



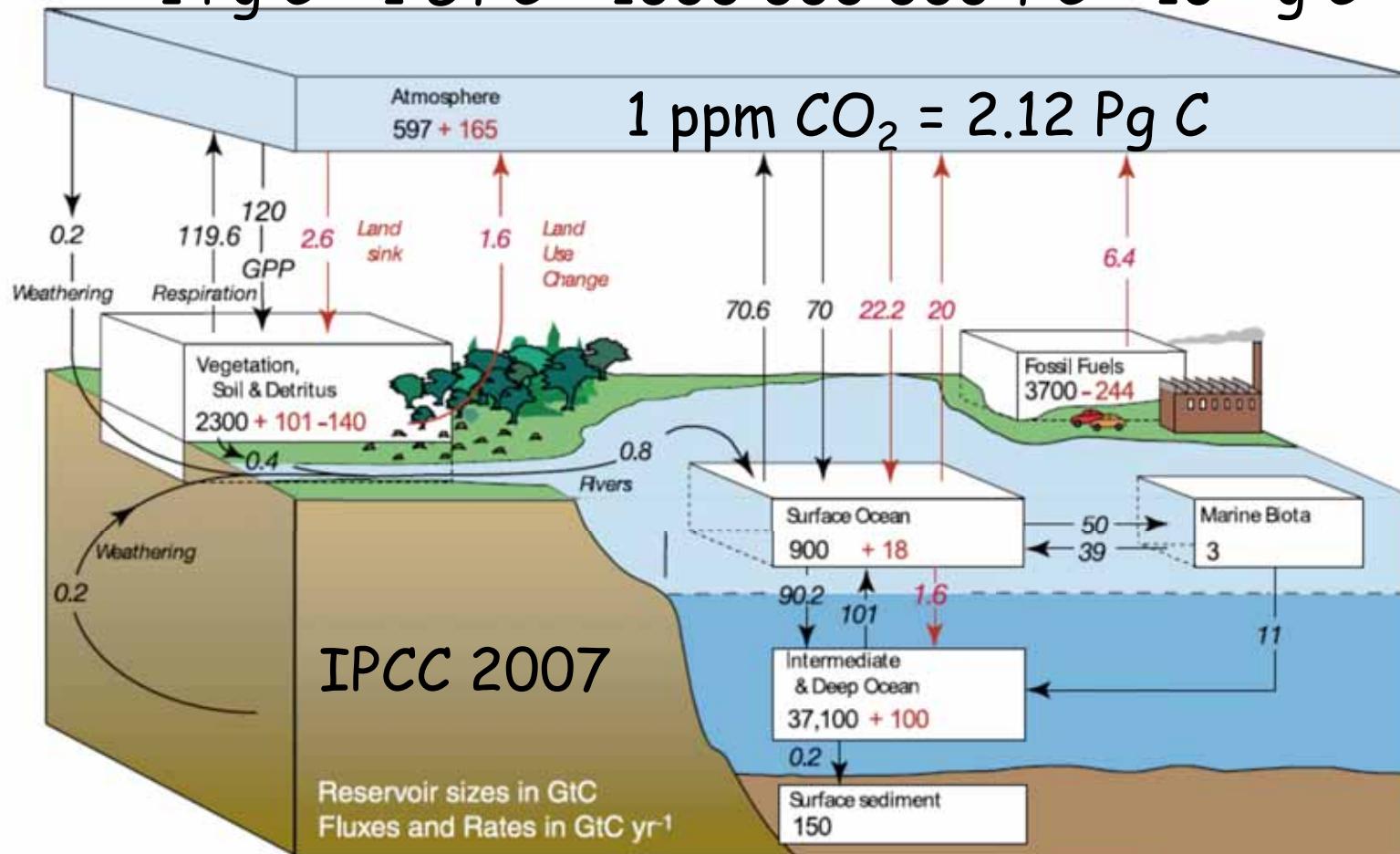
Der Ozean - Größter CO₂-Speicher im globalen Kohlenstoffkreislauf

Prof. Dr. Dieter Wolf-Gladrow
Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Foto: L. Tadday

System Erde: Der globale Kohlenstoffkreislauf

$$1 \text{ Pg C} = 1 \text{ Gt C} = 1000 \text{ 000 000 t C} = 10^{15} \text{ g C}$$



Take-home message

Der Ozean enthält etwa 50mal soviel Kohlenstoff wie die Atmosphäre.

Physikalische + biologische Kohlenstoffpumpen

Ozeanversauerung: das andere CO_2 -Problem
(neben Erwärmung)

Der Ozean kann noch mehr CO_2 aufnehmen, aber langsam



In welcher Form liegt Kohlenstoff im Ozean vor?

CO_2 (gelöstes Gas)	300 Pg C
HCO_3^- (Hydrogenkarbonat, Bikarbonat)	34300 Pg C
CO_3^{2-} Karbonationen	2700 Pg C

Gelöster anorganischer Kohlenstoff

$\text{CO}_2 + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} = \sum \text{CO}_2 = \text{DIC}$ (dissolved inorganic carbon) macht 98% des Kohlenstoffs im Ozean aus.

DOC gelöster organischer Kohlenstoff	700 Pg C
C in Lebewesen	3 Pg C



Warum enthält der Ozean viel mehr Kohlenstoff als die Atmosphäre?

CO_2 löst sich nicht einfach im Wasser (wie z.B. Sauerstoff, O_2): es reagiert mit Wasser und bildet Kohlensäure (H_2CO_3), die in Bikarbonat (HCO_3^-) und Wasserstoffionen (H^+) zerfällt: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$ (Versauerung)

pH = 8.1 \rightarrow 90% HCO_3^- , 9% CO_3^{2-} , nur 1% CO_2

Gasaustausch Atmosphäre-Ozean: nur 1% des DIC direkt beteiligt (Atmosphäre 'sieht' nur 1% gelöstes CO_2 , aber viel mehr Kohlenstoff im Ozean gelöst)

System Atmosphäre + Ozean: O_2 zu 98% in Atmosphäre, Kohlenstoff zu 98% im Ozean



Wie ist Kohlenstoff im Ozean verteilt?

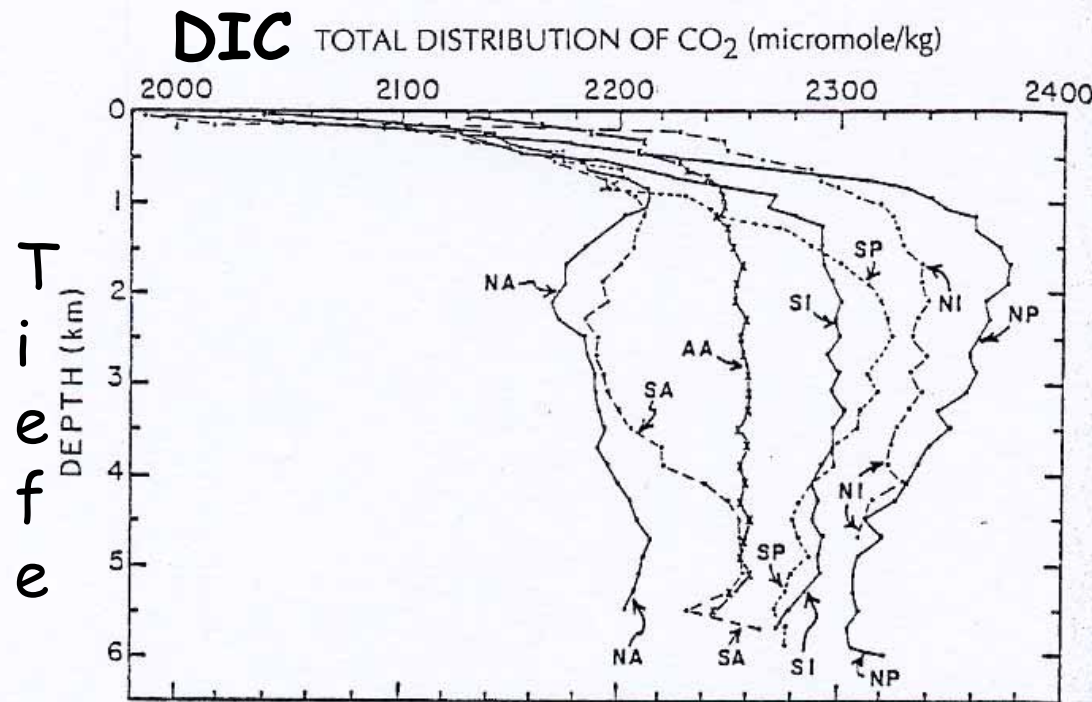


Figure 1. Depth distribution of the total CO_2 concentration in the global oceans. NA & SA = North & South Atlantic; NP and SP = North and South Pacific; NI and SI = North and South Indian Oceans; and AA = Antarctic ocean.

Inhomogene Verteilung:
 unter $2000 \mu\text{mol kg}^{-1}$ bis
 fast $2400 \mu\text{mol kg}^{-1}$, d.h.
20% Unterschied

1. Geringe Werte an der Oberfläche.
2. Maximale Werte in mittleren Tiefen.
3. Zunahme in mittleren Tiefen vom Nordatlantik zum Nordpazifik.

Takahashi, T. 1989. The carbon dioxide puzzle. *Oceanus*, 32: 22-29.



Welche Prozesse erzeugen die inhomogene Verteilung von C im Ozean?

Vermischung im Ozean (bis 1000 Jahre) deutlich langsamer als in Atmosphäre (1 Jahr zwischen Hemisphären)

Physikalische Kohlenstoffpumpe:

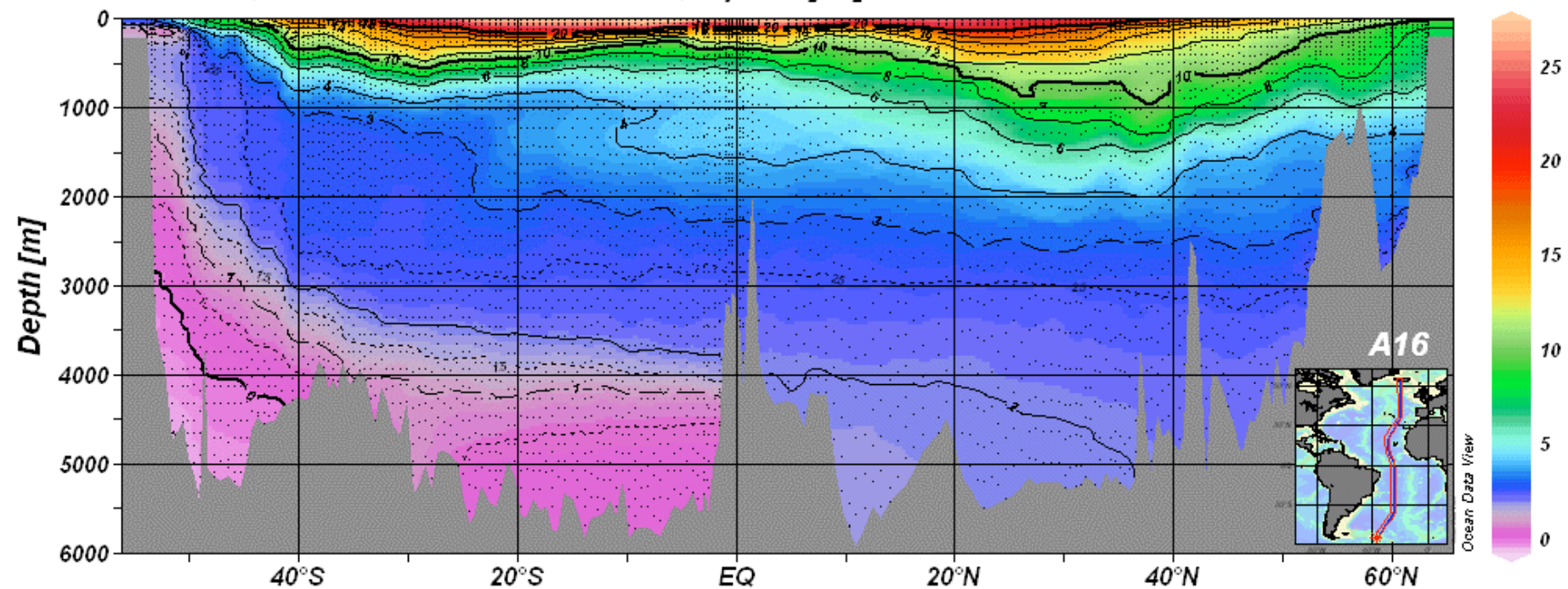
Die Löslichkeit von CO_2 hoch in kaltem Wasser
→ mehr CO_2 und DIC in kaltem Wasser
+ Zirkulation



Der Ozean ist kalt

Die Warmwassersphäre ist auf eine dünne
Oberflächenschicht begrenzt.
... der größte Teil des Ozeans ist kalt (unter 5°C)
und CO₂-reich

eWOCE (Reiner Schlitzer) T_{pot-0} [°C]



Welche Prozesse erzeugen die inhomogene Verteilung von C im Ozean?

Biologischen Kohlenstoffpumpen:

1. Organische C-Pumpe: Produktion von organischem Material an der Meeresoberfläche durch Mikroalgen, ..., Transport in Tiefe in Form von Algenaggregaten + Kotballen, Remineralisation und Freisetzung von CO_2 .
 2. Kalziumkarbonat (CaCO_3) Pumpe: Produktion von Kalkschalen, Absinken in Tiefe, Auflösung
- ... kompliziert, aber wichtig: biol. C-Pumpen erzeugen 75% der DIC-Vertikalgradienten



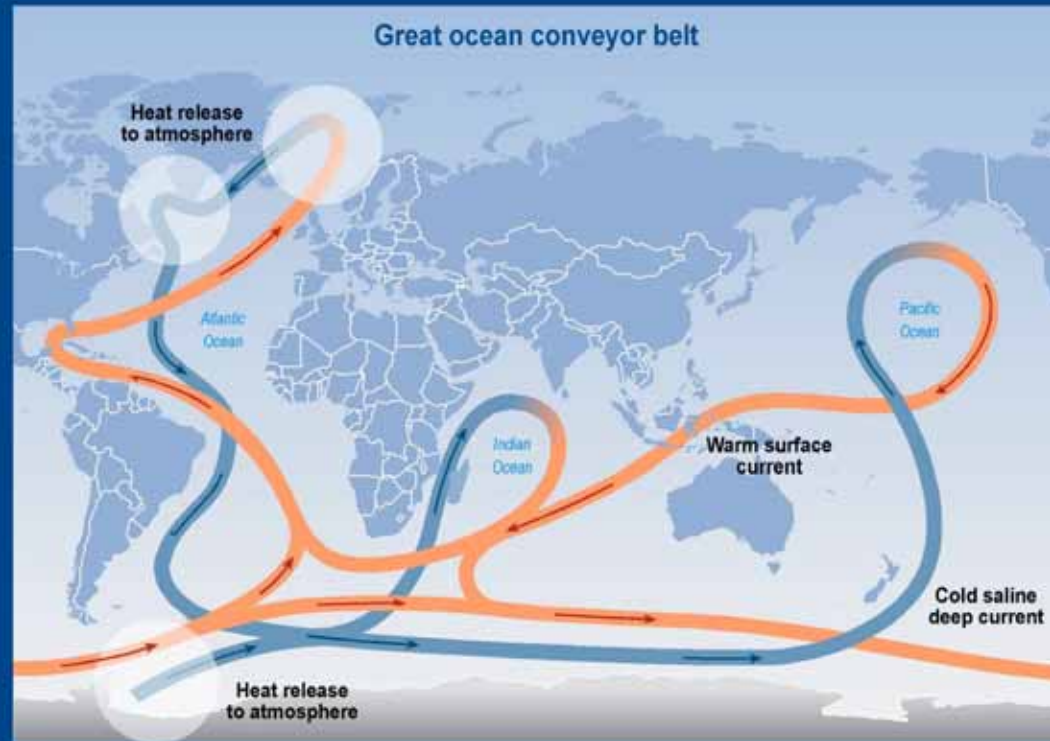
Biologische Kohlenstoffpumpen: Beteiligte Organismen



... und viele
andere!



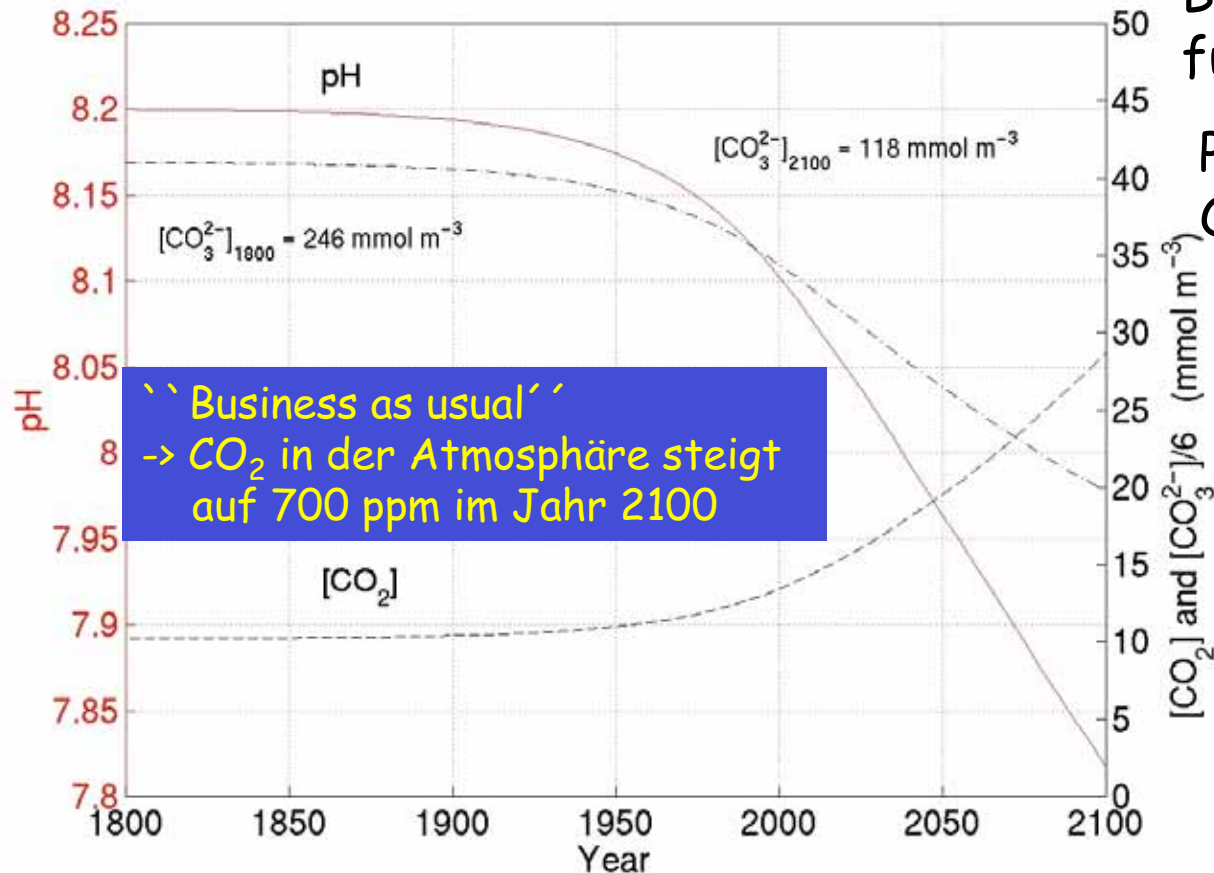
Das ozeanische Förderband



Biologische
Kohlenstoff-
pumpen ->
mehr C in
mittleren
Tiefen im
Pazifik
verglichen
mit Atlantik



Ozeanversauerung betrifft zunächst den Oberflächenozean



Bessere CO₂-Versorgung für Mikroalgen

Probleme für kalfällende Organismen (Kalk = CaCO₃)

Physiologie von marinen Pflanzen und Tiere

Ökosysteme: Artenzusammensetzung, Funktion

Verringerte Absorption von Schallwellen
-> Ozeanakustik, Wale

Wolf-Gladrow et al., Tellus, B51(2), 461-476, 1999.



Flügelschnecke *Limacina retroversa australis* (ca. 2 mm) aus dem Südlichen Ozean (Foto: Wolf-Gladrow)





Der Ozean nimmt gegenwärtig etwa 2 Pg C pro Jahr auf (netto): physikalische Kohlenstoffpumpe.

Kann der Ozean noch mehr CO₂ aufnehmen?

Ja, aber nur langsam (Förderband, Revelle-Faktor) und bei weiterer Versauerung.