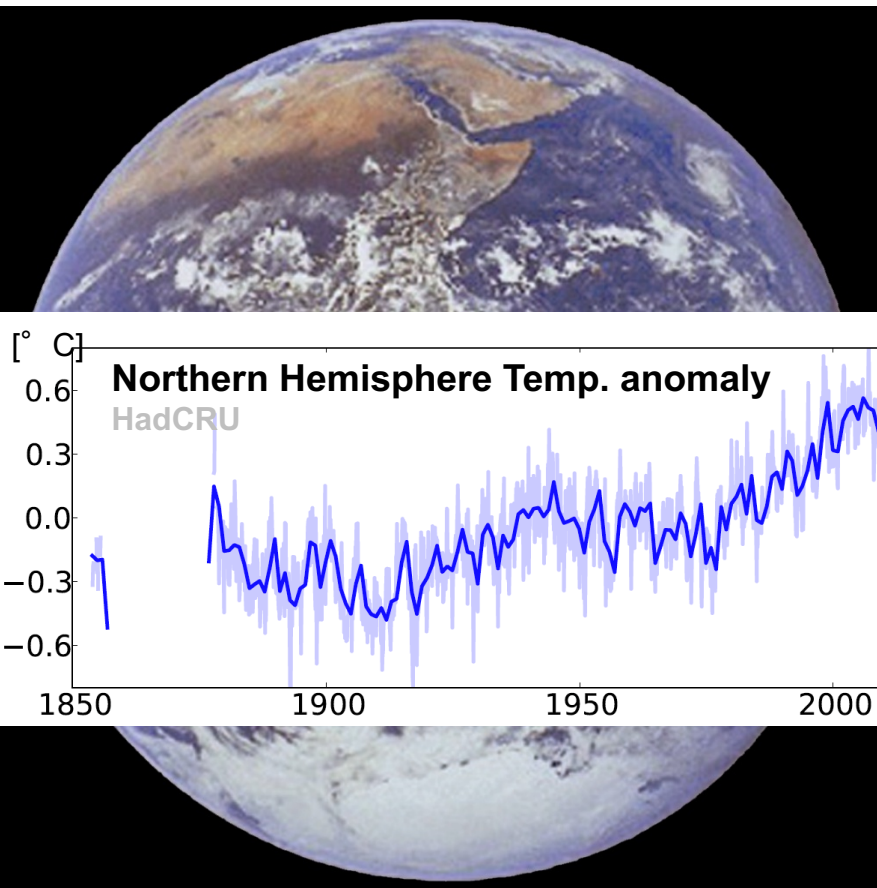


Das Klimaproblem aus physikalischer Sicht

Gerrit Lohmann

Alfred Wegener Institut
Helmholtz Zentrum für
Polar- und Meeresforschung

Bremerhaven, 31.05.2018



Physik im 20. Jahrhundert

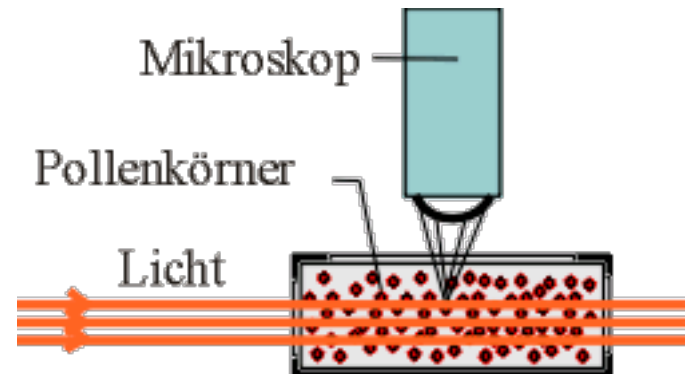
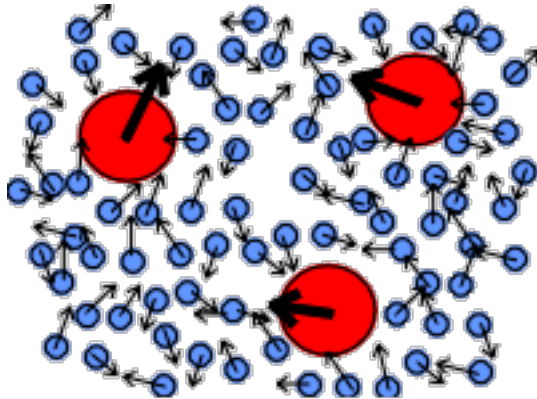
- Der Stoff, aus dem die Welt besteht
- Weltbilder: Elementarteilchen,
Quantenmechanik, Relativitätstheorie

Physik im 20. Jahrhundert

- Der Stoff, aus dem die Welt besteht
- Weltbilder: Elementarteilchen, Quantenmechanik, Relativitätstheorie
- Grenze der Teilbarkeit (Demokrit, Aristoteles: Materie kein kontinuierliches Ganzes: „Aus unendlich kleinen Teilchen lässt sich die Welt nicht zusammensetzen“

Körniger Aufbau der Natur

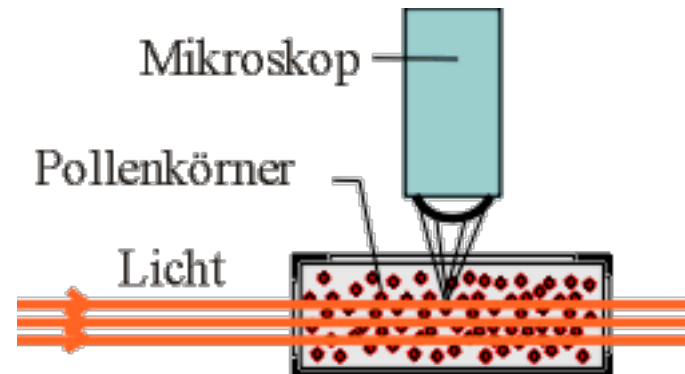
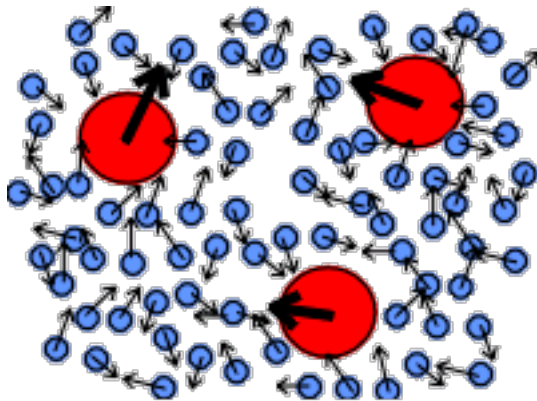
Brownsche Bewegung: im Mikroskop sichtbare Verschiebung von Teilchen



Ruckartig, unregelmäßig

Körniger Aufbau der Natur

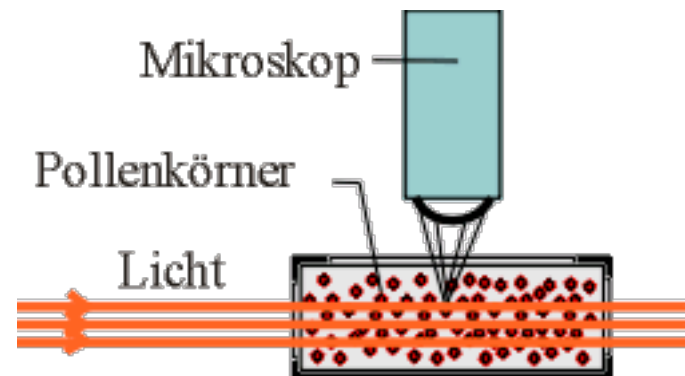
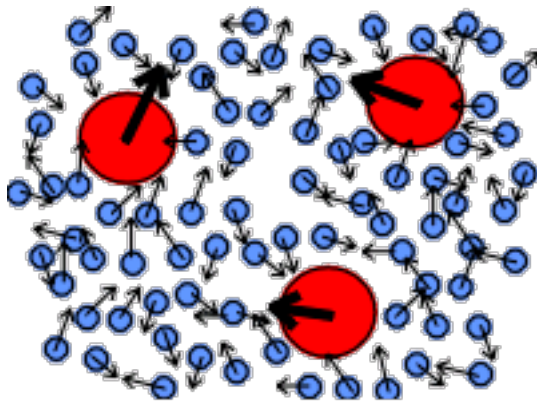
Brownsche Bewegung: im Mikroskop sichtbare Verschiebung von Teilchen



Brown: Handelt es sich bei diesen Bestandteilen der Pollenkörner um Lebewesen ?

Körniger Aufbau der Natur

Brownsche Bewegung: im Mikroskop sichtbare Verschiebung von Teilchen



Moleküle: ungeordneten Bewegung stoßen aus allen Richtungen gegen die Teilchen rein zufällig

Moleküle haben eine Masse und sind nicht unendlich klein.

5. *Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen; •*
von A. Einstein.

In dieser Arbeit soll gezeigt werden, daß nach der molekularkinetischen Theorie der Wärme in Flüssigkeiten suspendierte Körper von mikroskopisch sichtbarer Größe infolge der Molekularbewegung der Wärme Bewegungen von solcher Größe ausführen müssen, daß diese Bewegungen leicht mit dem Mikroskop nachgewiesen werden können.

$$\lambda_x = \sqrt{\overline{x^2}} = \sqrt{2 D t}.$$

560

A. Einstein. Bewegung etc.

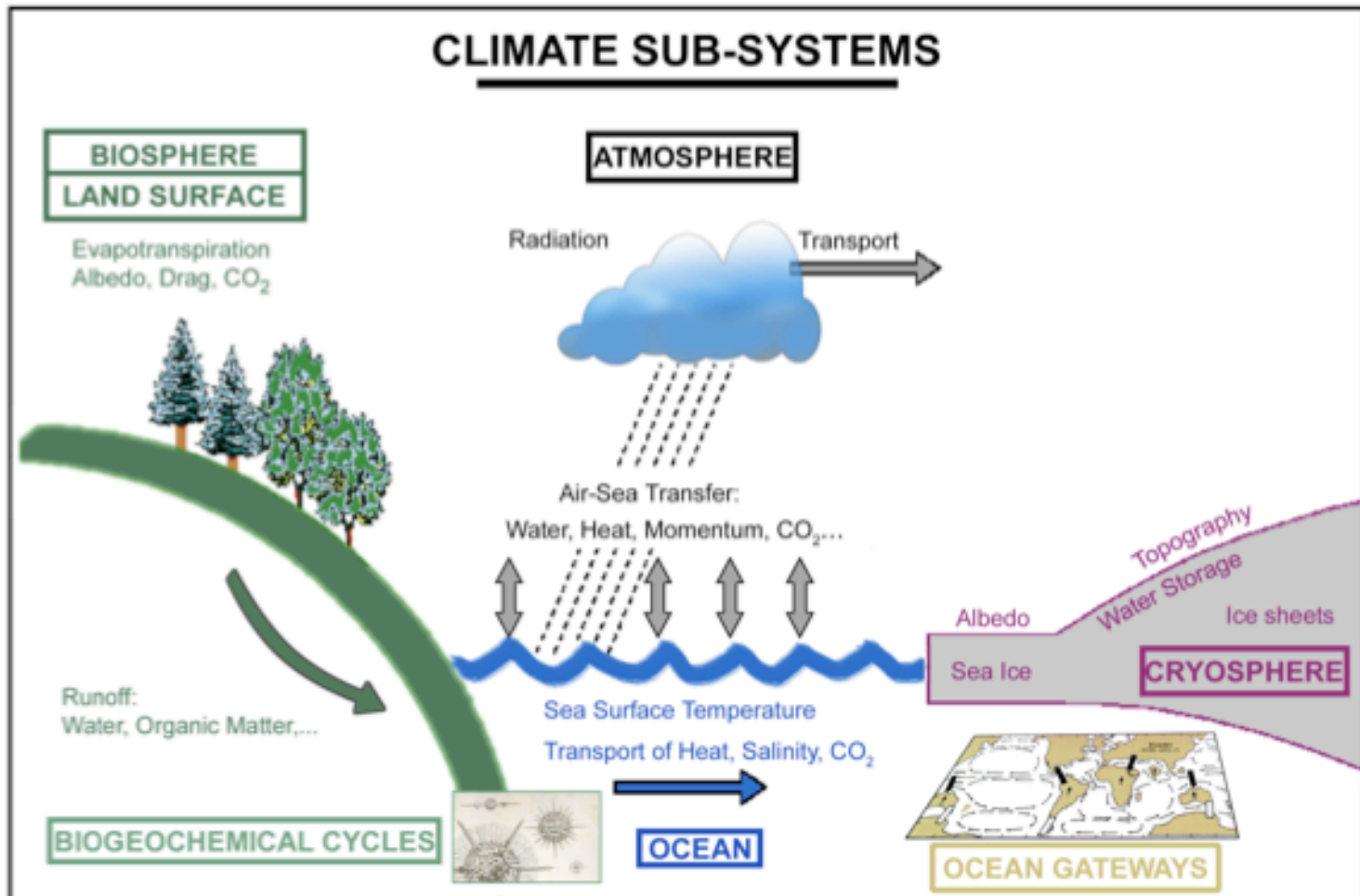
Umgekehrt läßt sich die gefundene Beziehung zur Bestimmung von N benutzen. Man erhält:

$$N = \frac{t}{\lambda_x^2} \cdot \frac{R T}{3 \pi k P}.$$

Möge es bald einem Forscher gelingen, die hier aufgeworfene, für die Theorie der Wärme wichtige Frage zu entscheiden!

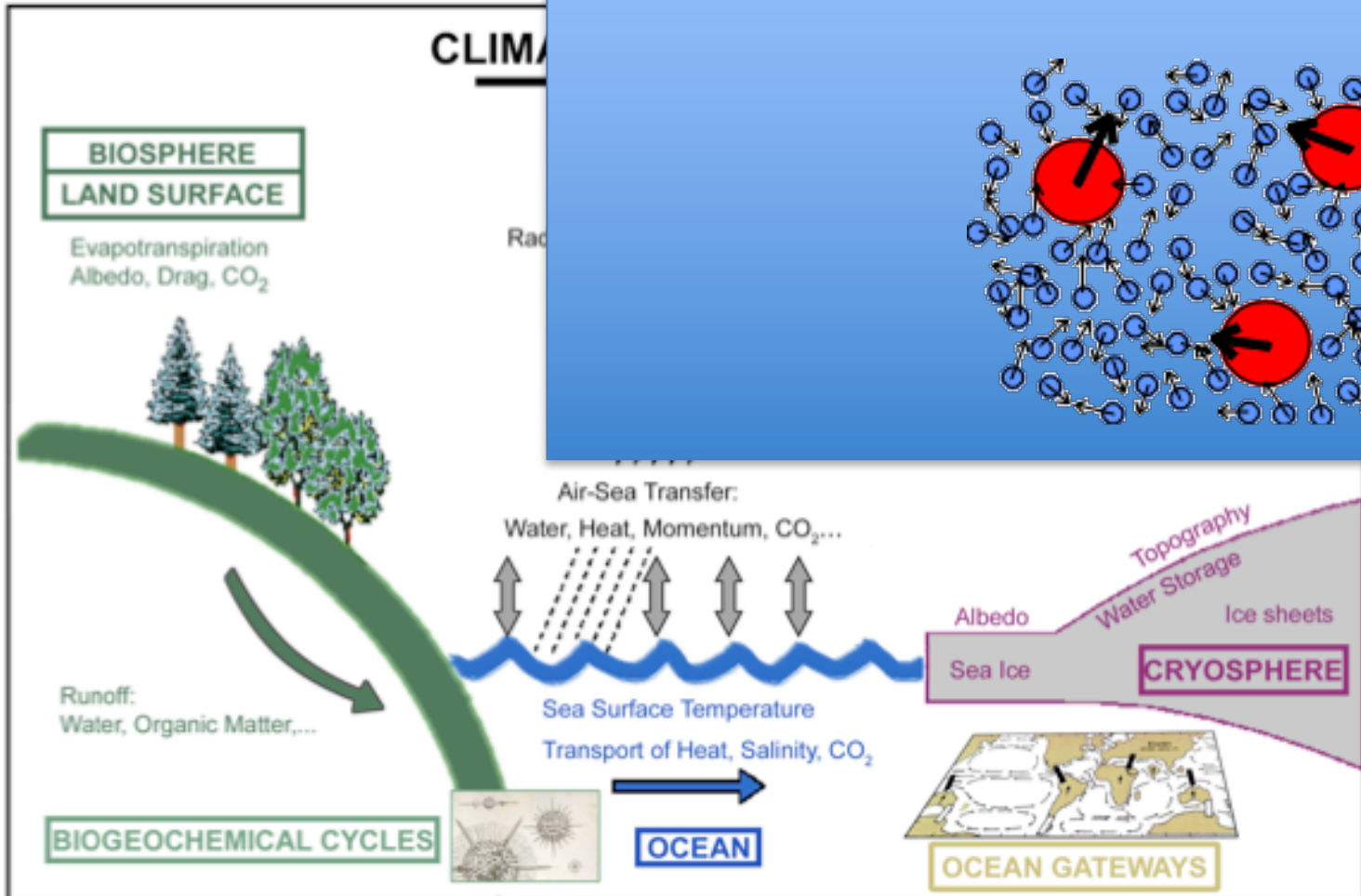
Bern, Mai 1905.

Klimasystem



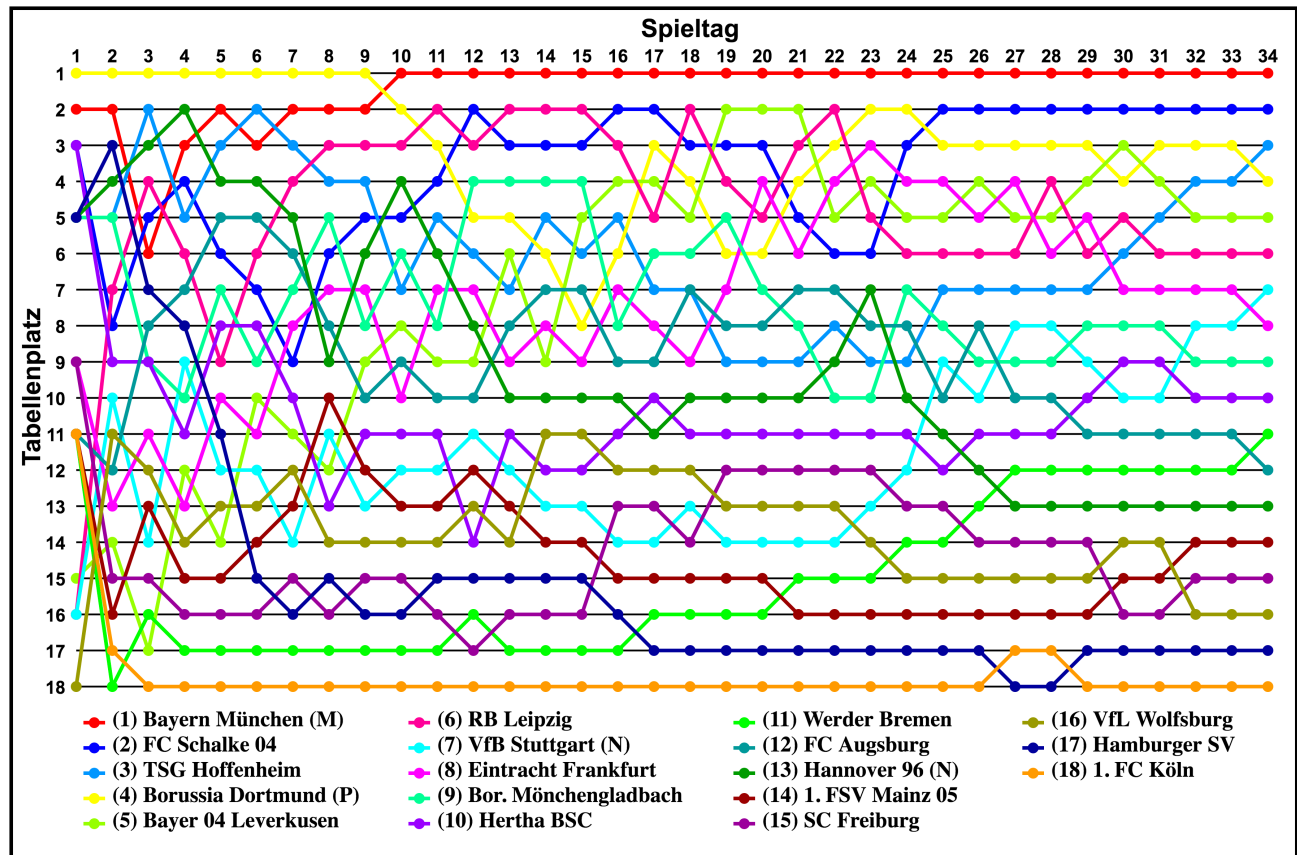
Klimavariabilität

- Brownsche Partikel: Klima
- Moleküle: Wetter



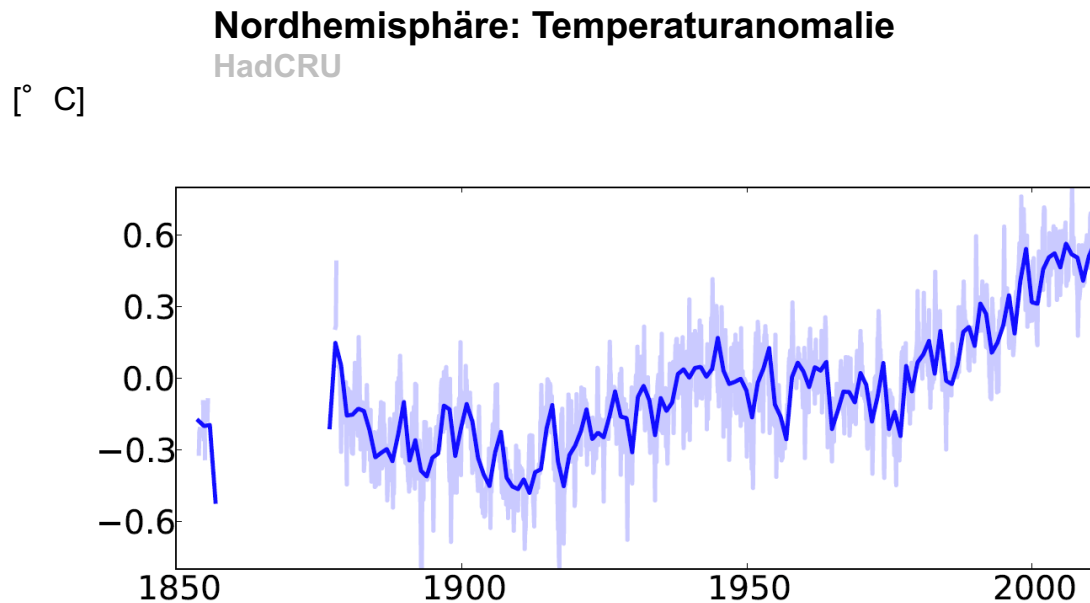
Vorhersagbarkeit: Wetter und Klima

- Brownsche Partikel: Klima
- Moleküle: Wetter



Das „Klimadilemma“

- Die Aufzeichnungen direkter Temperaturmessungen sind kurz und fallen bereits in der Phase starken Einflusses des Menschen.



Das „Klimadilemma“

- Die Aufzeichnungen direkter Temperaturmessungen sind kurz und fallen bereits in der Phase starken Einflusses des Menschen.
- Für die Zeit davor: indirekte Informationen über vergangene Umweltbedingungen

Klimainformationen



Ice drilling camp, 2009



Polarstern, marine sediments



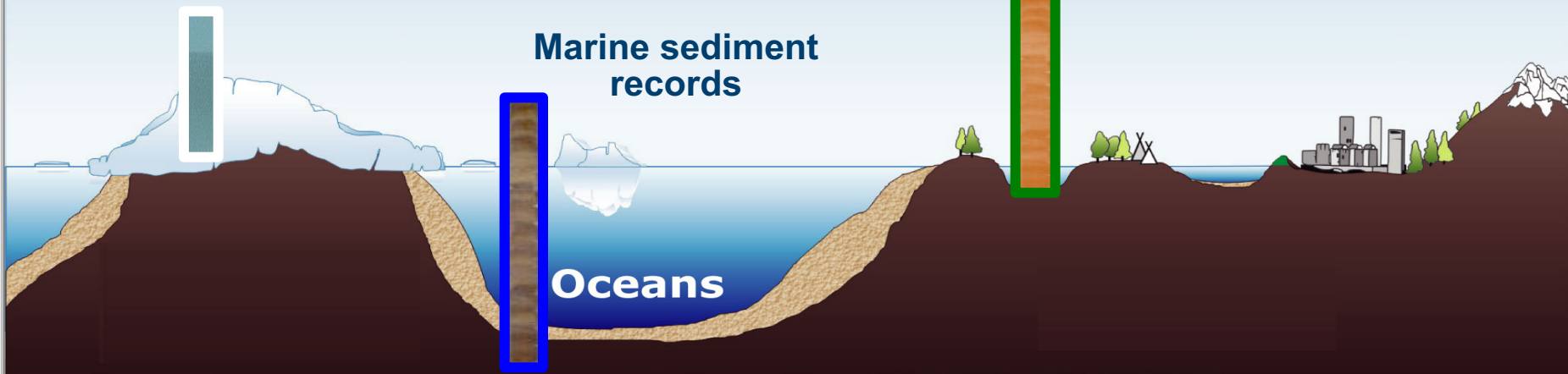
Lake/permafrost sediments

Climate records from
ice cores

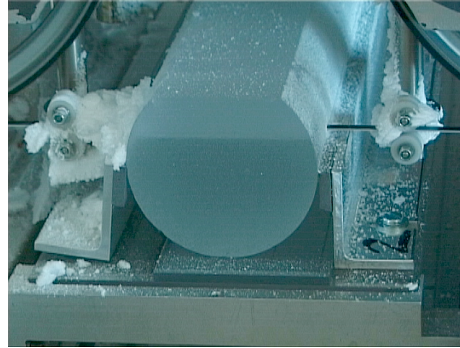
Lake/permafrost
sediment records

Marine sediment
records

Oceans

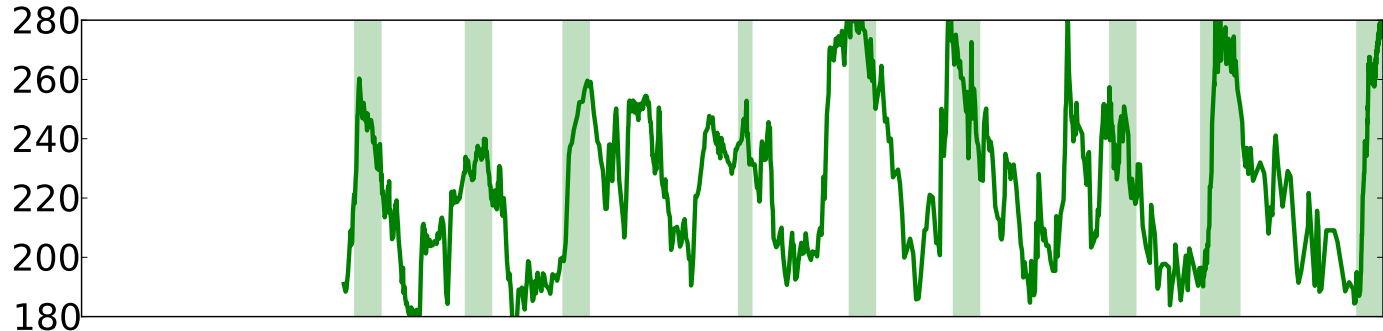


Eiskerne

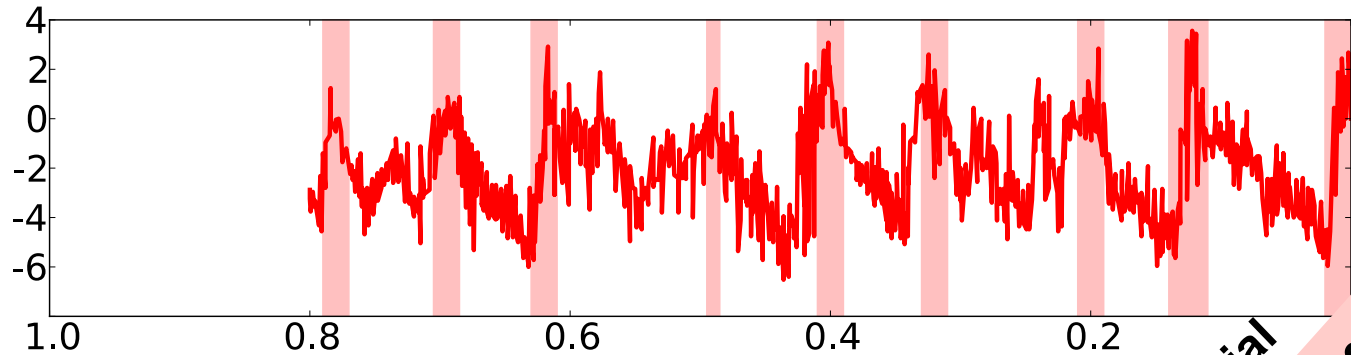


CO₂
[ppmv]

From ice cores
(EPICA, 2009)



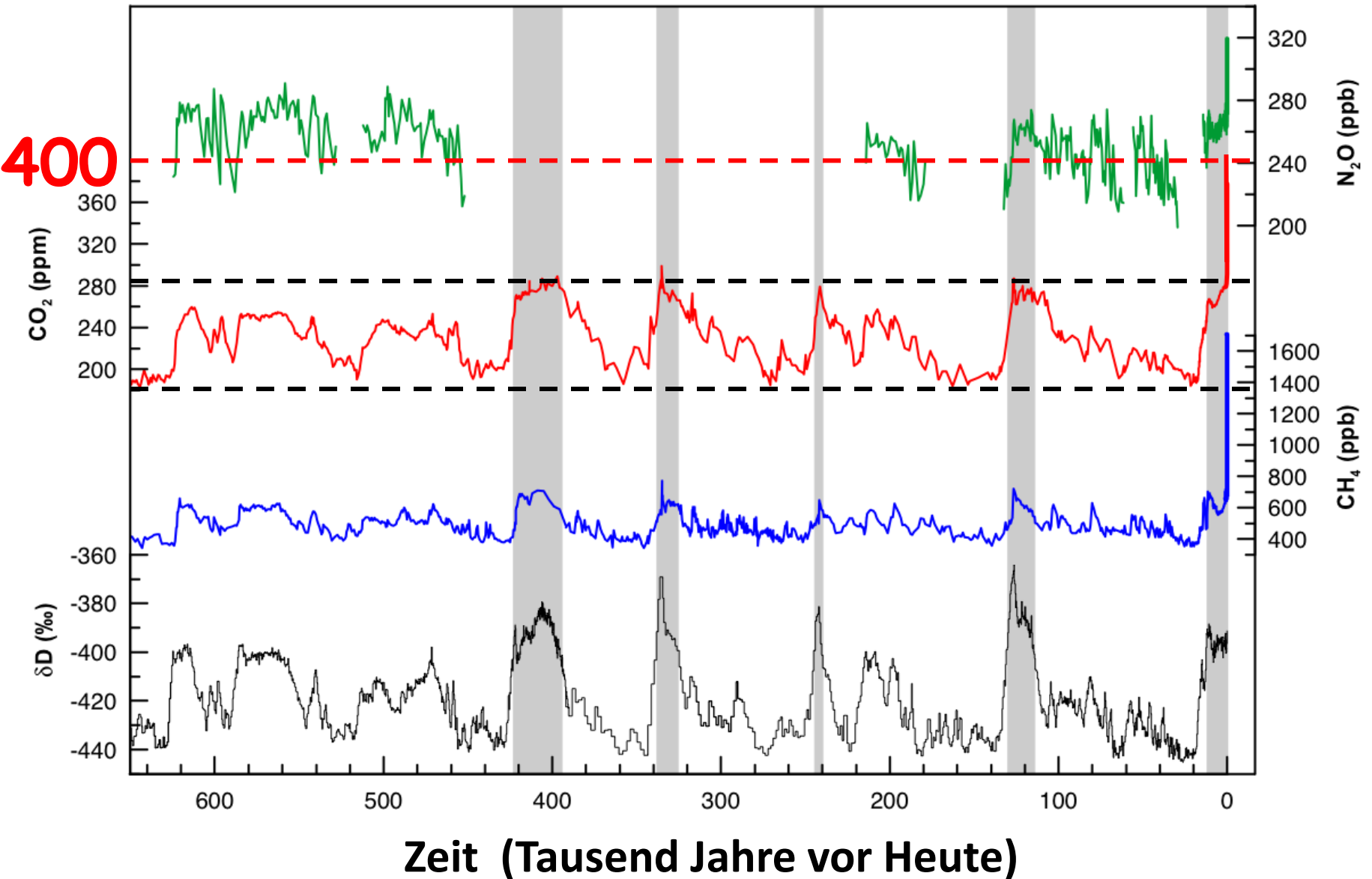
Temp. anomaly
"O-18"
[° C]

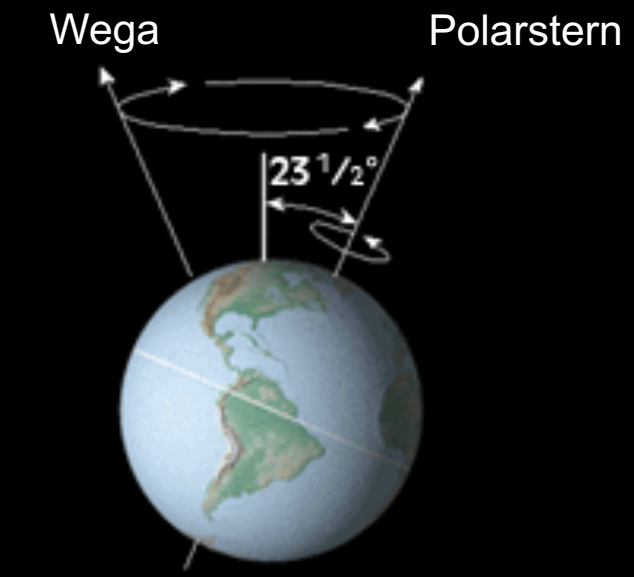


Million years

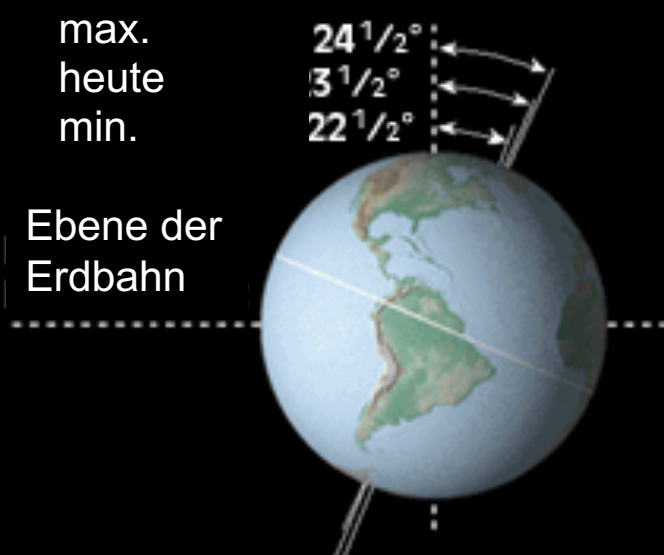
Glacial
Interglacial

Treibhausgas Konzentrationen: Eiskerne





Präzession



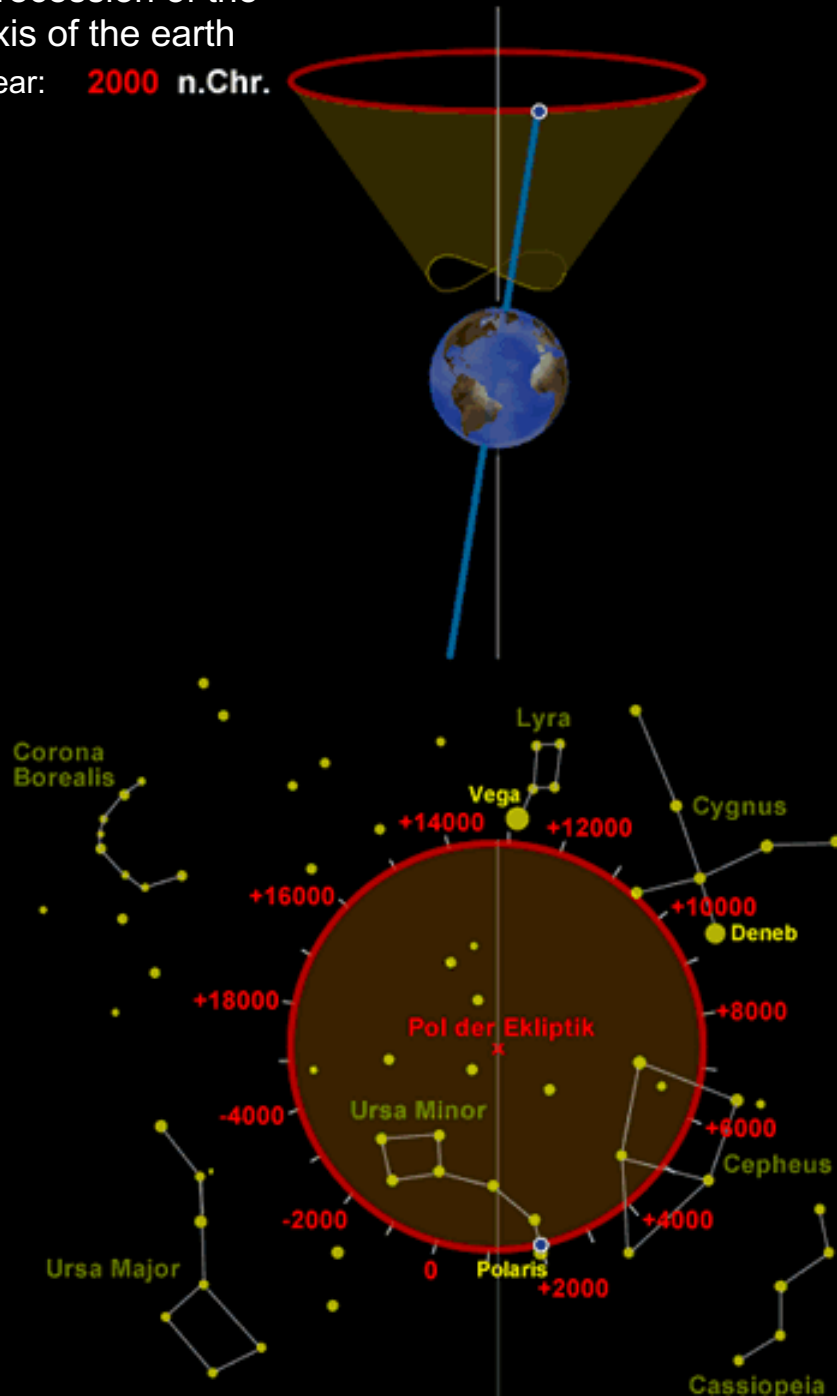
Neigung

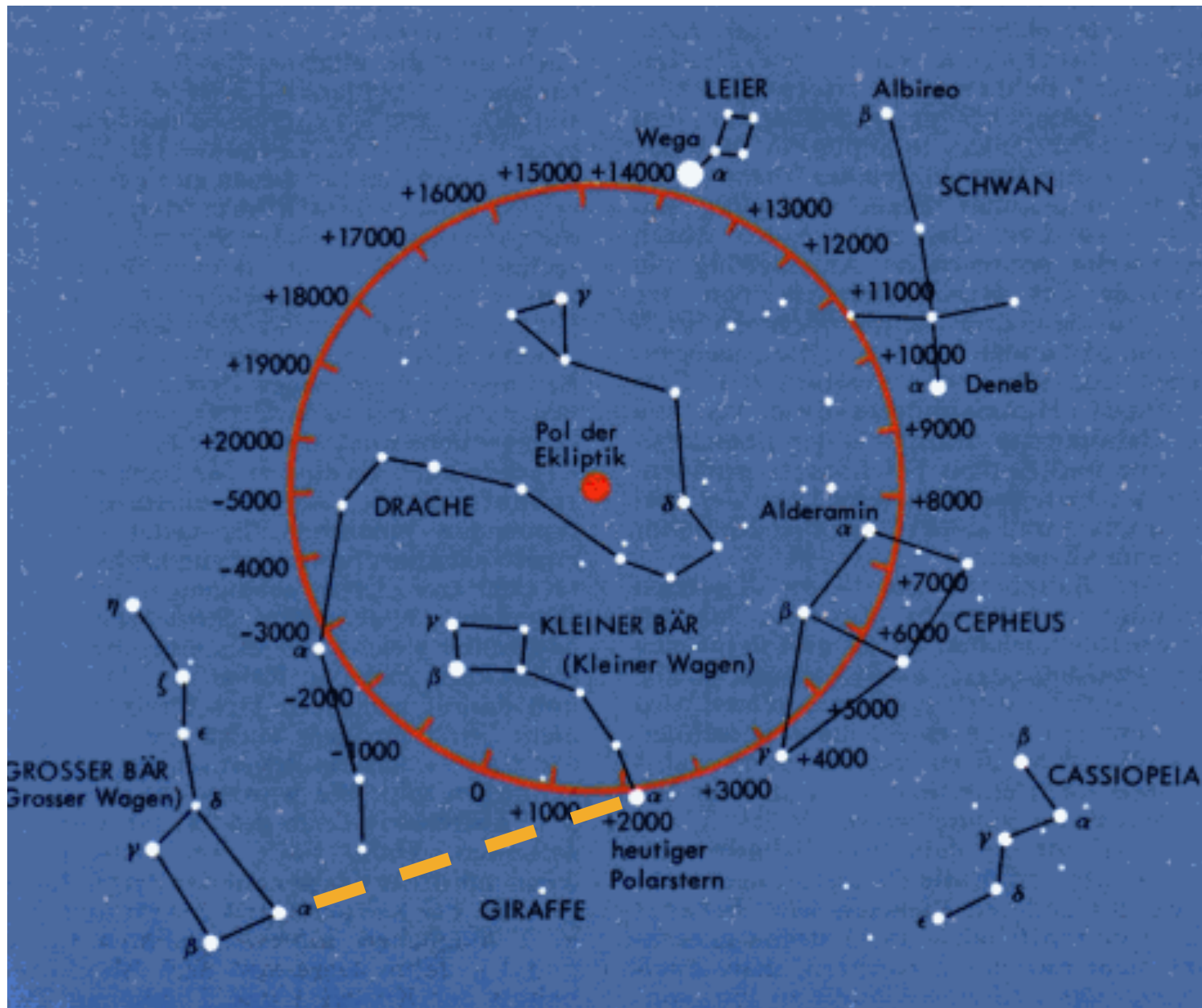


Exzentrizität

Precession of the axis of the earth

Year: **2000 n.Chr.**





Andere Methode: Zirkulationsmodelle

Physikalische Gleichungen

Momentum equations:

$$u_t + Adv(u) - \left(f + \frac{u \tan \phi}{a} \right) v = -\frac{1}{a \cos \phi} \left(\frac{p}{\rho_0} \right)_\lambda + F^\lambda$$
$$v_t + Adv(v) + \left(f + \frac{u \tan \phi}{a} \right) u = -\frac{1}{a} \left(\frac{p}{\rho_0} \right)_\phi + F^\phi$$
$$0 = -\left(\frac{p}{\rho_0} \right)_z - g\rho$$

Continuity equation:

$$\frac{1}{a \cos \phi} \left[(u)_\lambda + (v \cos \phi)_\phi \right] + (w)_z = 0$$

Equation for tracers χ , temperature T , salinity (humidity) S :

$$\chi_t + Adv(\chi) = A_{HH} \nabla^2 \chi + A_{HV} \chi_{zz}$$

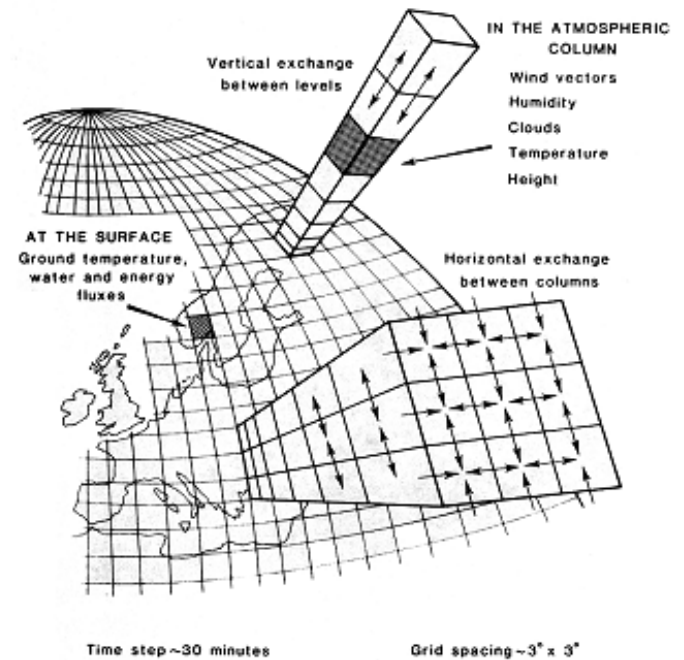
Equation of state:

$$\rho = \rho(\Theta, S, z)$$

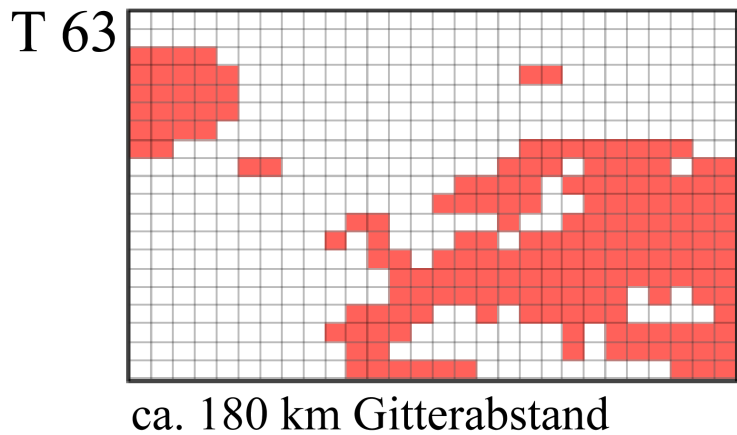
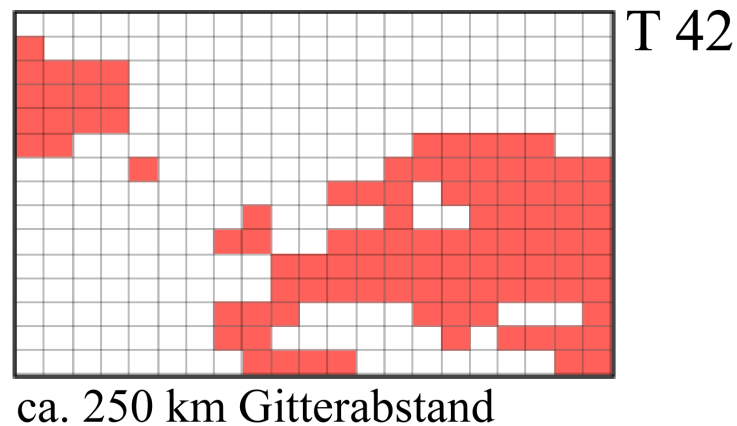
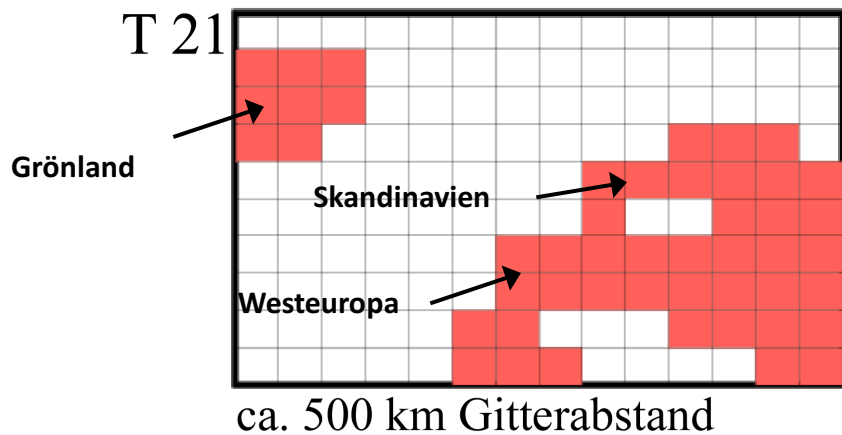
The equations are "coarse grained" in space and time.

Subgrid scale processes are parameterized by diffusive mixing.

Modellgitter

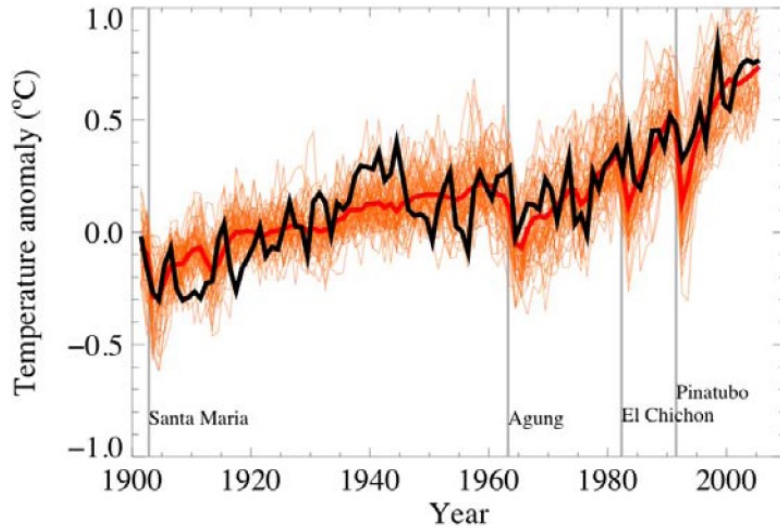


Beispiele verschiedener Gitterauflösungen eines Klimamodells für Europa

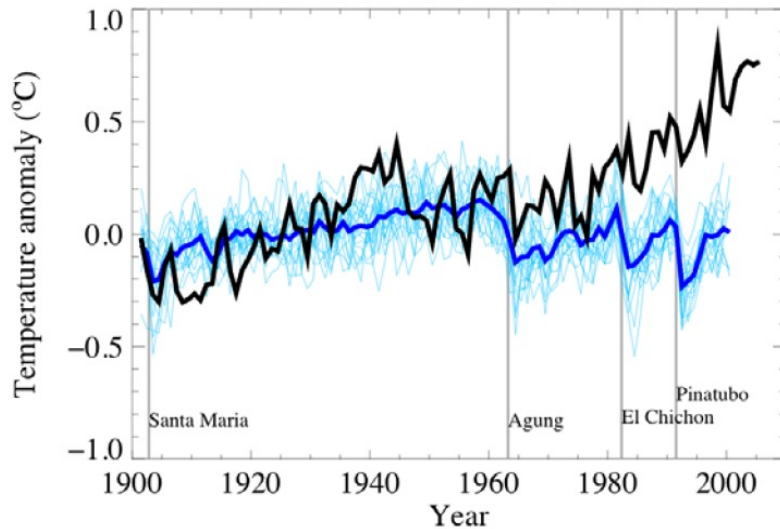


Zuordnung in der Modellwelt

a greenhouse gas emissions



b

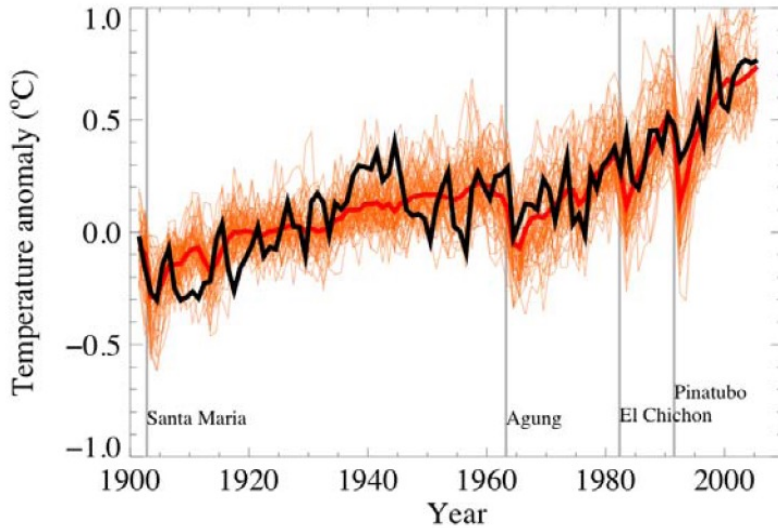


no greenhouse gas emissions

- fragt, ob die beobachteten Änderungen konsistent sind
- erwartete Antworten auf Antriebe inkonsistent mit alternativen Erklärungen

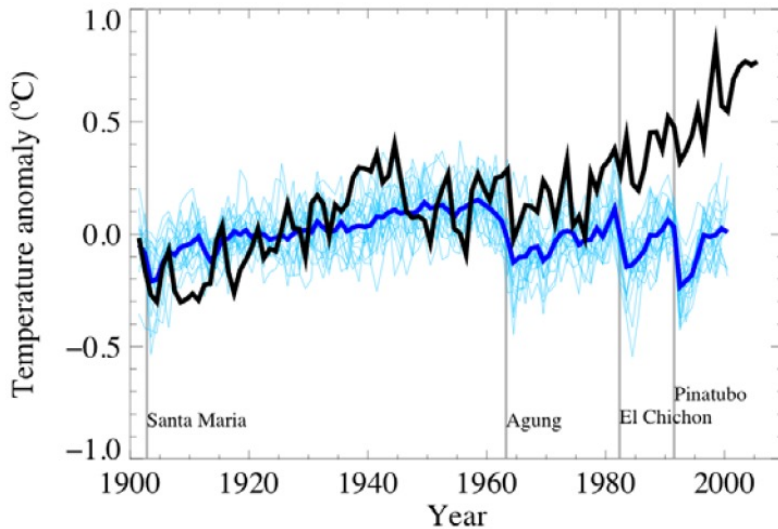
Zuordnung in der Modellwelt

a greenhouse gas emissions



- fragt, ob die beobachteten Änderungen konsistent sind
- erwartete Antworten auf Antriebe inkonsistent mit alternativen Erklärungen

b



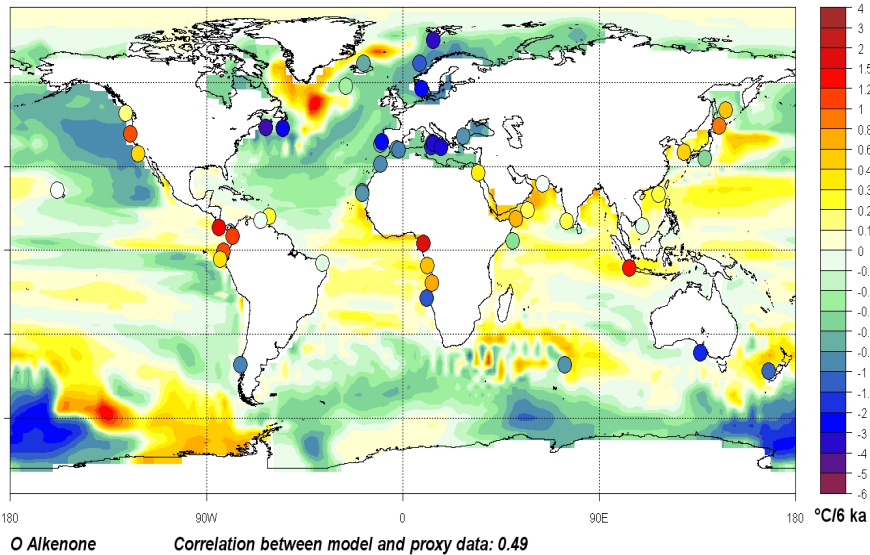
**Erwärmung der letzten
50 Jahre sind von
Menschen verursacht**

no greenhouse gas emissions

Ist das Klimaproblem gelöst?

- Feststellen, ob unsere Berechnungen richtig oder falsch sind
- Theorie liefert Vorhersagen von unabhängigen Phänomenen

Annual mean global SST trends (model) and local alkenone-based temperature trends

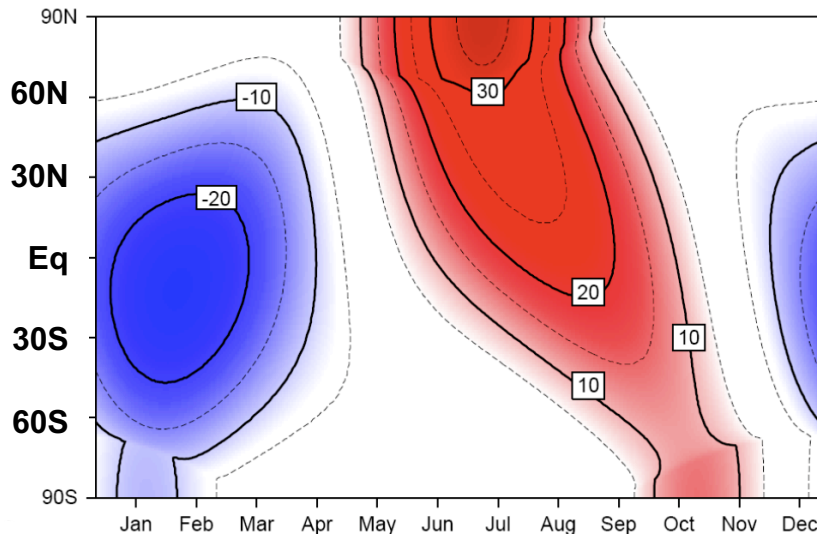


Simulationen des Holozäns: Einfluss von Erdorbitalparametern und Treibhausgasen

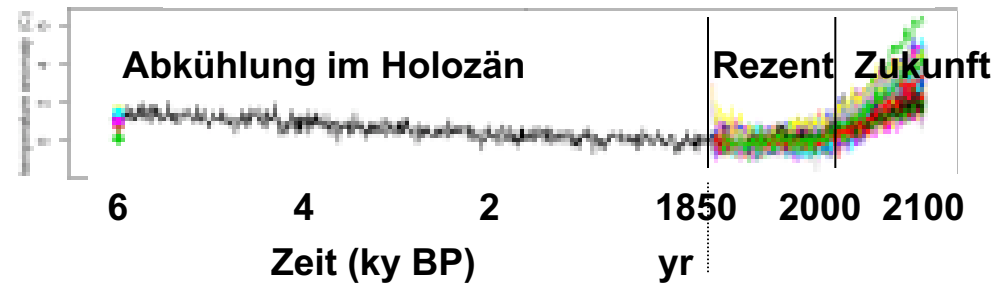


5300 Jahre alte Mumie
[Ötztaler Alpen](#) 3210m H

Erwärmung in den Tropen
Abkühlung in hohen Breiten

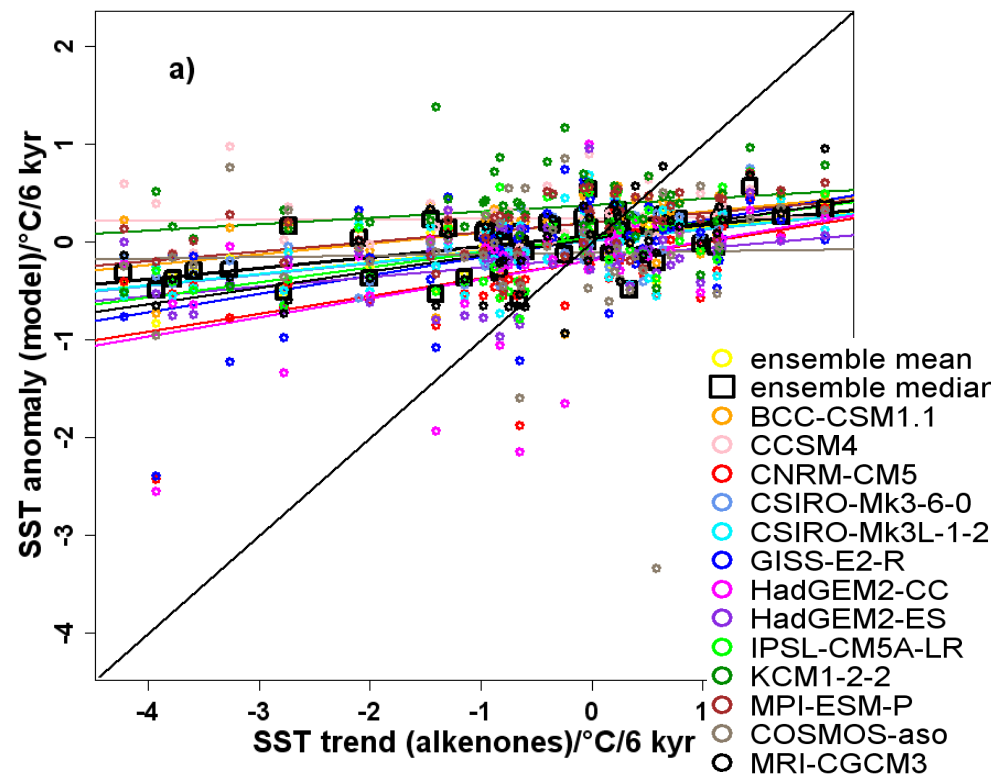
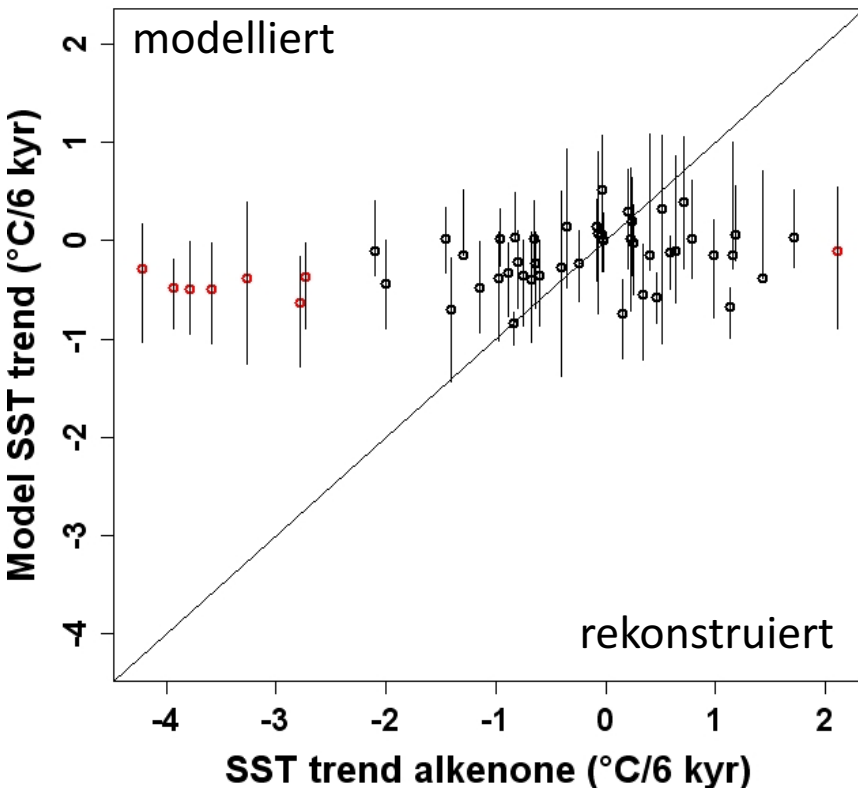
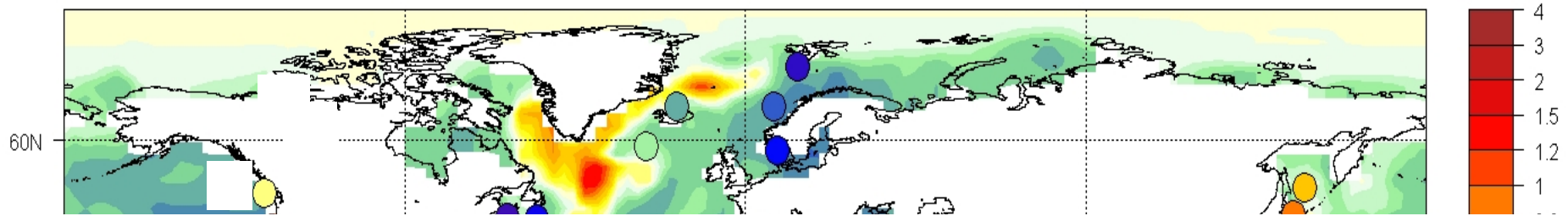


Temperaturverlauf für 30° -90° N



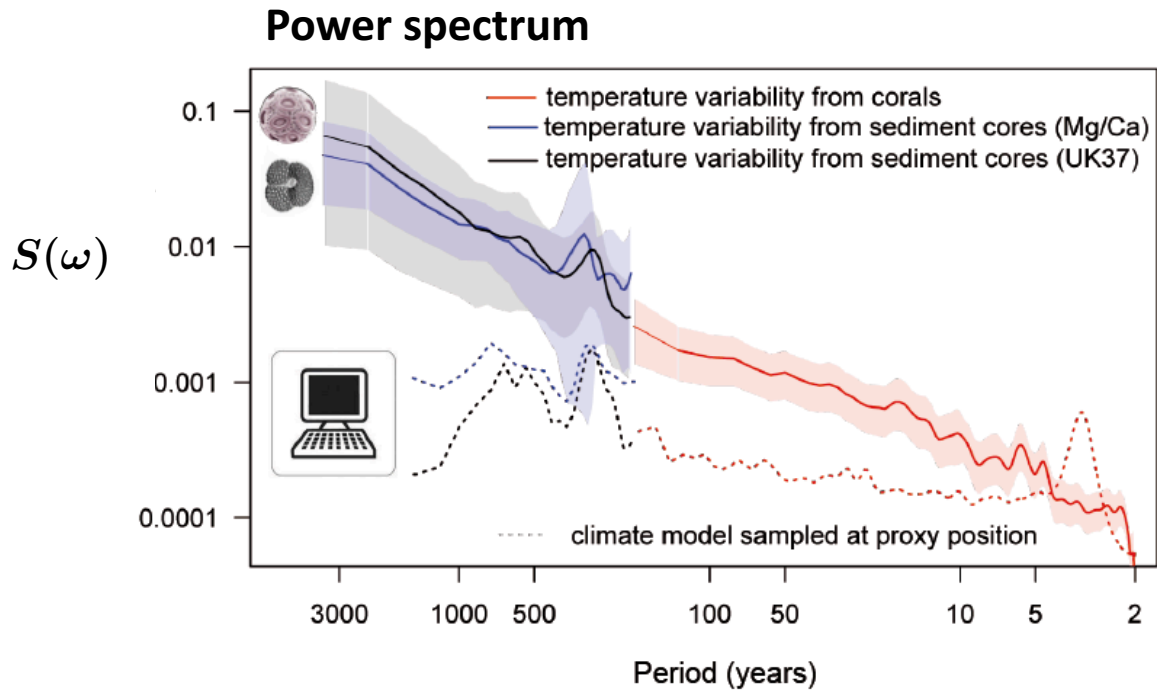
Holozäne Temperaturtrends 6000 Jahre

Annual mean global SST trends (model) and local alkenone-based temperature trends



Marine temperature variability

(annual to millennial time scales)



Current climate models seem to underestimate long-term variability

Klimavariabilität und -empfindlichkeit sind verknüpft

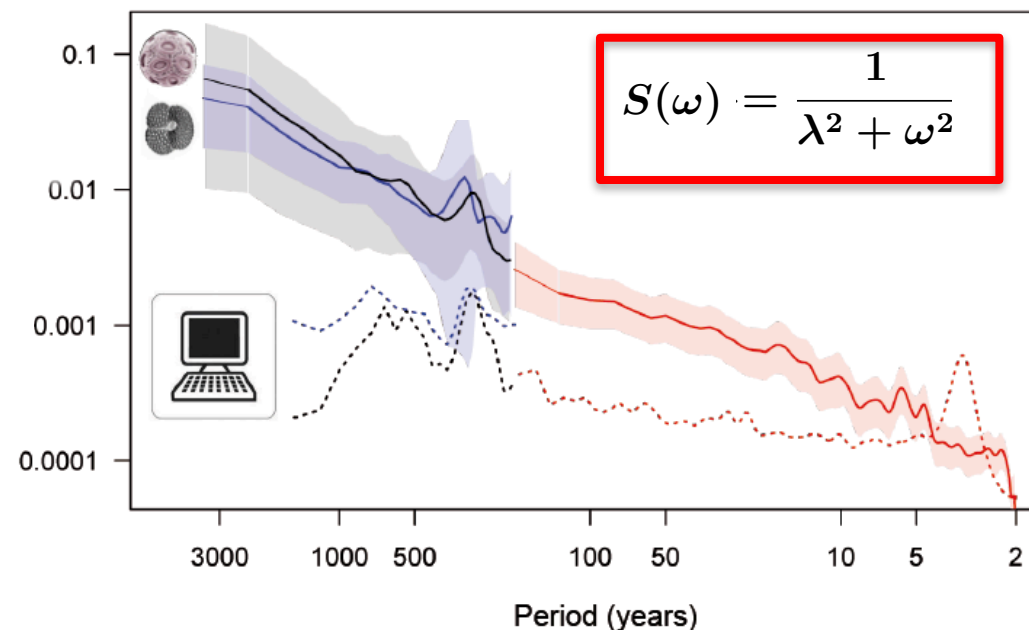
Stochastic climate model

$$\frac{dT}{dt} = -\lambda T + \text{Noise} + \text{Forcing}$$



Damping λ too high

Power spectrum



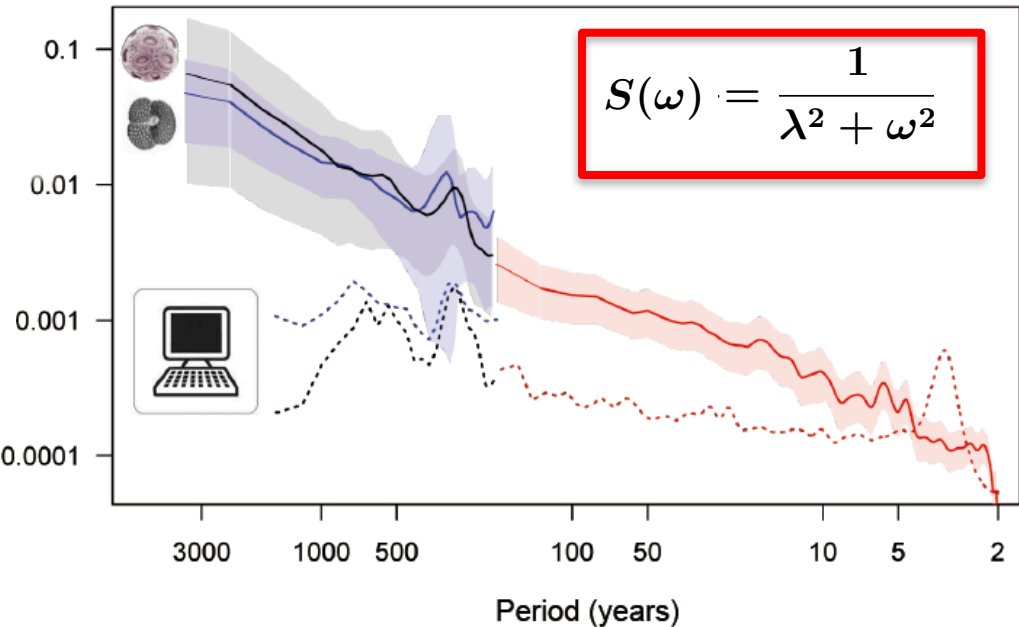
Variance too low

Klimavariabilität und -empfindlichkeit sind verknüpft

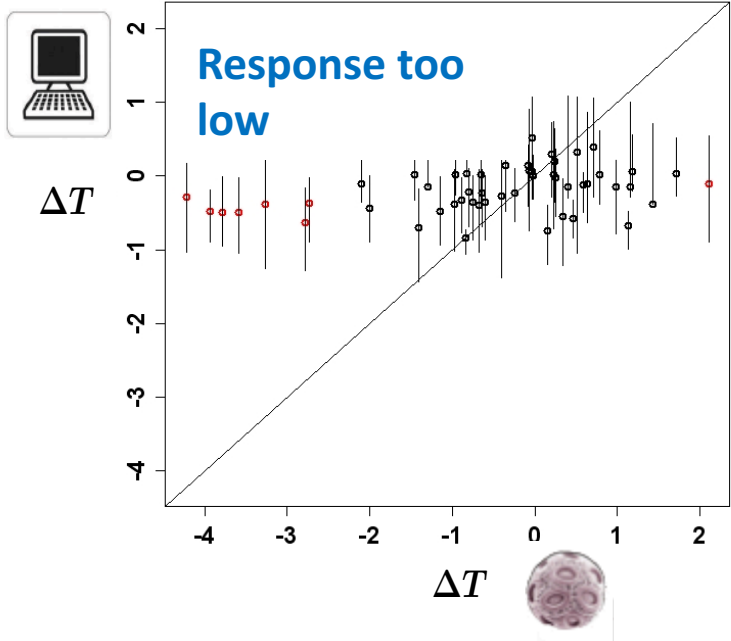
Stochastic climate model

$$\frac{dT}{dt} = -\lambda T + \text{Noise} + \text{Forcing}$$

Power spectrum



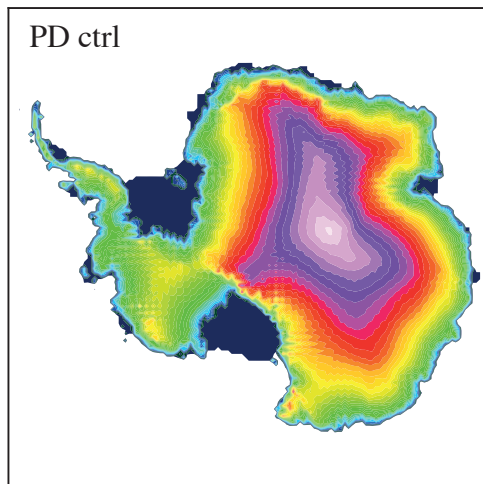
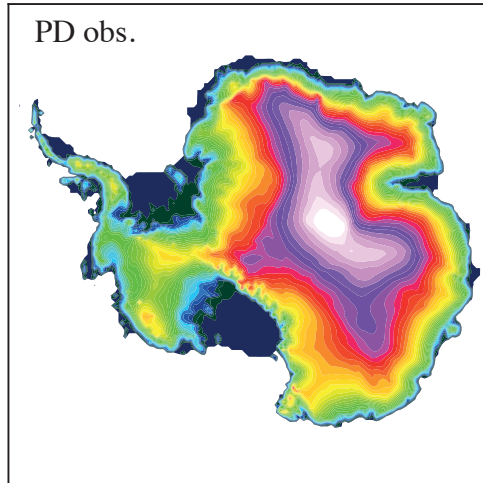
Equilibrium response



$$\Delta T = \frac{\text{Forcing}}{\lambda}$$

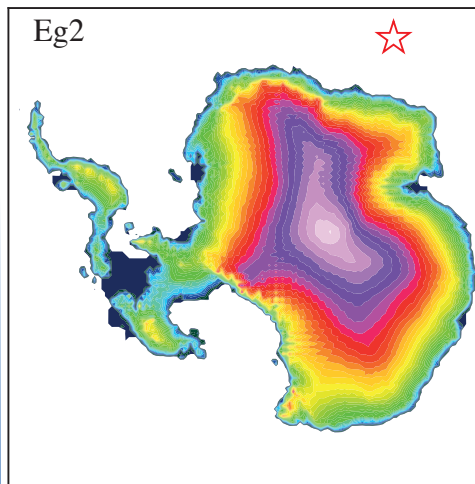
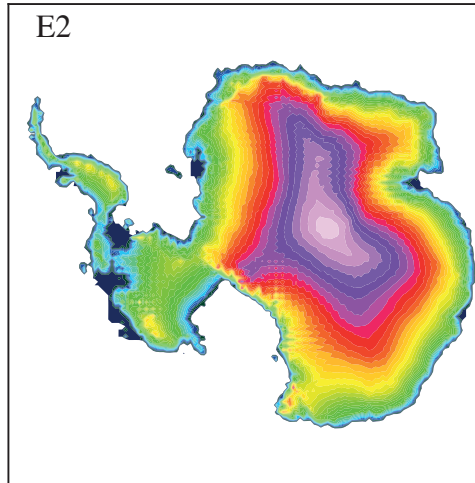
Modell: Eis der Antarktis in einer wärmeren Erde

Heute



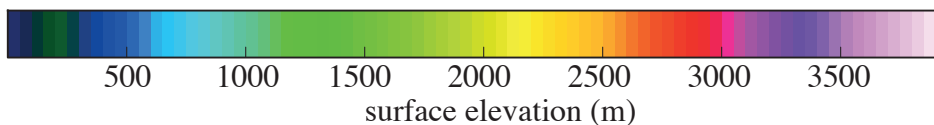
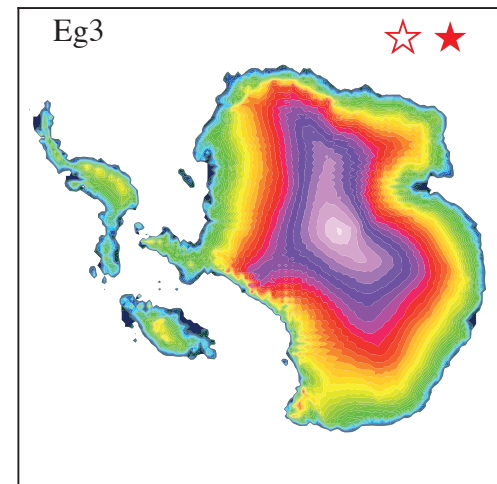
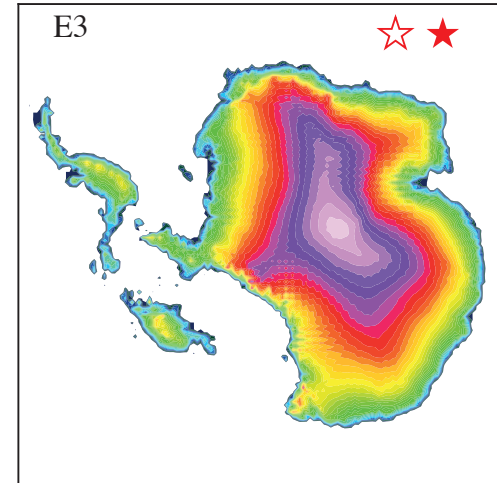
Ozean + 2° C

2-3 m



+ 3° C

3-5 m Meeresspiegel



Das Klimaproblem aus physikalischer Sicht

Klimawissenschaft

Brownsche Partikel: Klima

Moleküle: Wetter

Wahrscheinlichkeitsverteilungen

