

Phantome im Kohlenstoff - Klimasystem

Martin Heimann



1

Untersuchungsobjekt: Kohlenstoffkreislauf

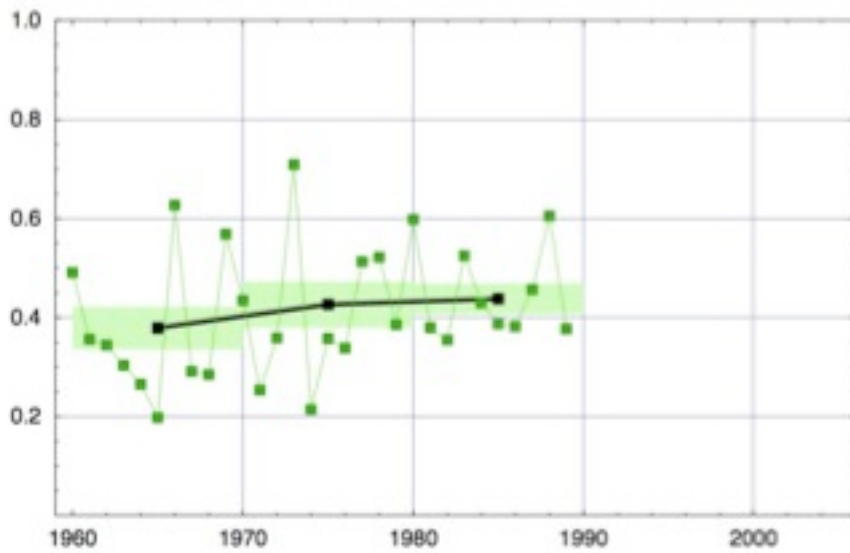


Wie gross sind die Austauschflüsse?
Welches sind die kontrollierenden Prozesse?
Wie gross ist die Rückkopplung?

2

Phantom I:
Ist der globale Kohlenstoffkreislauf nicht-linear?

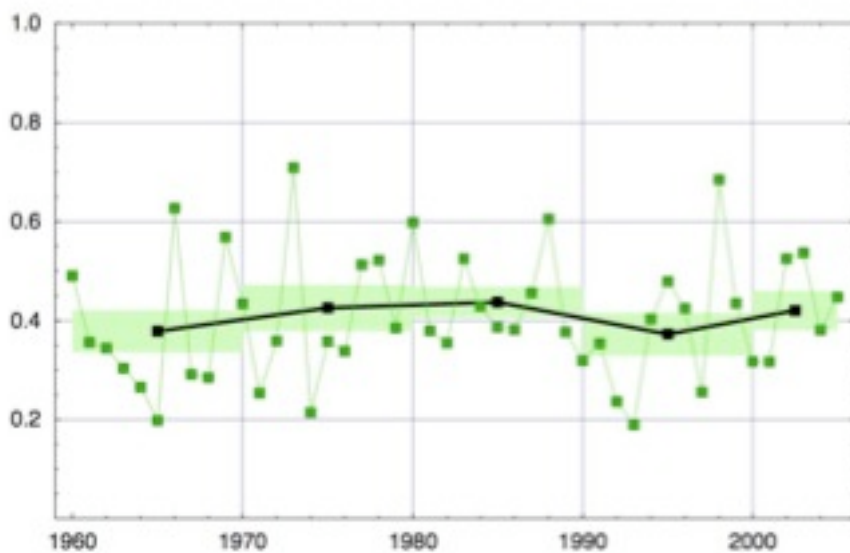
Globale "Airborne Fraction" $\frac{\dot{n}_a}{Q}$



3

Phantom I:
Ist der globale Kohlenstoffkreislauf nicht-linear?

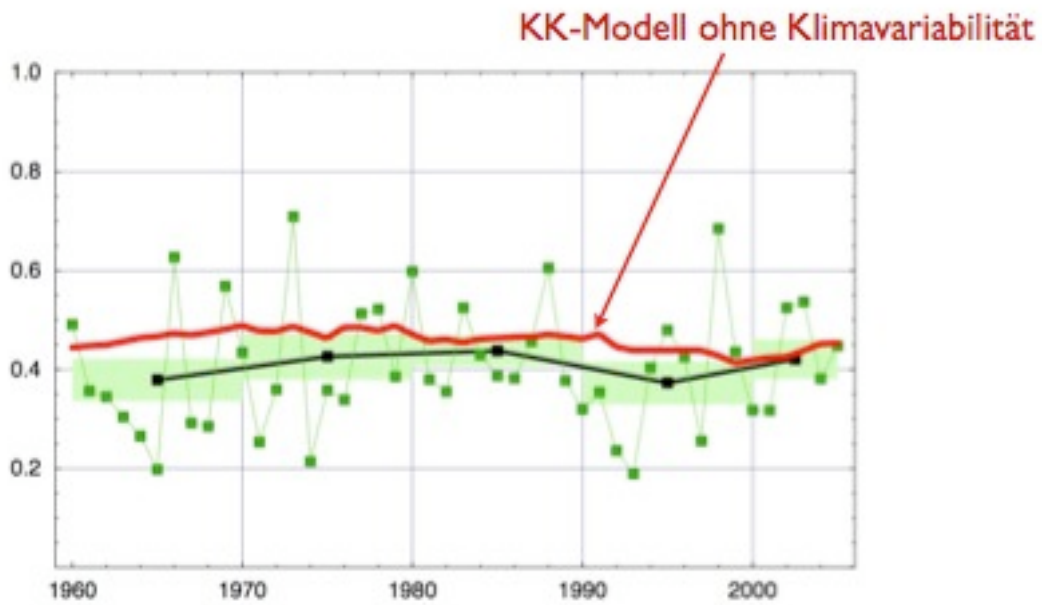
Globale "Airborne Fraction" $\frac{\dot{n}_a}{Q}$



3

Phantom I:
Ist der globale Kohlenstoffkreislauf nicht-linear?

Globale "Airborne Fraction" $\frac{\dot{n}_a}{Q}$

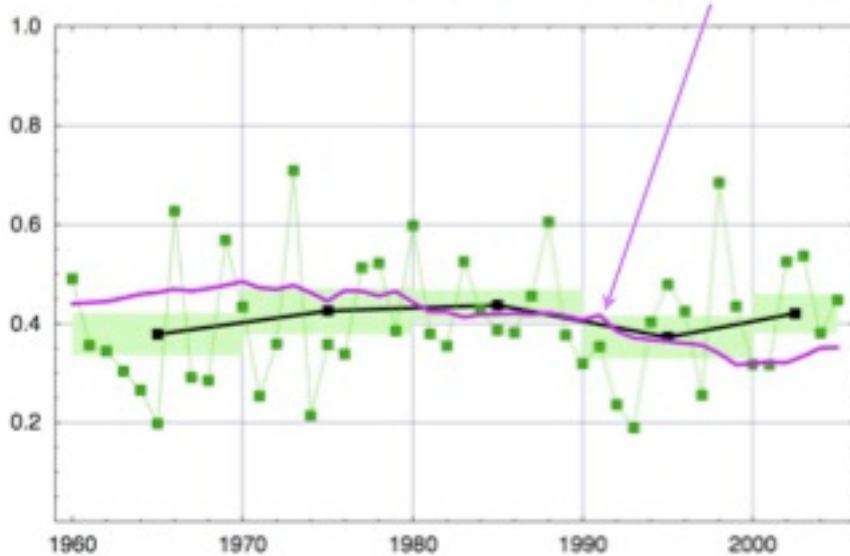


3

Phantom I:
Ist der globale Kohlenstoffkreislauf nicht-linear?

Globale "Airborne Fraction" $\frac{\dot{n}_a}{Q}$

"Dietze-Modell" $\dot{n}_a(t) = Q - \frac{n_a}{\tau}$

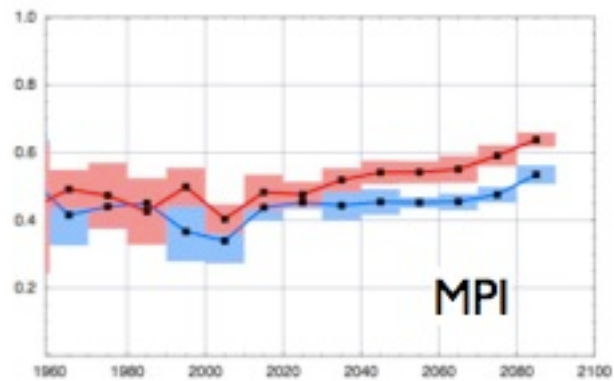
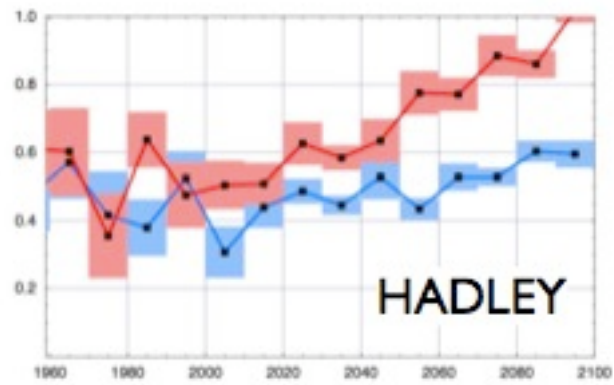


3

Wann ist es soweit? C4MIP Simulationen

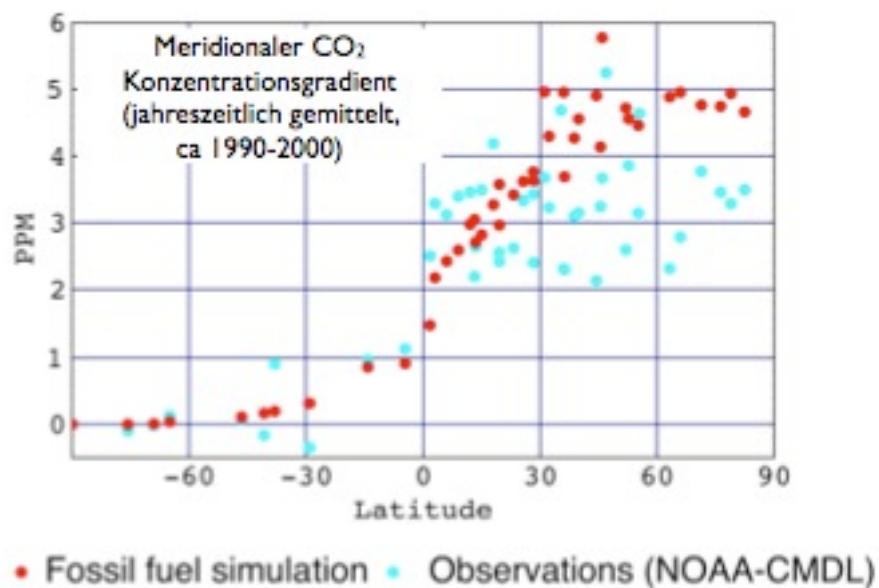
blau: Ungekoppelte Simulation
rot: Gekoppelte Simulation

Empirischer Nachweis der
Nichtlinearität auf globaler Skala
steht noch aus



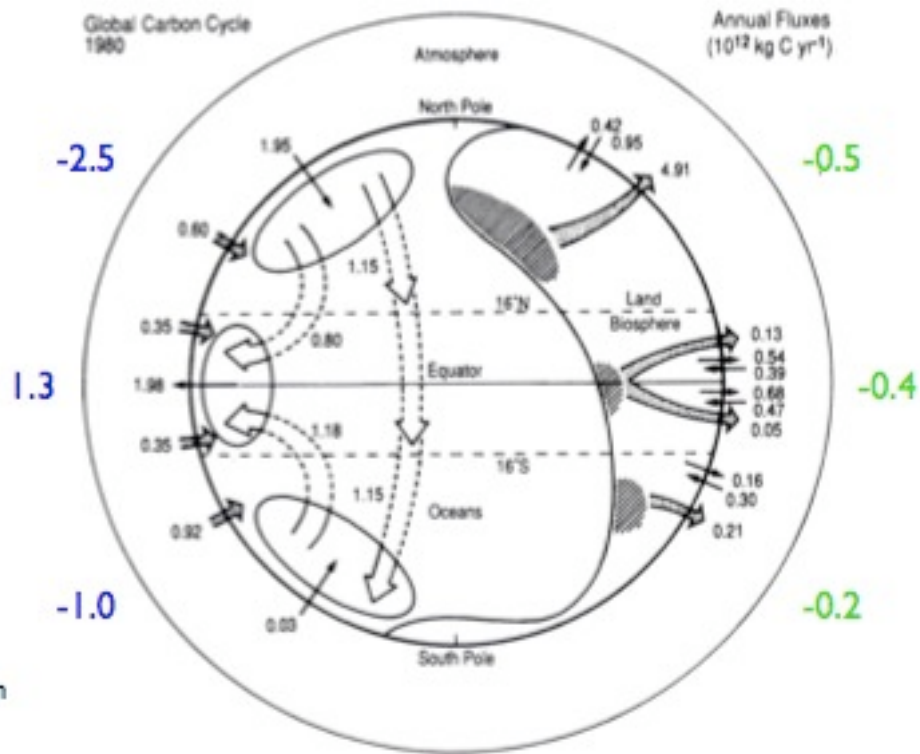
4

Phantom II: Die CO₂-Senke in der Nordhemisphäre



5

The global carbon cycle according to SIO (1980s)



Basis:

- measurements from SIO Station network (CO_2 and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$)
- 3d atmospheric transport model
- "large-region" inversion

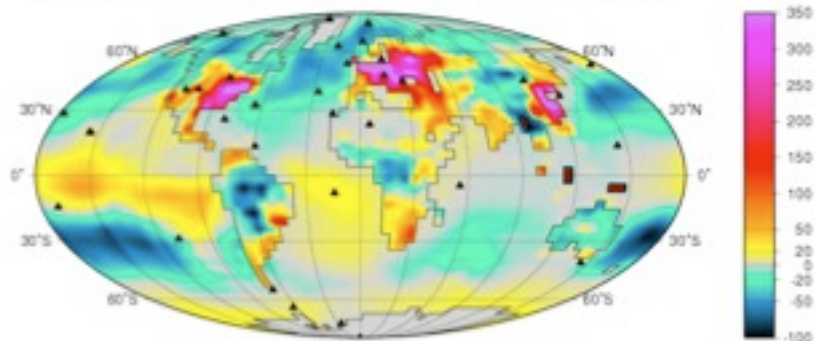
Keeling et al., 1989

6

Atmospheric inversion based reconstructed source fields Average 1995-2000

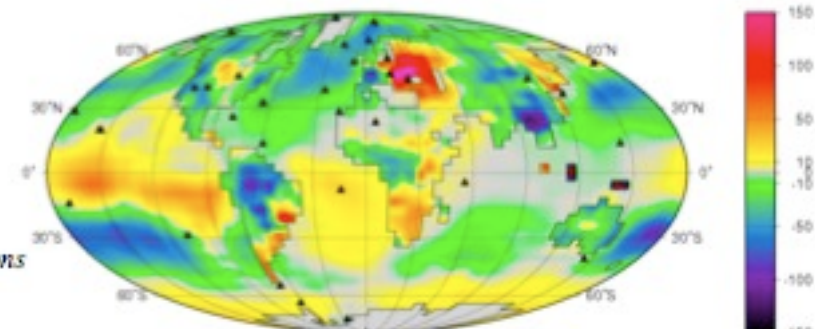
A Posteriori Fluxes + Fossil Emissions, July 1995 - June 2000 [$\text{gC m}^{-2} \text{yr}^{-1}$]

Total surface-atmosphere flux (ocean +terrestrial+fossil)



Non-fossil fuel surface-atmosphere flux (terrestrial+ocean)

A Posteriori Fluxes, July 1995 - June 2000 [$\text{gC m}^{-2} \text{yr}^{-1}$]



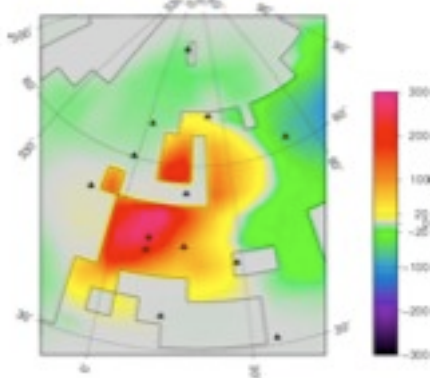
▲ Atmospheric observing stations (NOAA-CMDL)

Rödenbeck et al., 2003

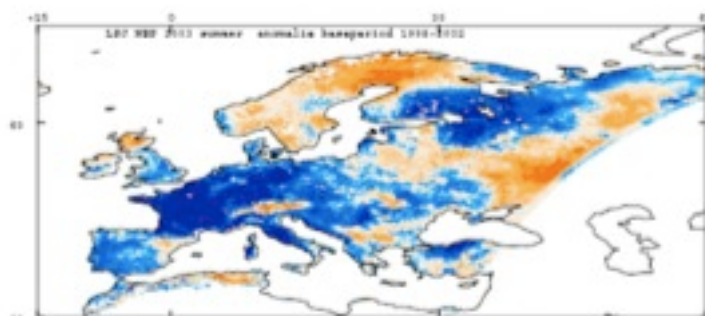
7

Top-down and bottom-up estimates: Spatial patterns of 2003 anomaly

Flux Anomaly May-Sep 2003 ($\text{gC m}^{-2} \text{yr}^{-1}$)



INV-BGC



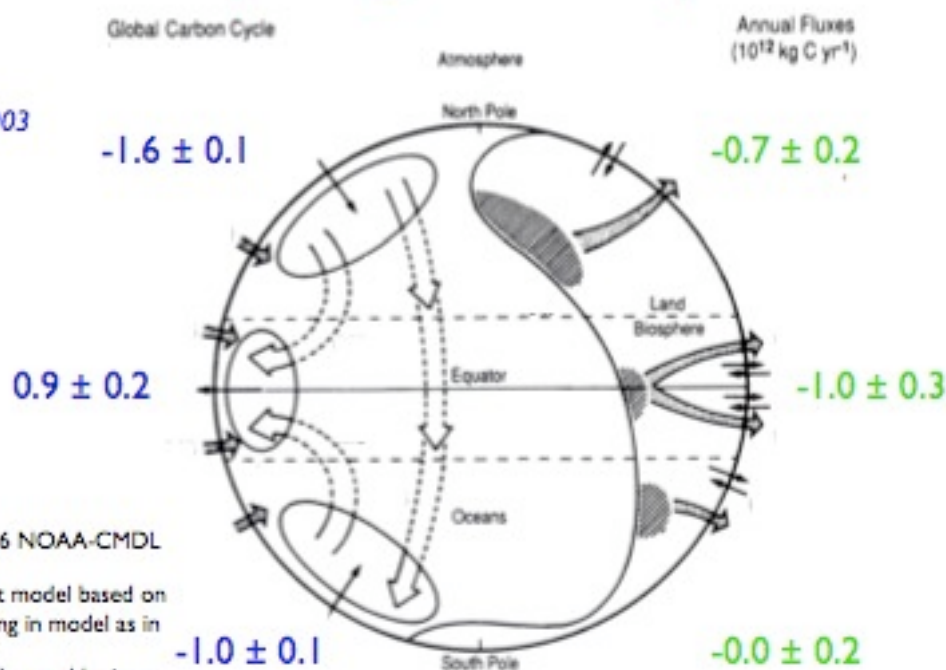
LPJ

Blue color: source to atmosphere!

8

The global carbon cycle according to Rödenbeck et al. (Average 1992-1996)

Rödenbeck et al., 2003



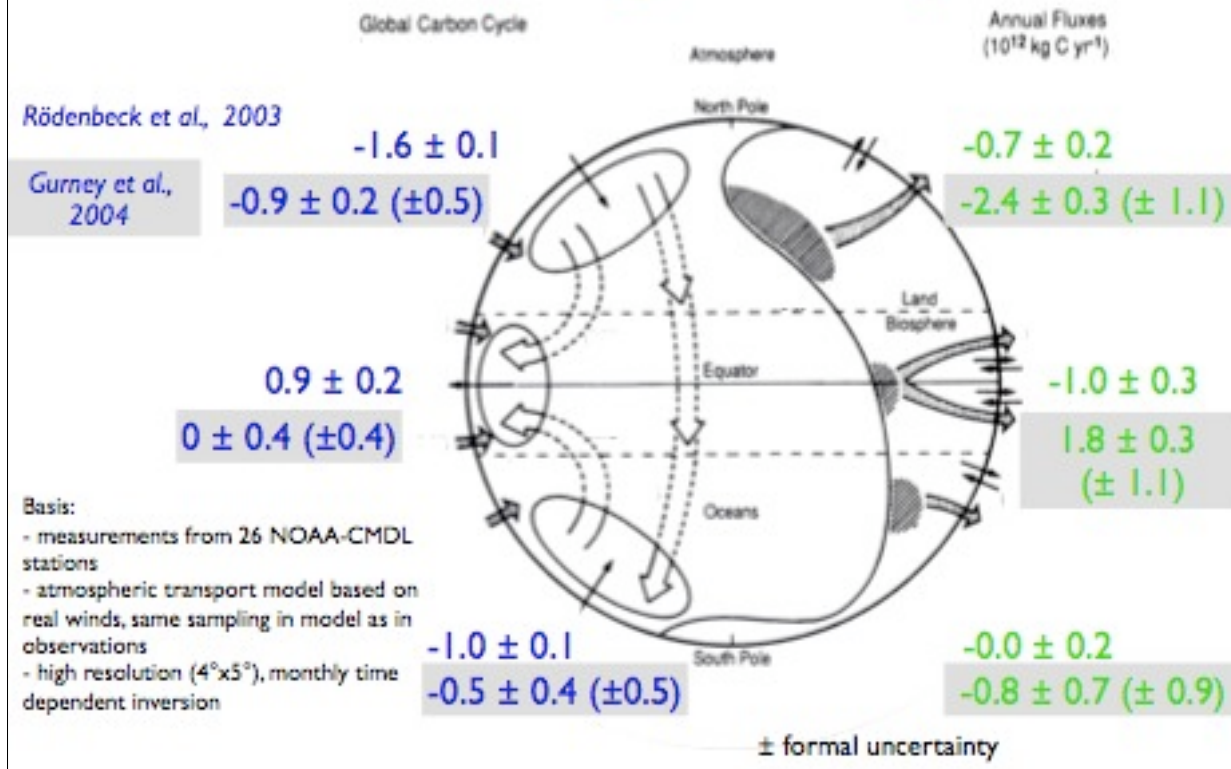
Basis:

- measurements from 26 NOAA-CMDL stations
- atmospheric transport model based on real winds, same sampling in model as in observations
- high resolution ($4^\circ \times 5^\circ$), monthly time dependent inversion

\pm formal uncertainty

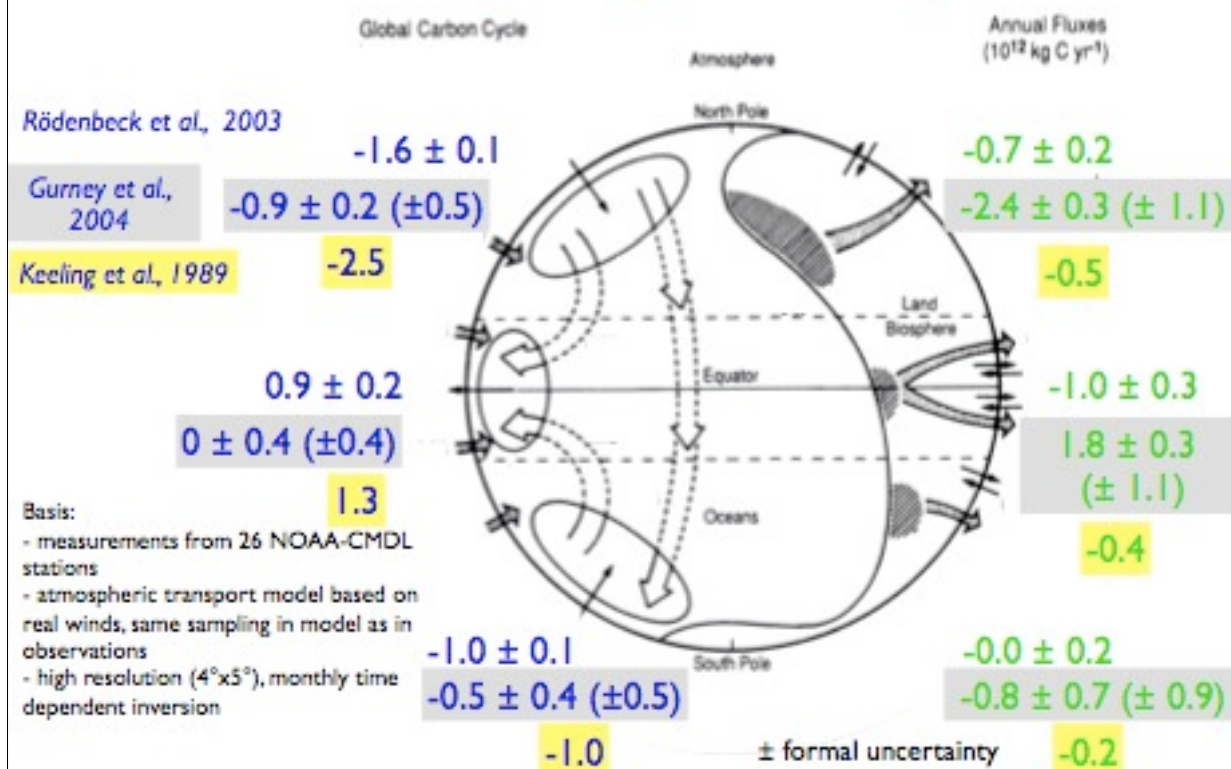
9

The global carbon cycle according to Rödenbeck et al. (Average 1992-1996)



9

The global carbon cycle according to Rödenbeck et al. (Average 1992-1996)



9

Grenzen der inversen Modellierung ("Top-down Approach")

- **Beobachtungsnetz viel zu dünn:**
 - Ausbau des Stationsnetzes - (Sibirienturm)
 - Fernerkundung (ab 2009?)
- **Atmosphärische Transportmodellierung**
 - Punktmessung \leftrightarrow Gitterpunkt

10



10

Grenzen der inversen Modellierung ("Top-down Approach")

- **Beobachtungsnetz viel zu dünn:**
 - Ausbau des Stationsnetzes - (Sibirienturm)
 - Fernerkundung (ab 2009?)
- **Atmosphärische Transportmodellierung**
 - Punktmessung \leftrightarrow Gitterpunkt

10

Phantom III: CO₂ Düngeeffekt

Bis 1990er Jahre: "Beta-Faktor" Darstellung:

$$F_{ab} = F_0 \left(1 + \beta \frac{\Delta pCO_2}{pCO_2|_0} + \dots \right)$$

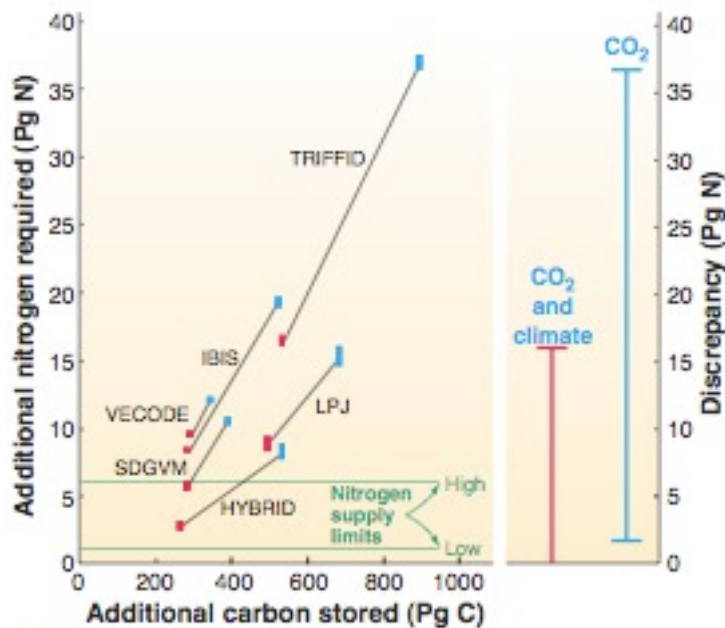
Heute: DGVM ("Dynamical Global Vegetation Model")

Wie gross ist β ?

Wieviel des zusätzlich eingebrachten Kohlenstoffs kann für längere Zeit gespeichert werden?

11

Die Stickstoff-Falle



Hungate et al., Science, 2003

12

- CO₂ Düngeneffekt auf globaler Skala nicht empirisch erwiesen
- Alle heutigen gekoppelten Kohlenstoff-Klimamodelle enthalten CO₂ Düngeneffekt als essentieller Prozess - zu optimistische Szenarien?
- Langzeitexperimente unabdingbar!

13