



Das globale Klimasystem



Gerrit Lohmann

19. April 2005



DER SPIEGEL

N. 24/19 8.00
Deutschland 2,90 €
INTERNET 1,90 €

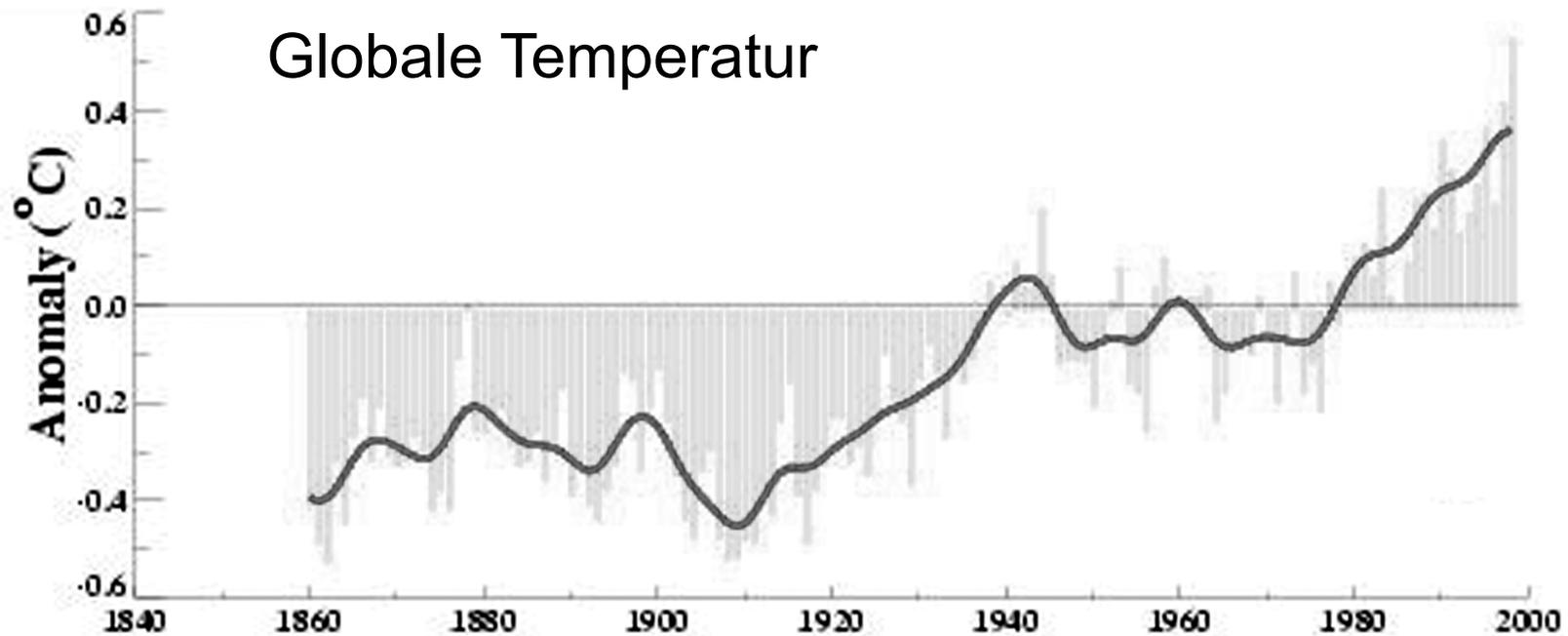
DIE SOMMER-SINTFLUT
**Wenn Flüsse im
Wasser ertrinken**
UMWELT / KLIMA / KATASTROPHEN



www.spiegel.de

Klimatrends auf verschiedenen Zeitskalen

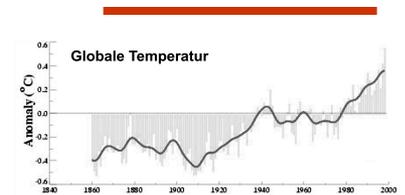
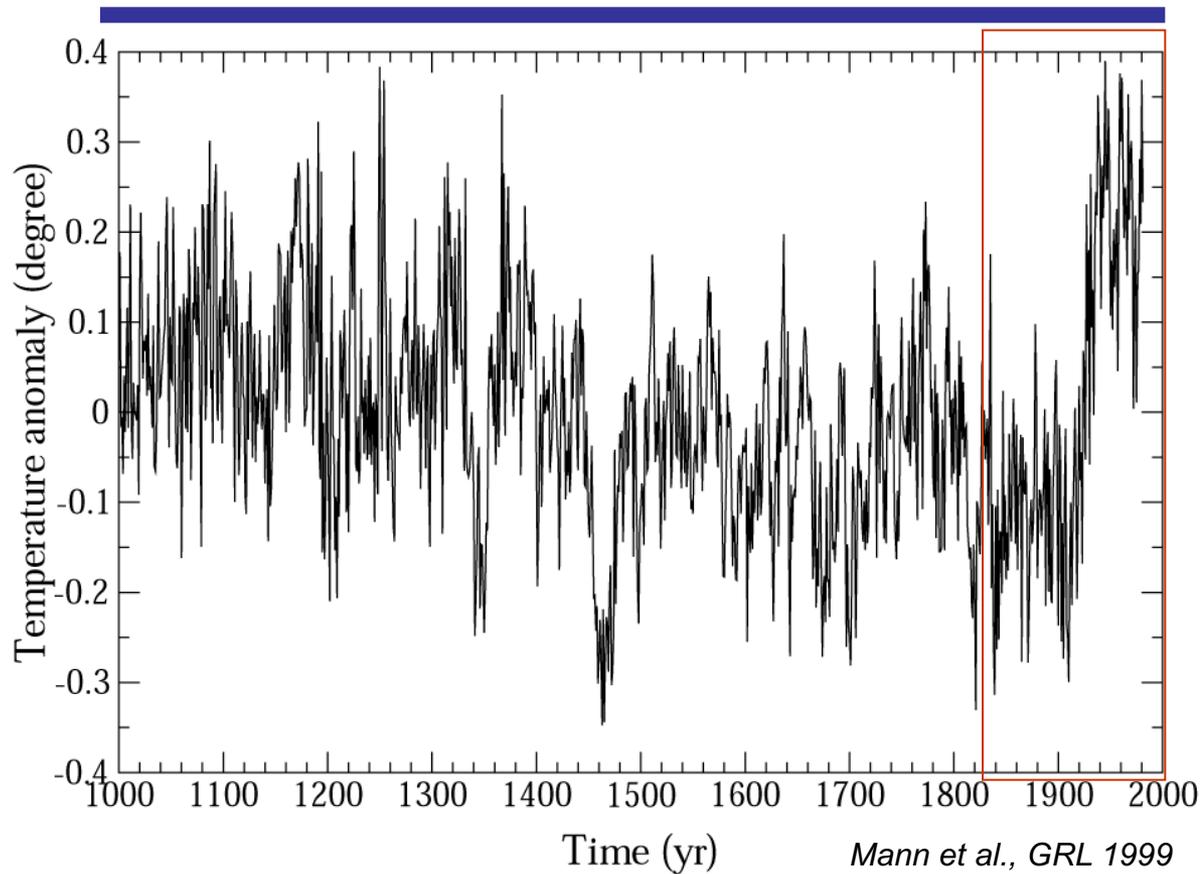
Temperatur der letzten **150 Jahre** (instrumentelle Periode)



Hadley Centre, UK 2000

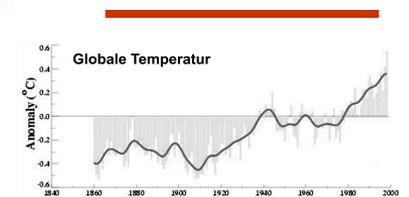
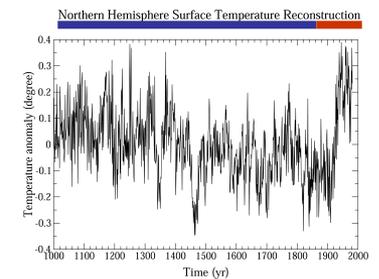
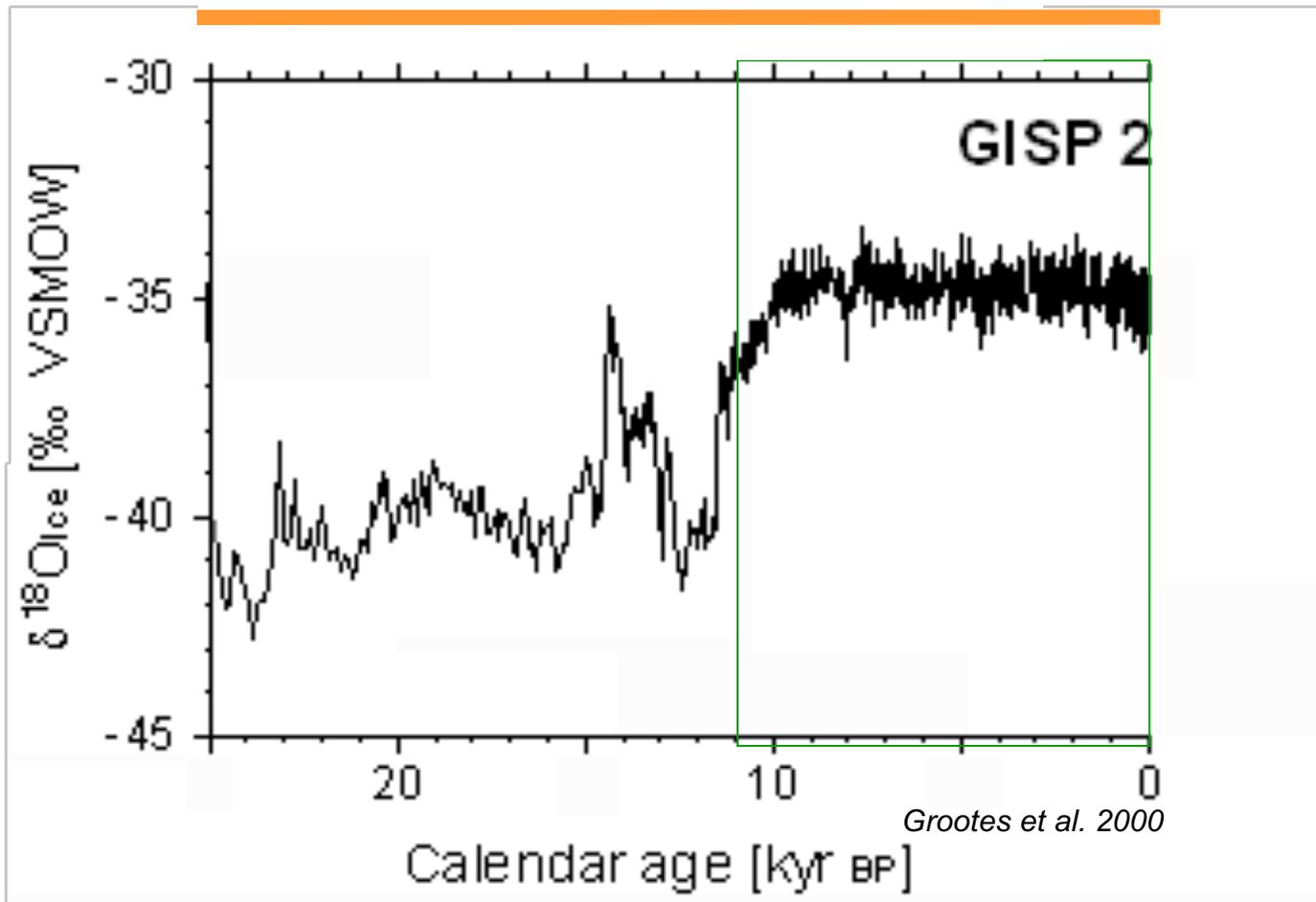
Klimatrends auf verschiedenen Zeitskalen

Temperatur der letzten 1000 Jahre



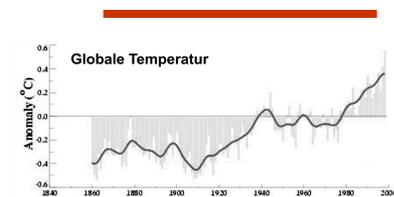
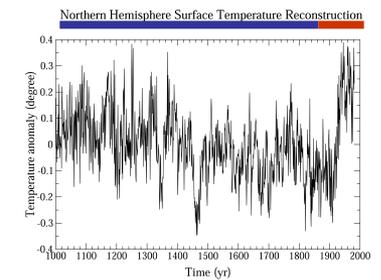
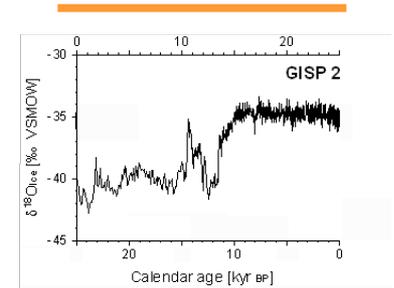
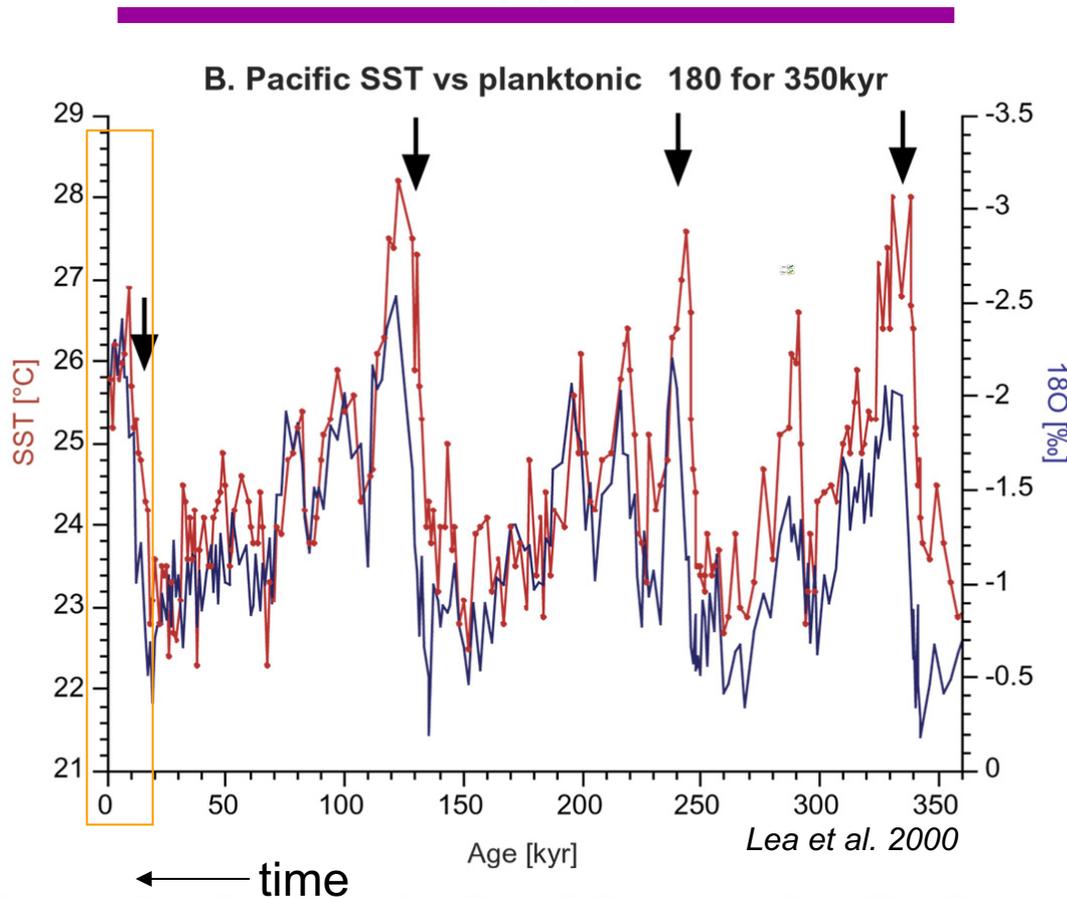
Klimatrends auf verschiedenen Zeitskalen

Grönländischer Eiskern

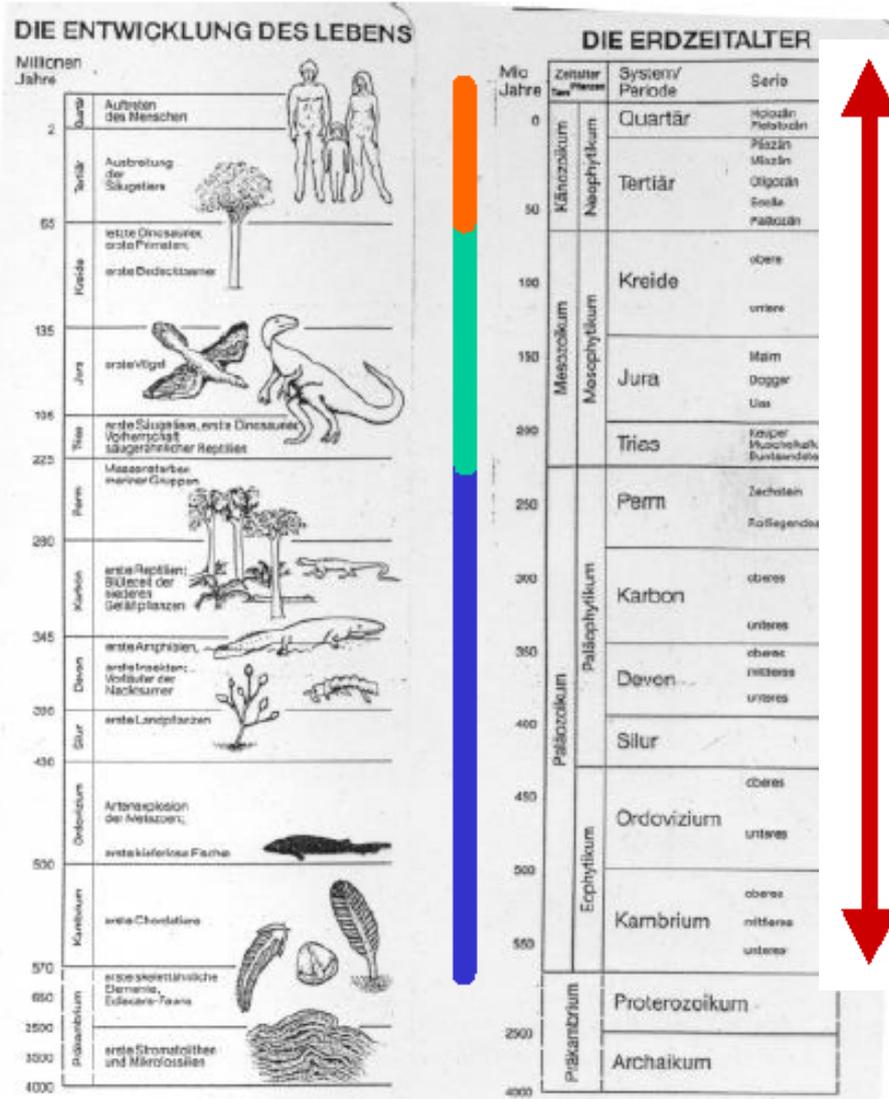


Klimatrends auf verschiedenen Zeitskalen

Eiszeitzyklen



Globale Klimaschwankungen



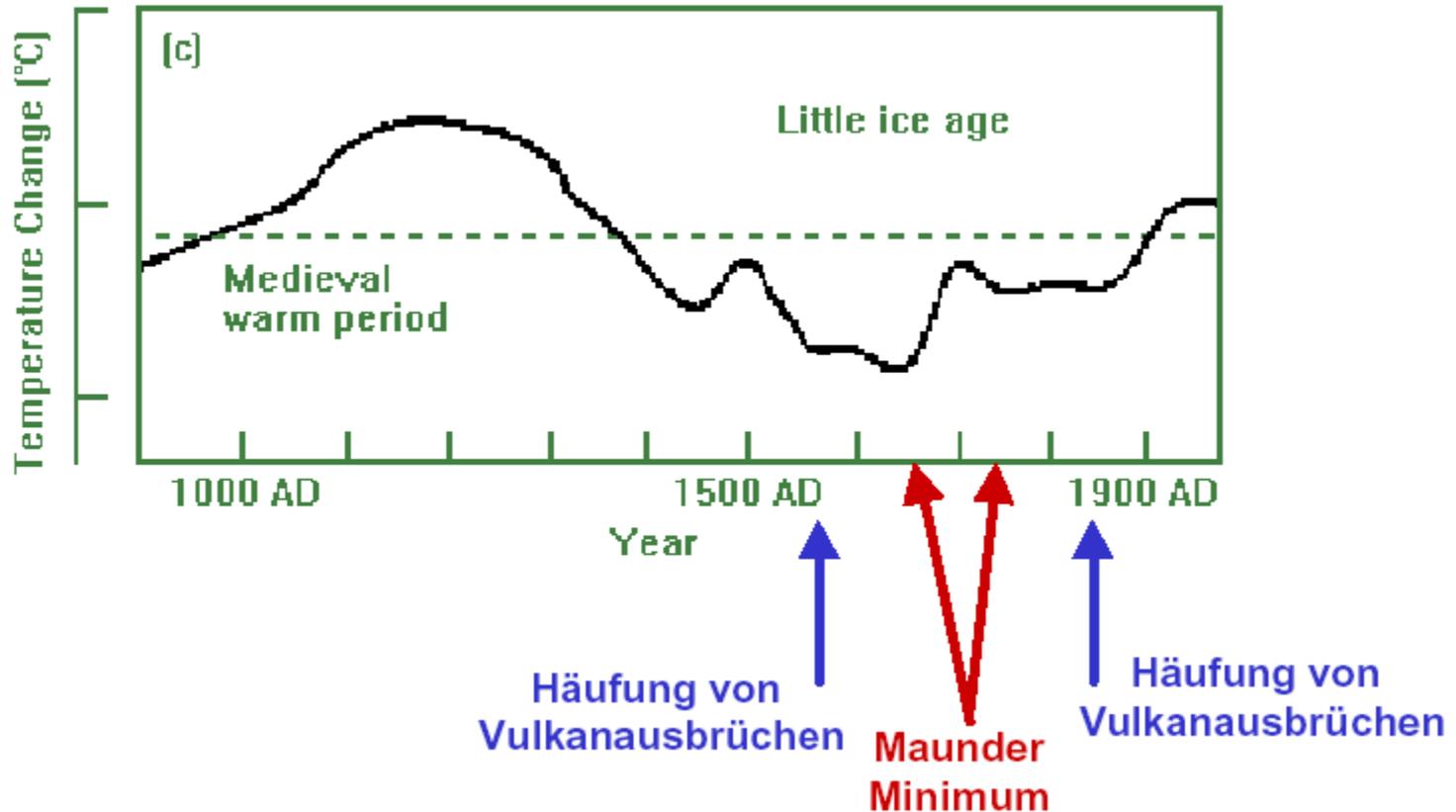
↕ 450 000 Jahre

Menschen seit
2 Millionen Jahren

4 Milliarden Jahre

Globale Klimaschwankungen

Die „Kleine Eiszeit“



Quelle: www.atmos.washington.edu

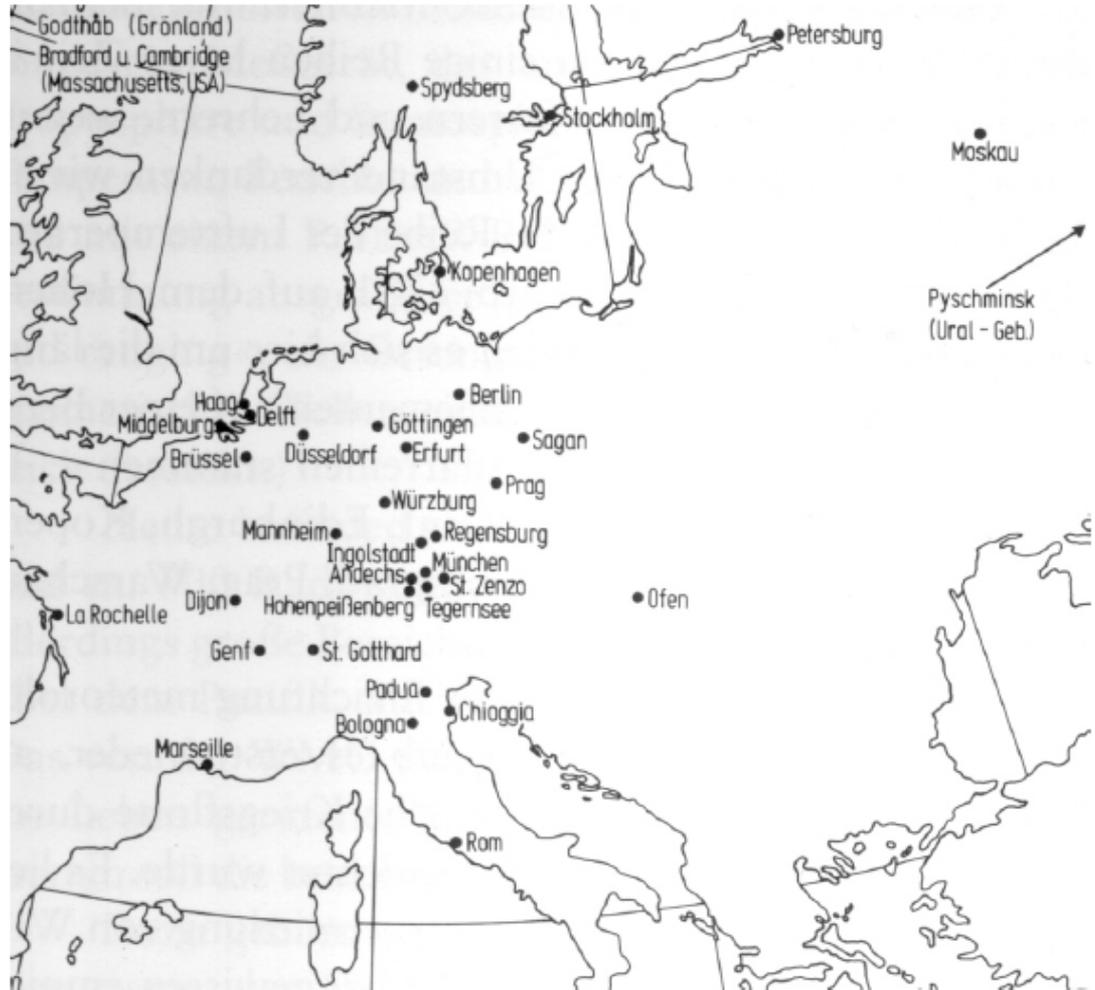
- **Historische Klimadaten** (indirekte Rückschlüsse)
 - Höhlenmalereien, Zeichnungen, Gemälde
 - Mythen, Sagen, Legenden
 - Inschriften, Markierungen
 - Aufzeichnungen der öffentlichen Verwaltung
- **Paläoklimatische Informationsquellen**
 - Sauerstoffisotopenmethode:
 - Eisbohrkerne
 - Sedimentbohrkerne
 - Baumringe
 - Sedimentation von Gletscherablagerungen
 - Pollenanalyse

Datenerfassung

- Anfänge physikalischer Messtechnik
 - ca. 1650 erste Luftdruckmessungen (Italien, Frankreich, Schweden)
 - 1654-1670 erste aufgezeichneten Lufttemperaturmessungen (Pisa)
 - 1677-1704 erste Niederschlagsmessreihen (England)
 - ca. 1700 erste Windmessungen in Deutschland (Leibniz)
- Vieljährige (lückenlose) Messreihen
 - Längste lückenlose und homogene Lufttemperaturmessreihe der Erde: „Zentral-England“-Reihe seit 1659
 - Längste Niederschlagsreihe: Kew (bei London) seit 1697
 - Längste Luftdruckreihe: De Bult (Holland) seit 1740
 - Längste Windreihe: Hohenpeißenberg seit 1781

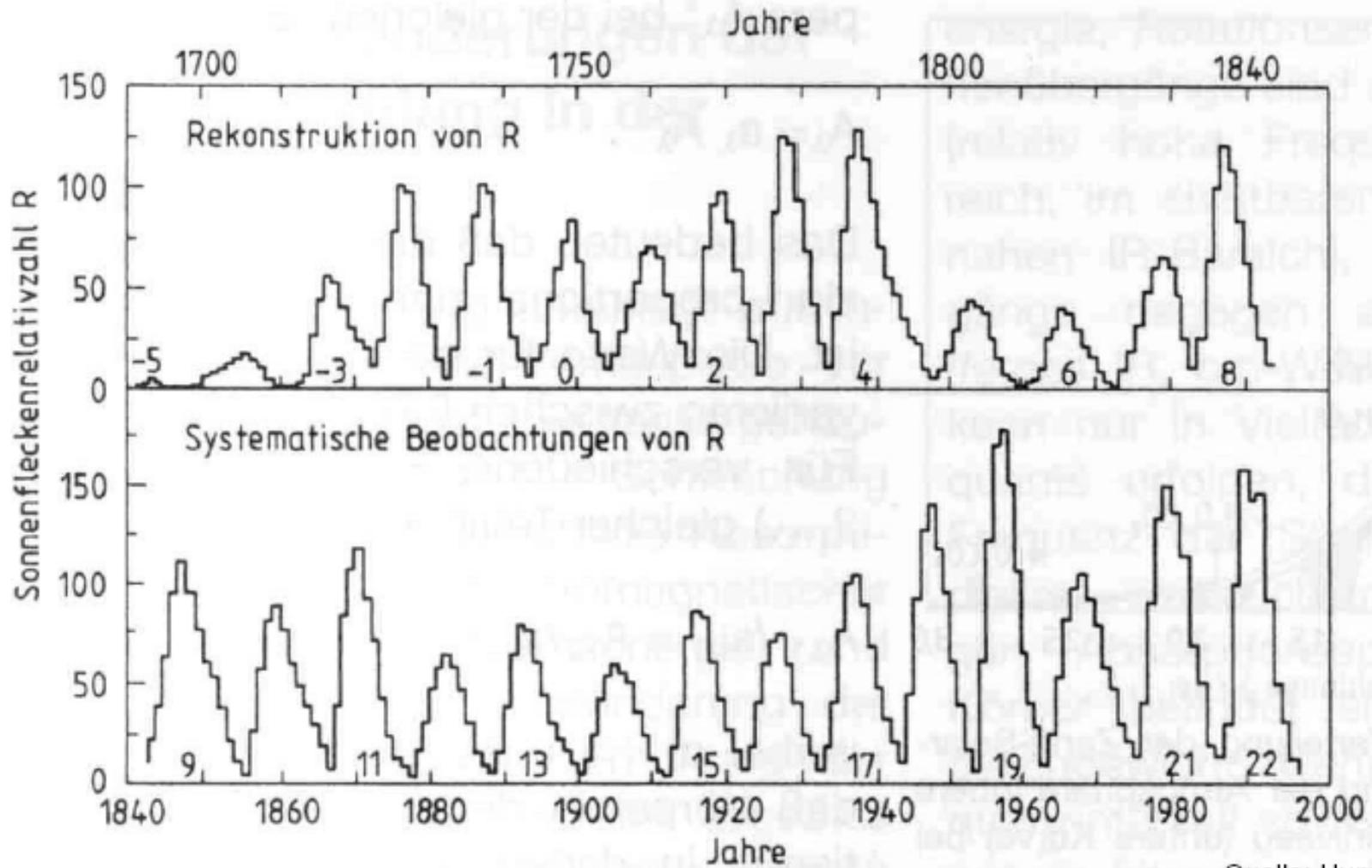
Datenerfassung

Stationsnetz der
Pfälzischen
Meteorologischen
Gesellschaft
*Societas
Meteorologica
Palatina*
(1781-1795)



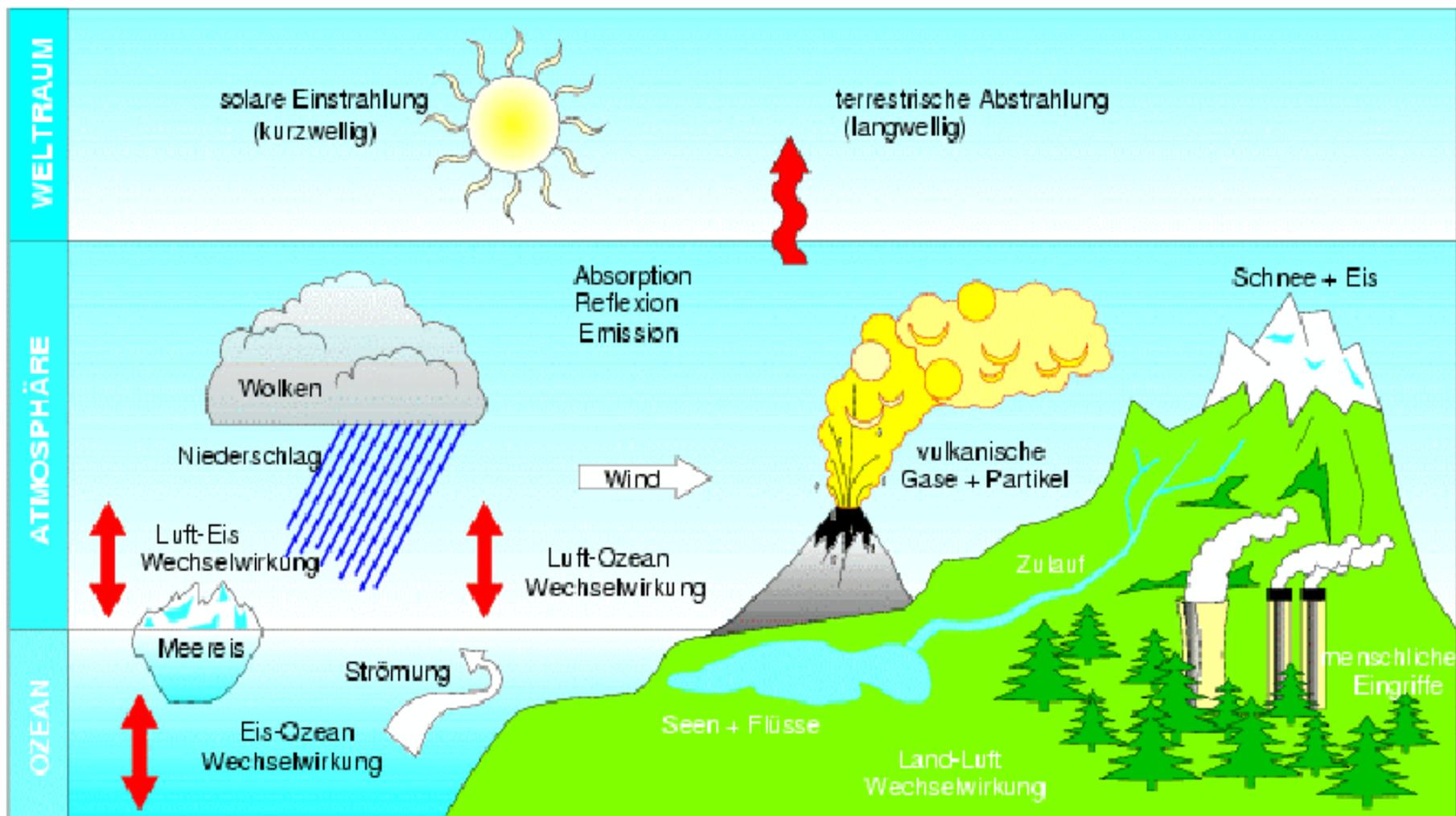
Quelle: Schönwiese

Sonnenflecken



Quelle: Hupfer & Kuttler

Das Gesamtsystem

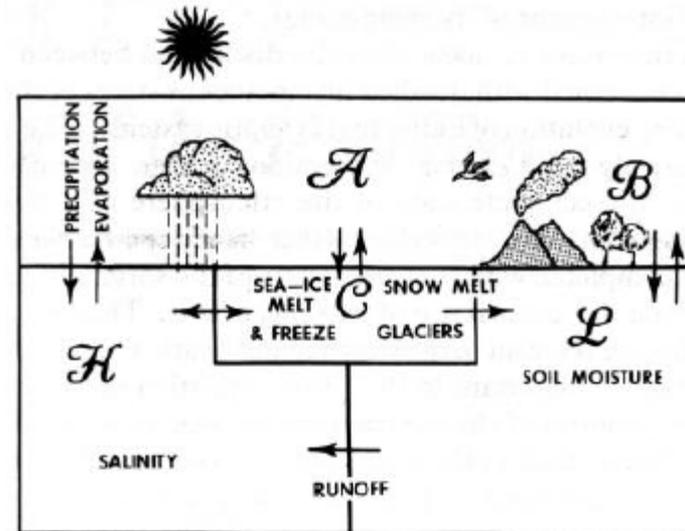


Die Subsysteme

Subsysteme:

- Atmosphäre
- Hydrosphäre
- Kryosphäre
- Lithosphäre
- Biosphäre

THE TOTAL CLIMATE SYSTEM AND ITS SUBSYSTEMS



A = atmosphere

H = hydrosphere (ocean)

C = cryosphere (snow & ice)

L = lithosphere (land)

B = biosphere

Die Subsysteme

a. Atmosphäre

:= an der Rotation teilnehmende Lufthülle

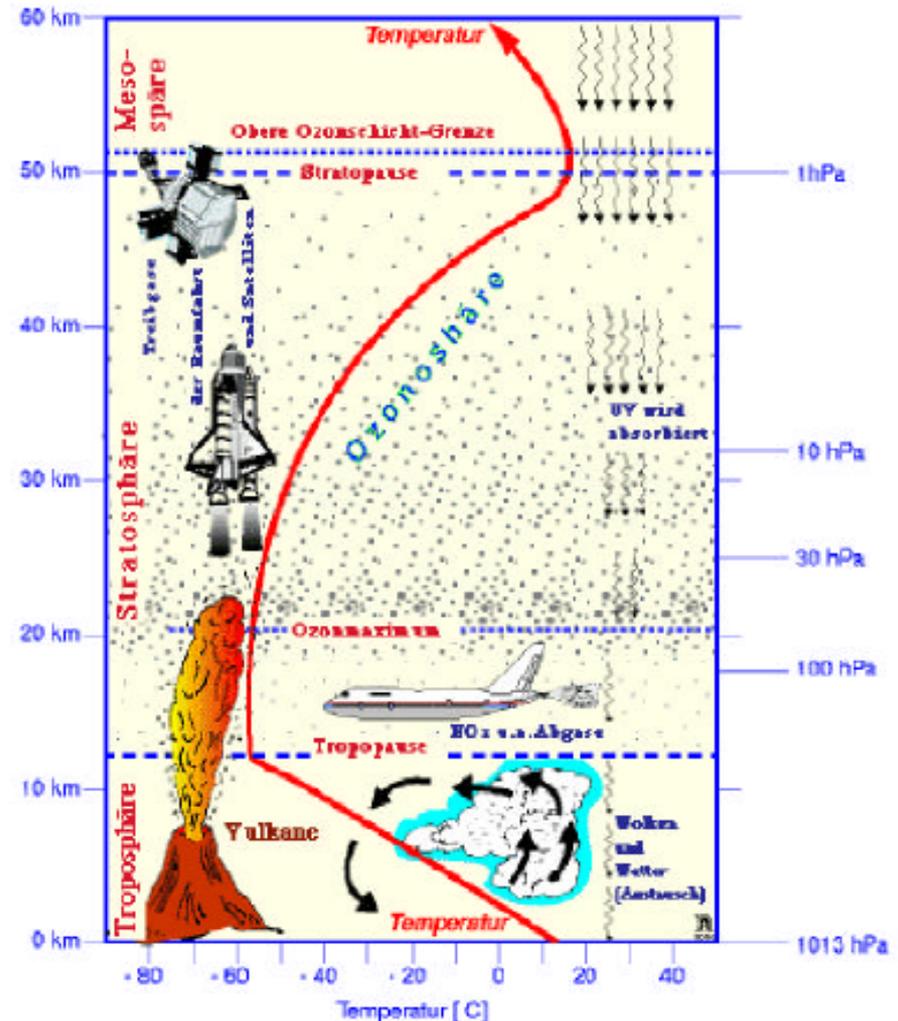
- Aufbau:

Troposphäre, Tropopause,
Stratosphäre, Mesosphäre

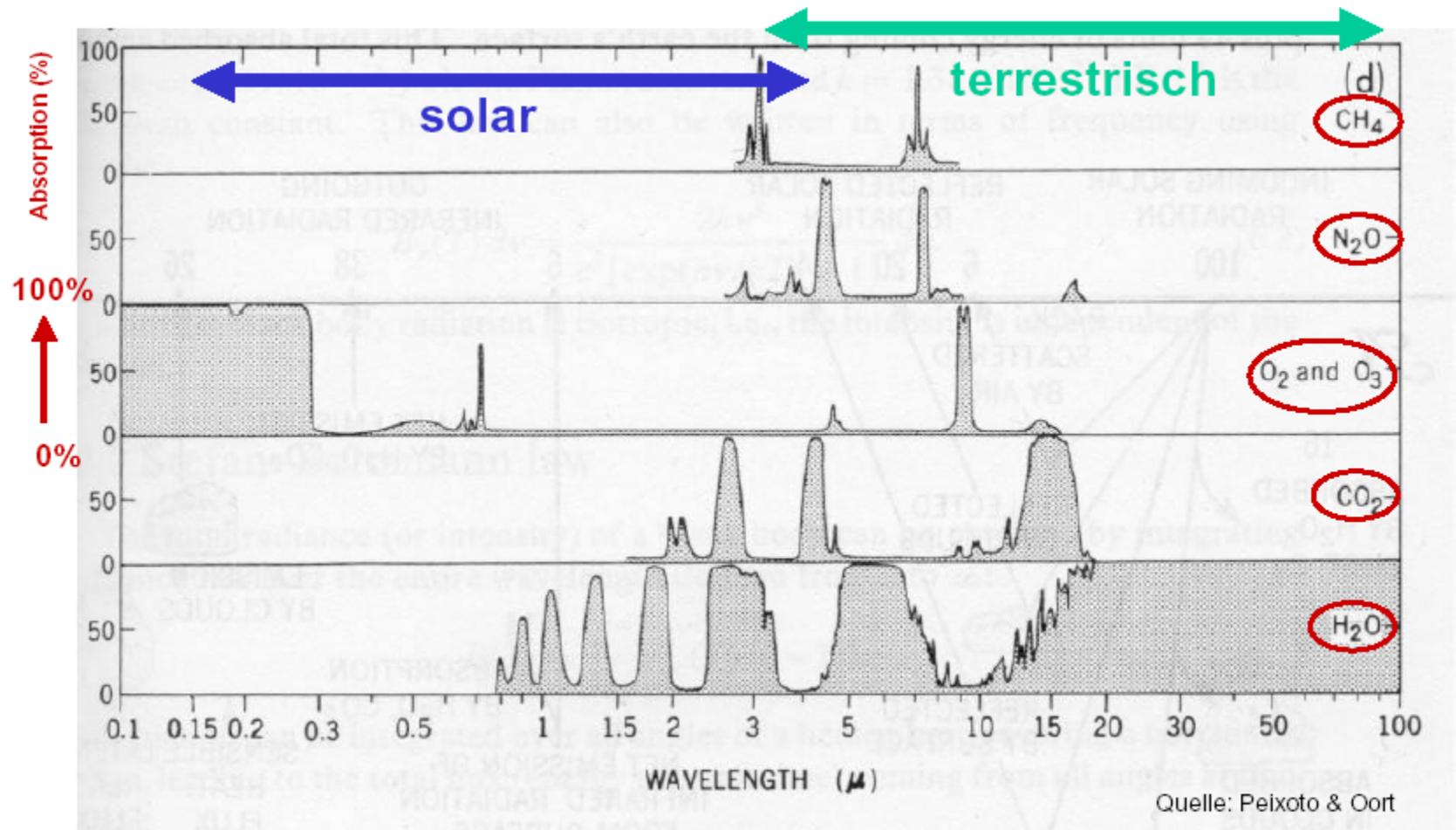
- solare Einstrahlung

=> Temperaturgradient

=> Bewegungsenergie

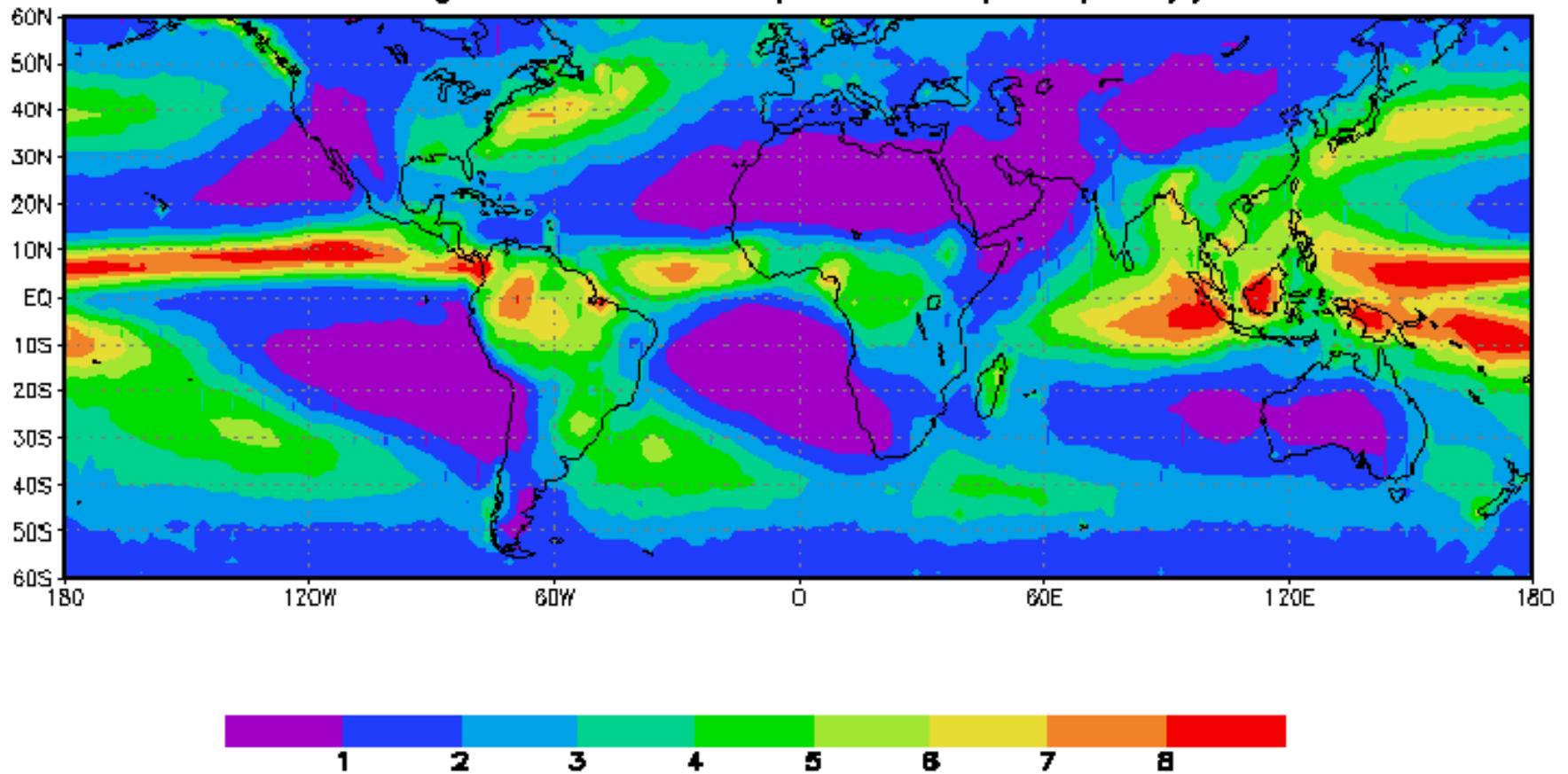


Strahlung in der Atmosphäre

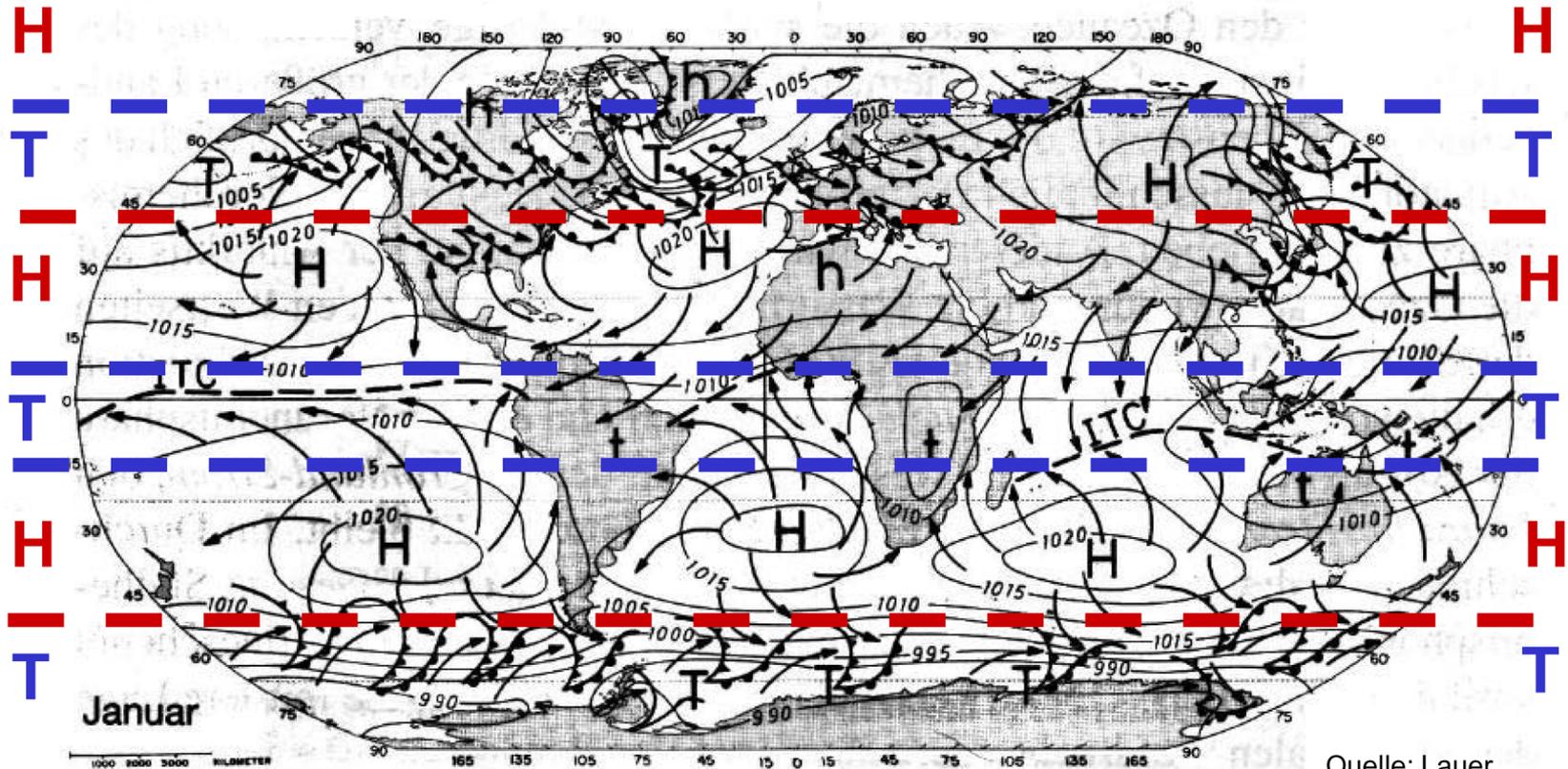


Niederschlag

Annual Average GPCP Precipitation (mm/day): 1987–99

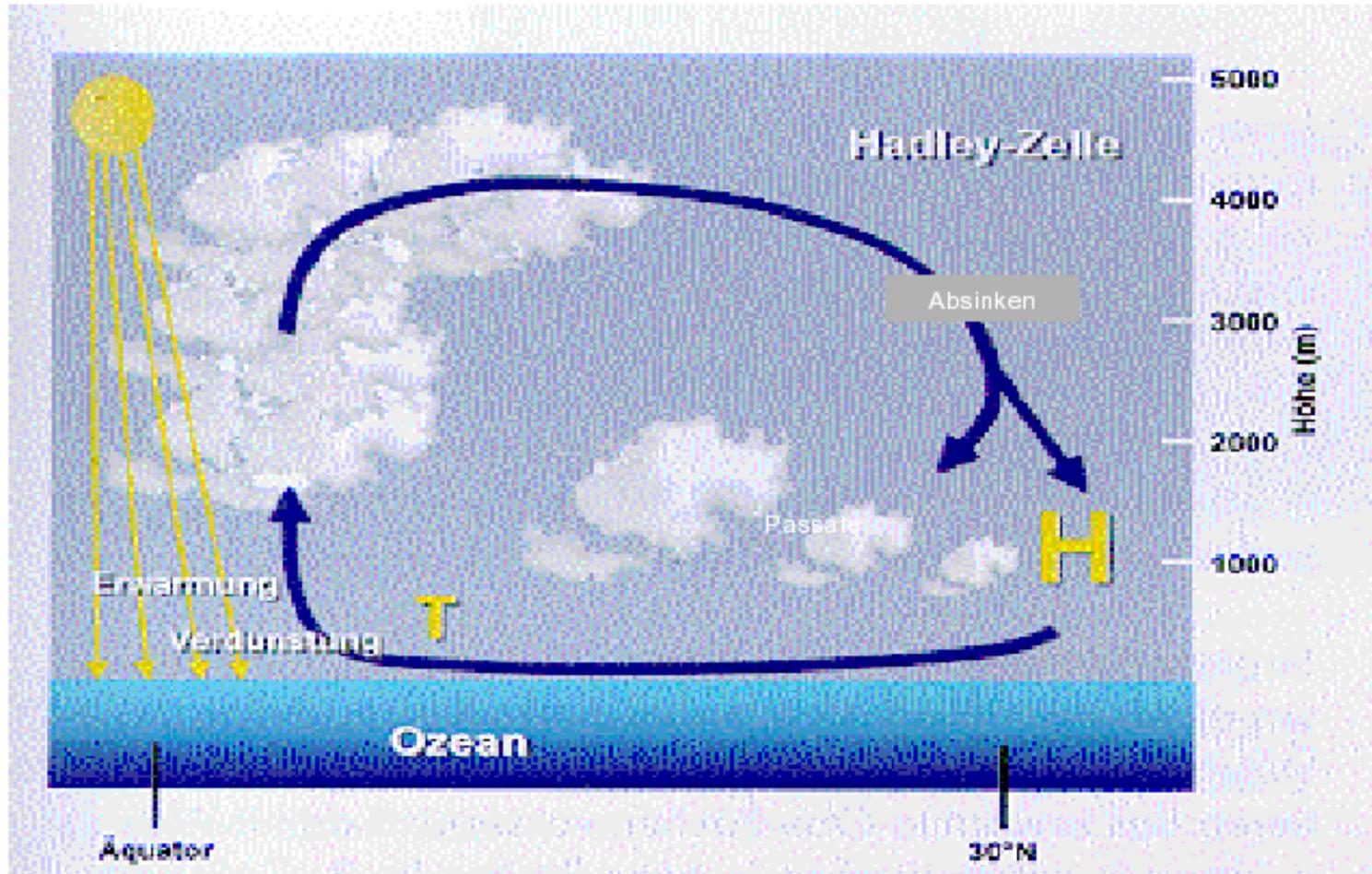


Bodenluftdruck und Wind



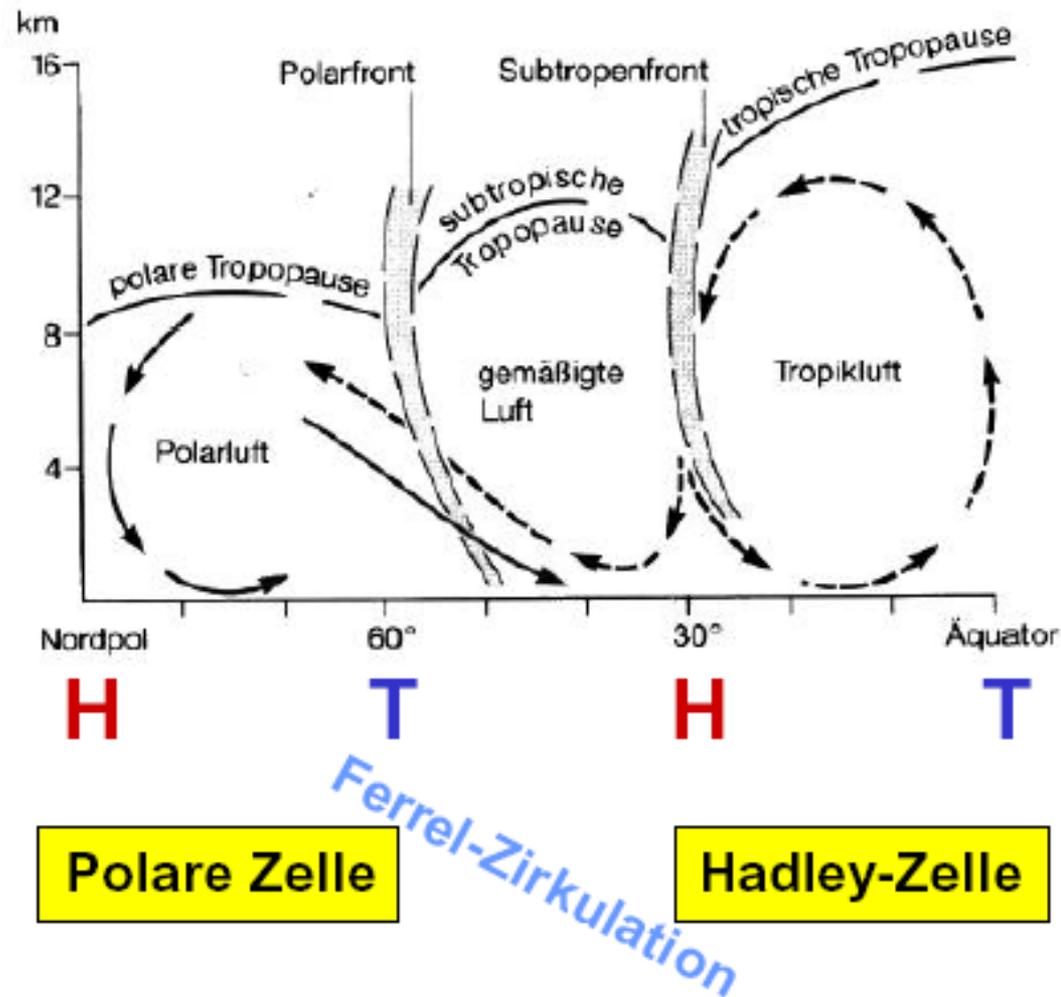
Quelle: Lauer

Modell der Meridionalzirkulation



Quelle: BGR

Modell der Meridionalzirkulation



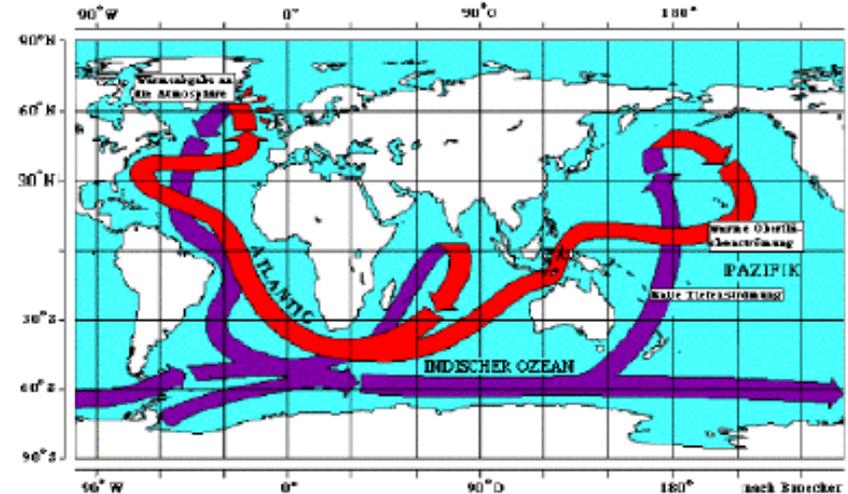
Die Subsysteme

b. Hydrosphäre

:= Ozeane, Seen, Flüsse, Grundwasser

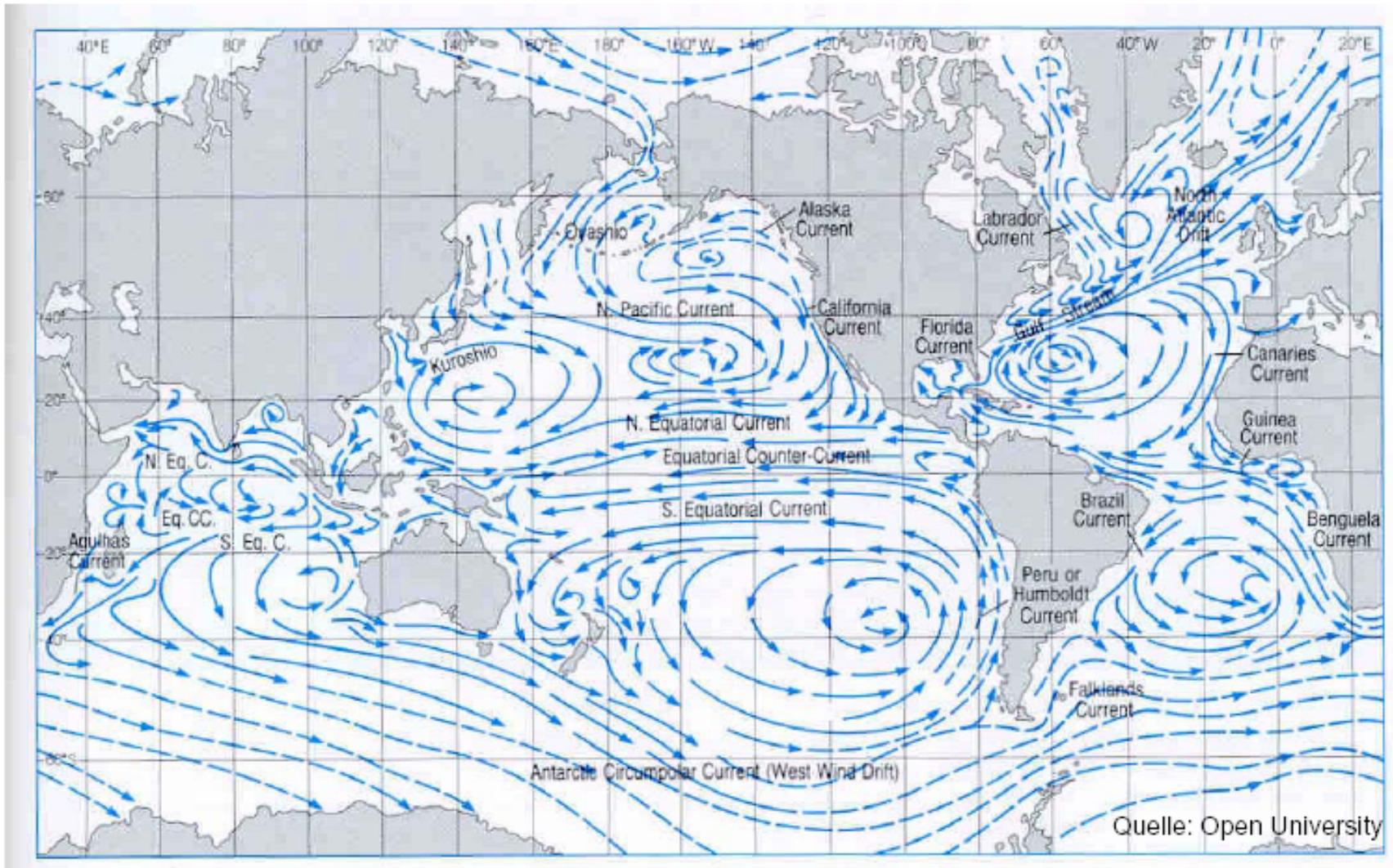
- 2/3 der Erdoberfläche
- Riesiges Energiereservoir
- Relaxationszeit:
Monate - Jahrhunderte

- Windgetriebene und
thermohaline Zirkulation



Das große marine Förderband

Oberflächenströmungen

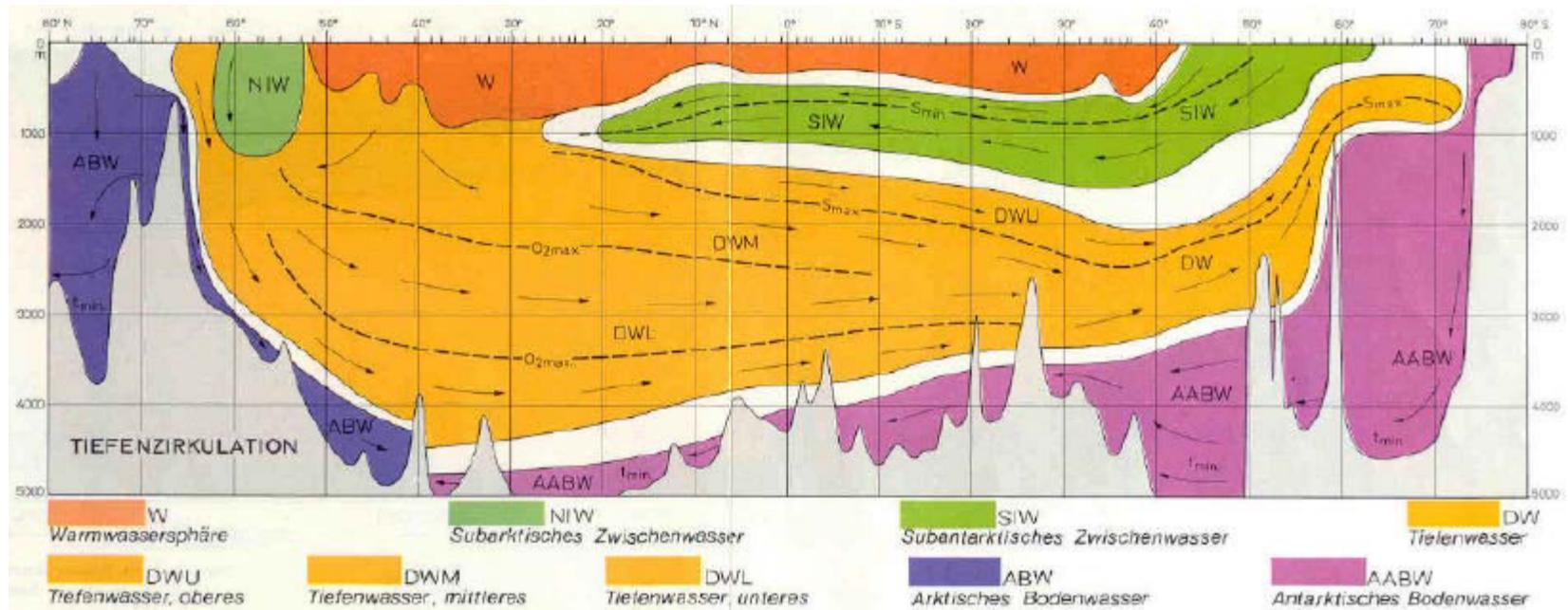


Tiefenzirkulation im Atlantik

Wassermassen (schematisch)

Norden

Süden



Quelle: Dietrich, Kalle, Kraus, Siedler

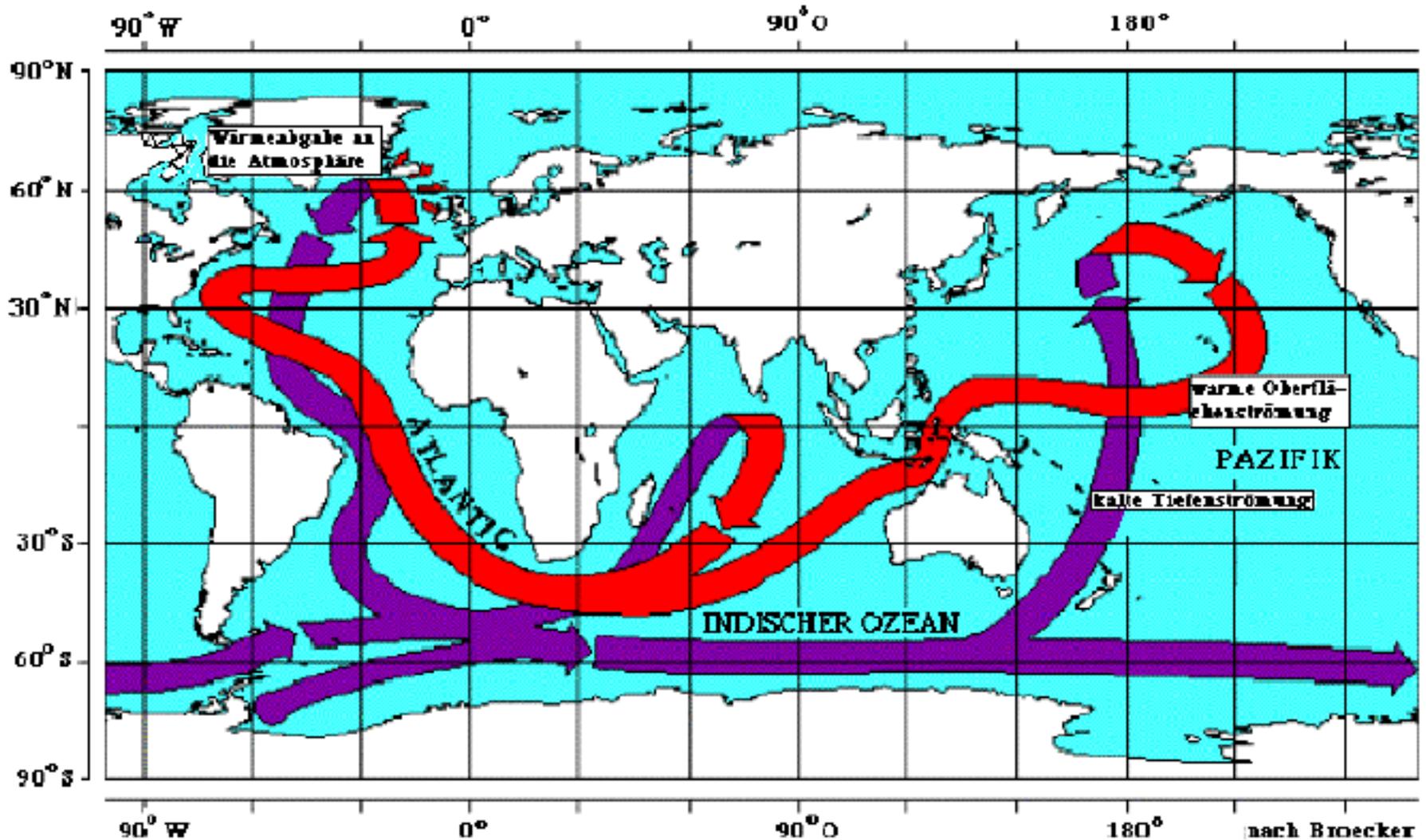
Tiefenzirkulation im Atlantik

Quellen Nordatlantischen Tiefenwassers

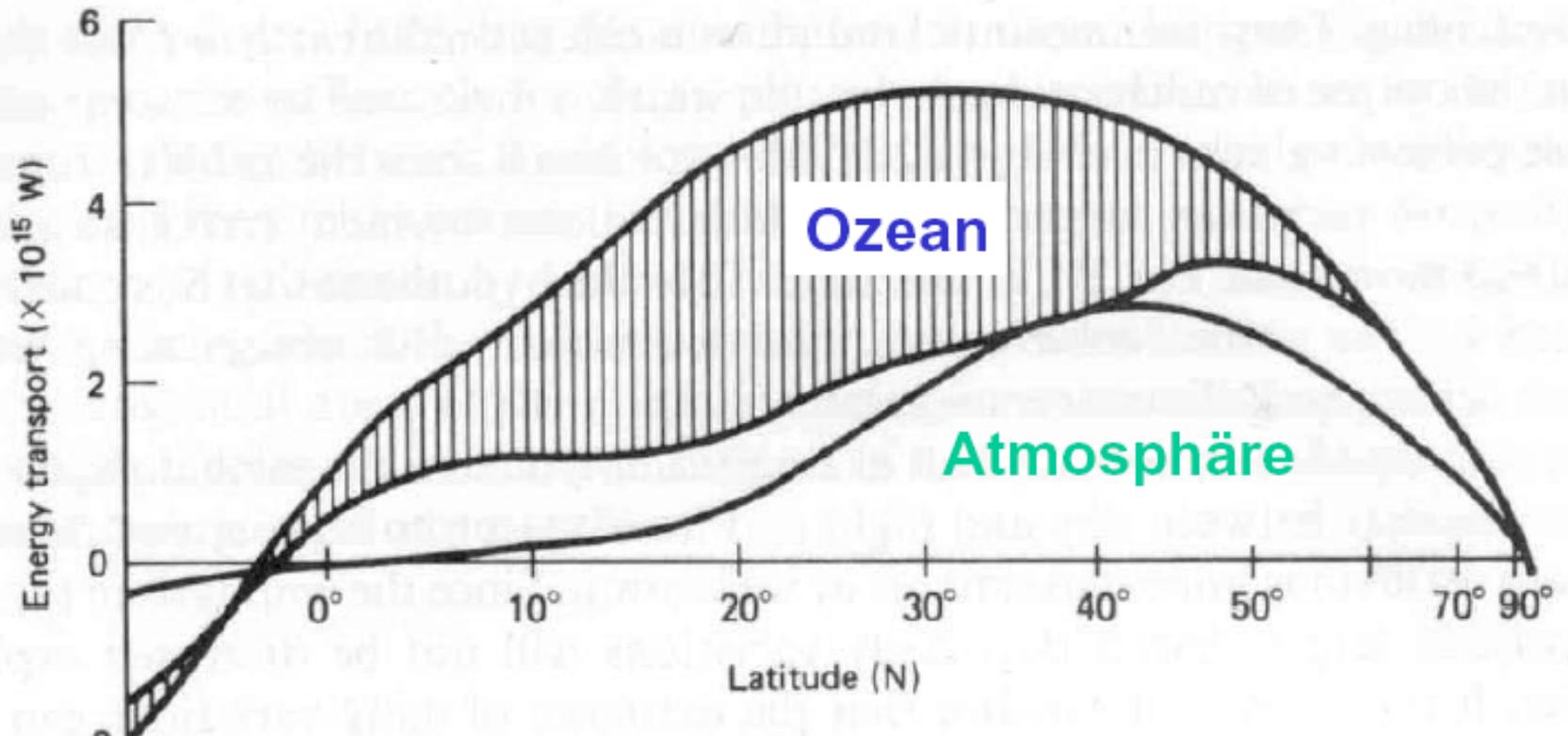


Thermohaline Zirkulation

schematisch



Nordwärtiger Energietransport



nach Von der Haar & Ort; Quelle: Gill

Die Subsysteme

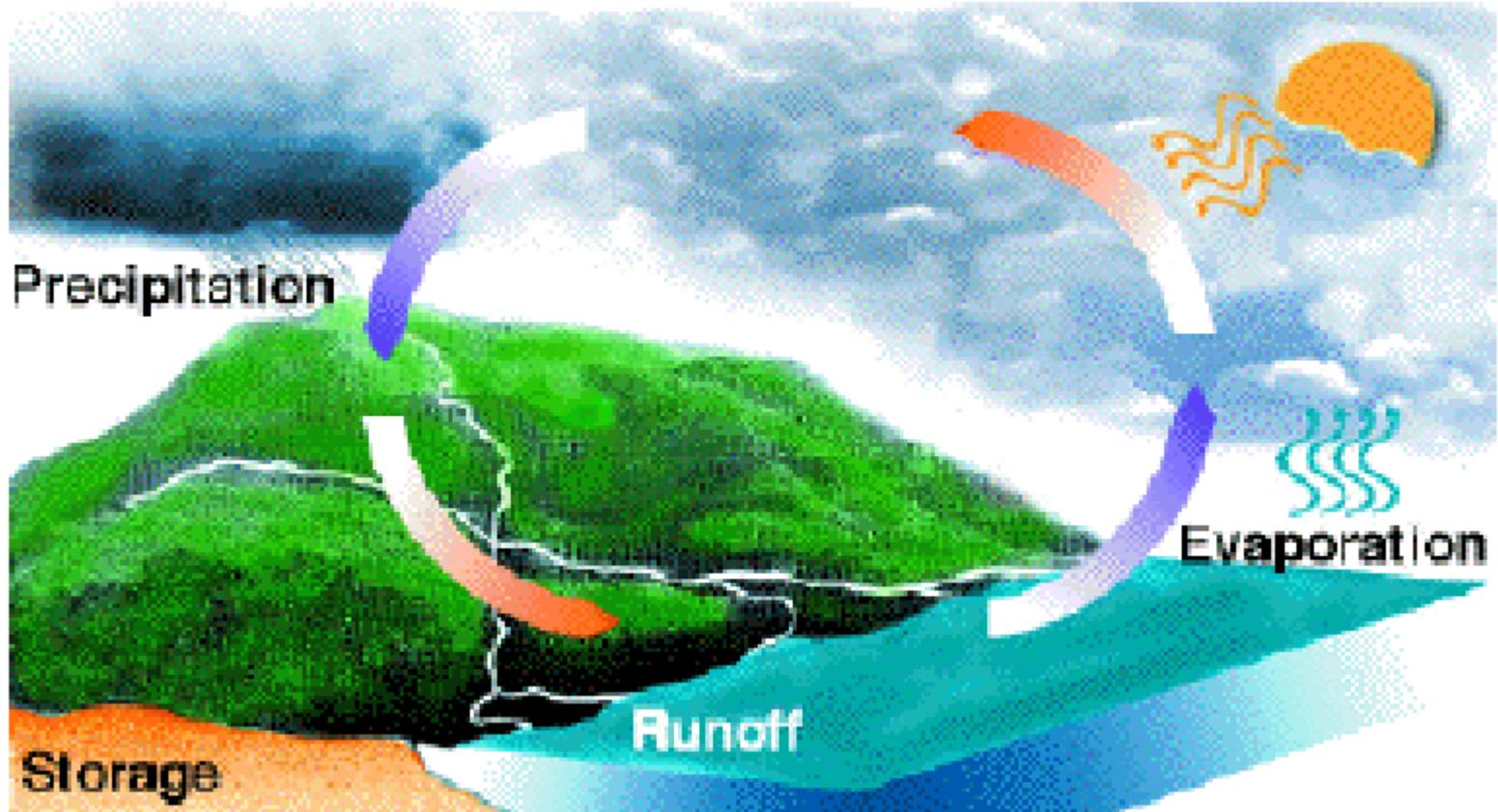
c. Kryosphäre

:= Schnee, Eisschilde, Meereis

- Süßwasserreservoir
- Hohe Reflektivität
- Reaktionszeiten:
bis zu Tausenden von Jahren



Wasserkreislauf



Physikalische Eigenschaften des Wassers

Zusammensetzung des Wassers

Wassermolekül

%

$^1\text{H}_2^{16}\text{O}$	99,73
$^1\text{H}_2^{18}\text{O}$	0,20
$^1\text{H}_2^{17}\text{O}$	0,04
$^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$	0,032
$^1\text{H}^2\text{H}^{18}\text{O}$	0,00006
$^1\text{H}^2\text{H}^{17}\text{O}$	0,00001
$^2\text{H}_2^{16}\text{O}$	0,000003
$^2\text{H}_2^{18}\text{O}$	0,000000006
$^2\text{H}_2^{17}\text{O}$	0,000000001

Die Subsysteme

d. Lithosphäre

:= Feste Erdoberfläche, Erdinneres,
Sedimente

- Topographie
=> atmosphärische Bewegung
- Bodenfeuchte
=> Luftfeuchtigkeit
- Vulkanismus
=> atmosphärische
Zusammensetzung



Quelle: WWF / PRO FUTURA

Die Subsysteme

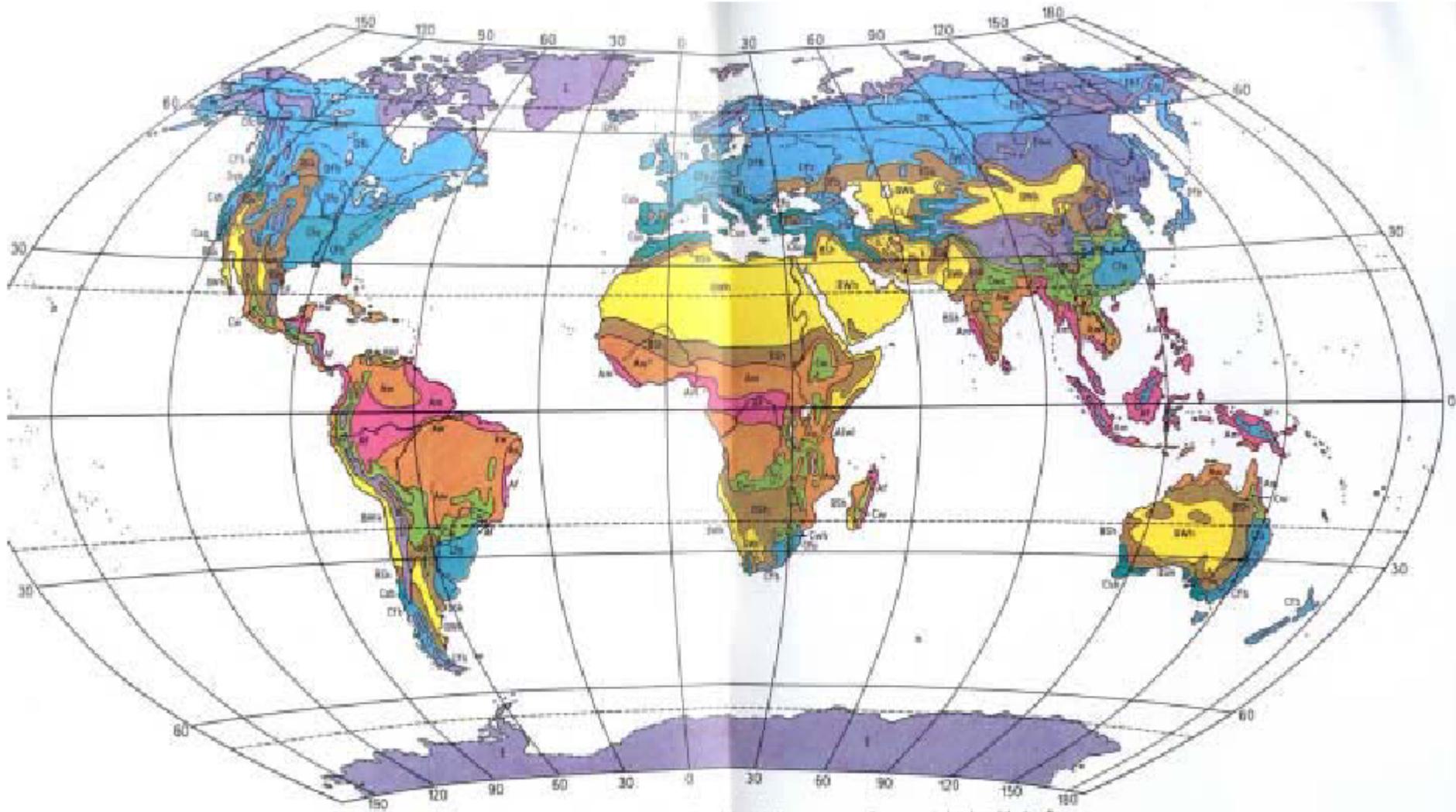
e. Biosphäre

:= alle Lebewesen und Pflanzen

- Vegetation
=> Rauigkeit der Oberfläche,
Albedo, Abfluss von Wasser
- Photosynthese
=> CO₂-Konzentration
- Baumringen, Korallen
=> Index (*Proxy*) für
Klimaschwankungen



Köppen/Geiger - Klassifikation



Köppen/Geiger - Klassifikation

- **A-Klimate: tropische Regenklimate**
 - Af, Am: feucht-heiße Urwaldklimate
 - Aw, As: periodisch-trockene Savannenklimate
- **B-Klimate: Trockenklimate**
 - BS: Steppenklimate
 - BW: Wüstenklimate
- **C-Klimate: warmgemäßigte Regenklimate**
 - Cw: warme, wintertrockene Klimate
 - Cs: warme, sommertrockene Klimate
 - Cf: feuchttemperierte Klimate (*Immerfeucht*)
- **D-Klimate: boreale, subarktische Klimate**
 - Df: winterfeucht-kalte Klimate
 - Dw: wintertrocken-kalte Klimate
- **E-Klimate: Schneeklimate**
 - ET: Tundra
 - EF: ewiger Frost

Die Wechselwirkungen

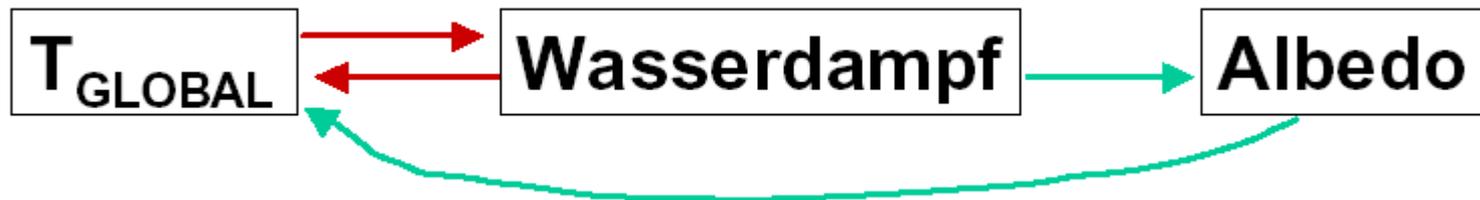
Rückkopplungen

positive Rückkopplung:

Entstandene Klimastörung wird durch Wechselwirkungsprozesse immer weiter verstärkt
(*Selbstverstärkung, Aufschaukeln*)

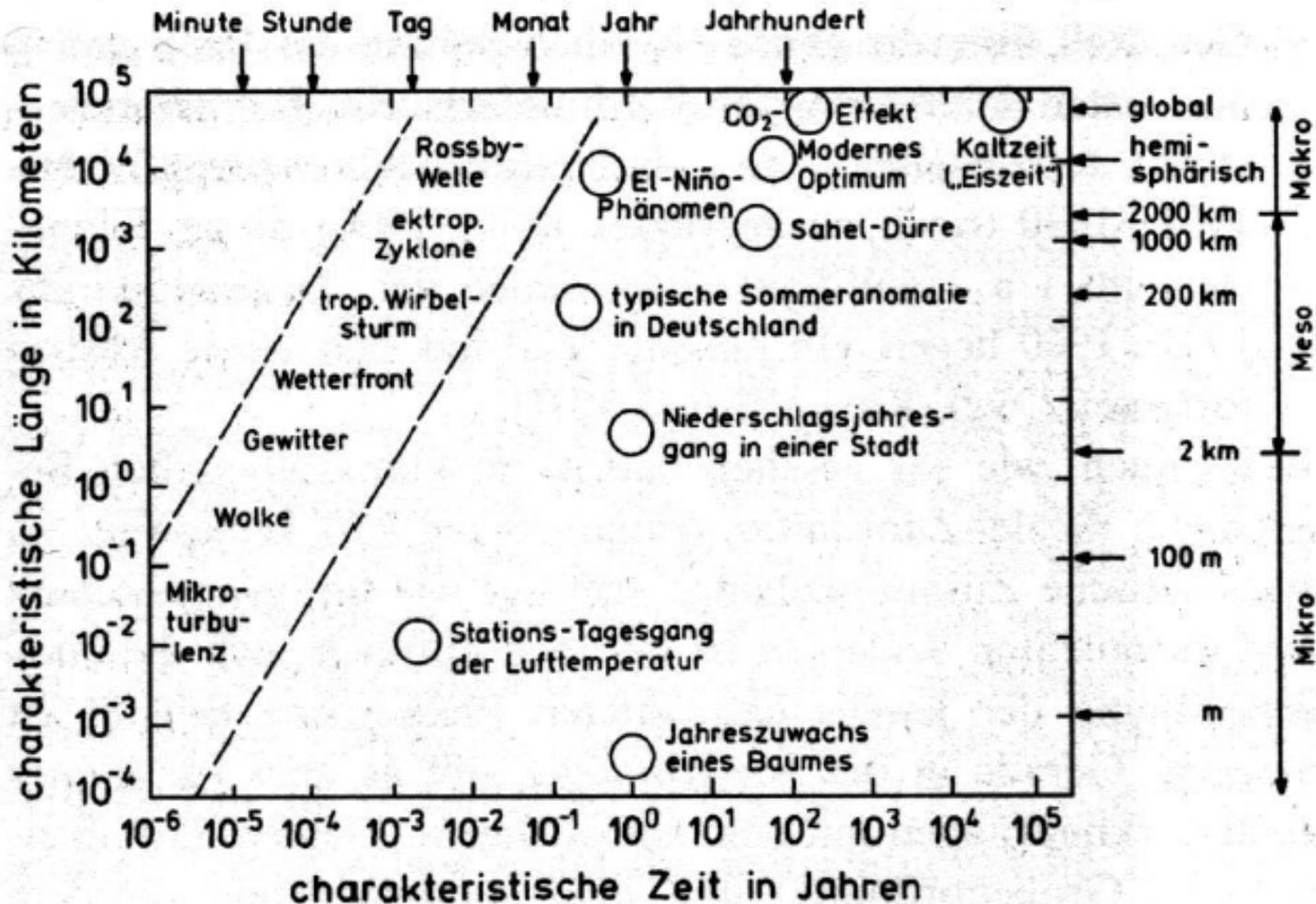
negative Rückkopplung:

Entstandene Klimastörung wird durch Wechselwirkungsprozesse wieder beseitigt
(*Selbstregulierung, Ausdämpfen*)

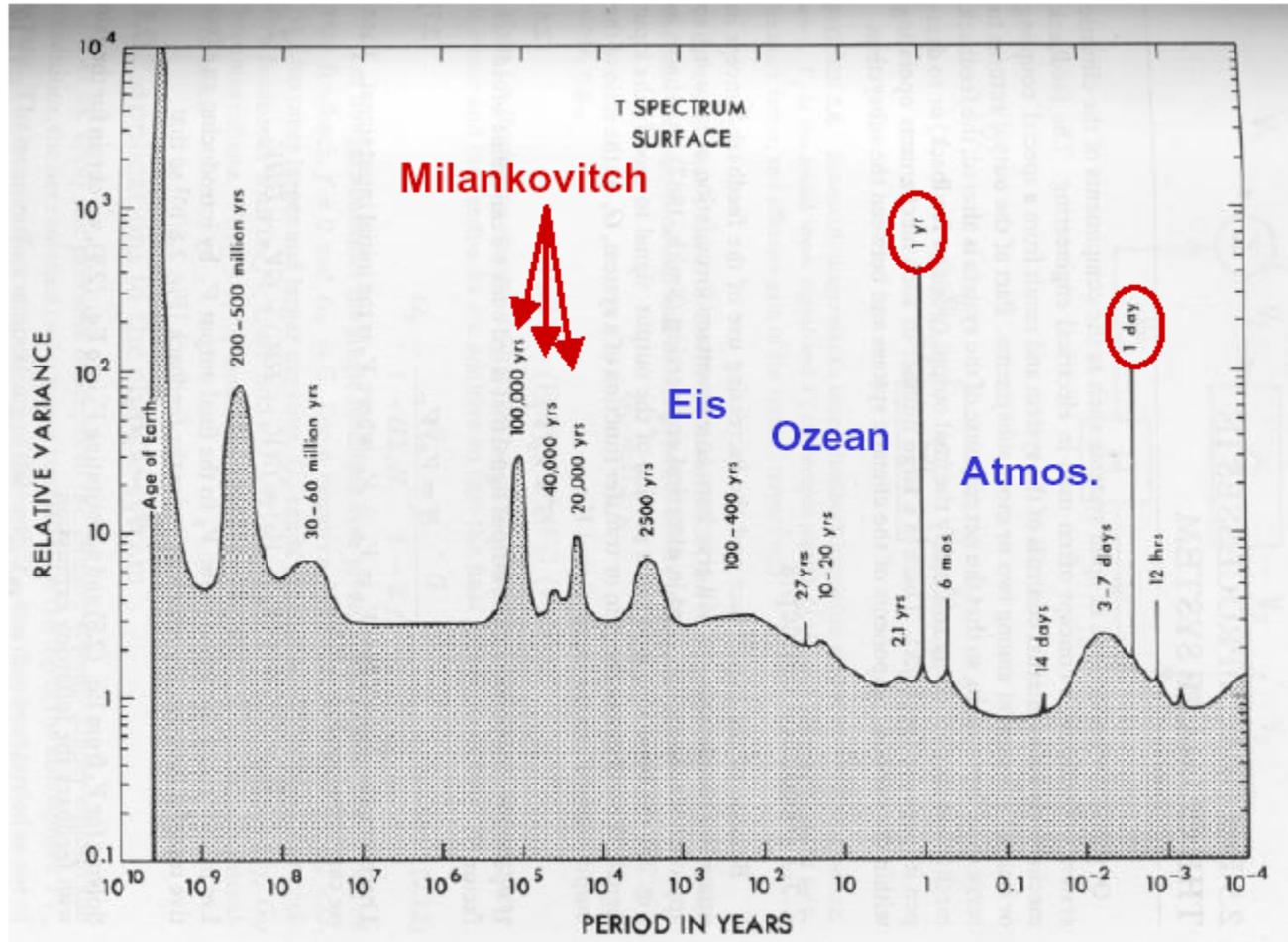


Die Wechselwirkungen

Charakteristische räumliche und zeitliche Skalen



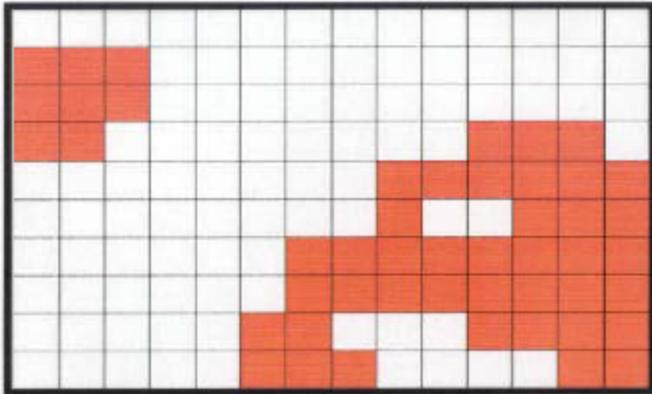
Anomalien und Spektren



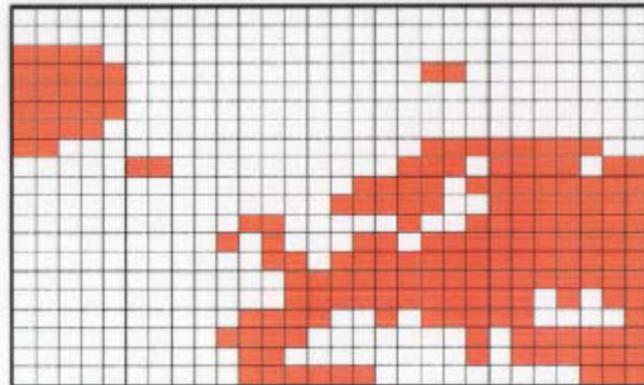
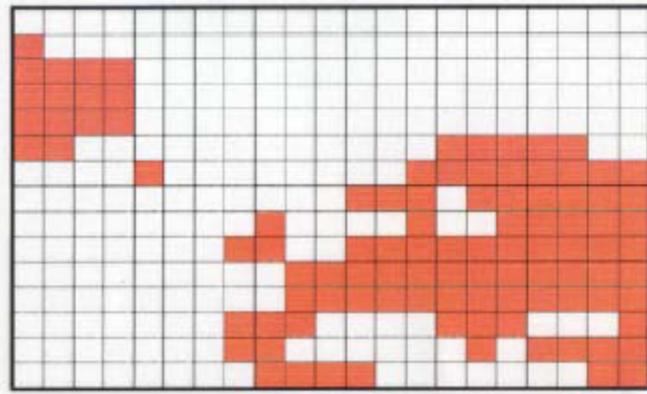
Quelle: Peixoto & Oort

Wie rechnen Klimamodelle?

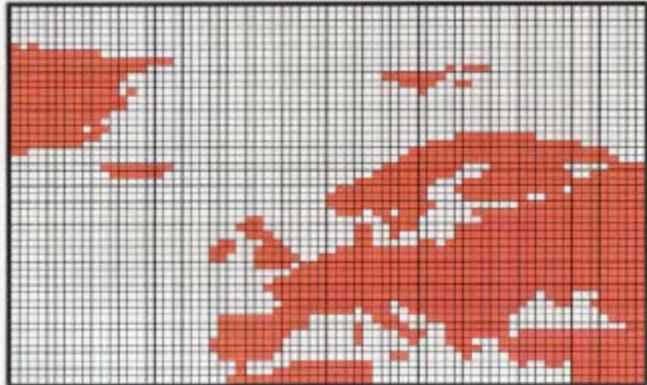
T21: ca. 500 km Gitterabstand



T42: ca. 250 km Gitterabstand



T63: ca. 180 km Gitterabstand



T106: ca. 110 km Gitterabstand

Wie sind Klimamodelle aufgebaut?

Horizontale Bewegungsgleichungen

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} - f(\mathbf{k} \times \mathbf{v}) = -\frac{1}{\rho_0}[\nabla_H(p + \rho_0 g \eta)] + \nabla_H A_H \nabla_H \cdot \mathbf{v} + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_V \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial z} \right)$$

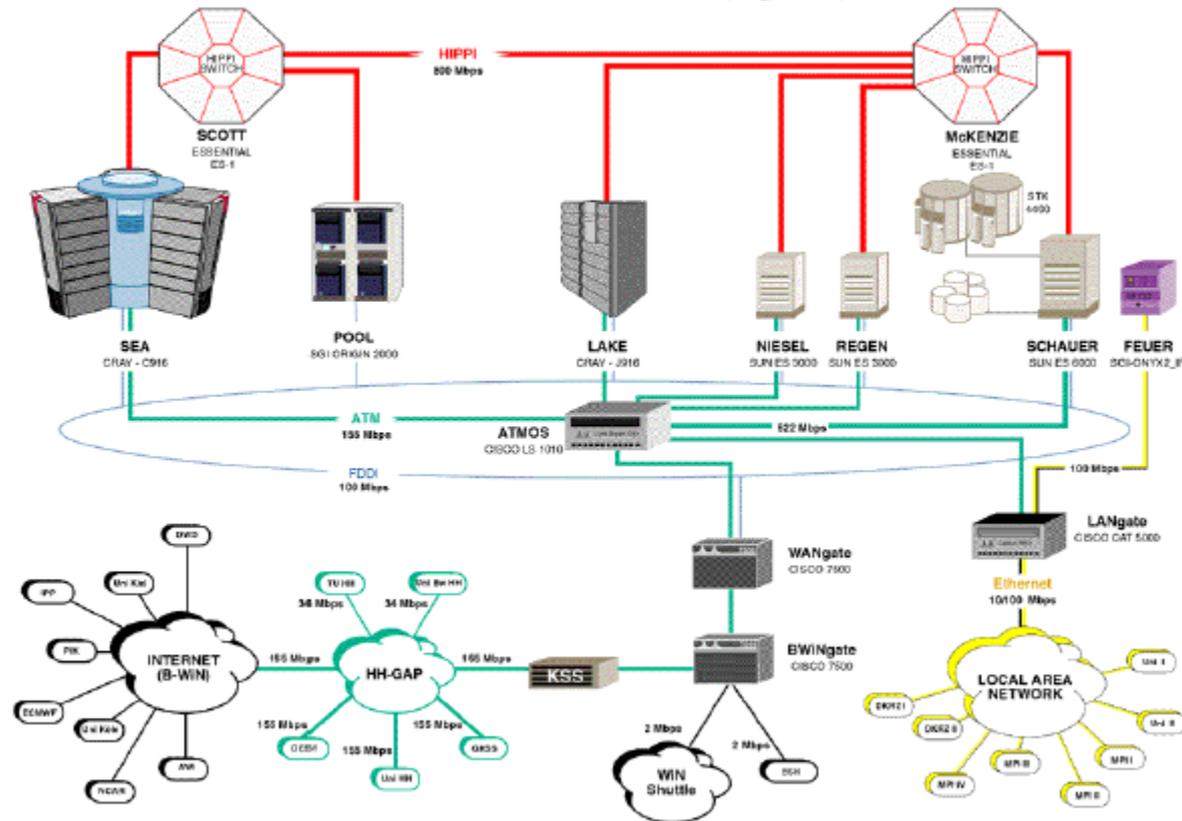
Gleichungen für Temperatur und Salzgehalt

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D_V \frac{\partial T}{\partial z} \right) + D_H \nabla_H^2 T$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D_V \frac{\partial S}{\partial z} \right) + D_H \nabla_H^2 S$$

Wo rechnen Klimamodelle?

Rechner und Netze (2Q2000)



Anwendungen

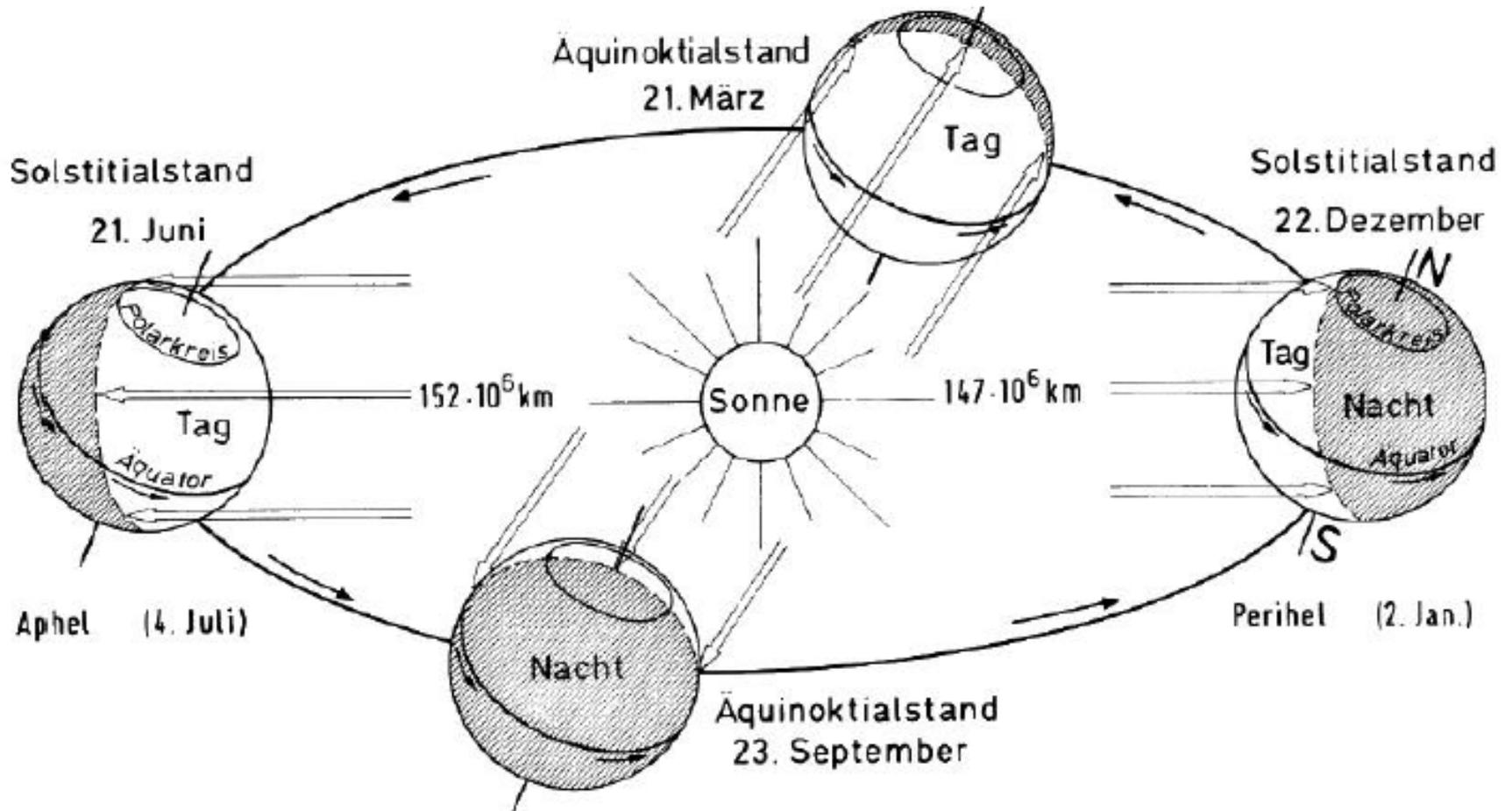
Was können Klimamodelle?

Sie können:

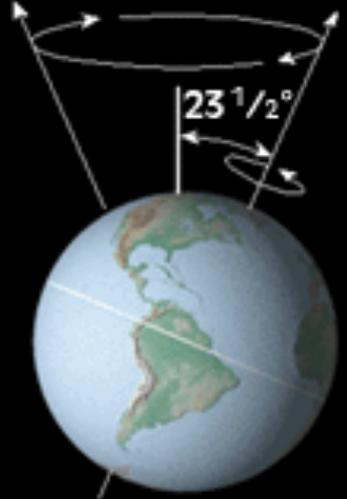
- den Mittleren Zustand von Ozean und Atmosphäre reproduzieren,
- den Jahresgang realistisch wiedergeben,
- die beobachtete natürliche Klimavariabilität simulieren,

- saisonale Klimaanomalien vorhersagen (z.B. ENSO),
- Auswirkungen menschlichen Handelns auf das Klimasystem prognostizieren.

Jahreszeiten



Wega Polarstern



Präzession

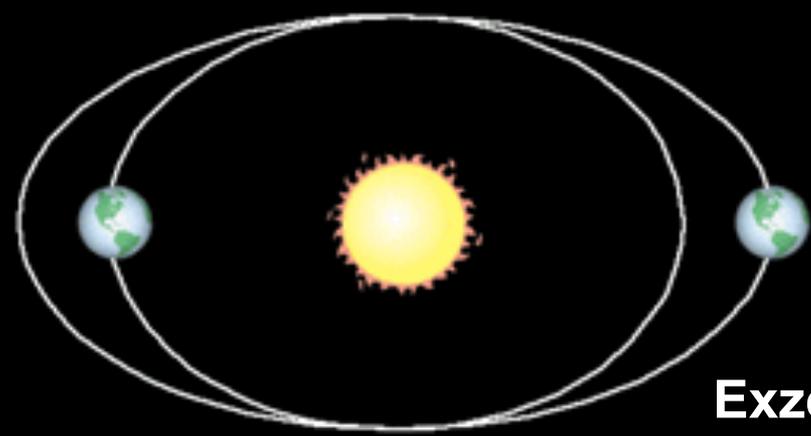
max.
heute
min.

$24\frac{1}{2}^\circ$
 $23\frac{1}{2}^\circ$
 $22\frac{1}{2}^\circ$

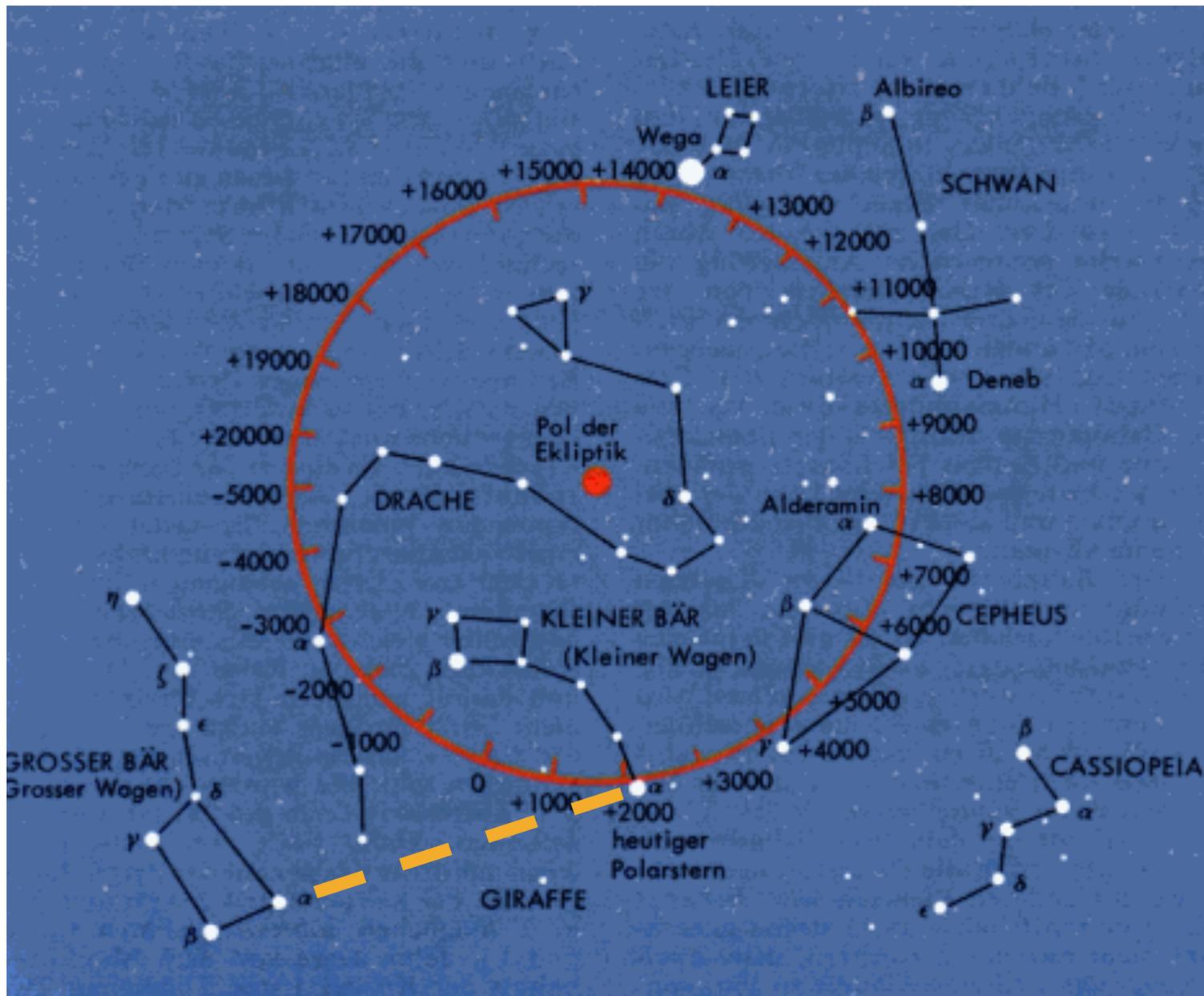
Ebene der
Erdbahn



Neigung

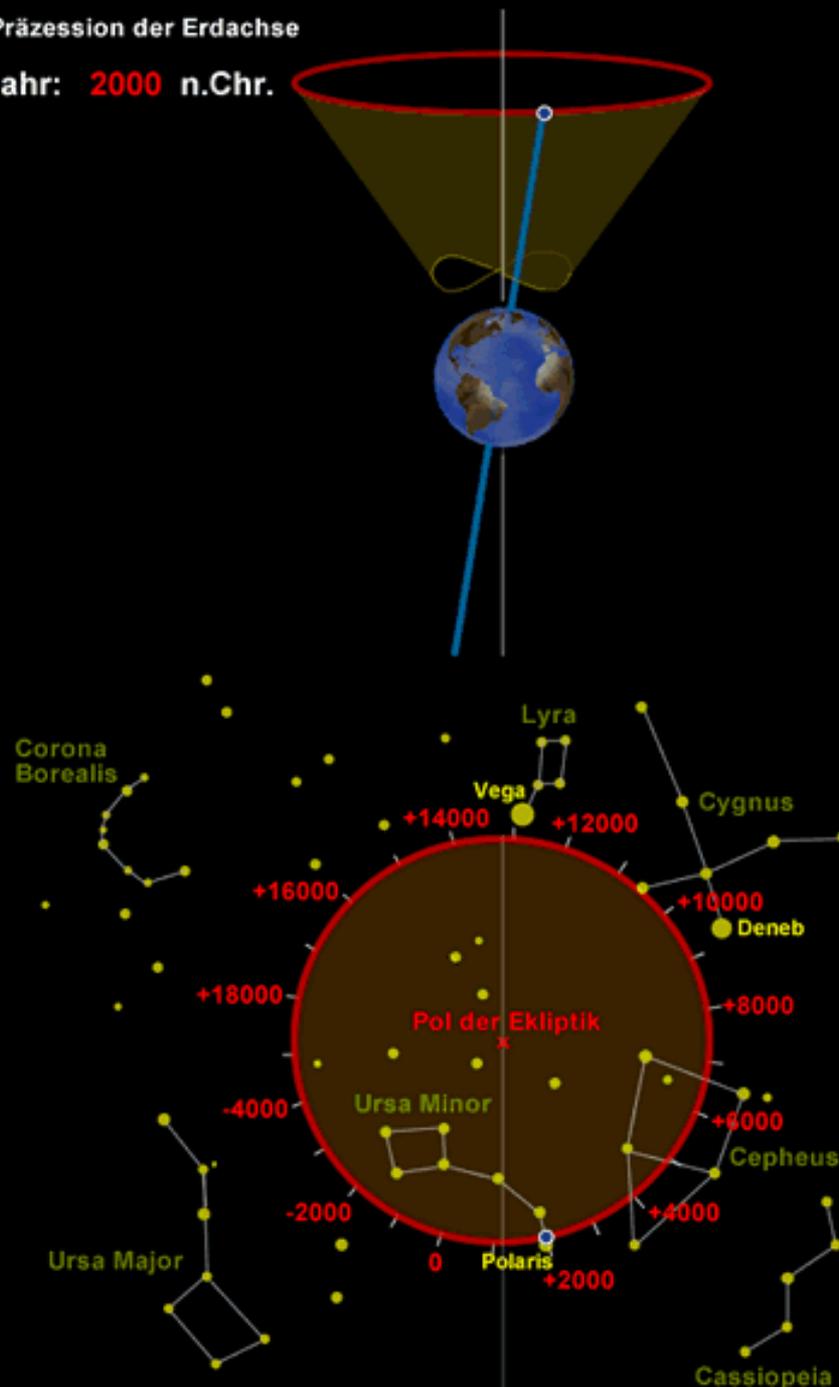


Exzentrizität

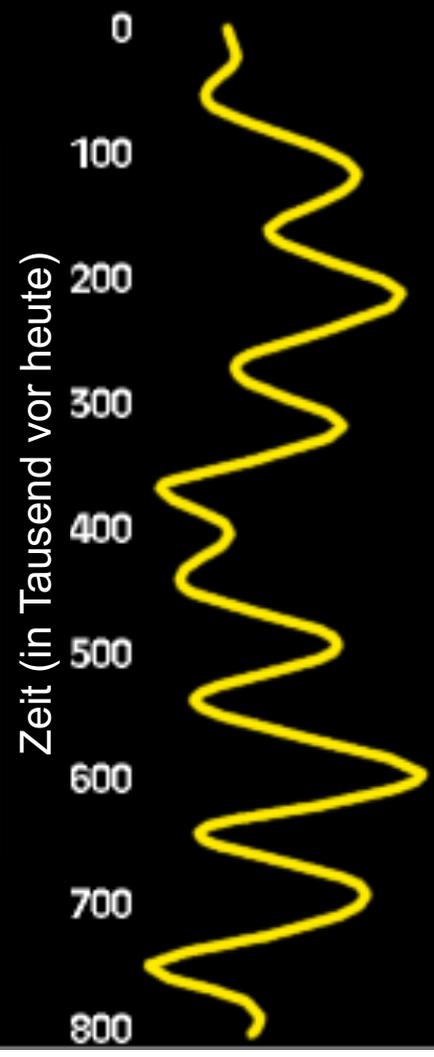


Präzession der Erdachse

Jahr: 2000 n.Chr.

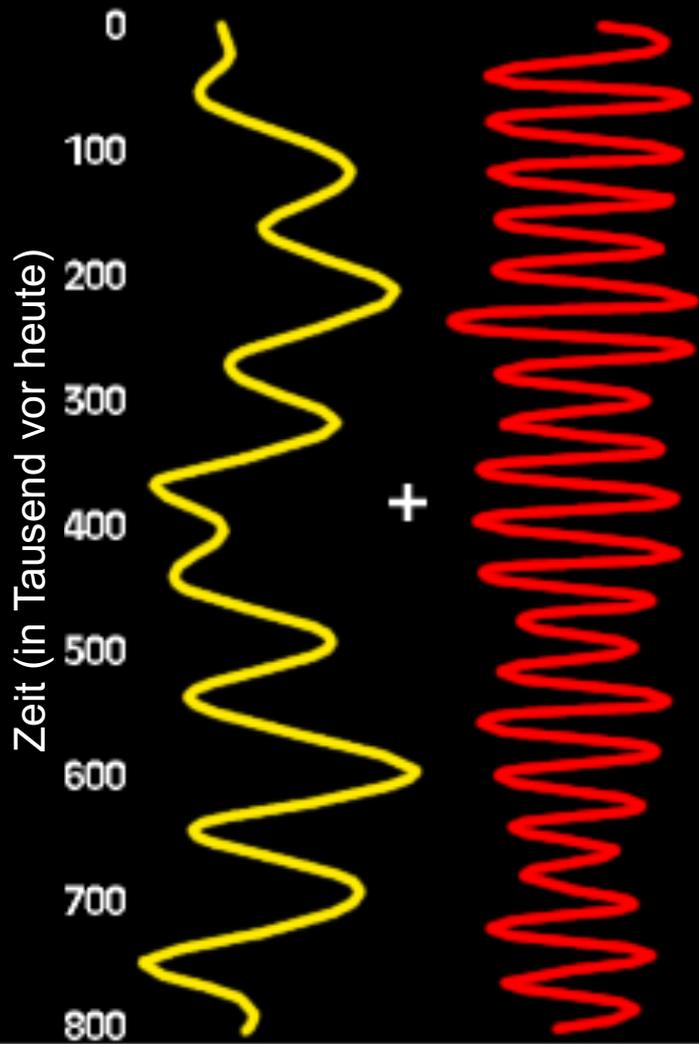


Exzentrizität



Exzentrizität

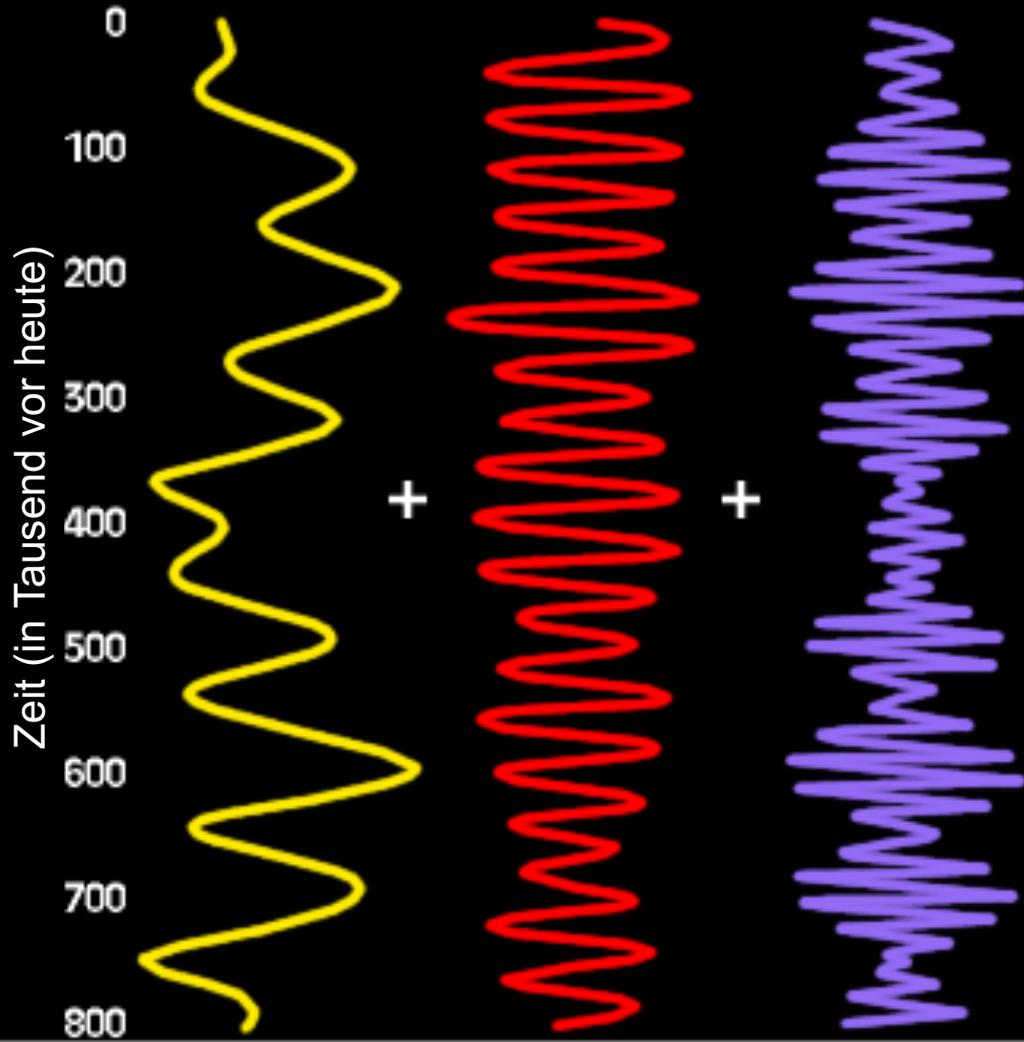
Neigung

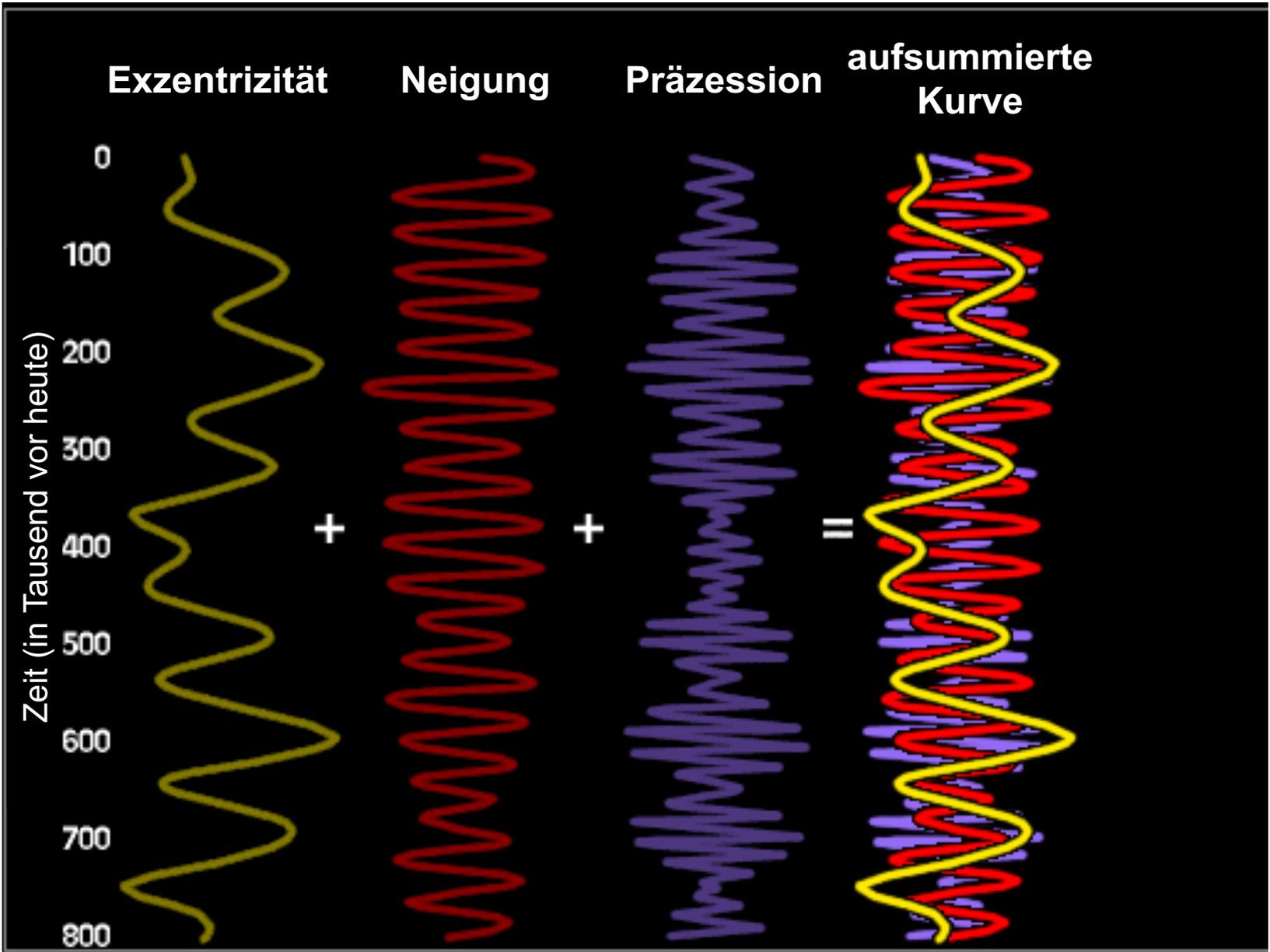


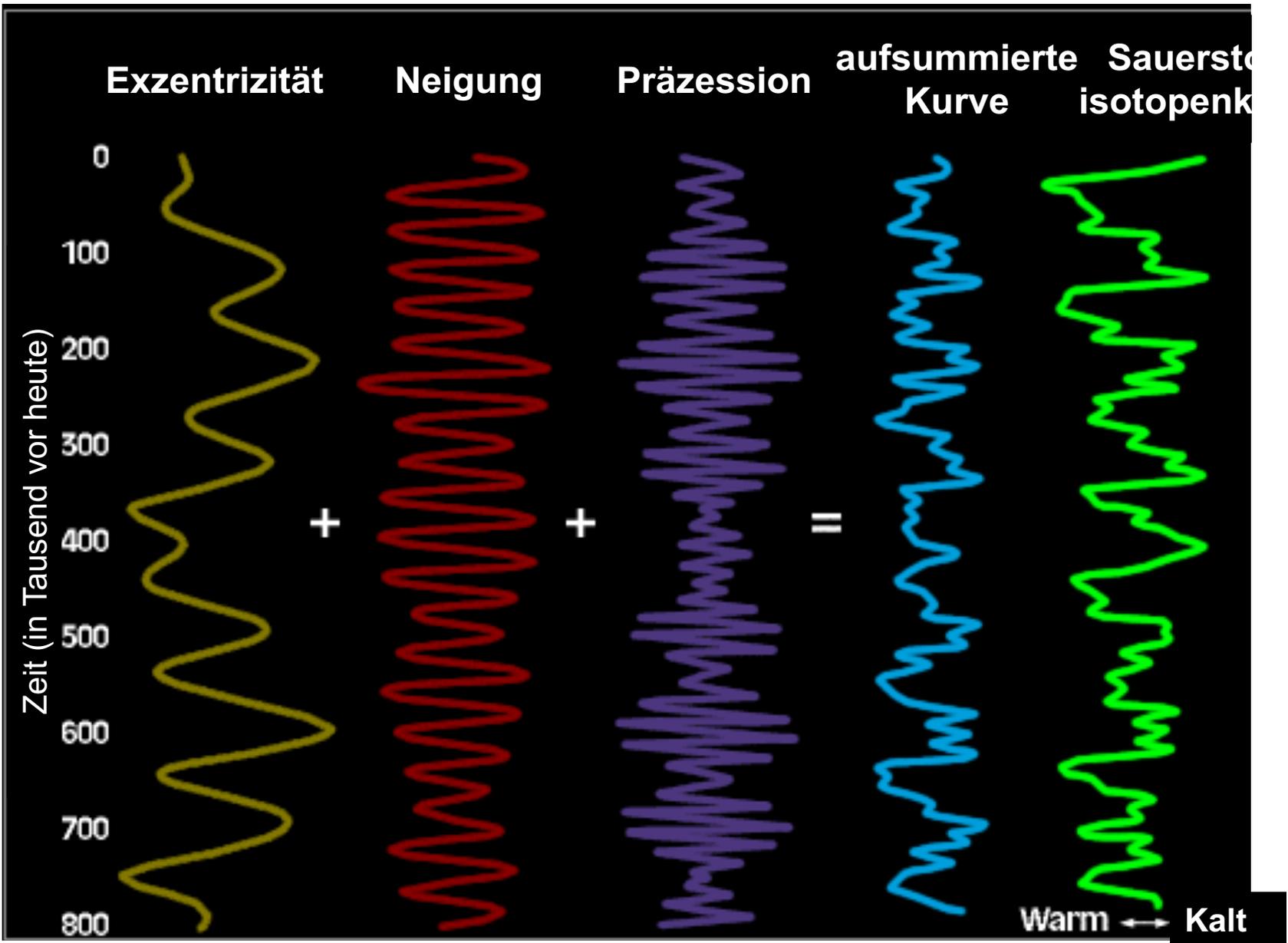
Exzentrizität

Neigung

Präzession

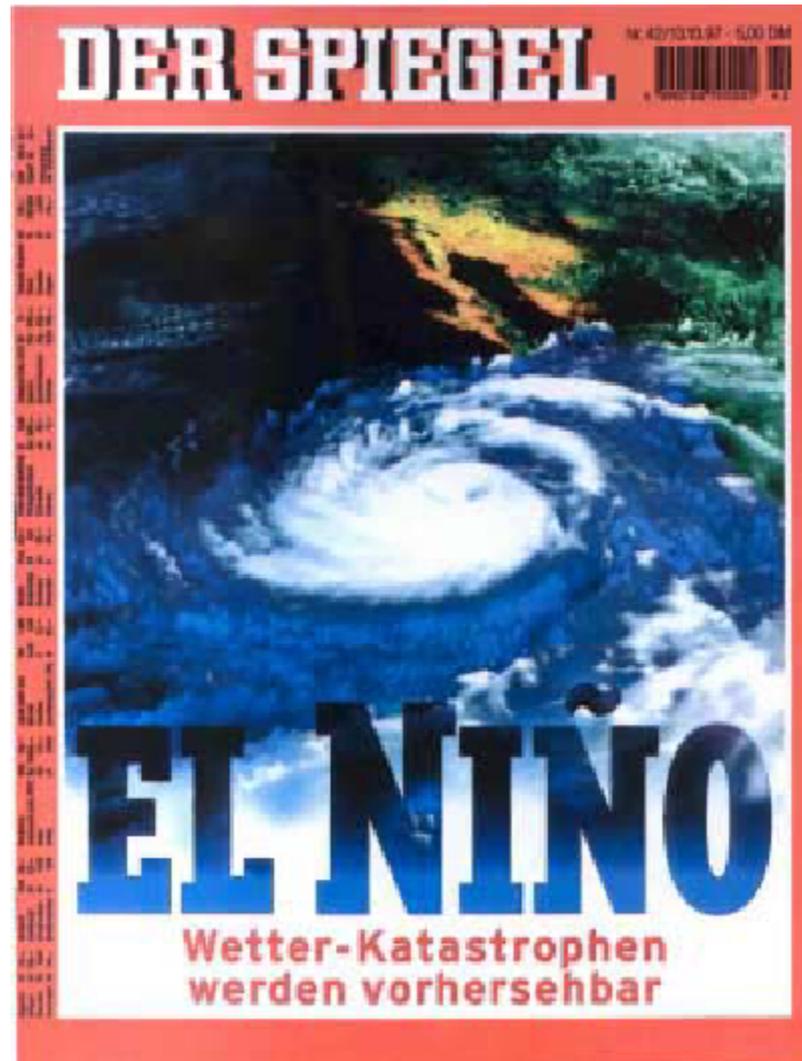






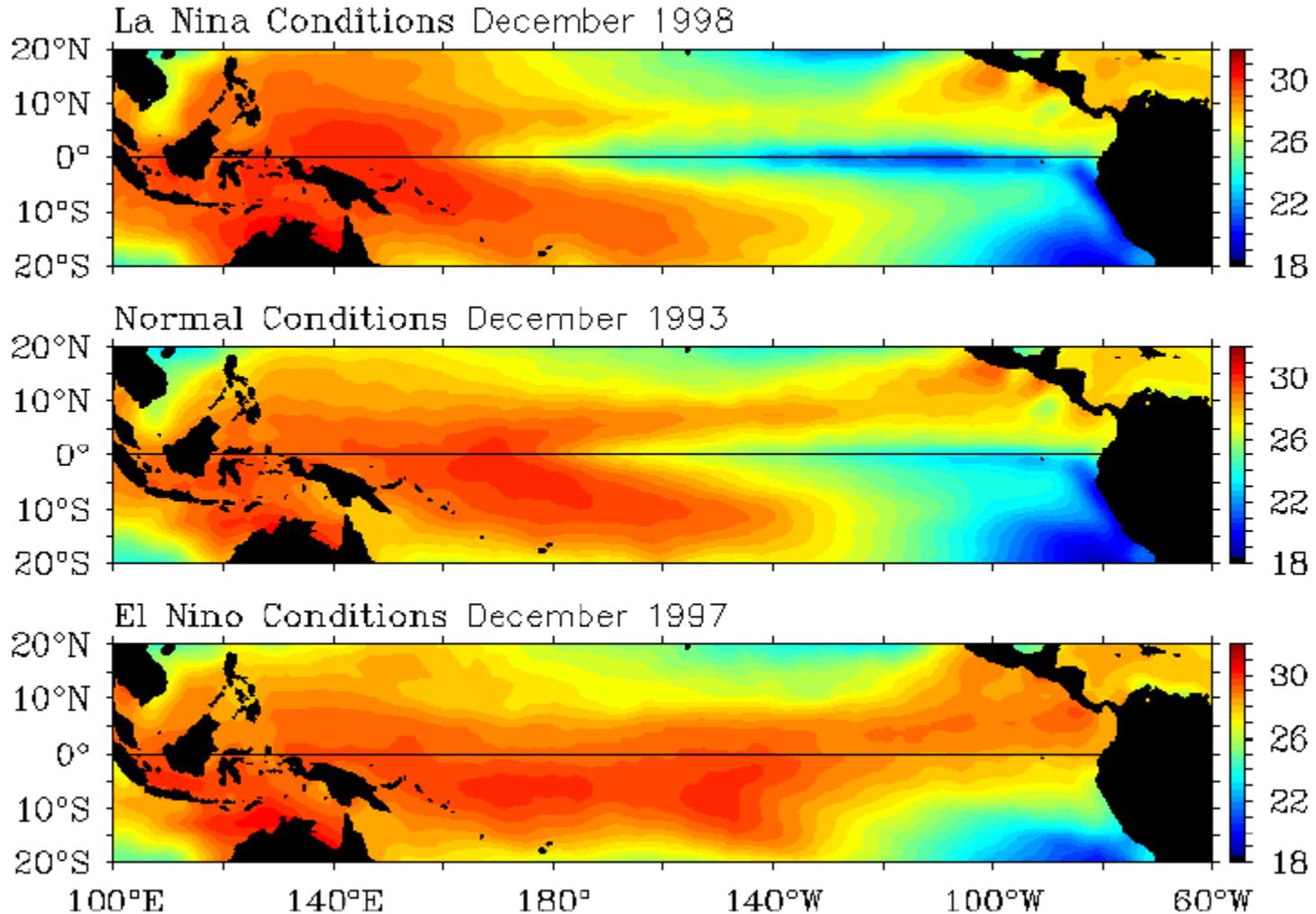
El Nino / Southern Oscillation

Vorhersage



El Nino / Southern Oscillation

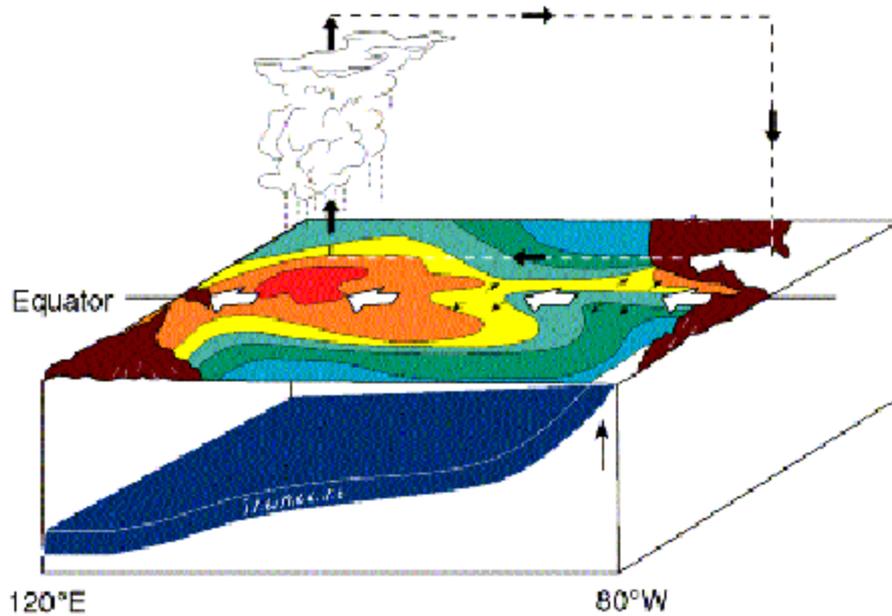
Mechanismus



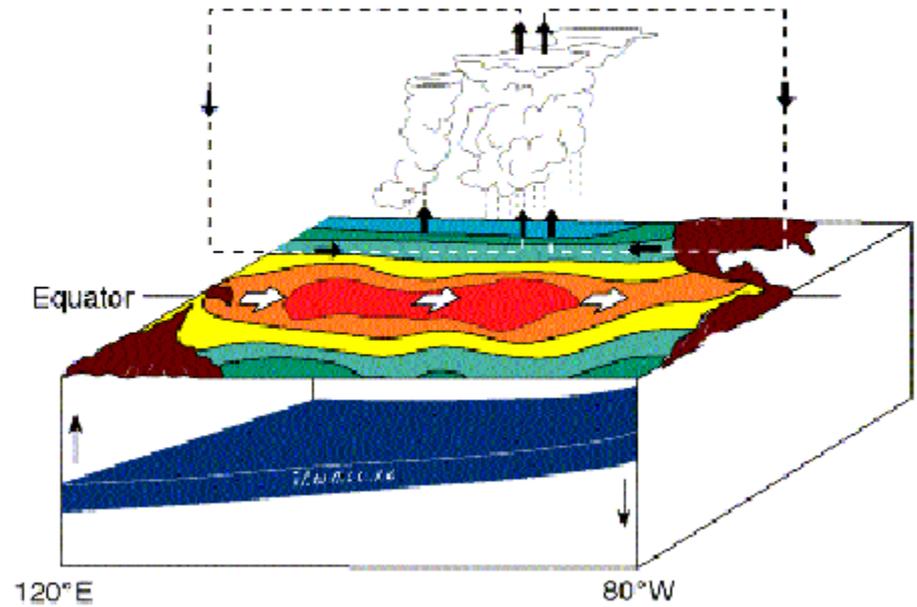
El Niño / Southern Oscillation

Mechanismus

Normal Conditions



El Niño Conditions

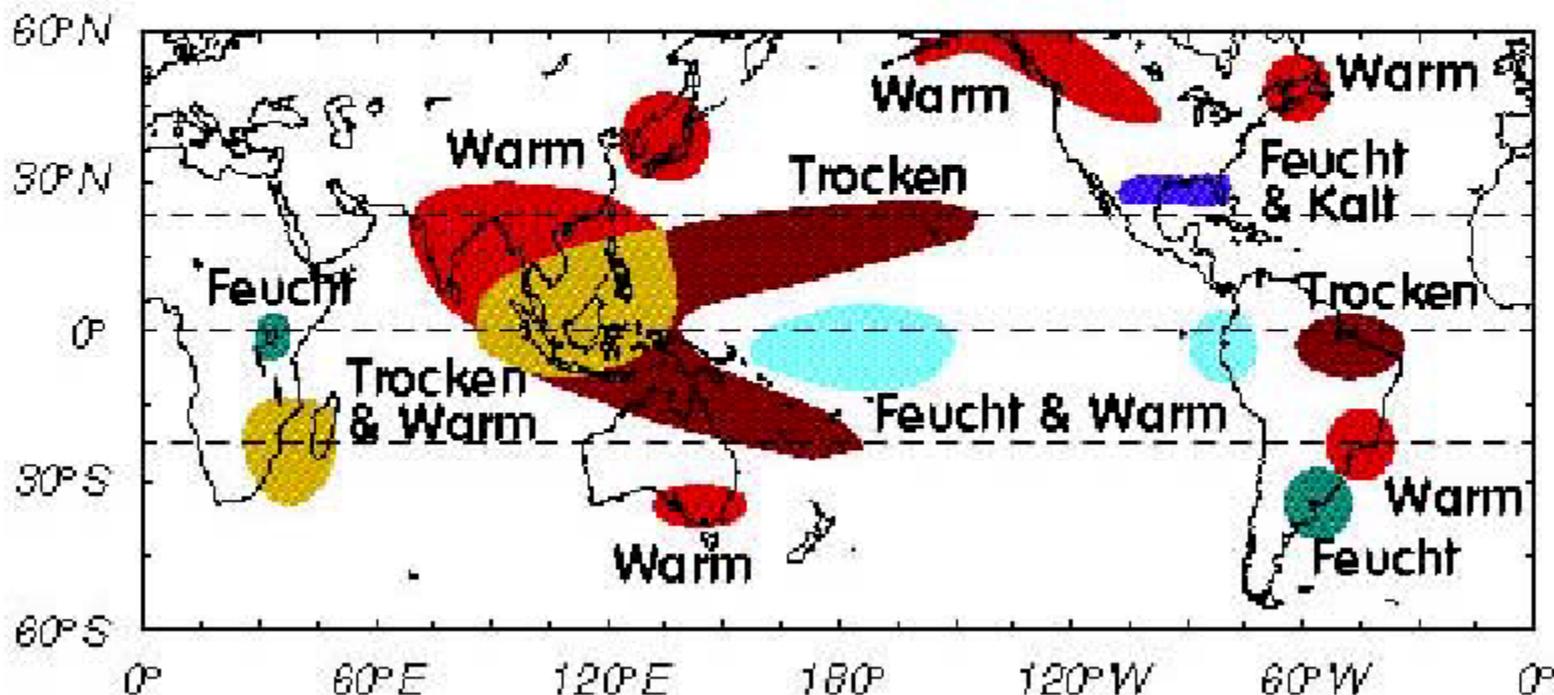


Quelle: NOAA

El Niño / Southern Oscillation

El Niño Auswirkungen

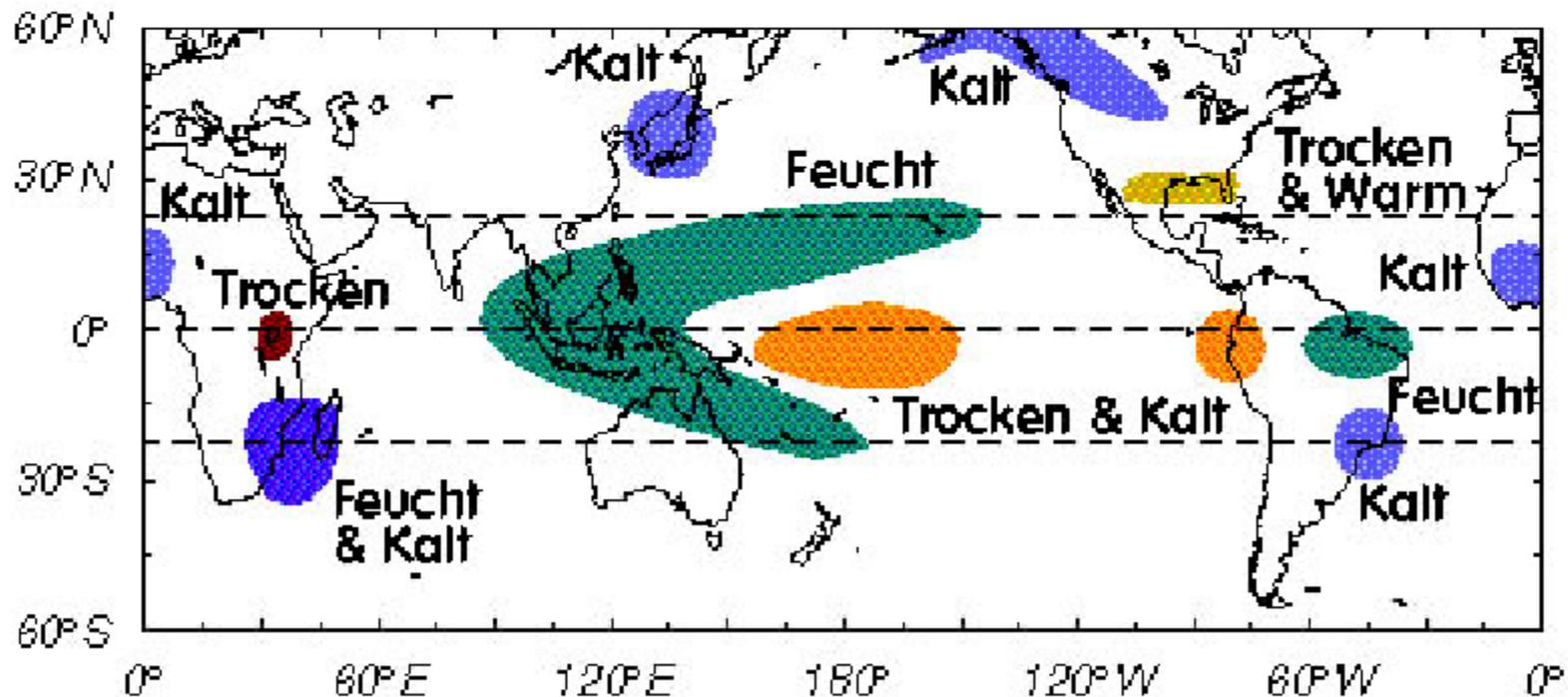
Dezember - Februar



El Nino / Southern Oscillation

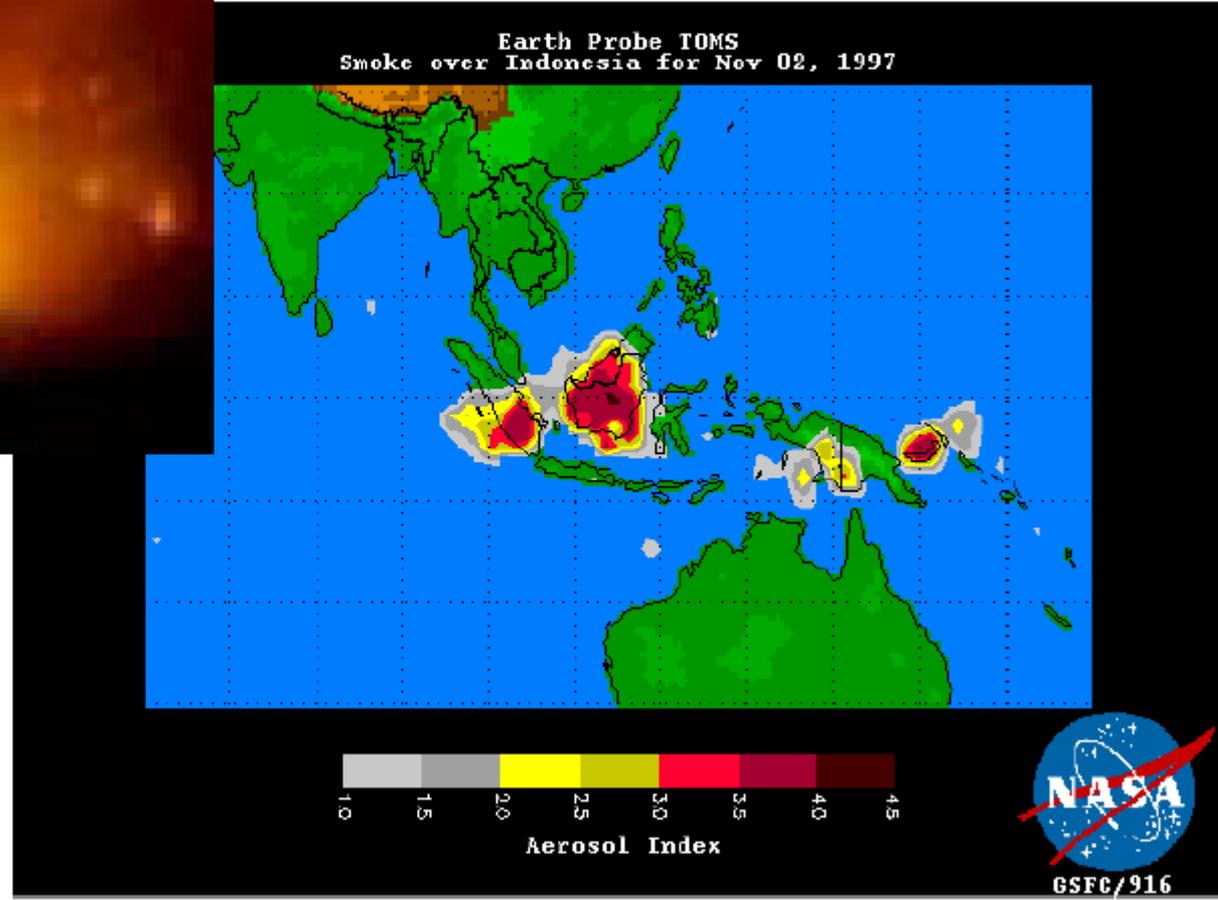
La Niña Auswirkungen

Dezember - Februar



El Nino / Southern Oscillation

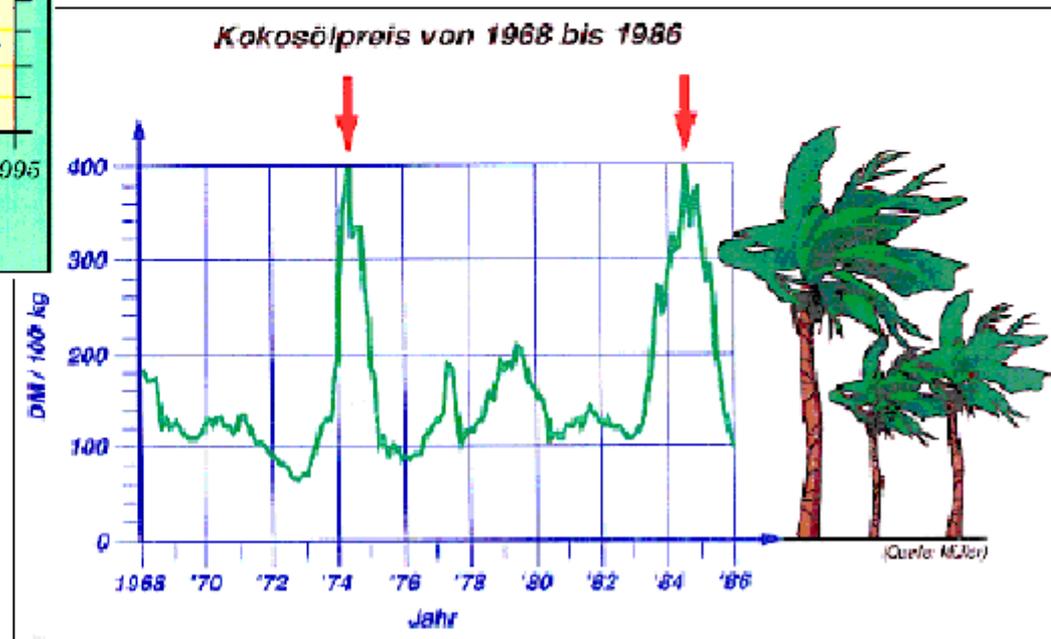
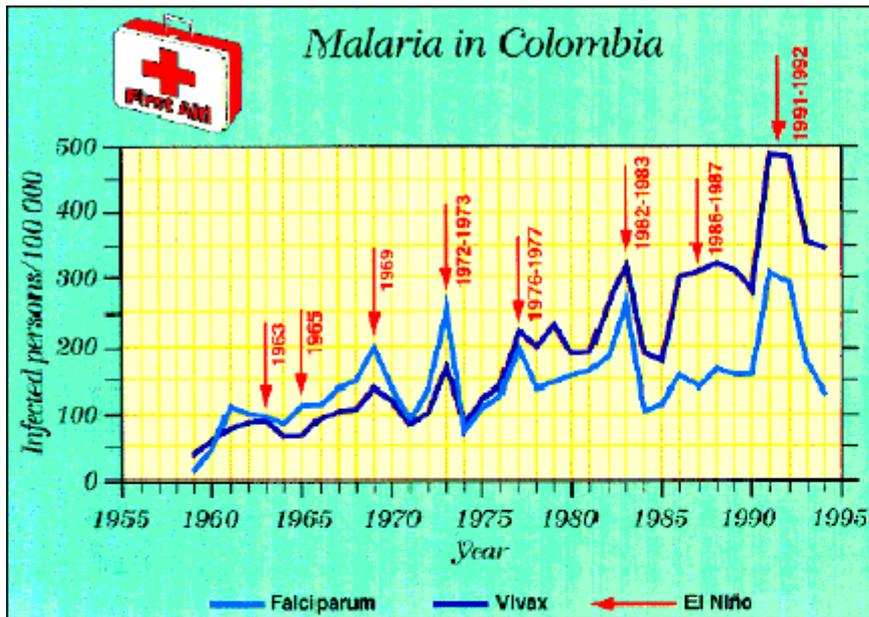
Auswirkungen



Quelle: NASA

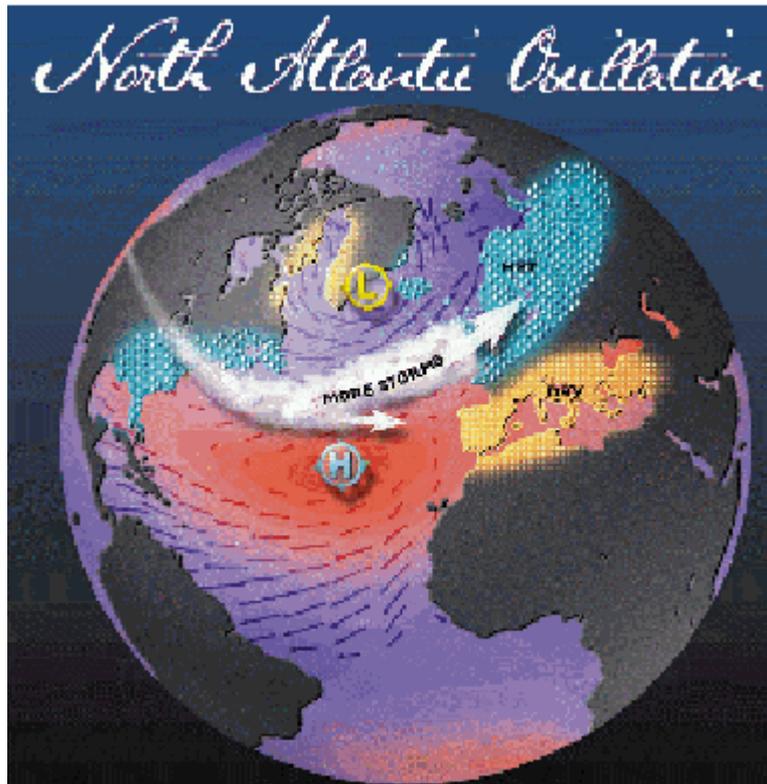
El Nino / Southern Oscillation

Auswirkungen

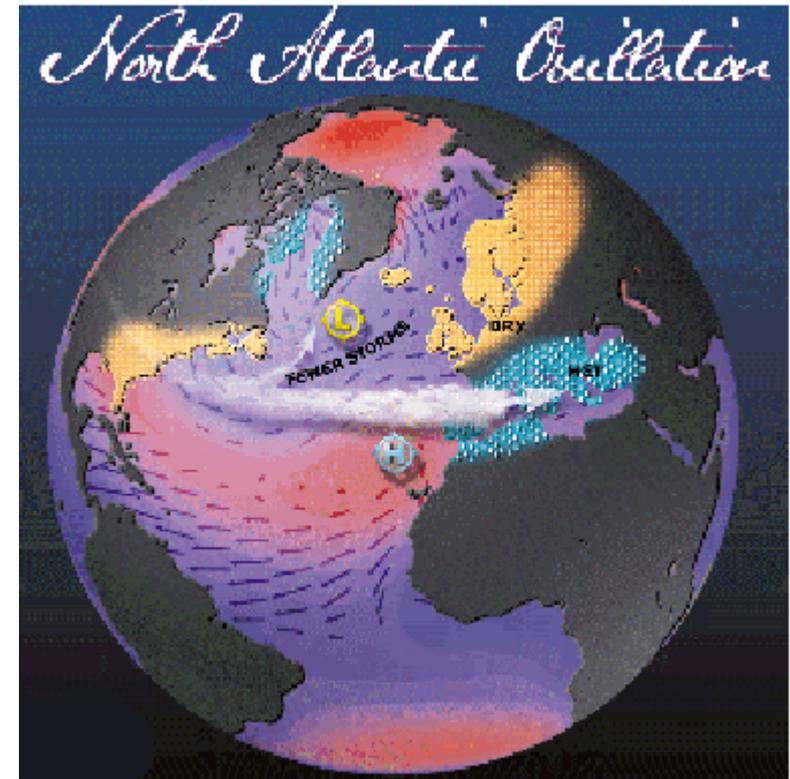


North Atlantic Oscillation (NAO)

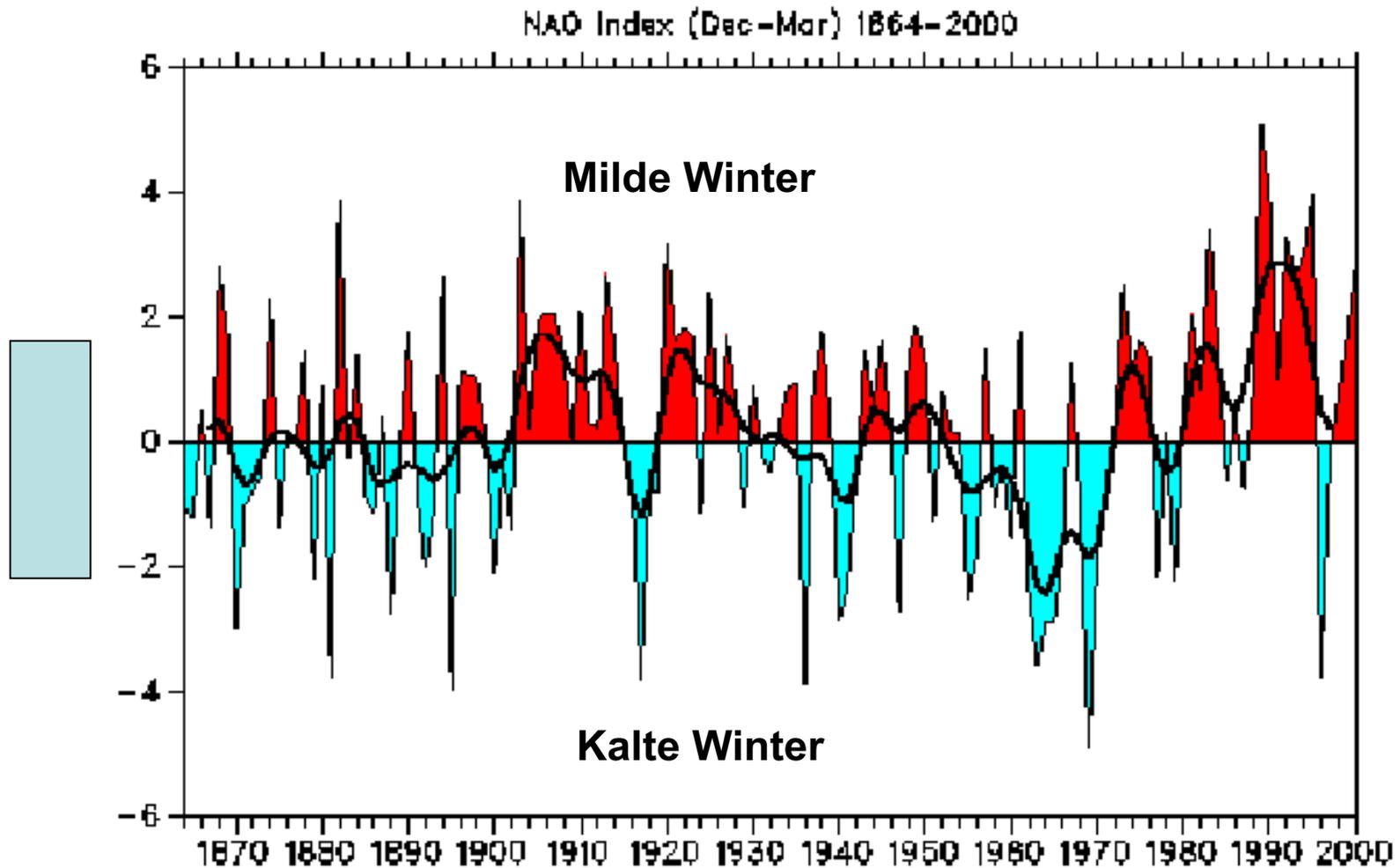
Positive Phase



Negative Phase



North Atlantic Oscillation (NAO)



Maß für die Stärke der Westwinde

Was sind Szenarien?

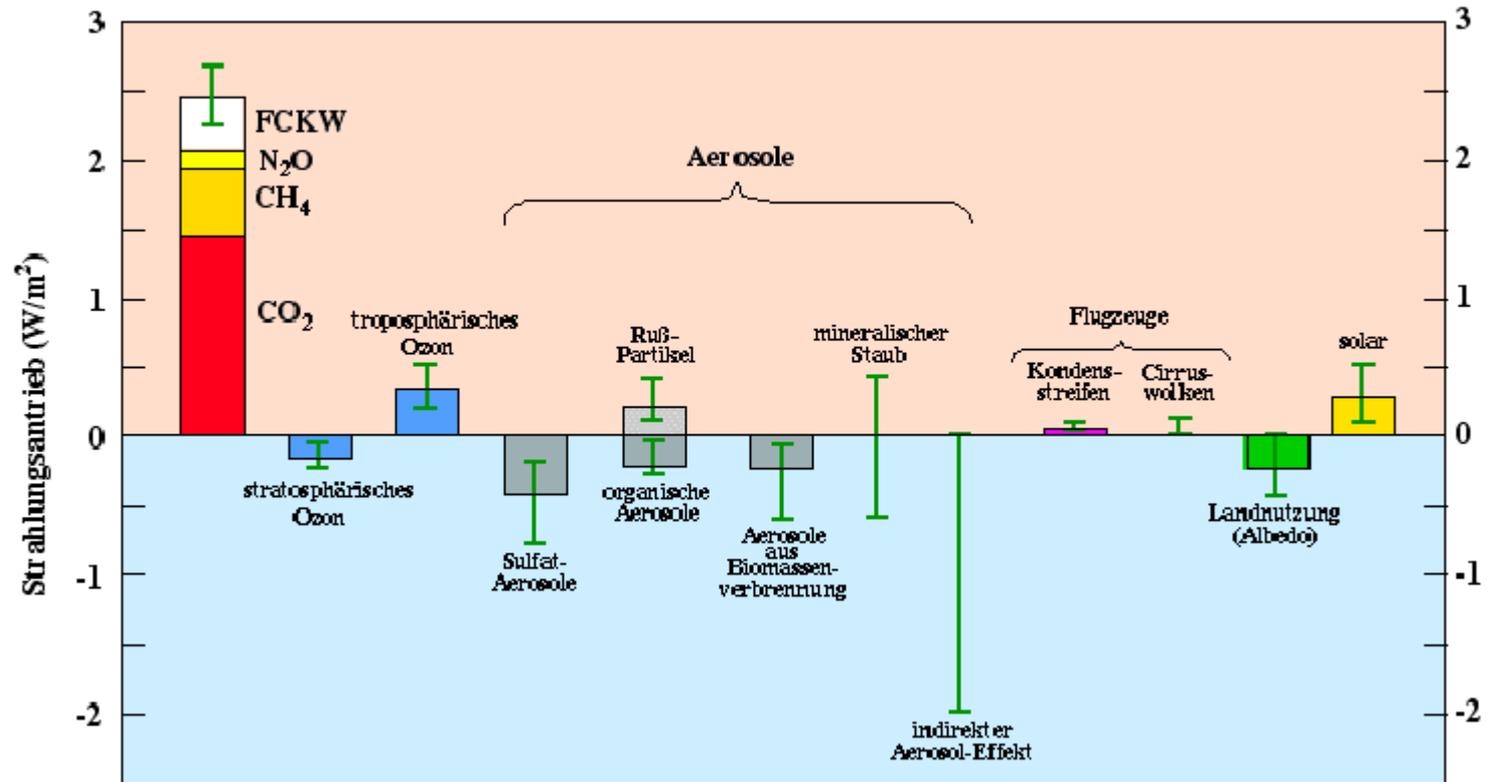
- *Szenario*:= hypothetische Aufeinanderfolge von Ereignissen, die zur Beachtung kausaler Zusammenhänge konstruiert wird. (DUDEN)
- *Scenarios* are images of the future, or alternative futures. They are neither predictions nor forecasts. Rather, each scenario is one alternative image of how the future might unfold. (IPCC)

vergangenes und künftiges Klima

IPCC

Antriebskräfte

Der mittlere globale Strahlungsantrieb des Klimasystems für das Jahr 2000, relativ zu 1750

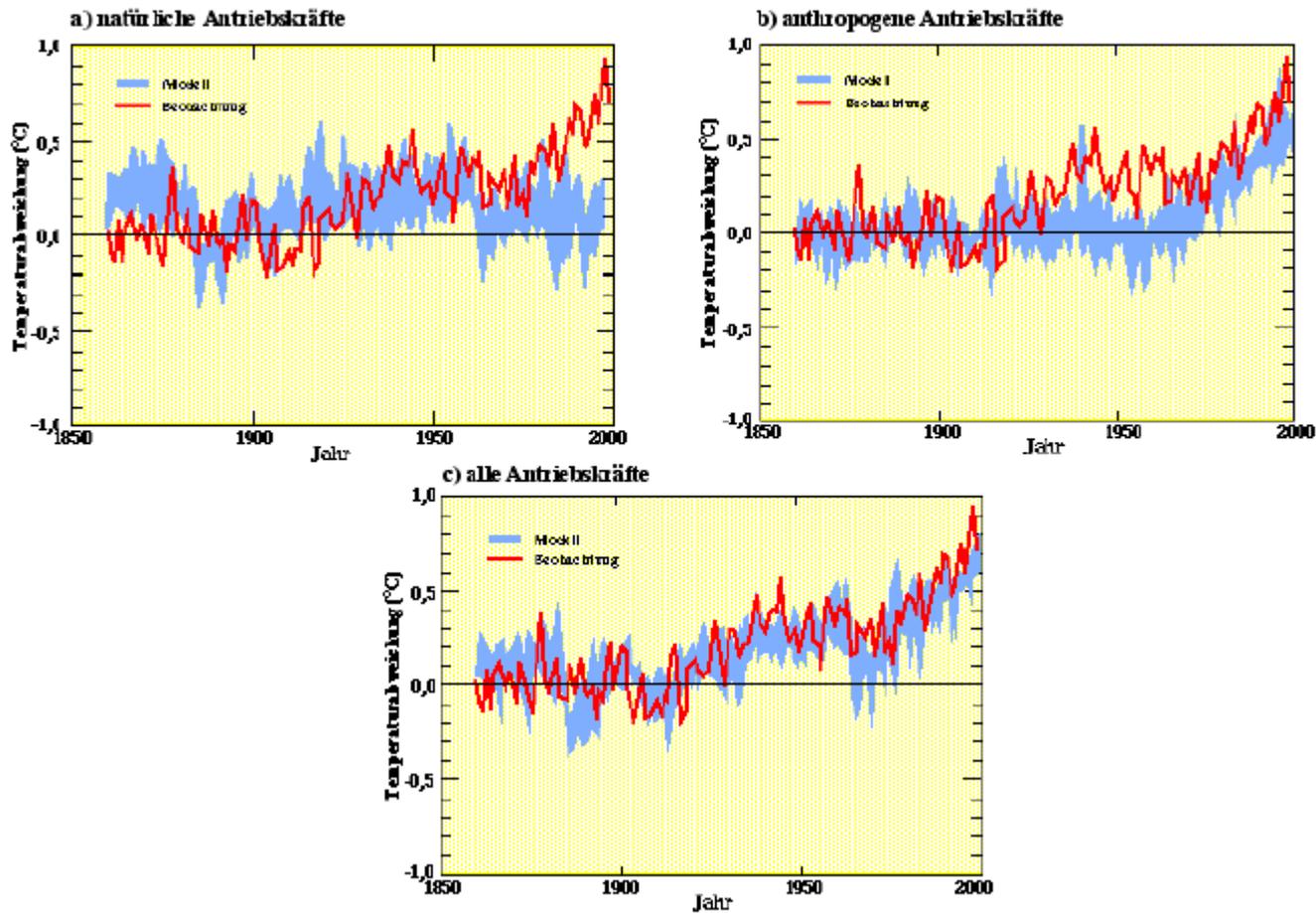


Quelle: Kasang nach IPCC

IPCC

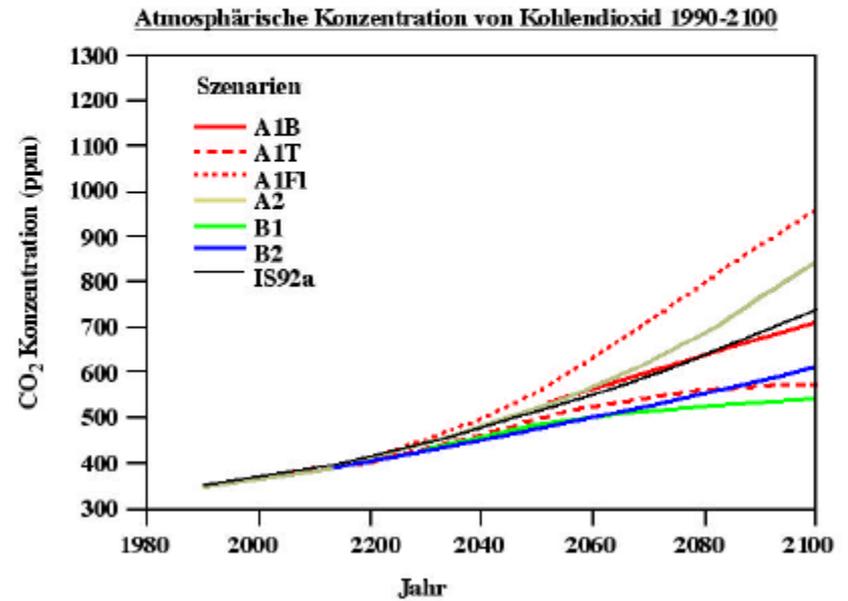
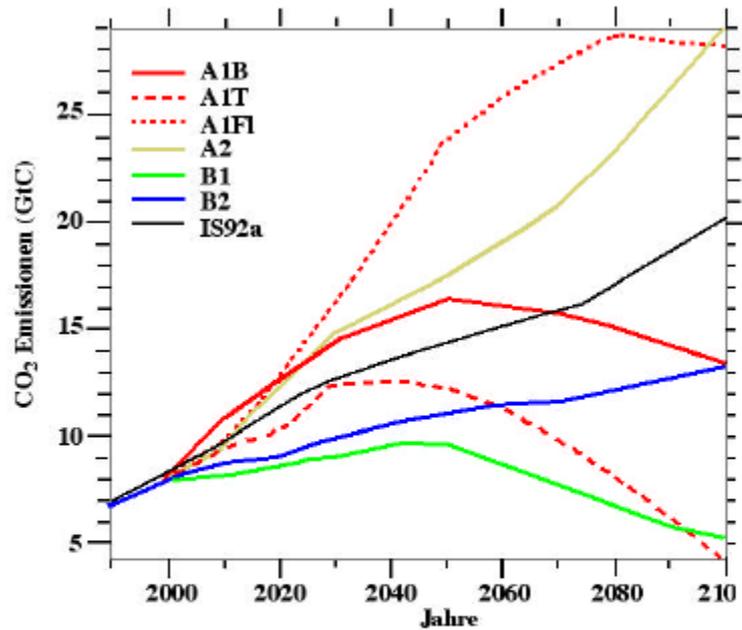
Wirkung verschiedener Antriebskräfte

Die simulierte jährliche globale Mitteltemperatur



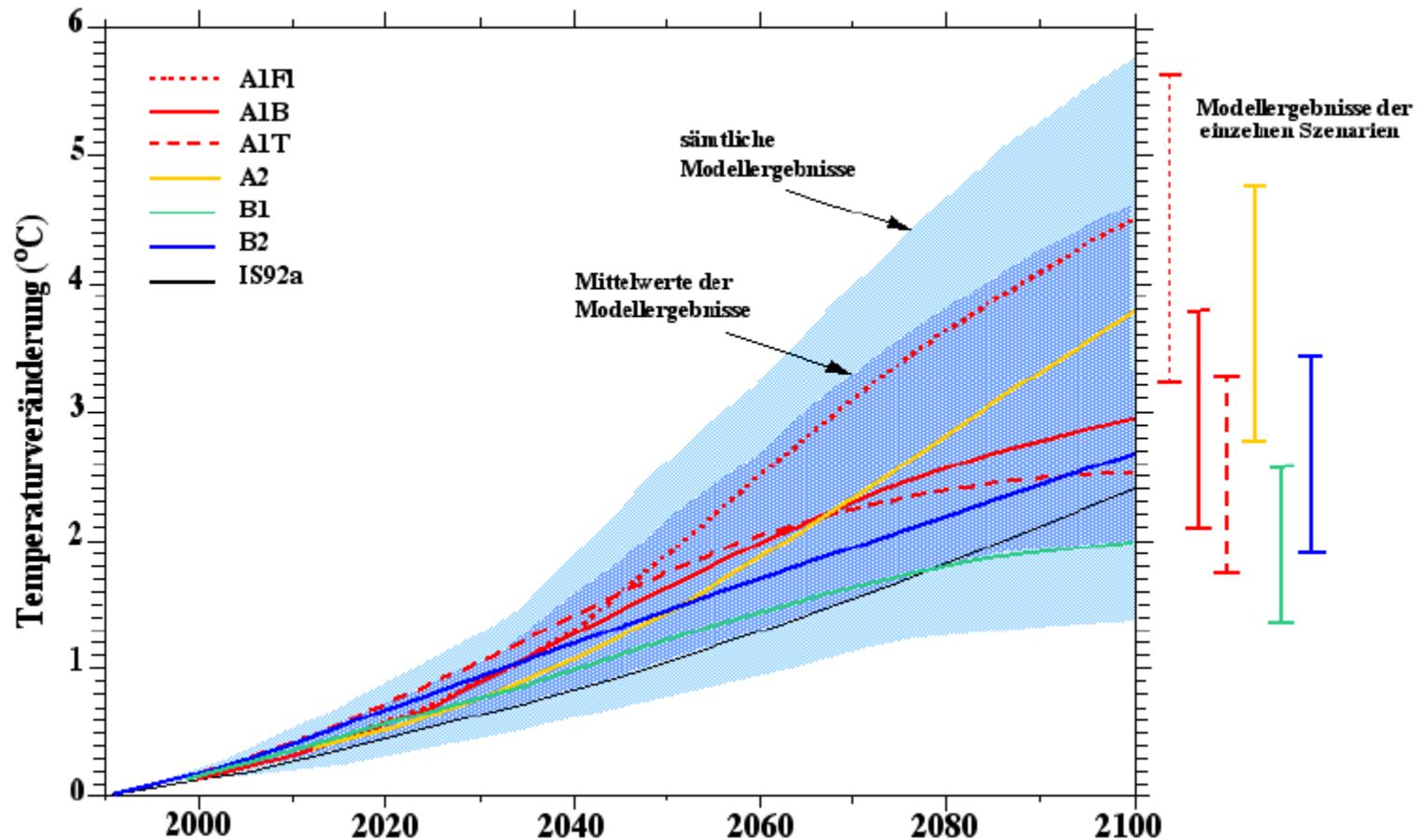
IPCC

Emissionsszenarien



IPCC

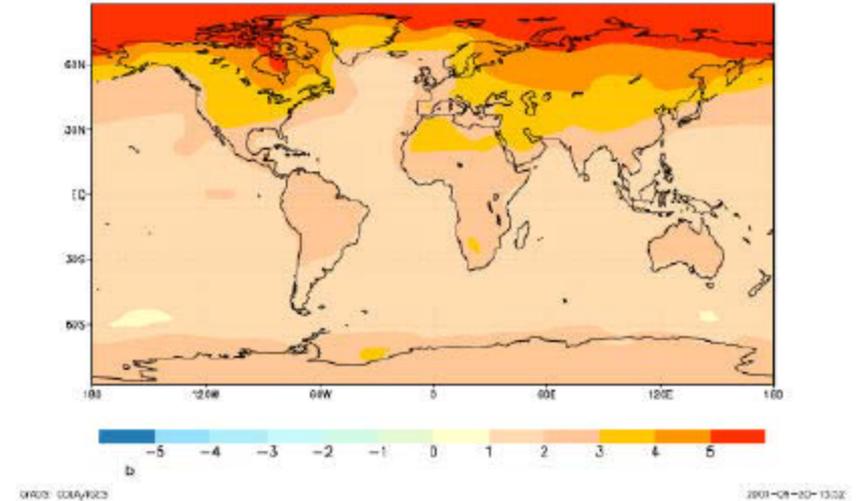
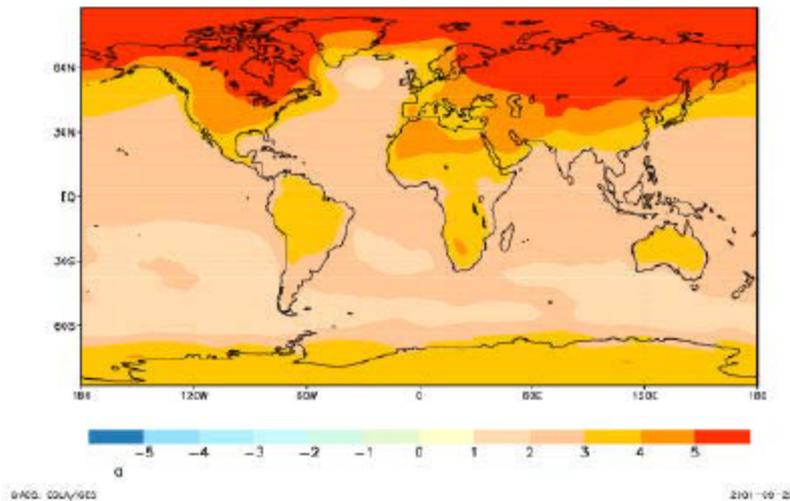
Ergebnisse der Szenarienrechnungen



IPCC

Ergebnisse der Szenarienrechnungen

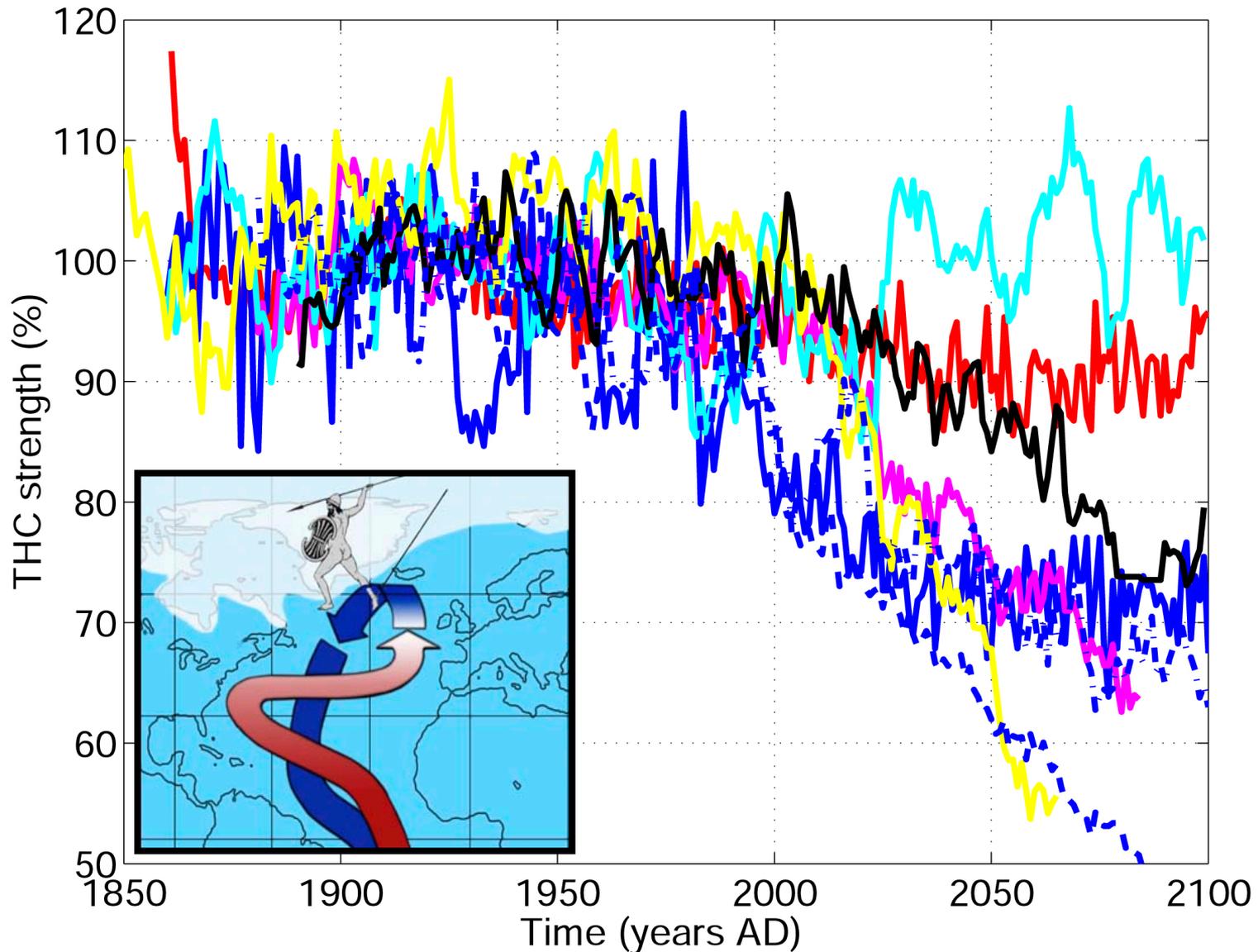
Temperaturerhöhung [2071-2100] im Vergleich zu [1961-1990]
Szenario A2 Szenario B2



Quelle: IPCC

Vorhergesagte Änderung der thermohalinen Zirkulation

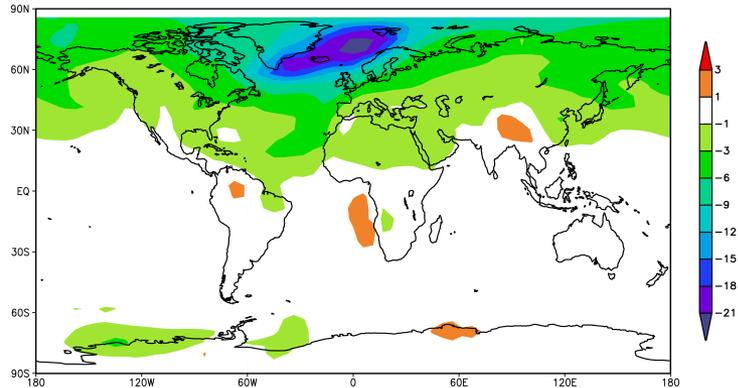
Ergebnisse verschiedener Klimamodelle



Nachweis von THC - Änderungen über Oberflächeneigenschaften

mw - control

2m temperature anomaly (annual mean) °C

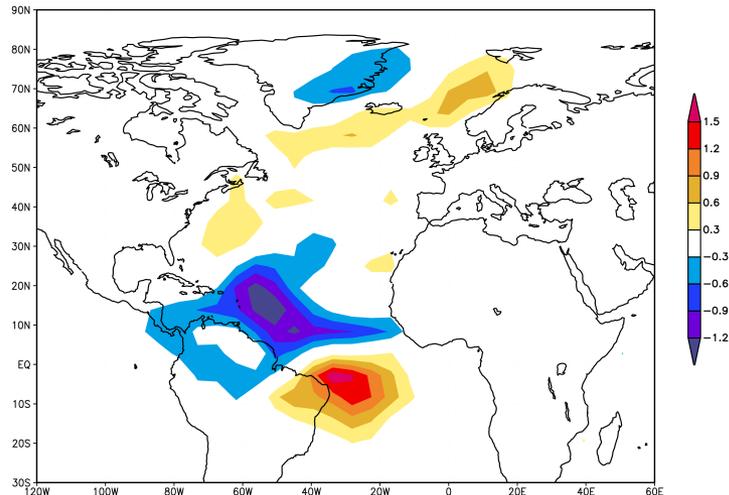


Lufttemperatur

Interhemisphärischer Gradient

mw - control

p-e anomaly (annual mean) m/year



Niederschlag

Südwärtige Verlagerung der ITCZ

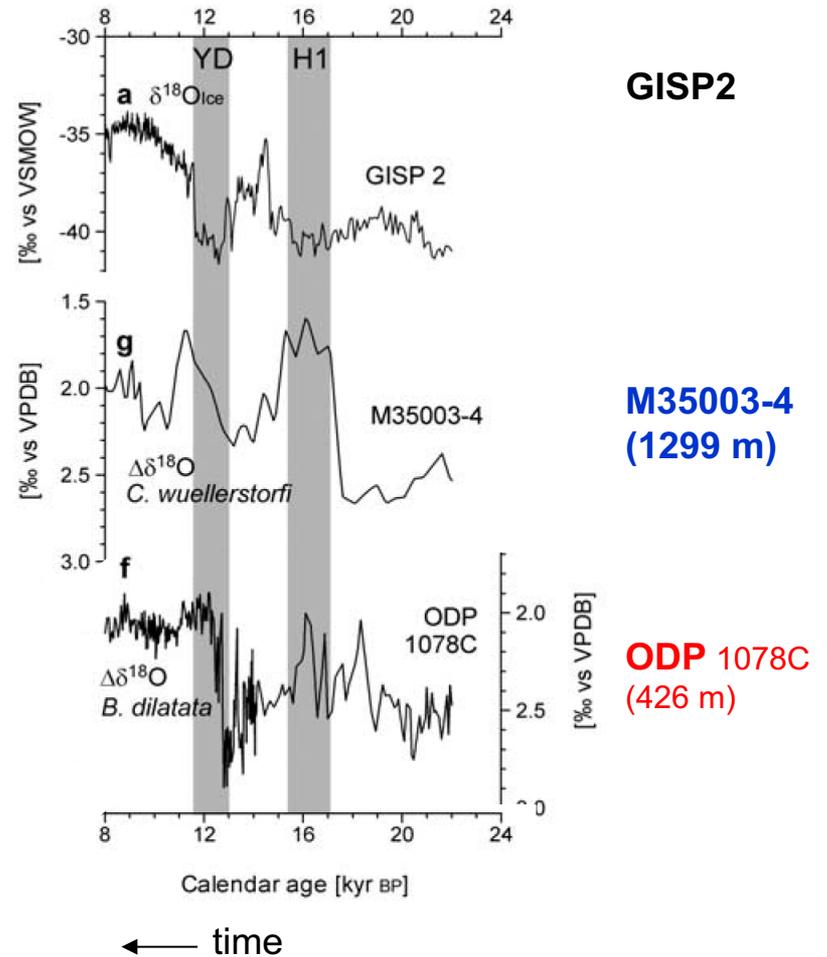
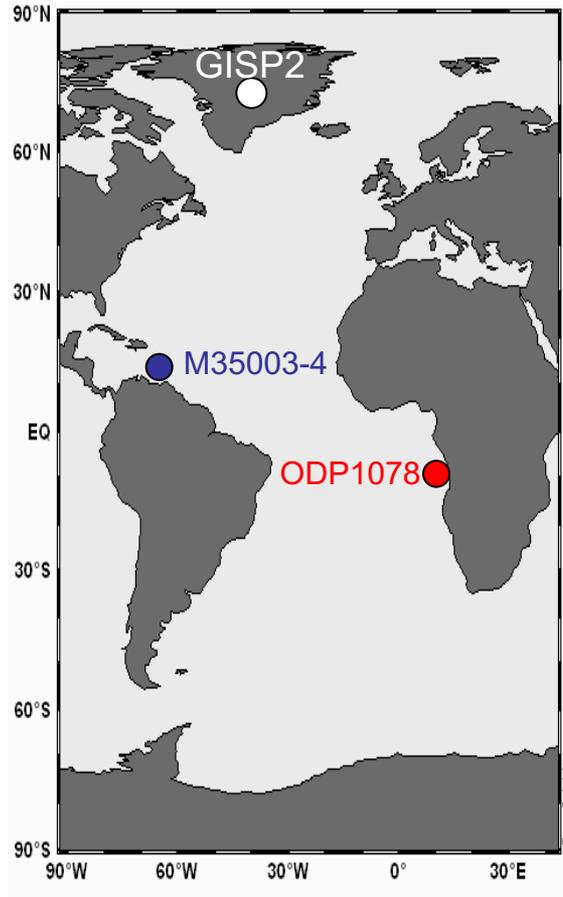


Hohes Rauschniveau



**Projektion auf andere
Phänomene**

Ein Blick auf Paläoklimadaten



Das globale Klimasystem



- Zeitskalen
- Klimakomponenten
- Klimamodelle
- Klima verstehen (früher, heute, Zukunft)

