



- -der Ozean als Speicher von Kohlenstoff
- -das Klima-Langzeitgedächtnis

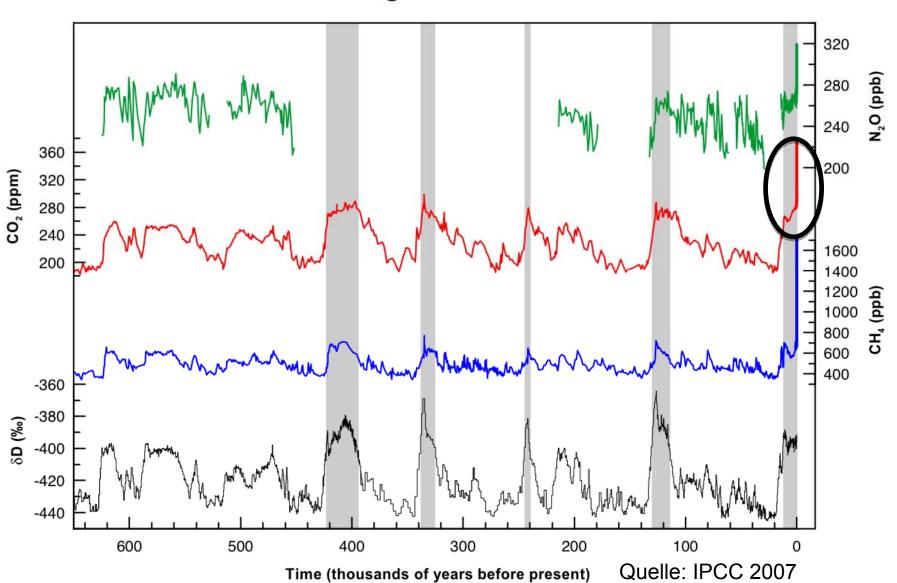
# Potentielle Schaltstellen im Ozean

- -Biologische Pumpe
- -Meereis
- -Gashydrate

Schlußfolgerungen

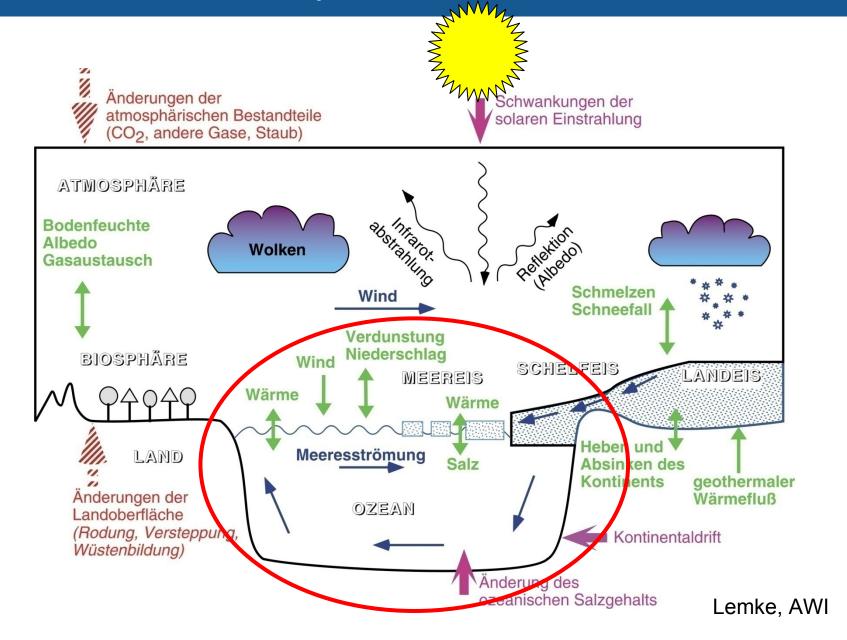


#### Glacial-Interglacial Ice Core Data



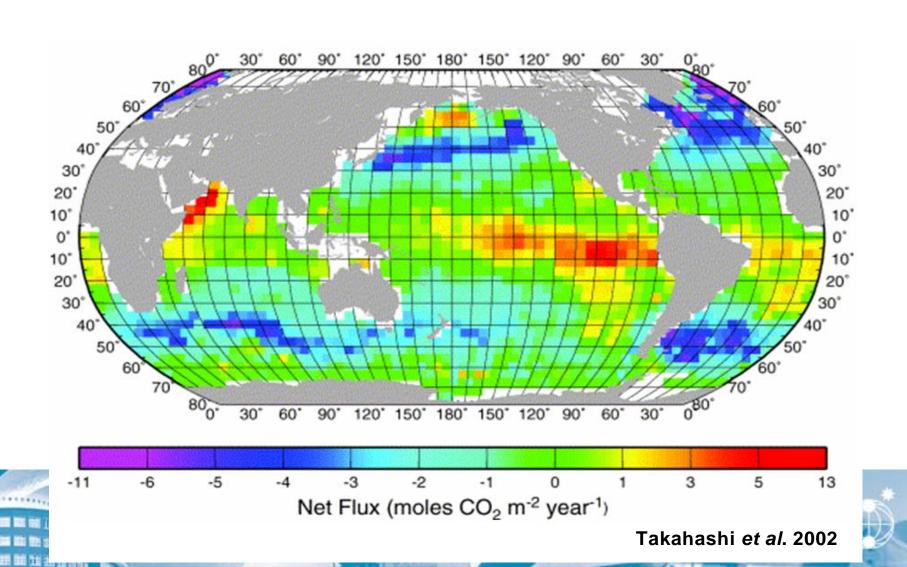


Der Ozean im Erdsystem



# HELMHOLTZ ASSOCIATION

# CO<sub>2</sub> Netto Flüsse Ozean - Atmosphäre



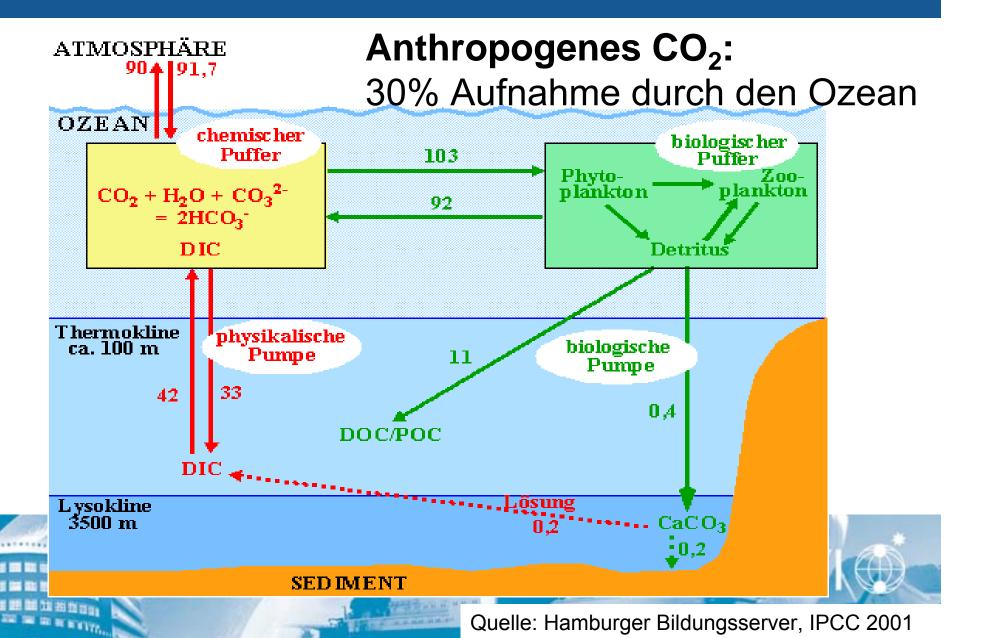
# Der Ozean: Größter CO<sub>2</sub>-Speicher im globalen Klimasystem



Atmosphäre 600 GtC Quelle: IPCC 2007 Land ca. 2.300 GtC Ocean ca.38.000 GtC Atmosphere 597 + 165120 Land Land 119.6 0.2 Use Change Weathering Respiration 70 22.2 20 70.6 Vegetation, Fossil Fuels Soil & Detritus 3700 - 244 000000 2300 + 101 - 140 0.4 = 0.8 **Fivers** Surface Ocean Marine Biota 900 + 18 Weathering 90.2 1.6 101 Intermediate & Deep Ocean 37,100 + 1000.2 Reservoir sizes in GtC Surface sediment  $1 \text{ Gt C} = 1 \text{ Pg C} = 10^{15} \text{ g C}$ Fluxes and Rates in GtC yr-1 150

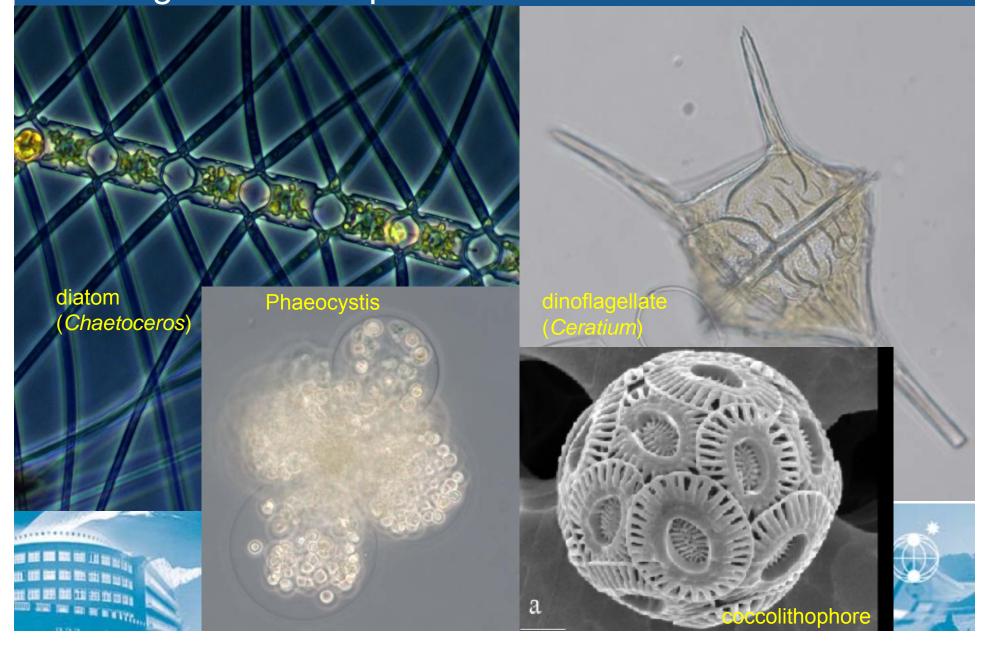


#### Der ozeanische Kohlenstoffkreislauf



Phytoplankton – Grundlage der Biologischen Pumpe





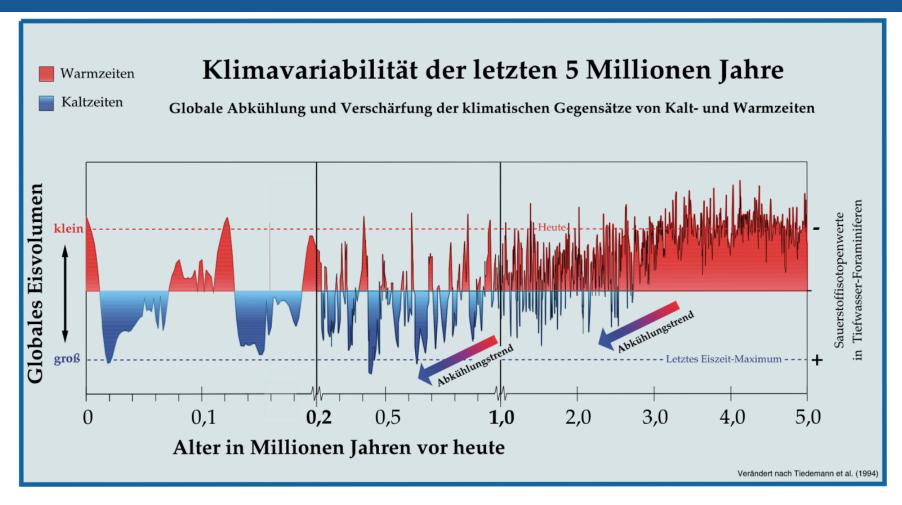


# Plankton als Proxy für Paläorekonstruktion





#### Klimavariabilität der letzten 5 Mio. Jahre







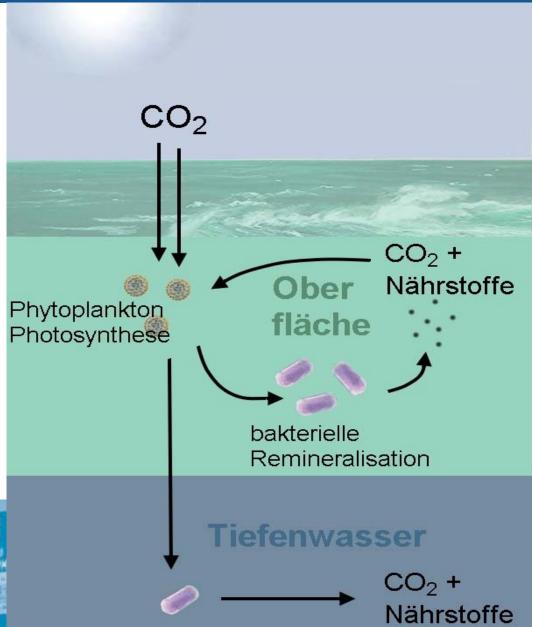


# Schaltstelle: Biologische Kohlenstoffpumpe

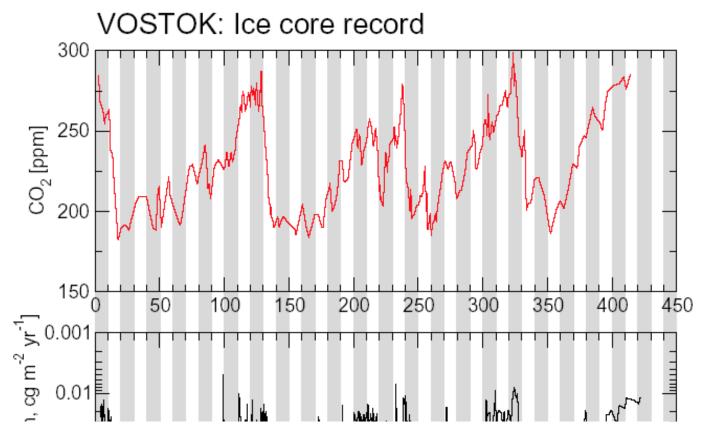
➢Änderung der biologischen C-Pumpe beeinflussen die Aufnahme von CO₂ im Ozean

Quelle: Hamburger Bildungsserver



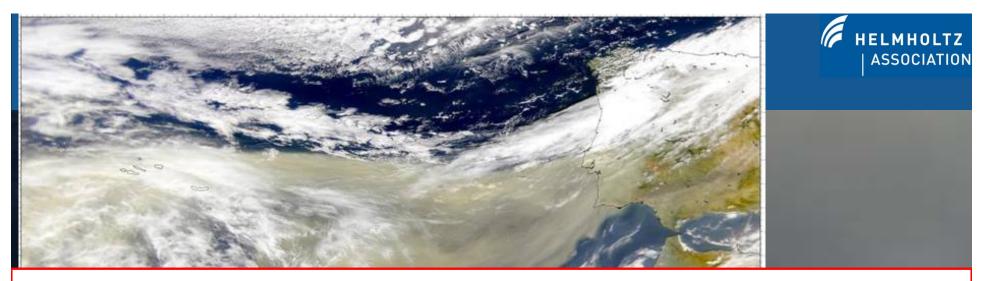






Während der Eiszeiten war der Staubfluss 25x höher als in den Warmzeiten (über die letzten 8 Zyklen).

Dies beeinflusst den Strahlungshaushalt, die Primärproduktion im Ozean in Fe-limitierten Gebieten und die Sedimentationsgeschwindigkeit (Ballasting).

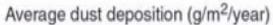


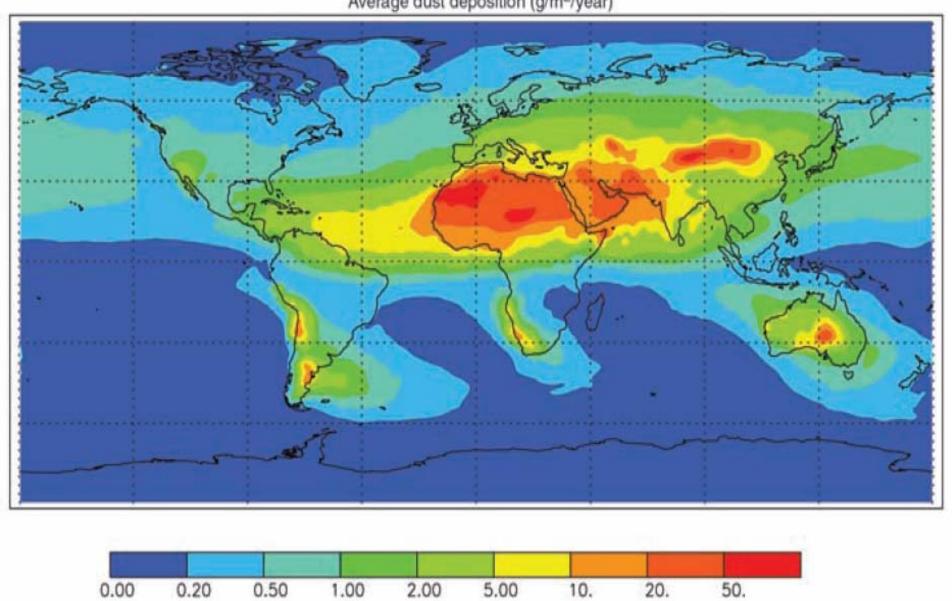
Staubeintrag ist die wichtigste Eisenquelle für den offenen Ozean: 16 Millionen Tonnen / Jahr mit Staub aus Wüsten,



# Mittlere Staubdeposition (g/m²/yr)











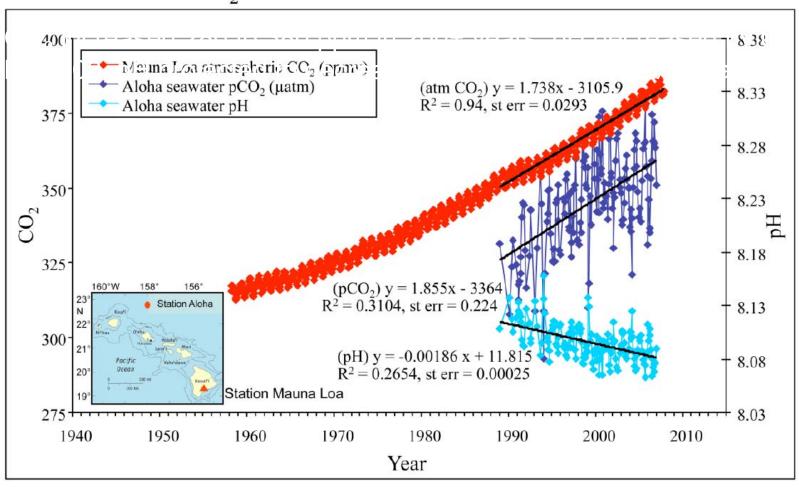
## ohne Eisen

mit Eisen



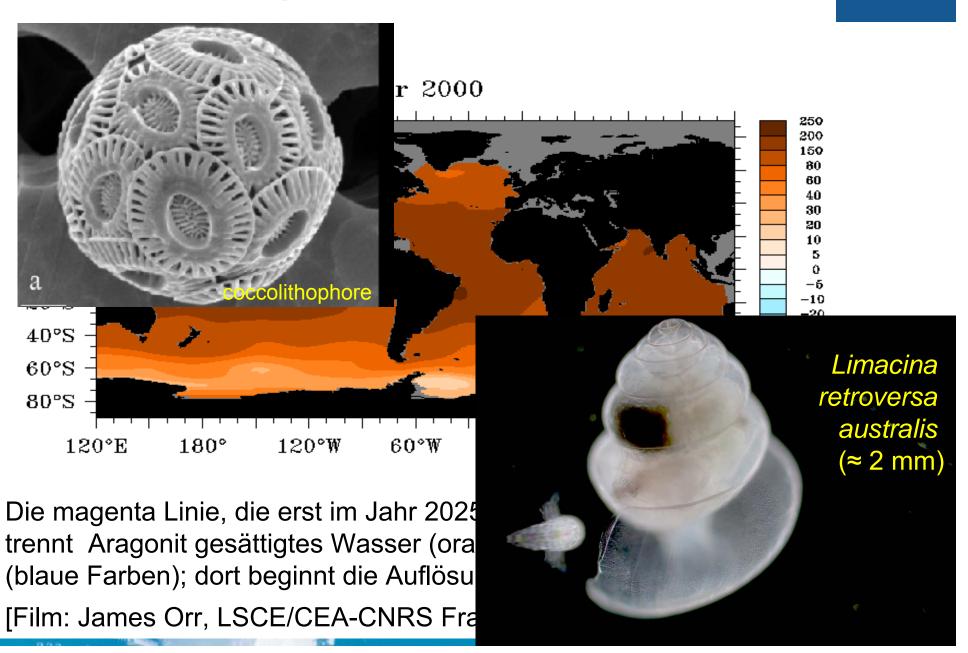
### Ozeanversauerung

#### CO<sub>2</sub> Time Series in the North Pacific Ocean



Atmosphärisches CO<sub>2</sub> in Mauna Loa (ppmv) und ozeanischer Oberflächen pH and pCO<sub>2</sub> (µatm) an der Station Aloha (subtrop. Nordpazifik, Fabry 2008).

#### Ozeanversauerung – Biodiversität





### Schaltstelle Biologische C-Pumpe

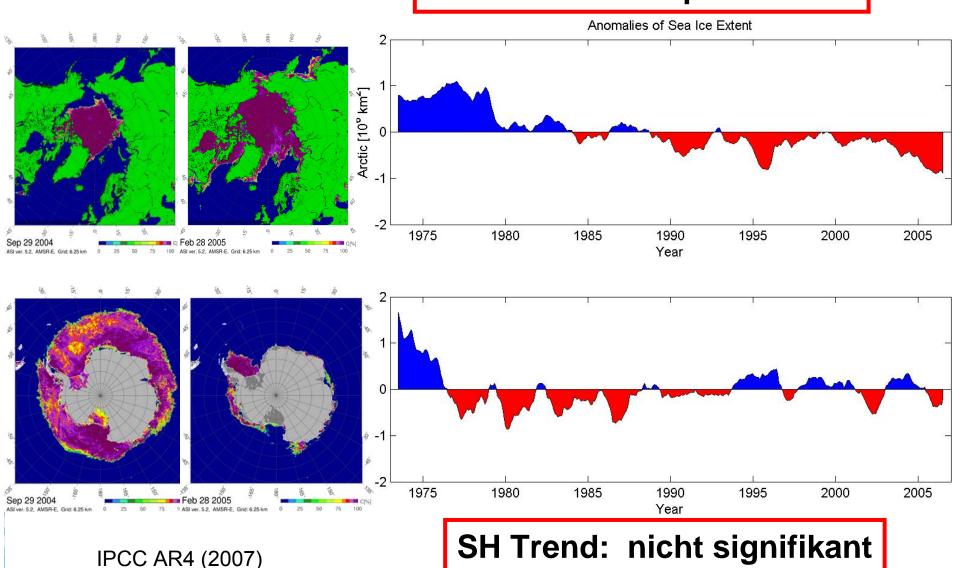
- ➤ Der Effekt der biologischen C-Pumpe ist langsam, wirkt aber auf großer Fläche, daher sind auch kleine Änderungen langfristig von großer Wirkung.
- ➤ Staubeintrag (=Eiseneintrag) kann unter geeigneten Bedingungen die Produktivität des Phytoplanktons steigern und C-Sequestrierung im Ozean erhöhen
- ➤ Versauerung des Ozeanwassers kann die Kalkbildung behindern und damit CO<sub>2</sub> Freisetzung reduzieren (neben vielen anderen Effekten)
- langsam wirkende negative Rückkopplung



#### Meereis in Arktis und Antarktis



#### NH Trend: -2.7% pro Dekade



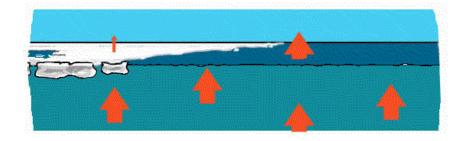
IPCC AR4 (2007)

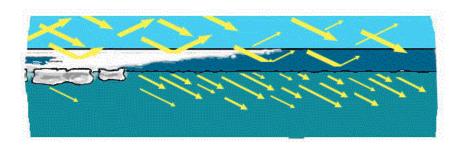
#### Funktionen des Meereis



#### Meereis

- ...isoliert die relativ warme Meeresoberfläche von der kalten polaren Atmosphäre.
- ...reguliert den Austausch von Wärme, Feuchtigkeit und Salzgehalt in den polaren Meeresgebieten.
- ...reflektiert das Sonnenlicht viel stärker als die offene Wasseroberfläche.
- ...bietet einen wichtigen Lebensraum von Mikroalgen bis zu Eisbären.





Gerdes, AWI



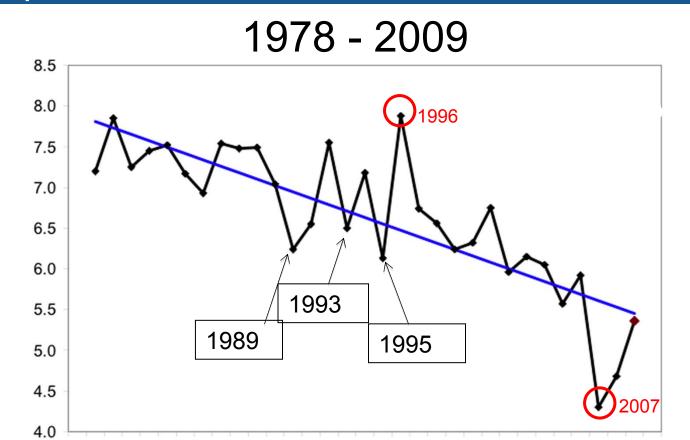
# Algen im Eis





# Beobachtete Eisausdehnung in der Arktis im September



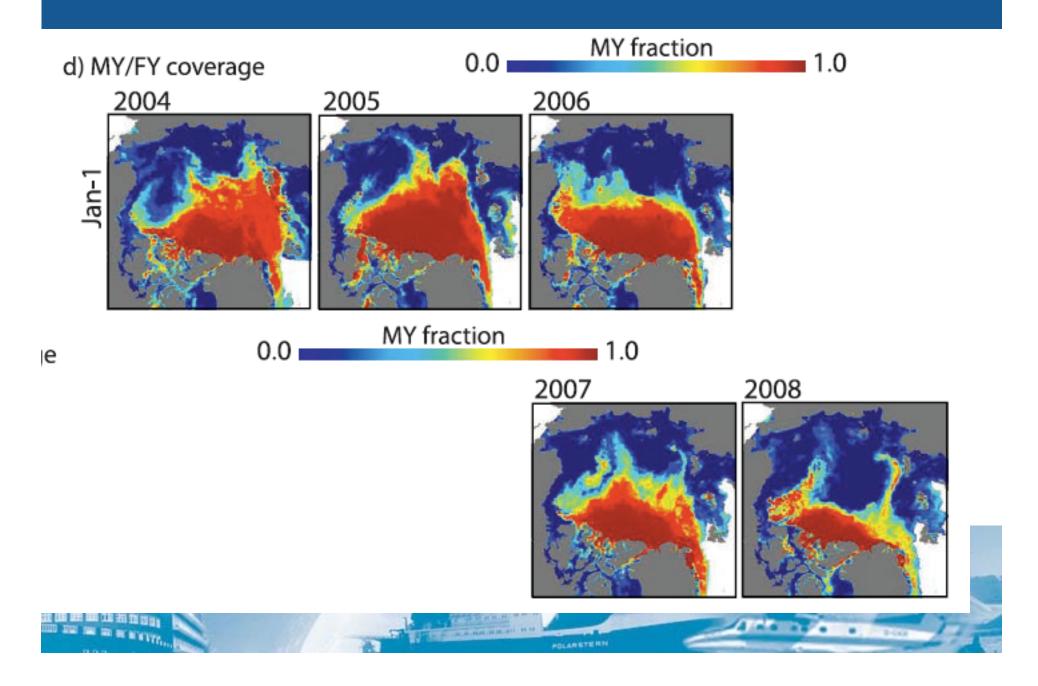


Quelle: Gerdes, AWI



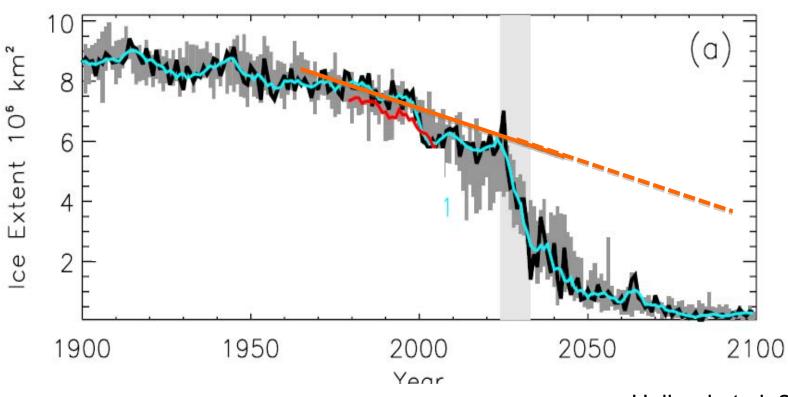
#### HELMHOLTZ ASSOCIATION

# Ausdehnung von mehrjährigem Meereis



# Modellvorhersagen Meereisausdehnung





Holland et al. 2006



#### Schaltstelle Meereisverlust



- ➤ Die Eisbedeckung im Sommer 2007 war extrem niedrig.
- Die Hauptursache scheint die atmosphärische Zirkulation gewesen zu sein.
- ➤ Die langfristig reduzierte Eisdicke hat das arktische Meereis anfällig gemacht.
- ➤ Für die zukünftige Entwicklung des arktischen Klimas ist die Eisdicke entscheidend.
- rasch wirkende positive Rückkopplung







# Methanhydrat

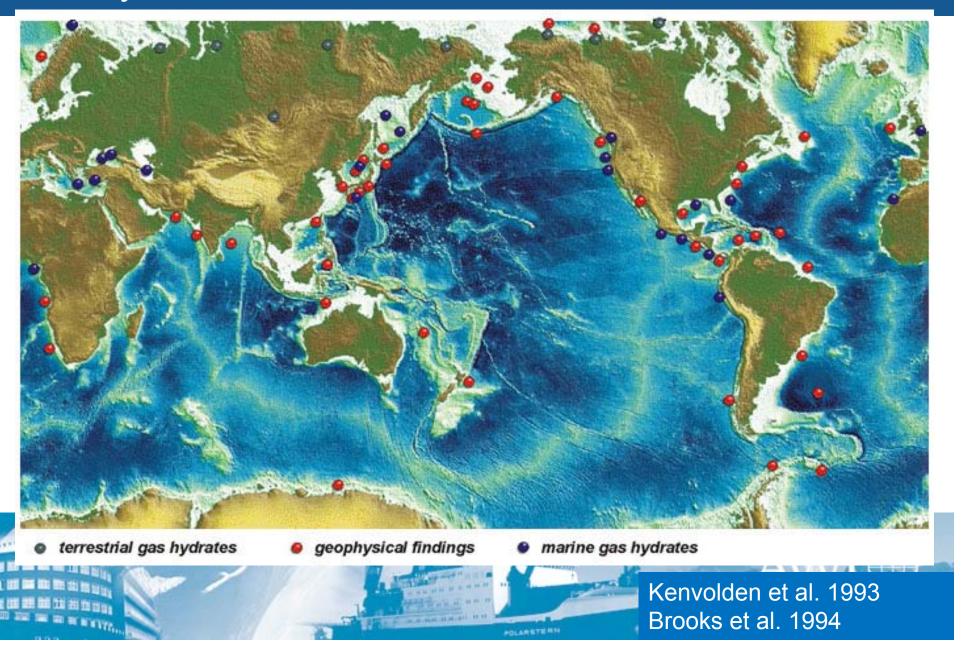








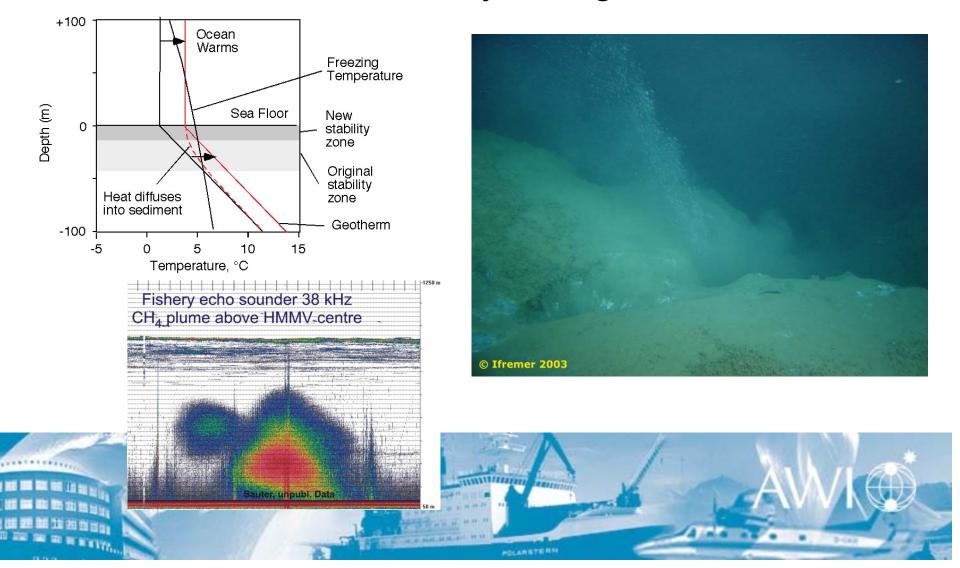
# Gashydratfunde im Ozean und an Land



#### Schaltstelle: Methanemission



#### Wie stabil sind die Methanhydratlagerstätten?



#### Schaltstelle: Methanemission



- Falls massive Destabilisierung von Methanhydraten auftreten sollte, kann es zu sehr rascher Klimaerwärmung kommen.
- ➤ Die Daten aus Eiskernen der Antarktis (EPICA 2008) zeigen im Verlauf der Klimaerwärmung nach der letzten Eiszeit Anstieg von Methan, das jedoch vorwiegend aus Feuchtgebieten stammt und nicht durch die Destabilisierung von marinen Gashydraten.
- ➤ Dies ist jedoch keine Entwarnung, da ungeklärt ist, wie sich die heutige Reduktion des Permafrosts auswirken wird.
- ➤ Sehr starke positive Rückkopplung

# Schlußfolgerungen (I)

Natürliche Regulationsmechanismen im System Erde (positive wie negative) sind in ihrer Sensitivität und ihrer Auswirkung noch nicht ausreichend erfasst worden

- >Wo liegen die Triggerpunkte?
- >Welche Auswirkungen haben sie auf die Klimaentwicklung?
- >Können wir die natürlichen

Regulationsmechanismen auch nutzen?

# Schlußfolgerungen (II)

Rasche und bisher noch nicht berücksichtigte Systemveränderungen sind nicht auszuschließen.

- ➤ Gute Beobachtungssysteme zur Erfassung der Veränderungen
- Verbesserung der Modellierung, um dieseProzesse einzubeziehen
- Regionale Auswirkungen können sehr stark von den mittleren Änderungen abweichen

# Schlußfolgerungen (II)

Betrachtung einzelner Prozesse oder Teilsysteme des Erdsystems ist unzureichend

- ➤ Bessere Analyse des Gesamtsystems
- Einbeziehung der Auswirkungen von Mitigations- und Adaptationsmaßnahmen

