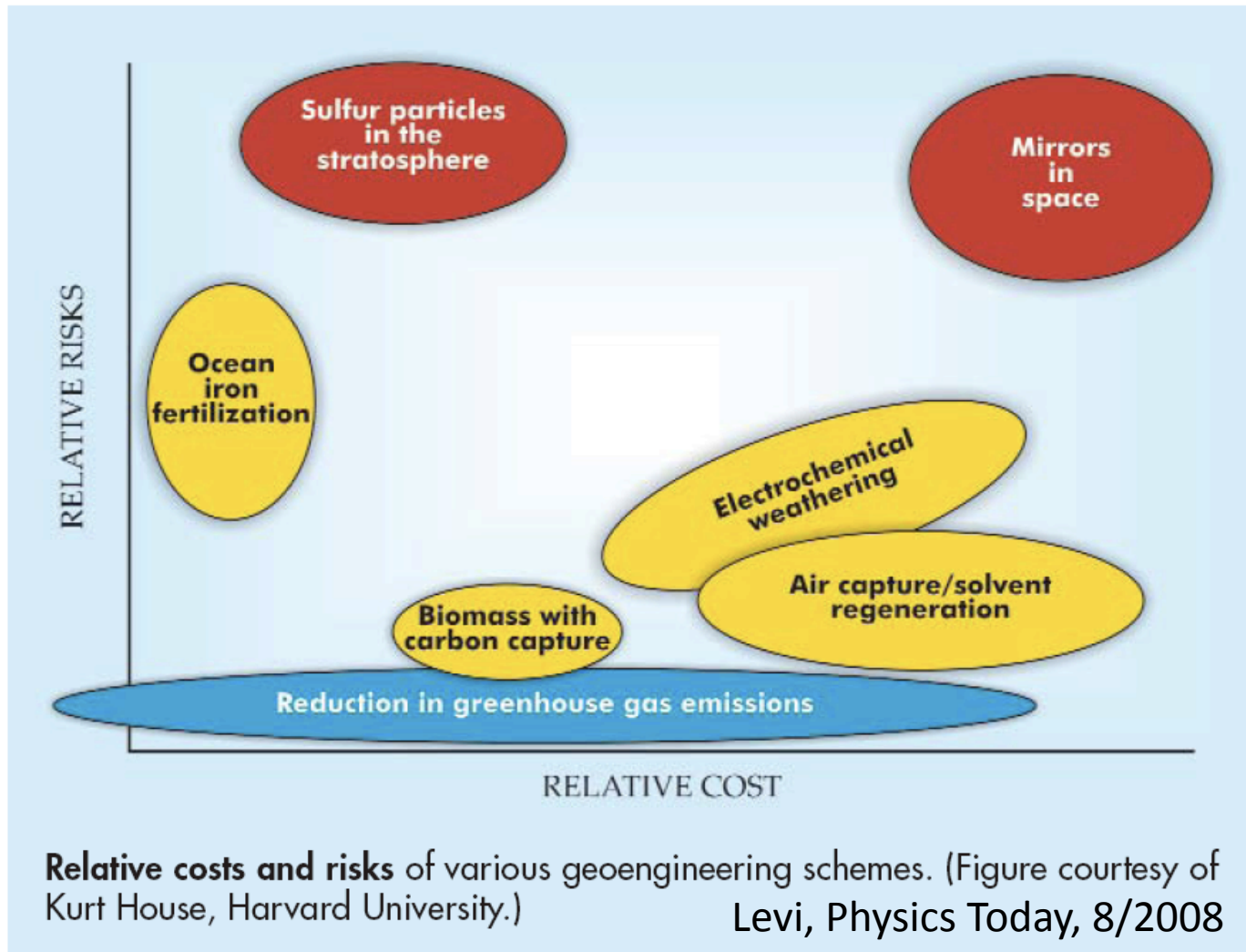


Zeebe and
 Wolf-Gladrow,
 2001

Das ozeanische Förderband



SYR - FIGURE 4-2



Will desperate climates call for desperate geoengineering measures?

Earth scientists ponder the wisdom of large-scale efforts to counter global warming.

7 January -
17 March
2009

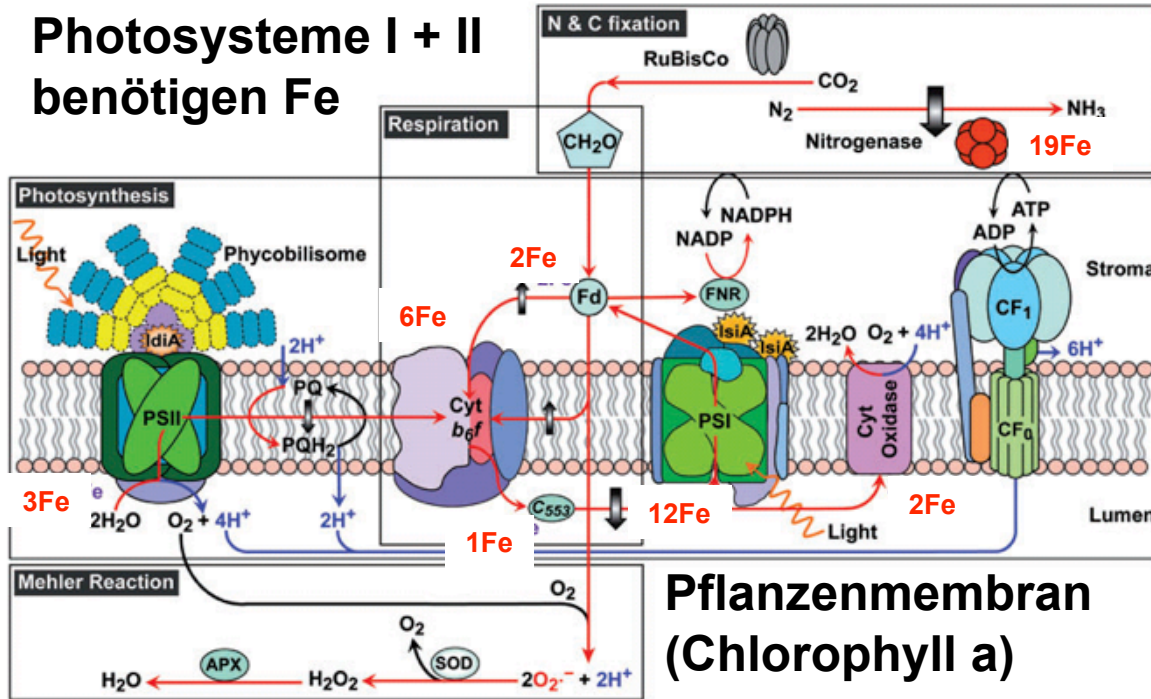
LOHAFEX

LOHA=iron
(Hindi)

FEX =
Fertilization
EXperiment



Photosysteme I + II benötigen Fe

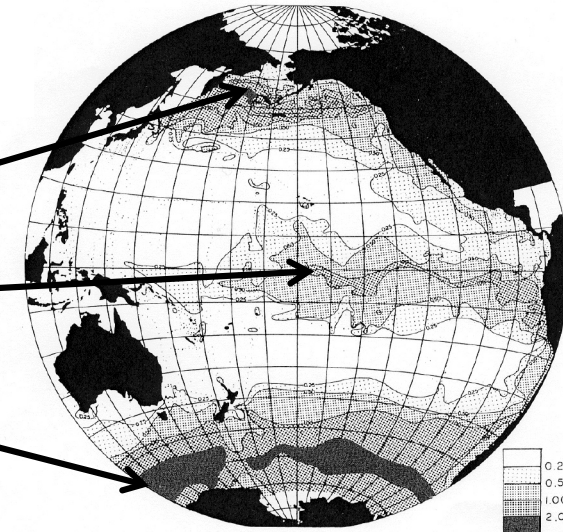


Pflanzenmembran (Chlorophyll a)

Shi et al. 2007

Hohe Nährsalze (NO₃, PO₄)
wenig Chlorophyll (HNLC)

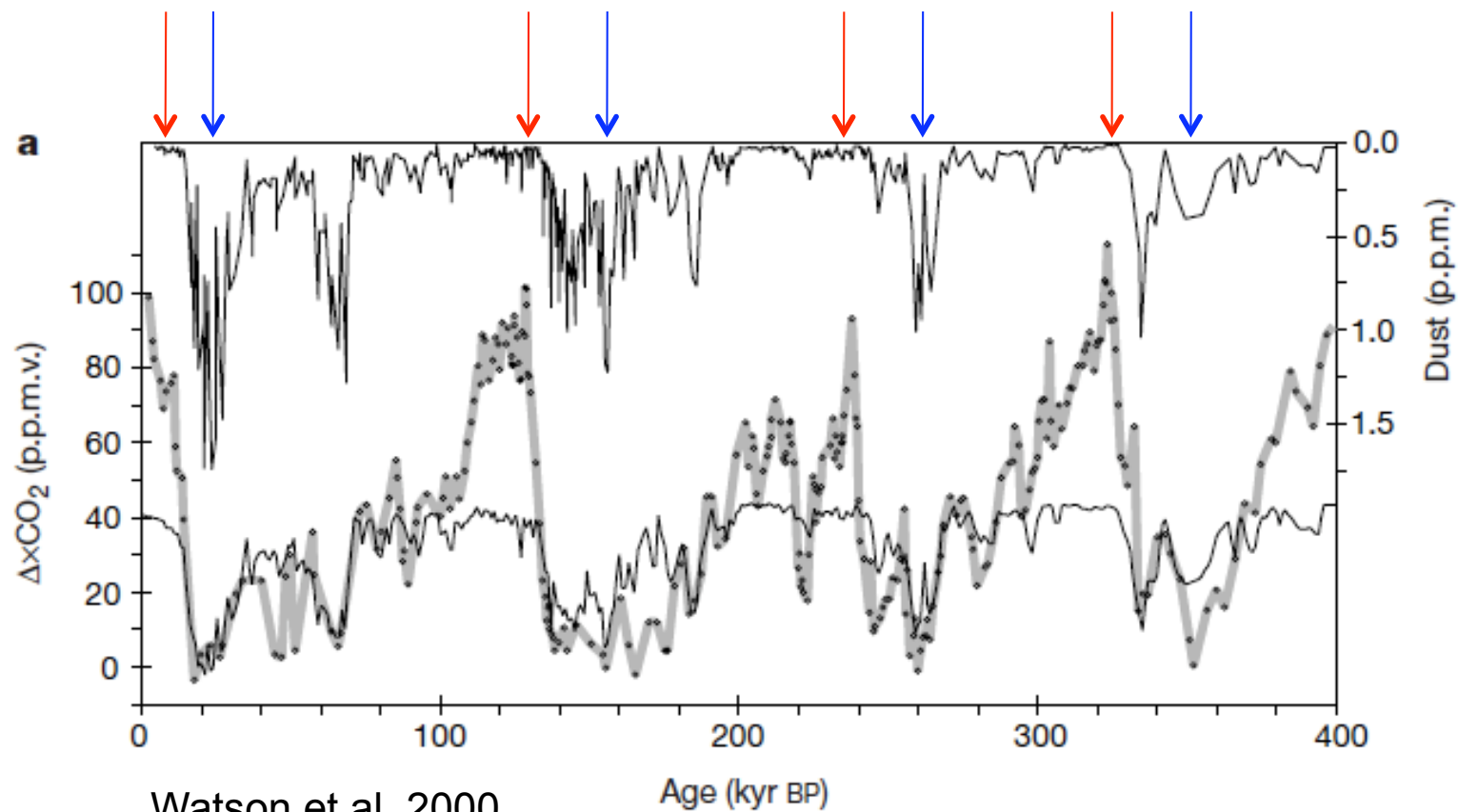
Eisen
Defizit



[PO₄] μmol L⁻¹ in der 50 m Deckschicht
Reid, Limnol. Oceanogr., 1962

Eisenzufuhr in den Ozean variiert ...

... auf glazial-interglazialen Zeitskalen



Watson et al. 2000

Petit et al. 1999

Eisenzufuhr in den Ozean variiert ...

... auf glazial-interglazialen Zeitskalen

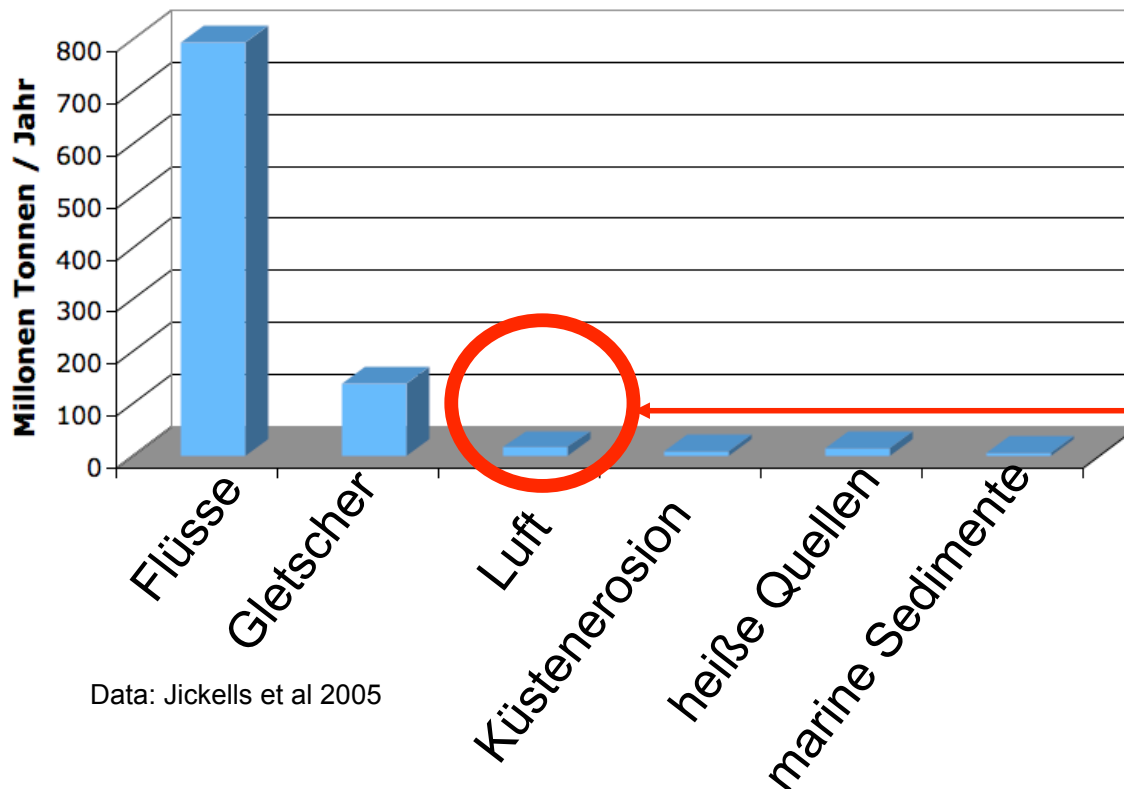
... auf saisonalen Zeitskalen

(starke Stürme liefern Staub von den Kontinenten)

Ocean Iron Fertilization
(OIF)

‘Give me half a tanker of iron and I will give you an ice age’, John Martin

1989



Data: Jickells et al 2005

Die wichtigste Eisenquelle in den offenen Ozean: 16 Millionen Tonnen Staub pro Jahr, ca. 1 Million Tonnen -> in den Südozean

Ein Störungsexperiment

... um Struktur und Funktion des pelagischen Ökosystems zu untersuchen.

- Wie wird das Ökosystem reagieren?
- Welche Konsequenzen ergeben sich im Karbonatsystem (CO₂)?
- Wie hoch wird die Exportproduktion sein?

Die Störung:

20 t Eisensulfat wird über 300 km² eingetragen

≈ 6 t Eisen ≈ 0.01 g Fe m⁻²

(eine 4000 m Wasserschicht enthält ca. 10 mal mehr Fe)

Das Ziel: die Konzentration in der Deckschicht soll 2 nmol L⁻¹ betragen
(Leitungs- oder Mineralwasser enthält 100 mal höhere Konzentrationen)

Verhindere eine zu starke Ausdehnung des Fleckens,
indem das Zentrum eines mesoskaligen Eddies gedüngt wird.

Ein guter Eddy sollte ...

... mindestens 2 Monate lang stabil sein.

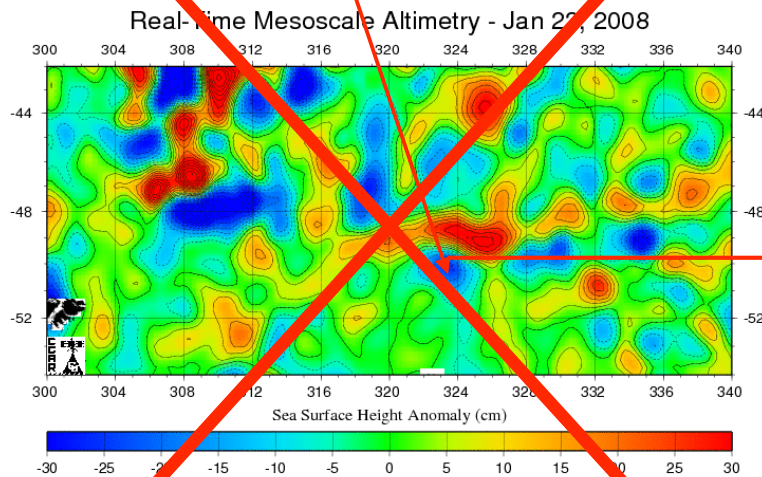
... **hohe Nährsalzkonzentrationen** aufweisen.

... eine **Saatpopulation Phytoplankton** beherbergen
von mindestens 0.5 mg Chlorophyll m⁻³.

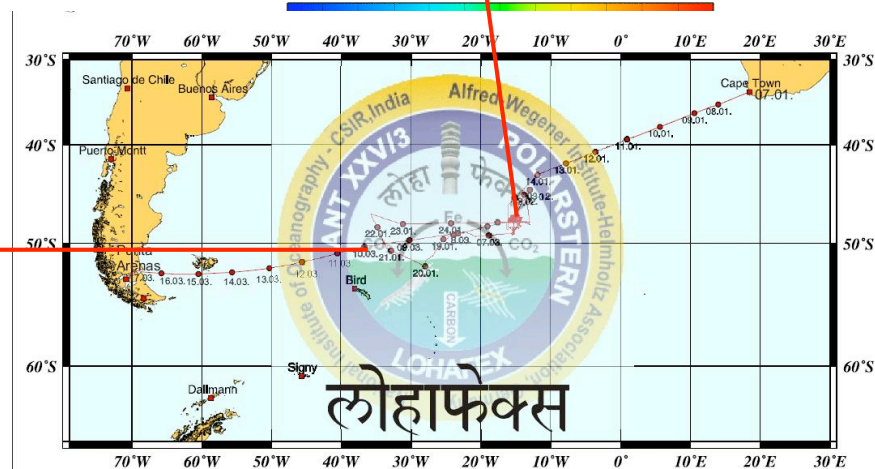
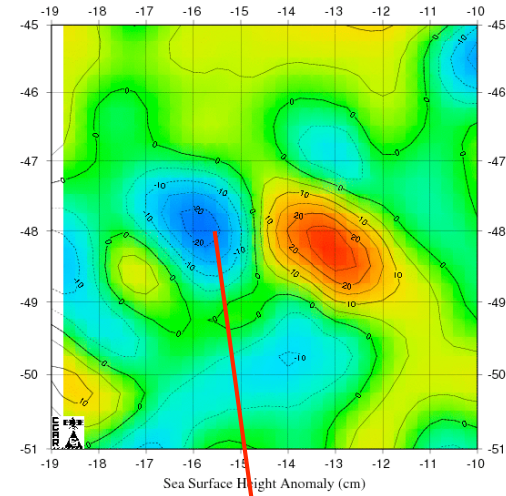
Das Untersuchungsgebiet

Ursprüngliches Ziel: Ein zyklonischer Ozeanwirbel bei ~50°S, 35°W, der allerdings 2009 keinen Bestand hatte. Auch andere Wirbel in der Region waren ungeeignet.

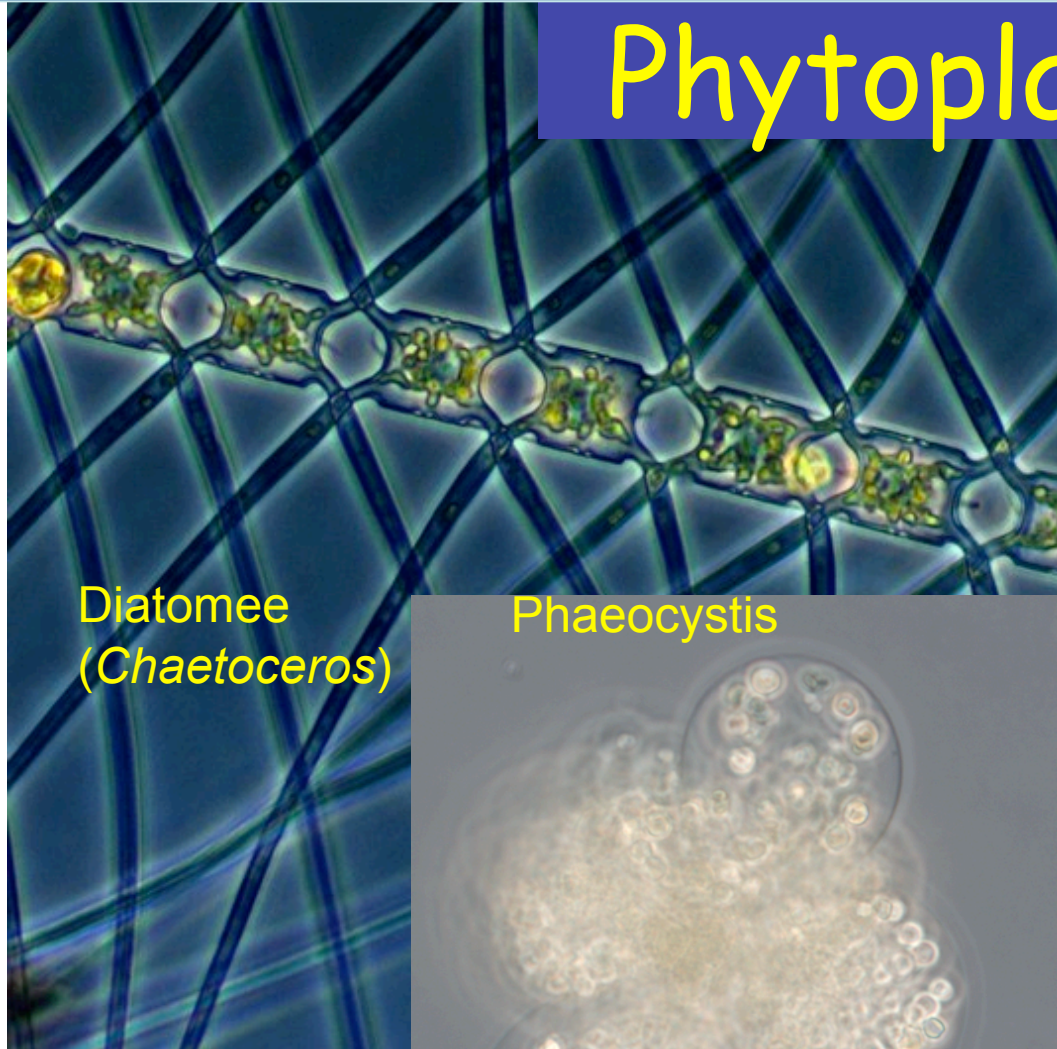
Der LOHAFEX Wirbel lag bei 48°S, 16°W.



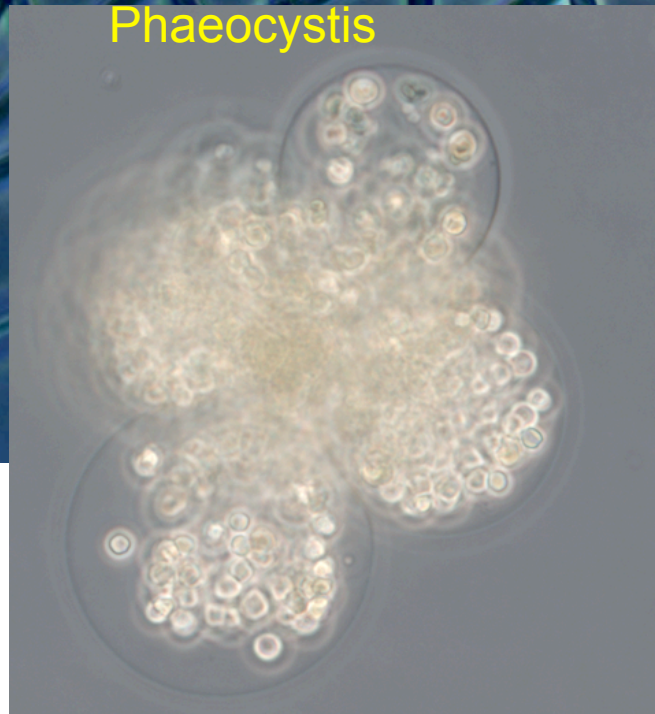
Real-Time Mesoscale Altimetry - Jan 25, 2009



Phytoplankton



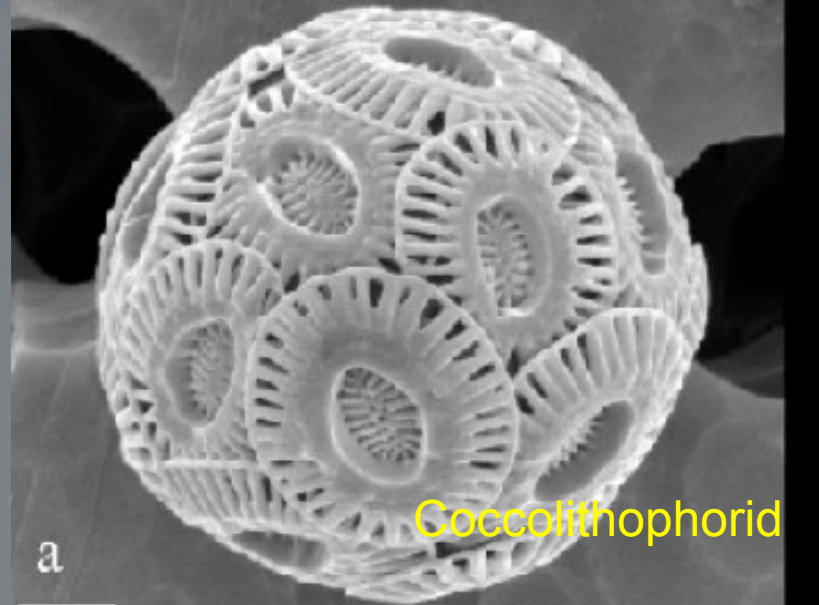
Diatomee
(*Chaetoceros*)



Phaeocystis



Dinoflagellat
(*Ceratum*)



Coccolithophorid

Wer wird gewinnen?

Phytoplankton

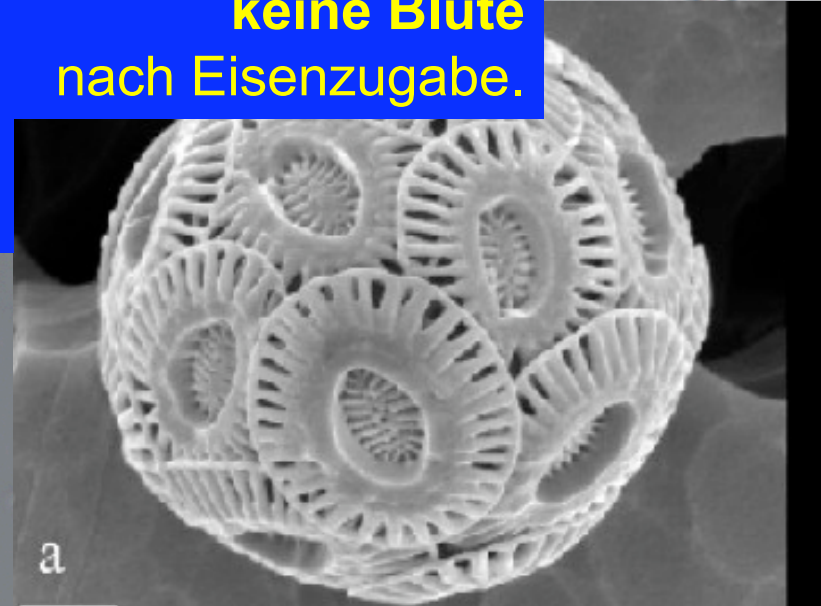
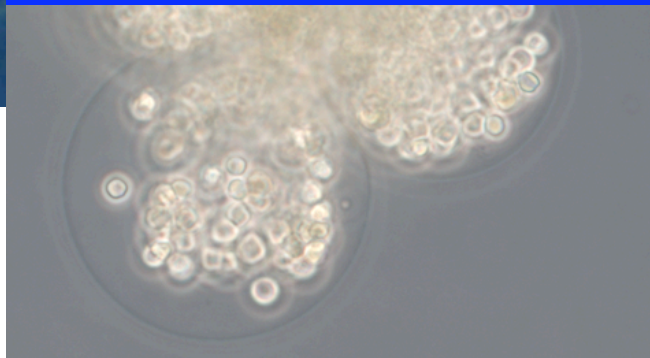
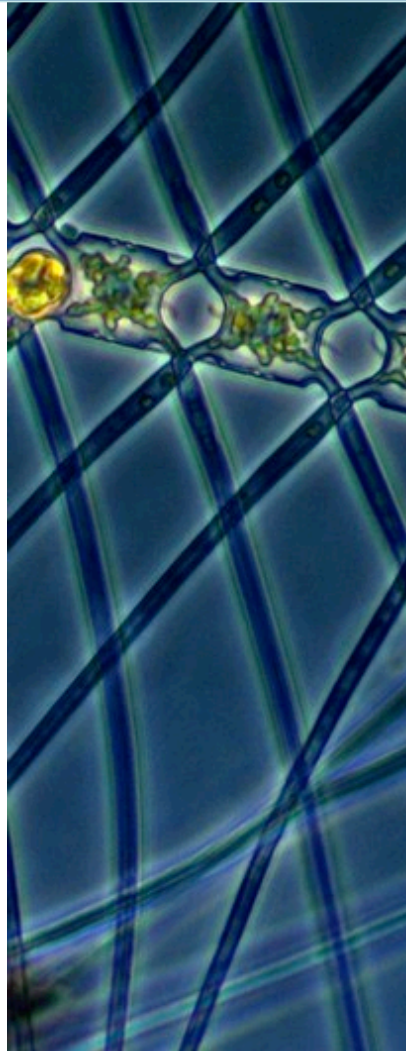
Diatomeen: hohe Wachstumsraten, aber **keine Blüte** wegen zu geringer Silikatkonzentrationen.

Ceratium: **keine Blüte** nach Eisenzugabe.

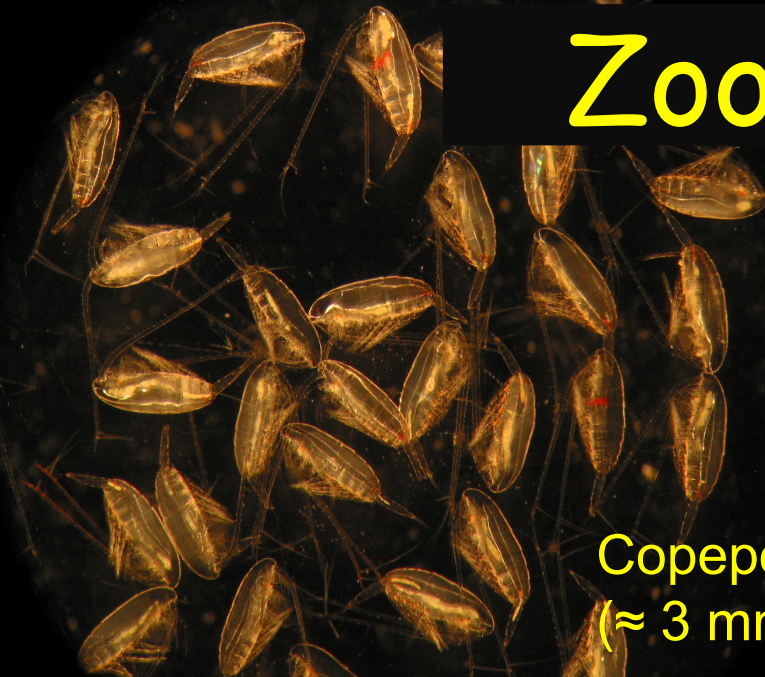
Phaeocystis: **deutlicher Anstieg** auf Eisenzugabe aber **keine Blüte** wahrscheinlich aufgrund des hohen Fraßdrucks.

Coccolithophoriden: **keine Blüte** nach Eisenzugabe.

Gewinner:
Picophyto-
plankton



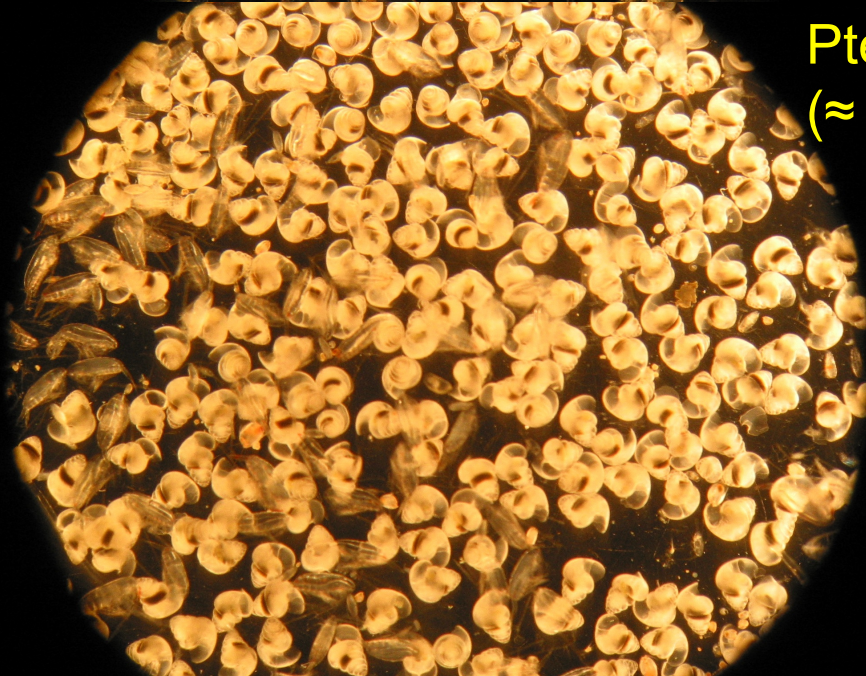
Zooplankton



Copepoden
(≈ 3 mm)



Amphipoden
(≈ 3 cm)



Pteropoden
(≈ 2 mm)

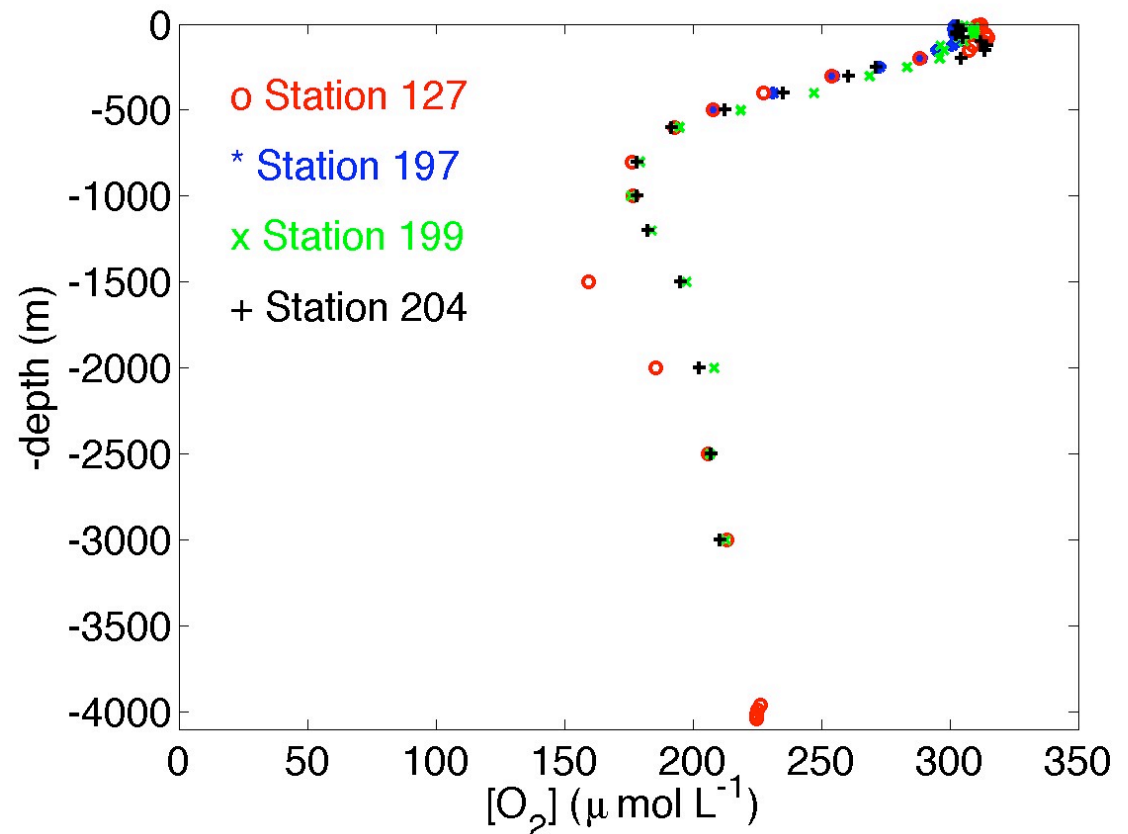


*Limacina
retroversa
australis*
(≈ 2 mm)

Gase: Sauerstoff

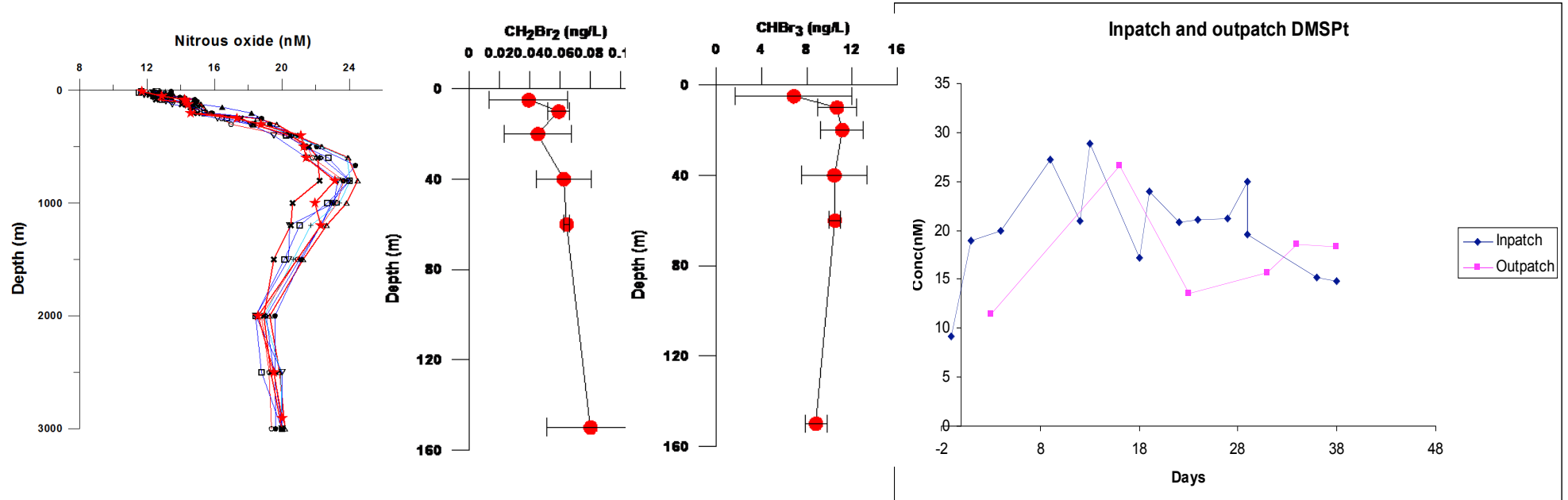
Geringe Schwankungen
zwischen den Stationen
im Tiefenwasser.

Aber hohe
Schwankungen in der
Deckschicht aufgrund
biologischer Produktion.



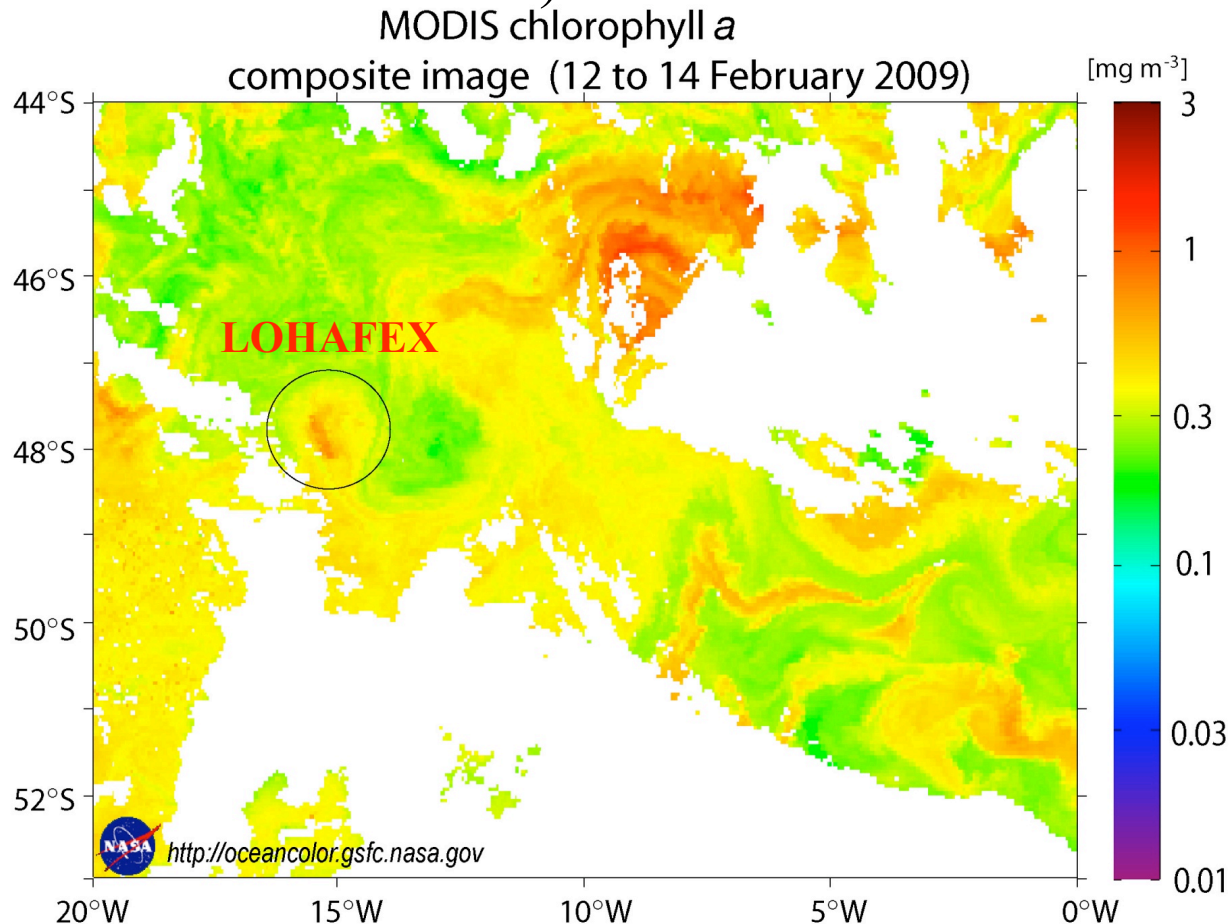
Gase: N₂O - CKW - DMS

Die Konzentrationen aller anderen gemessenen Gase lagen innerhalb der natürlichen Variabilitäten im offenen Ozean.
Datenquelle: www.awi.de/en/news/selected_news/2009/lohafex/



LOHAFEX Blüte aus dem Weltraum

Die Startbedingungen waren anders im Vergleich zu allen anderen Ozeandüngungsexperimenten (z.B. geringer Gehalt an Silikat im Oberflächenwasser)



Phytoplankton reagierte sofort auf EISEN (hohe Fv/Fm)

Moderater Chlorophyll-Anstieg (Maximum ~1.7 mg m⁻³)

PP erhöht um den Faktor 2

Geringe Änderungen in der bakteriellen Biomasse und Produktion.

CO₂ Aufnahme? Kohlenstoff Export?

Parameter	LOHAFEX	EIFEX
Chlorophyllanstieg	F = 2-3	F = 5
System	rezirkulierend	exportierend
Biomasseverbleib	im oberen Pelagial	Tiefsee
C-Aufnahme	gering	hoch

Schlussfolgerungen 1

Eisenzugabe stimuliert die Produktion.

EIFEX zeigte, dass Eisendüngung in HNLC-Gebieten Diatomeen stimuliert, günstige Rahmenbedingungen vorausgesetzt. Kohlenstoff wird exportiert.

LOHAFEX zeigte, dass Eisendüngung in HNLC-Gebieten, die arm an Silikat sind und reich an Zooplankton, nicht immer Algenblüten erzeugen.

Picophytoplankton und **Zooplankton** profitierten. Positive Effekte für höhere trophische Stufen sind wahrscheinlich.

Schlussfolgerungen 2

CO₂ Aufnahme und C-Export hängen also nicht nur von der Chemie ab (NO₃ + PO₄ + Fe -> ...).

Zustand und Wirkungsgefüge des gesamten Ökosystems spielen hierbei eine entscheidende Rolle.

Wichtig sind die Startbedingungen, besonders:
die Hydrographie (Wirbel),
die Planktonzusammensetzung und
die Nährsalzkonzentrationen (Silikat, Eisen).

wichtigste Schlussfolgerung

Das Potential der Ozeandüngung durch Eisen als Maßnahme zur CO_2 Regulierung scheint geringer als bisher gedacht.

Spannungsfelder

Kontra Fe

The Times

Rogue ship sails into storm over experiment

Bobby Jordan

Critics say dumping fertiliser into ocean to 'fix' climate change is fraught with risk

Pro Fe

International Emissions Trading Association (IETA)

"I do not support the view that this experiment suggests that OIF in the rest of the Southern Ocean is unlikely to make a contribution to climate mitigation".

...and...

"I would be reluctant to extrapolate from any one experiment anything having to do with the efficacy of iron fertilization as a carbon-sequestration strategy," says Coale." [Science, ScienceInsider, March 31, "Debate: Do Gobbled Algae Mean Carbon Fix Sunk?"]

Geoengineering oder Grundlagenforschung?

Geoengineering ist die bewusste Manipulation des Systems auf großen Skalen – meist global. Geoengineering wird durchgeführt, um menschliche Eingriffe umzukehren oder zumindest zu reduzieren. (R.A. Frosch, Physics Today 3/2009)

Geoengineering: Entwicklung, Verbesserung und Anwendung von Methoden, um atmosphärische Treibhausgase oder einfallende Sonnenstrahlung zu reduzieren und so den Klimawandel abzumildern. **Die LOHAFEX Ergebnisse eines geringen C-Exports sind hierfür ungünstig.**

Grundlagenforschung: Untersuchungen zur Struktur und Funktion von Ökosystemen unter verschiedensten Bedingungen. **Die LOHAFEX Ergebnisse sind ein großer Vorschnitt, um das System zu verstehen und zu modellieren.**

Weitere Entwicklung

Die **London Convention** und das **London Protocol (LC/LP)** der International Maritime Organization **IMO** erarbeitet ein sehr umfangreiches

“Assessment Framework for Scientific Research Involving Ocean Fertilization”.