

Kohlendioxid und Kohlenstoffkreislauf (Teil 3)



Der globale Kohlenstoffkreislauf als irdischer Thermostat

Der große geologische Kohlenstoffkreislauf, der eng an die Plattentektonik gekoppelt ist, garantiert seit mehr als 4 Milliarden Jahren die planetare Temperaturkontrolle – obwohl seitdem die Sonnenleuchtkraft um ca. 30% zugenommen hat und die Erde in gewissen Grenzen chaotisch ihre Bahn geändert hat (Stichwort Milankovich-Zyklen).

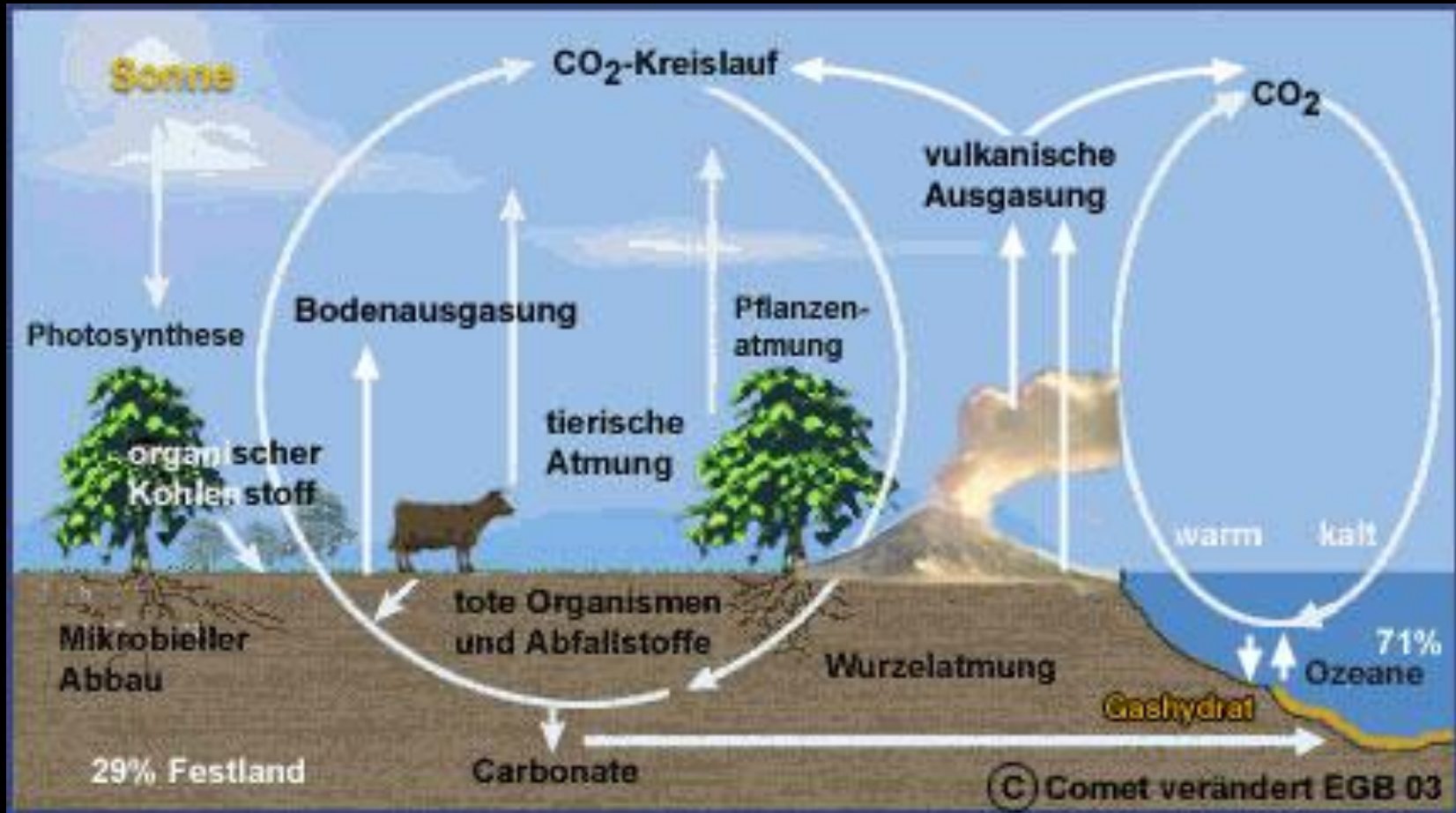
Dieser Regelkreis wird durch die Konzentration der Treibhausgase Wasserdampf, Methan und Kohlendioxid in der Atmosphäre austariert, die mittelbar in verschiedene und im Detail äußerst komplexe Rückkopplungsmechanismen eingreifen. Der Wichtigste unter ihnen ist die sogenannte „Wasserdampfrückkopplung“.

Bei Verlust der Temperaturkontrolle ergeben sich zwei (weitgehend) irreversible Gleichgewichtszustände:

- **Runaway Glaciation** (wenn die Plattentektonik erlöscht – reversibel)
- **Treibhausinstabilität** (wenn die Sonnenleuchtkraft einen gewissen Grenzwert erreicht)

Die Zeitskala des großen geologischen Kohlenstoffkreislaufs der Erde liegt in der Zeitskala der Wilson-Zyklen der globalen Plattentektonik (einige 100 Millionen Jahre)

Der zeitlich kleinskalige „klimabestimmende“ Kohlenstoffzyklus



Der kleinskalige Kohlenstoffkreislauf führt aufgrund des Pflanzenwachstums zu einer jahreszeitlichen Modulation des CO₂-Gehalts der Luft.

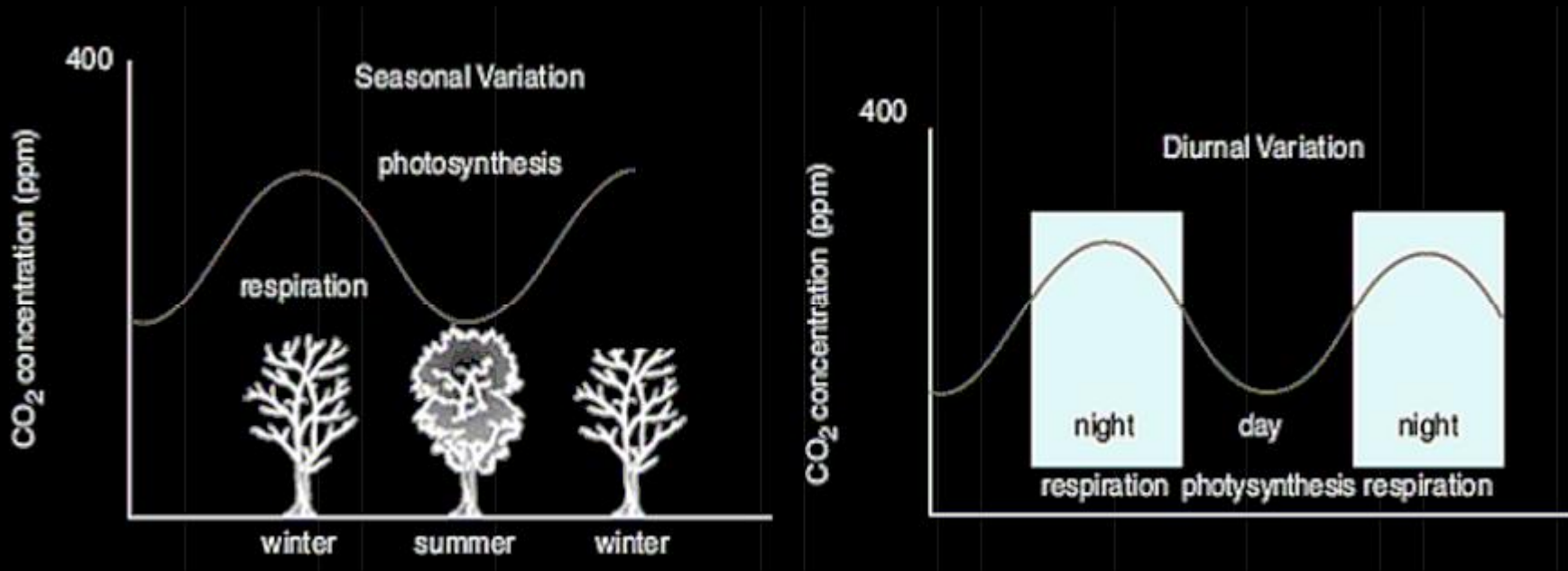
Seit 1958 wird auf dem Mauna Loa täglich die CO₂-Konzentration der Luft gemessen

Charles David Keeling (1928-2005)



Höhe der Meßstation: 3400 m

Jahreszeitliche und tägliche Variation der CO₂-Konzentration in der unteren Troposphäre

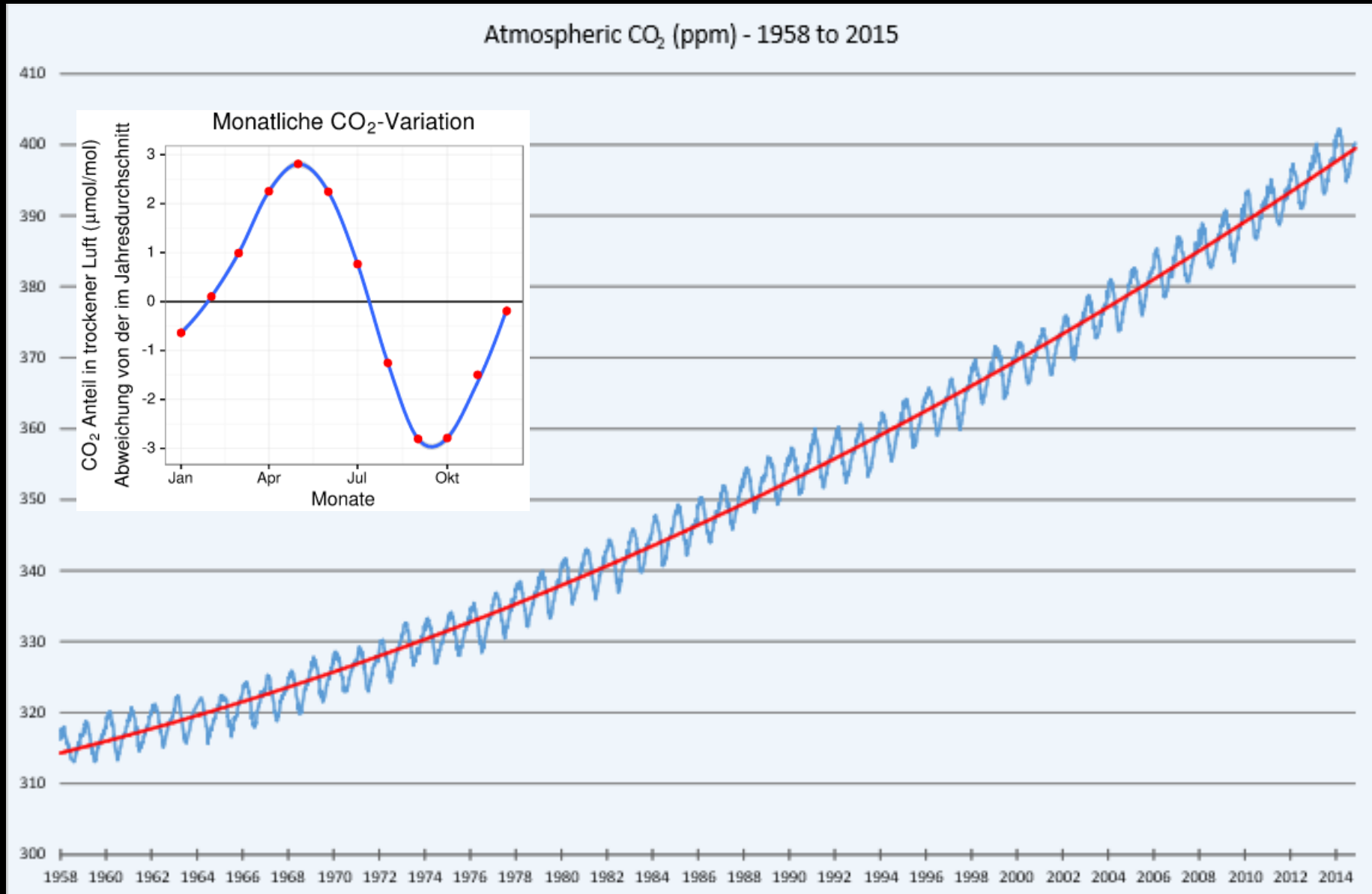


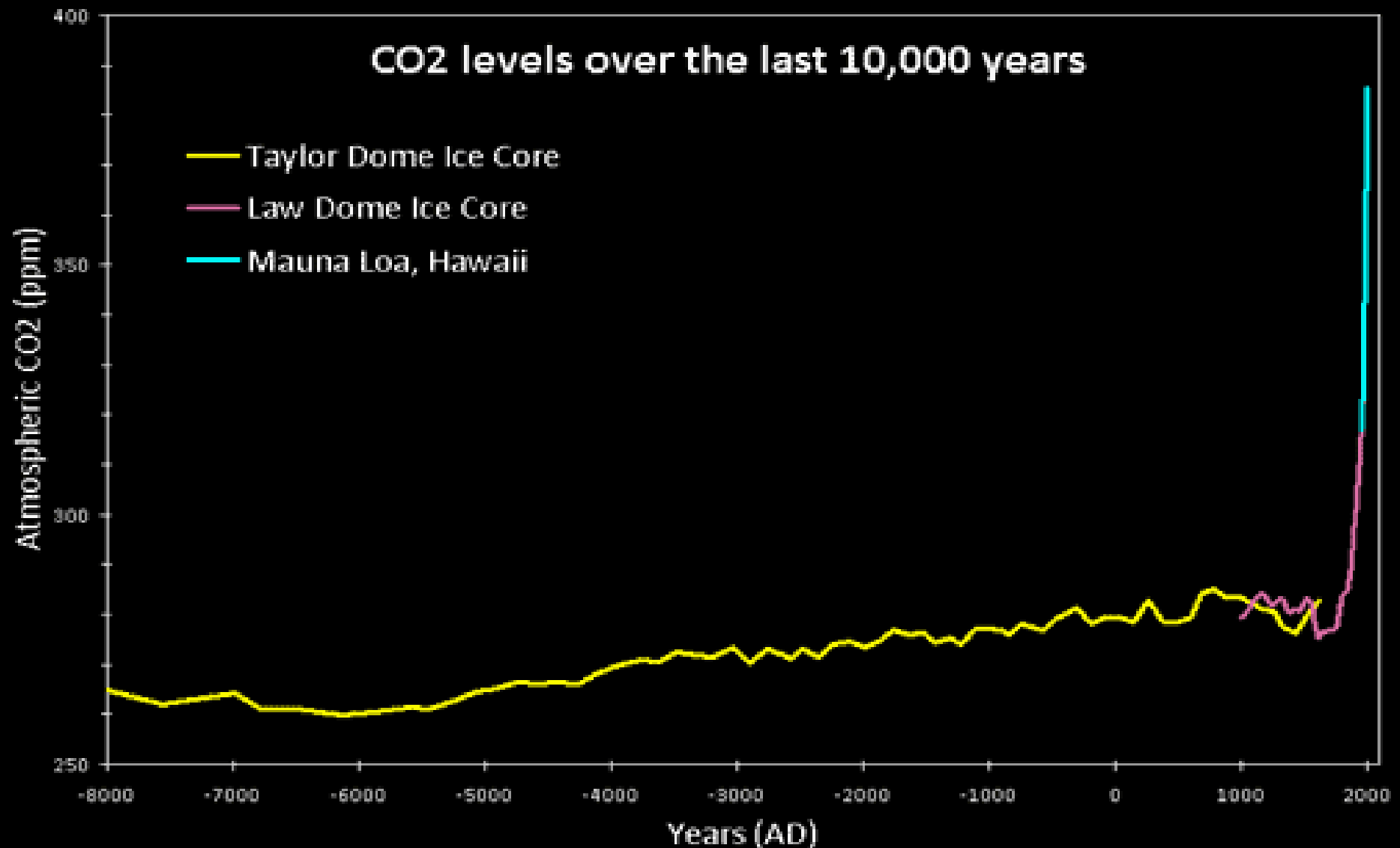
Das CO₂ der Luft ist die primäre Kohlenstoffquelle für das Pflanzenwachstum. Pflanzen entziehen im Prozess der Photosynthese das CO₂ aus der Luft, wodurch dessen Konzentration sinkt.

Im Zuge der Zellatmung bzw. bei der Verrottung organischen Materials wird jedoch wieder CO₂ erzeugt und freigesetzt.

Sinusförmige Konzentrationsänderung um einen Gleichgewichtswert

Die Keeling-Kurve – die „wichtigste“ Kurve der Klimawissenschaft





Die extrem schnelle Zunahme der CO₂-Konzentration seit dem 19. Jhd. wird auf die Verbrennung fossiler Energieträger (Kohle, Gas, Öl) zurückgeführt. Aufgrund von Eiskernmessungen wird eine relativ stabile vorindustrielle CO₂-Konzentration von etwa 270 ppm angenommen (heute ~ 400 ppm)

Eiskernproxidaten für Kohlendioxid

Es liegen Eiskernproxidaten für die atmosphärische CO₂-Konzentration für die letzten 100.000 Jahre (Grönland) und die letzten 800.000 Jahre (Antarktika) vor.

Methode: Bestimmung des CO₂-Gehalts von im Eis eingeschlossenen Luftbläschen

Leider gibt es hier einige methodische Probleme:

Kann sich der CO₂-Gehalt der im Eis eingeschlossenen Gasbläschen mit der Zeit (Tiefe) ändern? (Bläschen werden mit der Tiefe komprimiert; kann das Kohlendioxid in das umgebende Eis eindiffundieren und wenn ja, wie hängt diese Rate vom Umgebungsdruck ab?

Ab welcher Tiefe ist kein Austausch mehr mit der Atmosphäre möglich?

Warum sind die ermittelten Proxidaten für den gleichen Zeitraum für Grönland und Antarktis mehr als signifikant unterschiedlich?

...

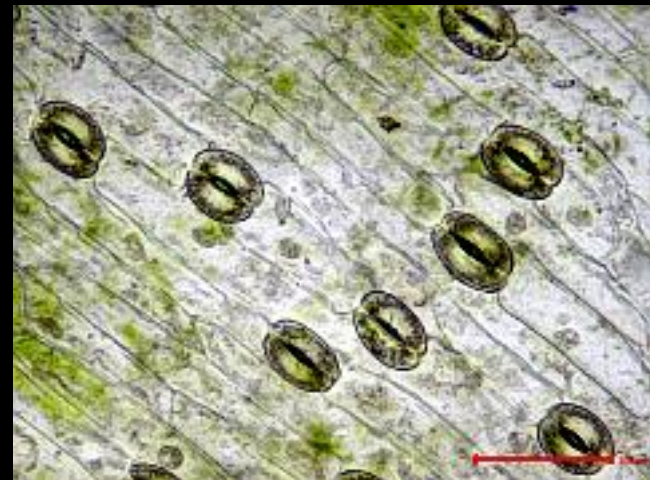
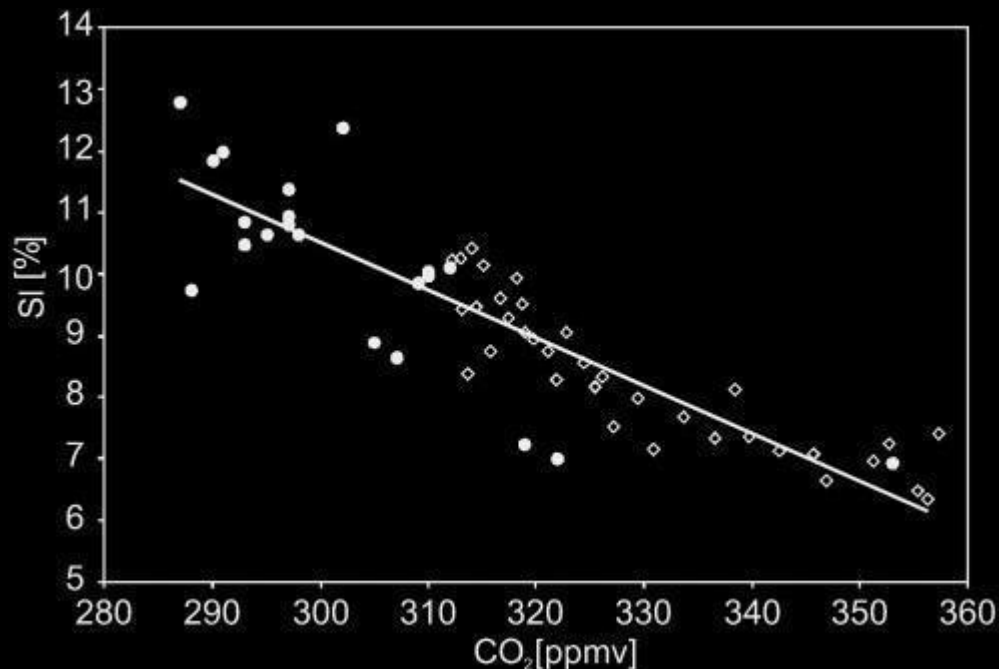


Wie lassen sich die Proxidaten überprüfen?

Ermittlung der CO₂-Konzentration durch den Stomatal - Index

Empirisch besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Anzahldichte von Spaltöffnungen (Stomata) bei Pflanzen und dem CO₂-Gehalt der Umgebungsluft. Dieser Zusammenhang wird durch ein sehr altes spezielles Gen (HIC-Gen) gesteuert. Deshalb kann man die Anzahl von Spaltöffnungen pro Flächeneinheit von Pflanzenfossilien verwenden, um die Kohlendioxidkonzentration zu deren Lebzeiten zu ermitteln (gilt für alle C₃-Pflanzen). Da sich dieses Gen quasi seit der „Erfindung“ der Photosynthese so gut wie nicht mehr verändert hat, sind die ermittelten Proxidaten nach Meinung der meisten Paläobotaniker recht sicher.

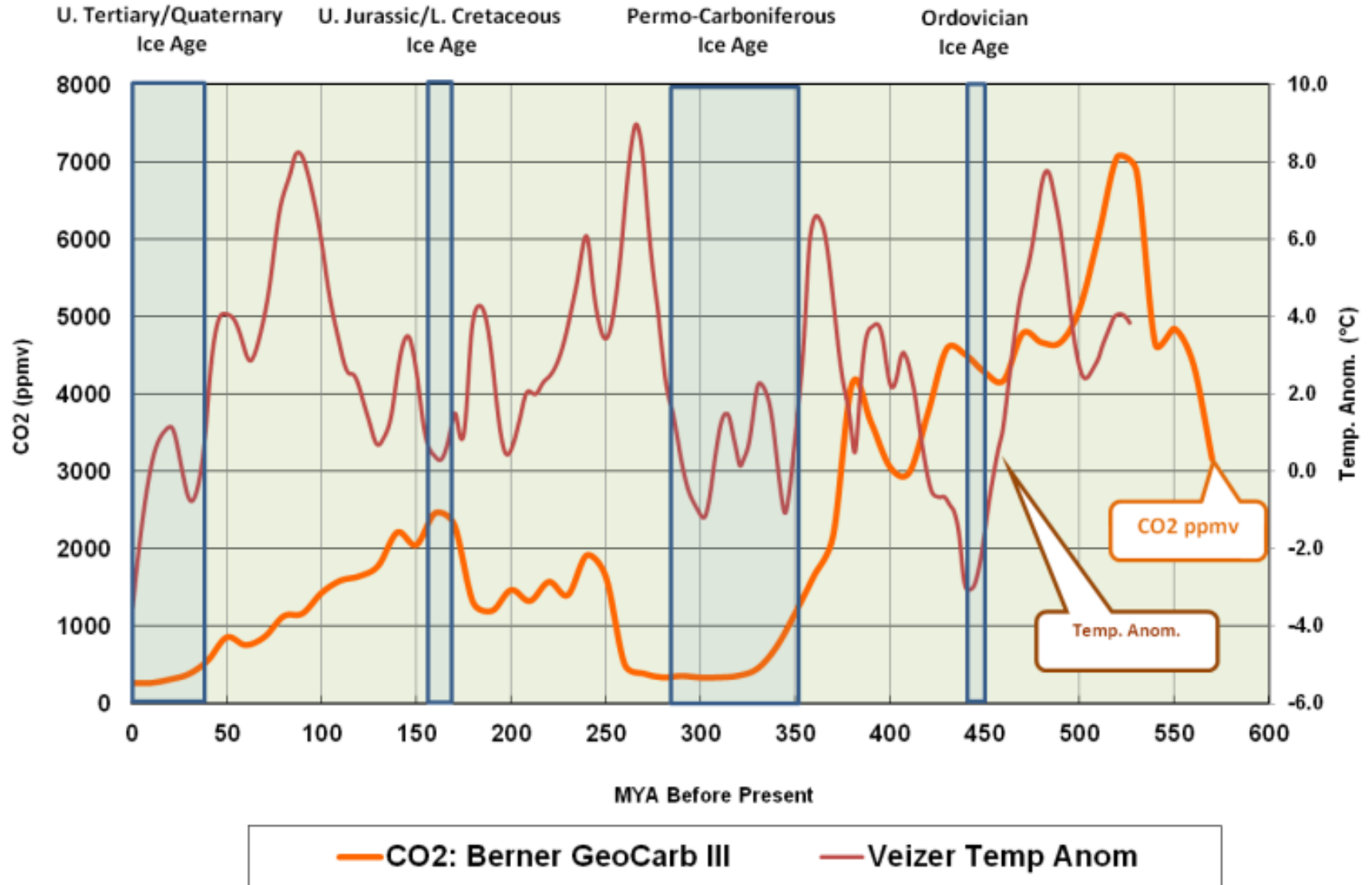
SI = Verhältnis der Epidermiszellen mit Spaltöffnungen zur Gesamtzahl der Epidermiszellen



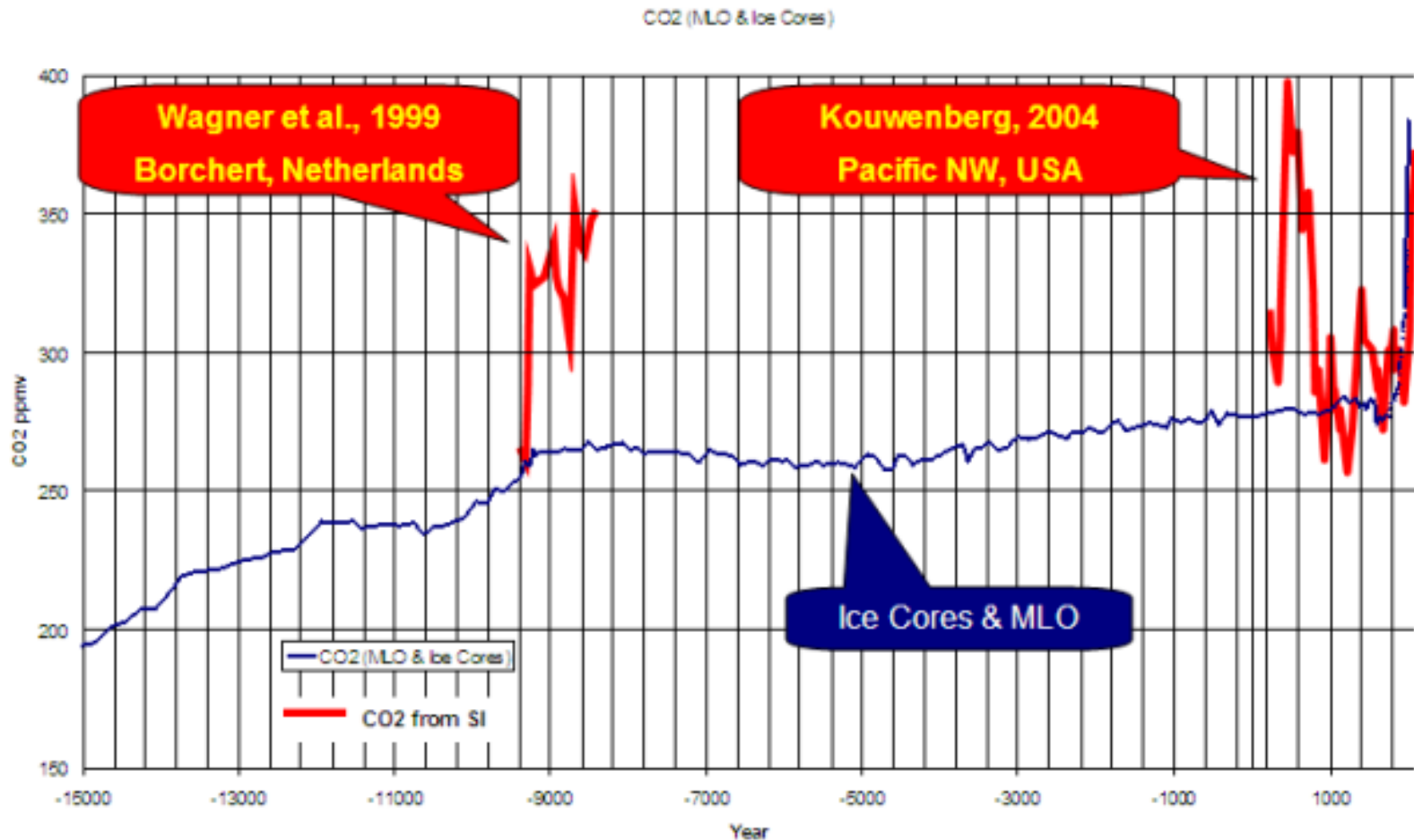
Kalibrierung des Stomatal-Index SI
für die Jahre 1900 - 1990

Anwendung des Stomatal-Indexes und anderer Proxis auf die Erdgeschichte (letzte 600 Millionen Jahre, Phanerozoikums)

Phanerozoic CO₂ vs Temperature



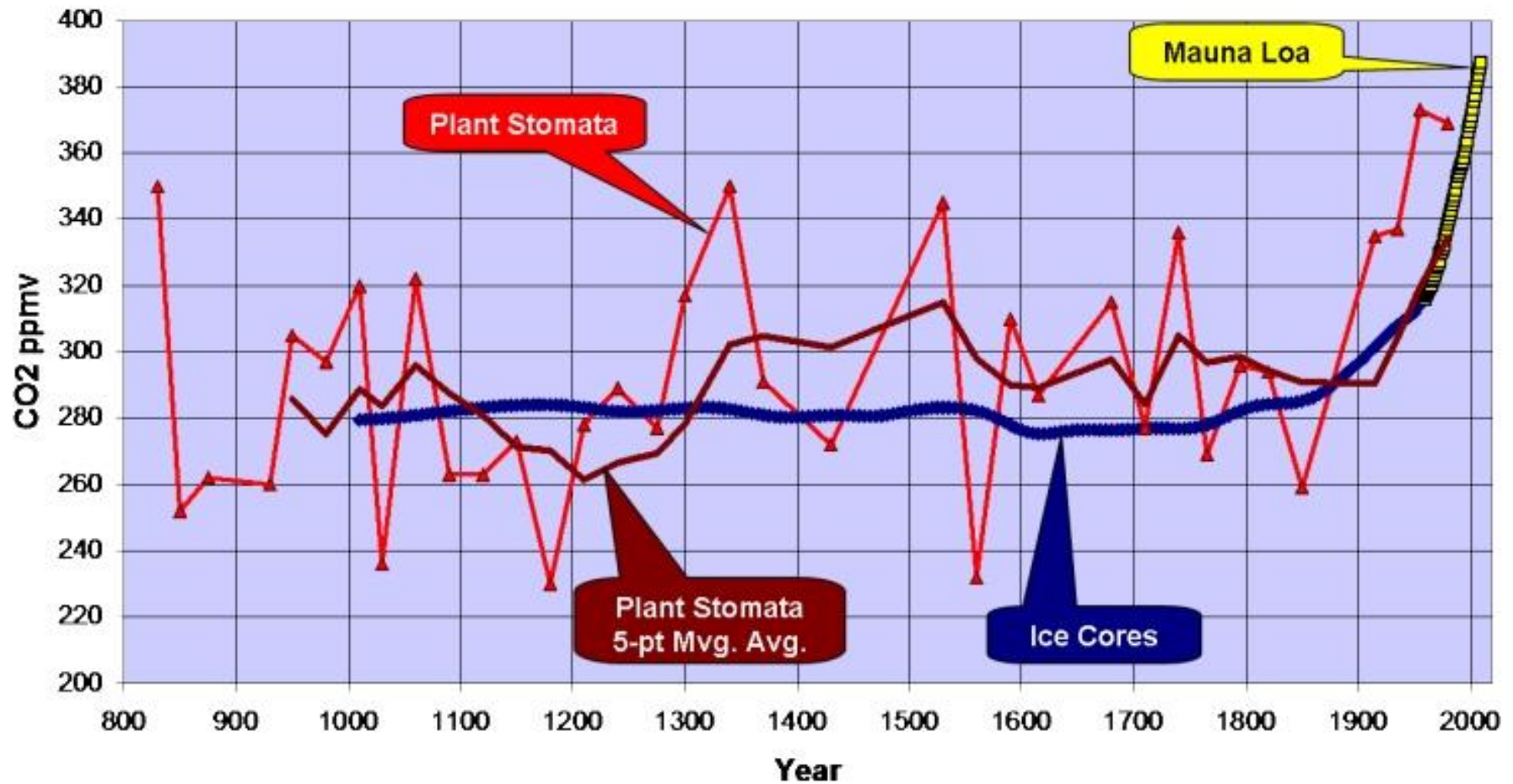
Stomatal-Index und Eiskernproxis der letzten 10.000 Jahre



Während die „Eiskernproxis“ quasi eine geglättete Kurve ergeben, zeigt der SI starke kurzzeitige Änderungen an der CO₂-Konzentration an.

Vergleich Eiskern- und Stomatial-Proxis zwischen 800 und 2000 n. Chr.

Atmospheric CO₂ (800 AD to 2009 AD)

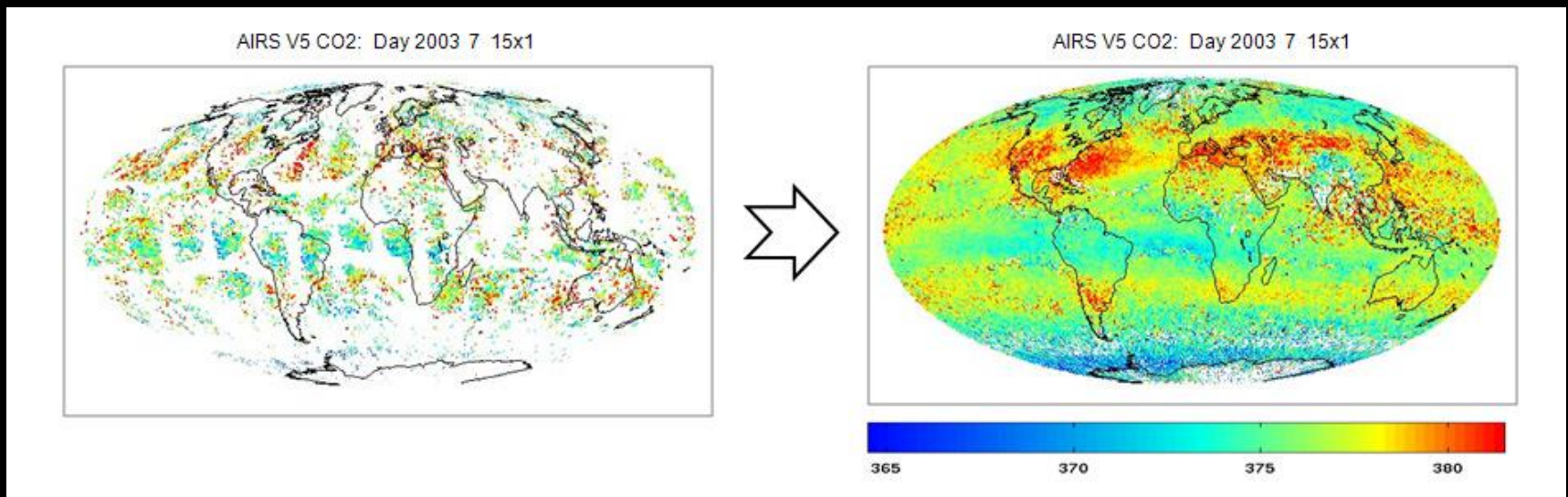


- ◆ Law Dome Ice Core (Etheridge et al., 1998)
- Mauna Loa Instrumental Record (NOAA-ESRL/Keeling)
- ▲ Plant Stomata (Kouwenberg et al., 2005)
- 5 per. Mov. Avg. (Plant Stomata (Kouwenberg et al., 2005))

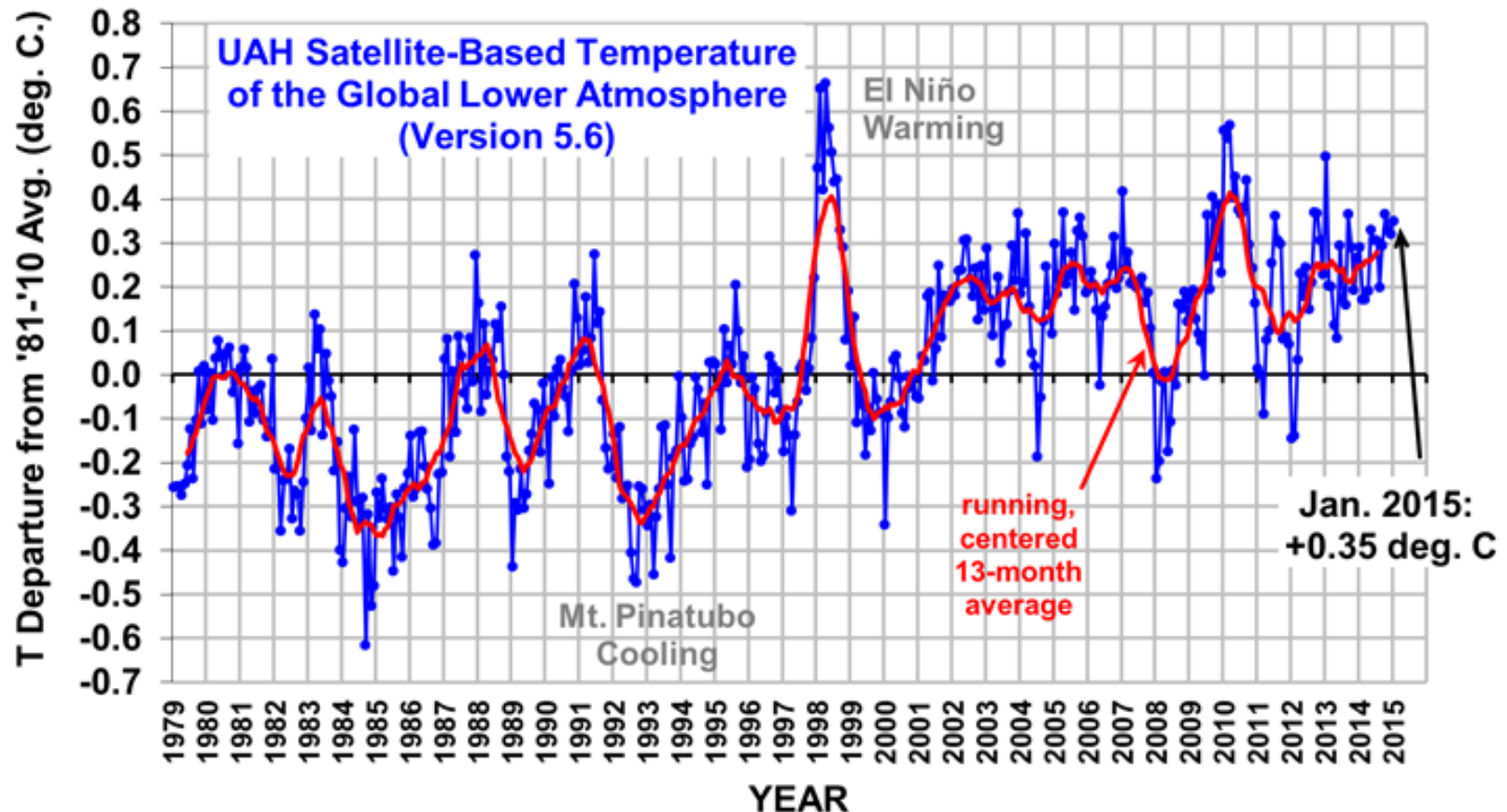
Problem:

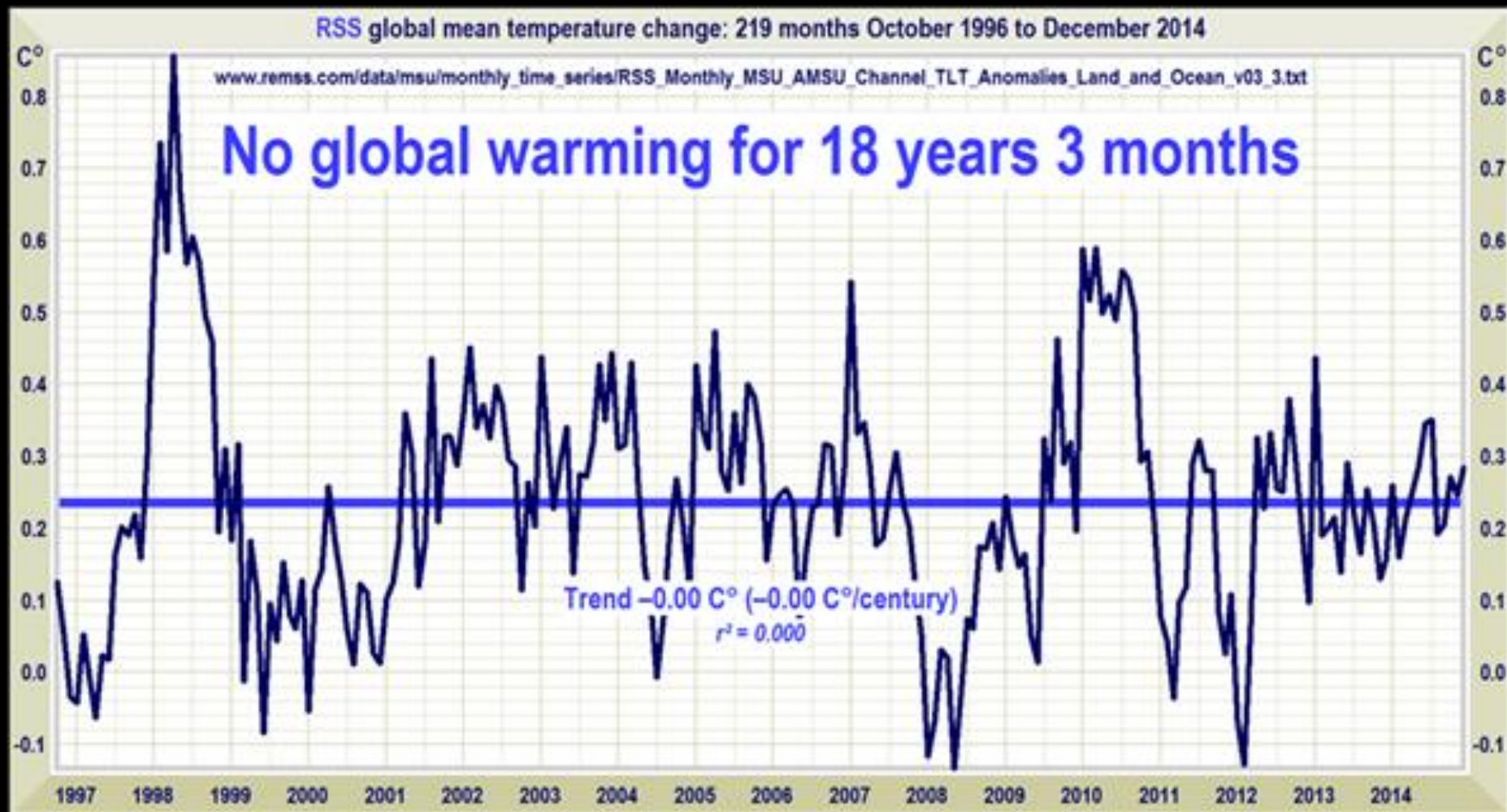
Kann man der „glatten“ Kurve des Eiskernproxis glauben, der uns eine relativ konstante CO₂-Konzentration von ~270 ppmv während der letzten 10.000 Jahre zeigt oder gab es früher auch schon kurzzeitige starke Anstiege und dann wieder Abstiege, wie das die Stomatial-Proxis zeigen?

Welche Auswirkungen auf die Klimamodelle hat die erst seit relativ kurzer Zeit (2000) bekannte ungleichmäßige CO₂-Konzentrationsverteilung über den Globus und dessen kurz- und mittelfristigen Änderungen?



Seit mittlerweile 16 Jahren ist nach Satellitendaten keine weiterer Trend in Bezug auf eine Erhöhung der mittleren globalen Jahrestemperaturen nachweisbar, während die Keeling-Kurve weiter lustig und mit unveränderter Steigung ansteigt:





PIK: „Das ist die Ruhe vor dem Sturm“

Russische Astronomen: „Das sind die ersten Auswirkungen eines neuen Maunder-Minimums“