Eisbohrkerne und Pflanzenstomata: Der historische CO2 Gehalt der Atmosphäre war oft deutlich höher als 280 ppm!

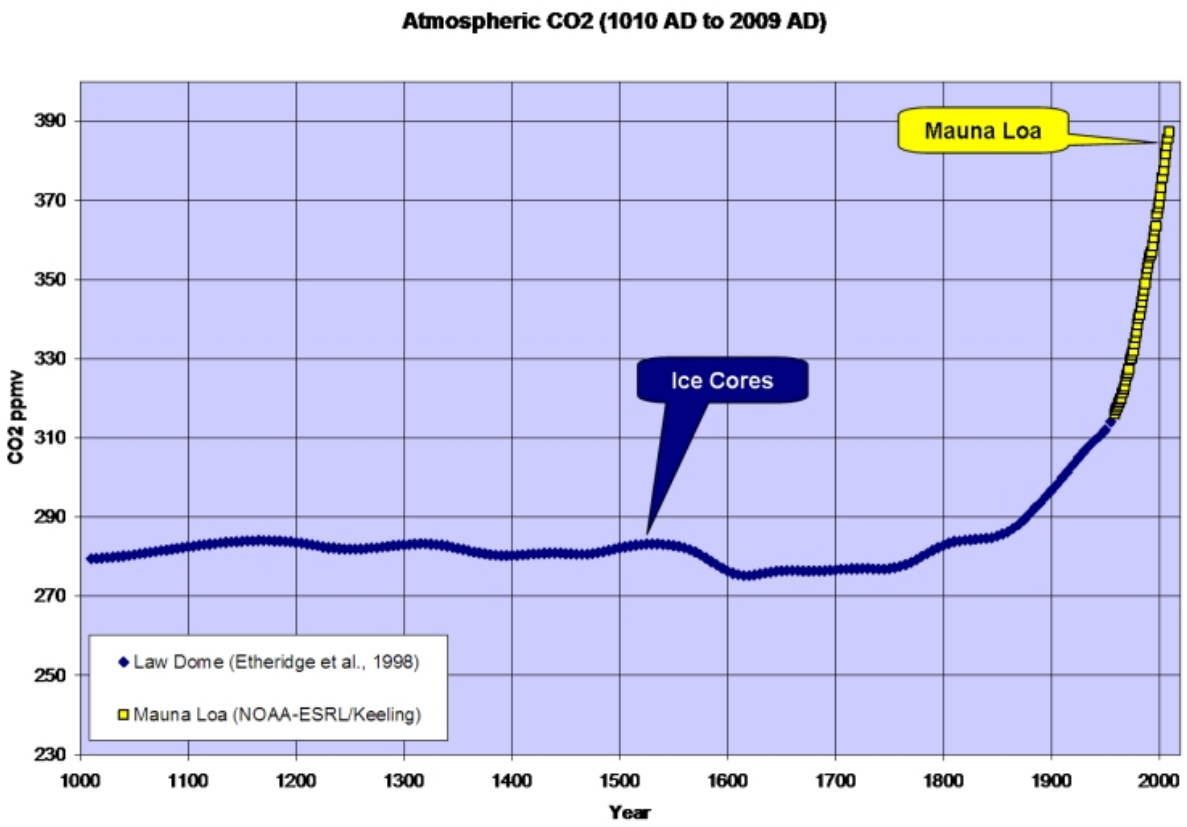
geschrieben von David Middleton | 6. Januar 2011

Pflanzenstomata *= verschließbare Poren der Epidermis (der äußeren Schicht) der oberirdischen, von Luft umgebenen grünen Pflanzenteile (meist Blattunterseite) der höher organisierten Pflanzen*

Gastbeitrag von David Middleton

Einführung

Jeder, der sich schon mal Zeit genommen hat, die Literatur der Klimawissenschaft zu studieren, hat möglicherweise Variationen der folgenden Abbildung gesehen…



Aufzeichnungen des atmosphärischen CO2-Gehaltes über die letzten 1000 Jahre, ermittelt aus antarktischen Eisbohrkernen und moderner Messmethoden auf dem Mauna Loa legen nahe, dass der vorindustrielle atmosphärische Gehalt an CO2 relativ stabil war und bei etwa 275 ppmv

bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts gelegen hatte. Danach hat der CO2-Gehalt rapide zugenommen bis zu einer Menge, der oft als noch nie da gewesen während der letzten hunderttausende oder viele Millionen Jahre angesehen wurde.

Daten über den CO2-Gehalt aus Eisbohrkernen sind großartig. Diese Kerne können kontinuierliche Aufzeichnungen des CO2-Gehaltes von vor 800 000 Jahren bis zu den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts liefern. Diese Eisbohrkerne bilden auch einen der Eckpfeiler für die Müllwissenschaft der Alarmisten [Warmista Junk Science]: Dass nämlich der CO2-Gehalt in der vorindustriellen Zeit bei 275 ppmv lag. Die Abschätzungen des CO2-Gehaltes aus Eisbohrkernen der Antarktis sind jedoch überhaupt nicht konsistent mit fast allen anderen Methoden, den vorindustriellen CO2-Gehalt zu messen.

Es gibt folgende drei allgemeine Wege, die Konzentrationen von CO2 in vorindustriellen Zeiten zu ermittelt (bevor Messungen mit Messfühlern im Jahre 1959 begannen):

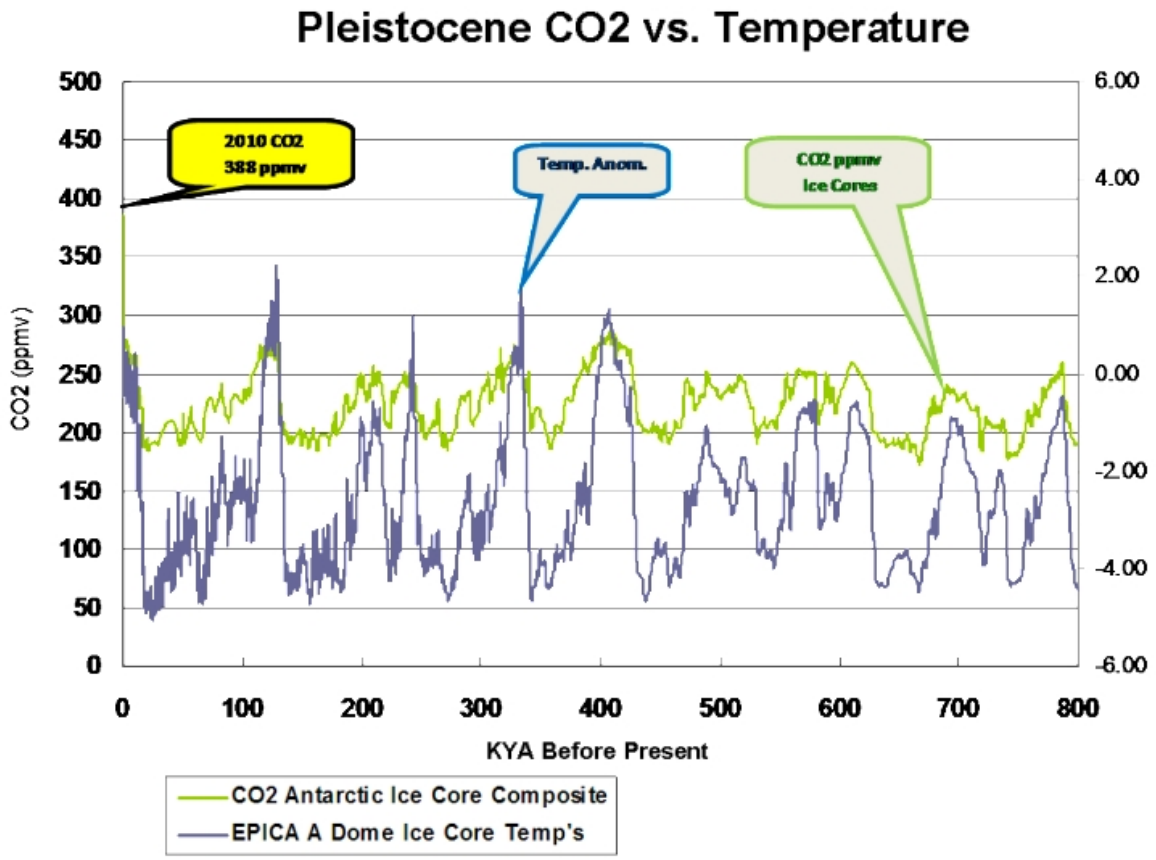
1) Messungen des CO2-Gehaltes in den im Eis eingeschlossenen Luftbläschen

2) Messungen der Dichte von Stomata in Pflanzen

3) GEOCARB (Berner et al., 1991, 1999, 2004): Ein geologisches Modell der Evolution atmosphärischen CO2-Gehaltes über das Phanerozoische Zeitalter [Phanerozoic Eon: Ein Zeitraum von 542 bis 0 Millionen Jahre vor unserer Zeitrechnung. Quelle: Wikipedia]. Dieses Modell wurde aus „geologischen, geochemischen, biologischen und klimatologischen Daten“ entwickelt. Als Haupttreiber gelten tektonische Vorgänge, die Verwesung organischen Materials sowie Verwitterung von Felsen auf den Kontinenten.

Eisbohrkerne

Der Vorteil antarktischer Eisbohrkerne liegt darin, dass sie eine kontinuierliche Aufzeichnung der relativen Änderungen des CO2-Gehaltes zurück bis zu einer Zeit vor 800 000 liefern, und zwar mit einer Auflösung von einzelnen Jahren im Engeren und multidekadischen im Weiteren. Aufzeichnungen in Bohrkernen aus dem Pleistozän scheinen eine starke Korrelation zwischen dem CO2-Gehalt und der Temperatur zu belegen; wobei jedoch die Änderungen des CO2-Gehaltes etwa 800 Jahre nach Änderungen der Temperatur erfolgten…



Eisbohrkerne aus Grönland werden selten zur Rekonstruktion des CO2-Gehaltes genutzt, reichen sie doch höchstens bis 130 000 Jahre zurück; noch älteres Eis wurde deformiert. Allerdings haben die Eisbohrkerne aus Grönland eine bessere zeitliche Auflösung, weil die Schneefallrate dort viel höher liegt als in der Antarktis. Das Komische an diesen grönländischen Eisbohrkernen: Sie zeigen während der Warmperioden des Holozäns und der Pleistocene Interstadials ["eine Warmperiode, die wegen ihrer geringen Ausdehnung nicht den Namen Zwischeneiszeit verdient*] einen viel höheren CO2-Gehalt (330 bis 350 ppmv). Der Eisbohrkern Dye 3 zeigt einen mittleren CO2-Gehalt von 331 ppmv (+/- 17) während der präborealen Oszillation (etwa vor 11 500 Jahren). Diese höheren CO2-Gehalte wurden wegerklärt mit dem Argument, dass es in situ das Ergebnis von chemischen Reaktionen sei (Anklin et al., 1997).

Pflanzenstomata

Über die Stomata findet der Gasaustausch statt. Die Dichte der Stomata in einigen
C3-Pflanzen verhält sich umgekehrt proportional zur Konzentration von CO2 in der Atmosphäre. In lebenden Pflanzen kann dieser Zusammenhang während der letzten 60 Jahre gemessen und kalibriert werden. Der Vorteil der so gewonnenen Daten liegt darin, dass die Beziehung zwischen dem Index der Stomata und des atmosphärischen CO2-Gehaltes empirisch gezeigt werden kann…

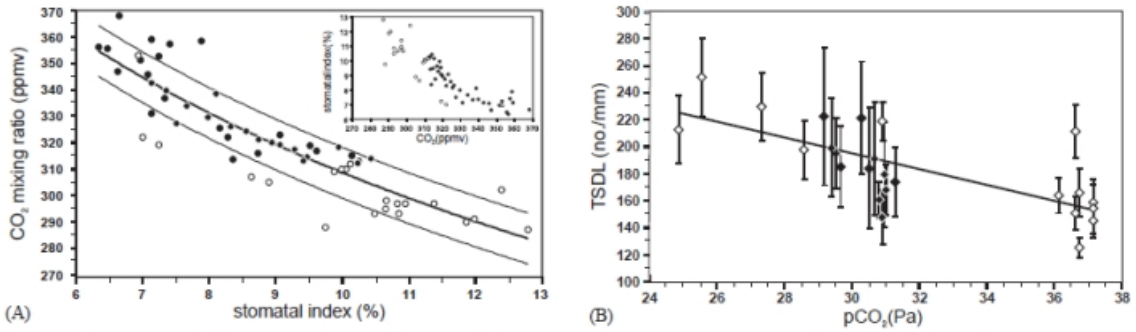
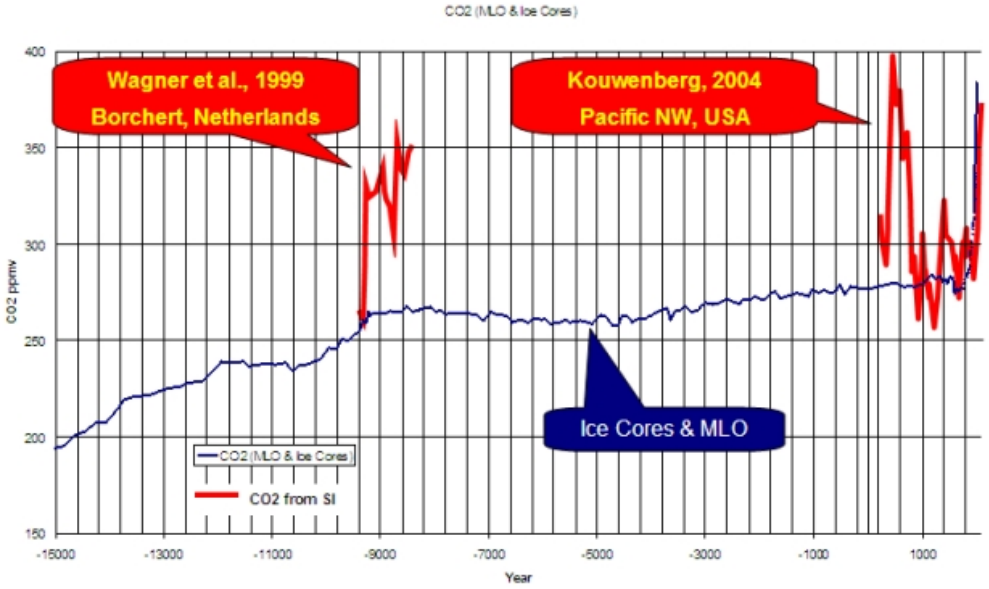


Fig. 1. Modelled relation between atmospheric CO_2 concentration and stomatal frequency in training sets consisting of leaves from herbaria and sub-fossil deposits calibrated against historical CO_2 concentrations. CO_2 mixing ratios of 290–315 ppmv were derived from shallow Antarctic ice cores (http://www.cdiac.esd.ornl.gov/trends/co2/siple.htm; Neftel et al., 1985), mixing ratios of 315–368 ppmv are annual means from instrumental measurements at Mauna Loa (http://www.cdiac.esd.ornl.gov/ndps/ndp001.html). (A) Thick black line: Model for CO_2 estimates based on linear regression of log-transformed stomatal index (SI) data for *B. pendula/pubescens* ($CO_2 = 10^{2.802} - [0.313 + \log(SI_f)]$; $r^2 = 0.79$); thin lines indicate ± 1 RMSE ($= 9.6$ ppmv). Inset: historical response of SI to global atmospheric CO_2. Training set includes leaf remains from modern peats (black circles) and herbarium specimens (open circles). (B) Response of number of stomata per millimetre needle length (TSDL) of *T. heterophylla* to a pCO_2 increase from 24 to 38 Pa. CO_2 partial pressure was calculated by multiplying the CO_2 mixing ratio by local barometric pressure P_B (Pa), estimated according to Jones (1992): $P_B = 101.325/e^{[(z/29.3)/T]}$ where z is the altitude above sea level and T the air temperature in K (estimated from mean annual temperature at the closest weather station, corrected by a temperature lapse rate appropriate for the region in case of significant altitudinal difference between site and station). Black diamonds represent sub-fossil and modern needles from Jay Bath (Mount Rainier, WA), open diamonds modern and herbarium needles from other localities. Error bars indicate ± 1 SE. Solid line indicates best fit in classical regression analysis. TSDL: true stomatal density per millimetre needle length ($TSDL = -5.8581 \times pCO_2 + 371.14$; $r^2 = 0.5124$; RMSE = 42.8 ppmv).

Wagner et al., 2004. Reproduzierbarkeit des atmosphärischen CO2-Gehaltes im Holozän auf Basis der Dichte von Stomata. Quaternary Science Reviews 23 (2004) 1947–1954.

Wenn man den aus den Stomata abgeleiteten CO2-Gehalt (rot) mit demjenigen aus Eisbohrkernen (blau) vergleicht, erkennt man, dass die Stomata allgemein eine viel größere Variabilität des CO2-Gehaltes der Atmosphäre spiegeln und oft einen viel höheren Gehalt zeigen als die Bohrkerne…

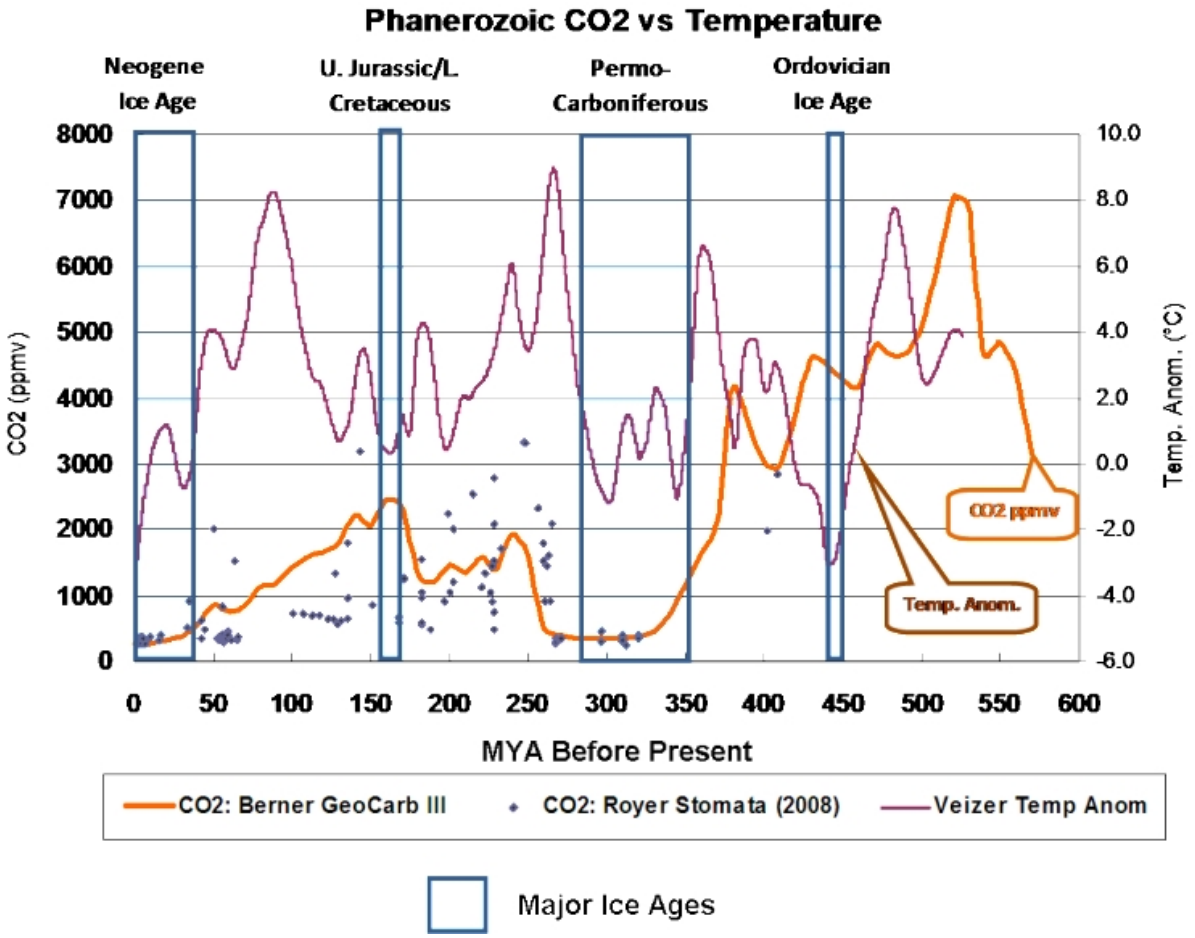


Die Auswertung der Pflanzenstomata lassen vermuten, dass der

vorindustrielle CO2-Gehalt der Luft zwischen 360 und 390 ppmv lag.

GEOCARB

GEOCARB zeigt eine kontinuiertliche Langzeitaufzeichnung atmosphärischer Änderungen des CO2, jedoch mit einer sehr niedrigen Frequenz…



Das Fehlen einer langzeitlichen Korrelation zwischen dem CO2 und der Temperatur wird gut ersichtlich, wenn man GEOCARB [ein paleogeologisches Modell mit verschiedenen Einflussgrößen zur Bestimmung von CO2 Daten über lange geologische Zeiträume Details z.B. hier 1994, GEOCARB II: A revised model of atmospheric CO2 over Phanerozoic time: American Journal of Science, v. 294, p. 56 –91. oder hier:] mit Veizers d18O-abgeleiteter Phanerozoischer Rekonstruktion der Temperatur vergleicht. Wie man in der obigen Abbildung erkennt, deuten die Pflanzenstomata auf eine viel größere Variabilität des CO2-Gehaltes hin, doch stützen sie allgemein die Ergebnisse des GEOCARB-Modells mit seiner niedrigeren Frequenz.

DISKUSSION

Eisbohrkerne und GEOCARB stellen langzeitliche Aufzeichnungen zur Verfügung; während die Reihen aus Pflanzenstomata unterbrochen und begrenzt sind auf fossile Pflanzen, die man genau datieren und mit bestehenden Pflanzenarten kalibrieren kann. GEOCARB liefert nur eingeschränkt Angaben über die Variabilität, Eisbohrkerne haben eine

größere Auflösung und Stomata können sehr hohe Änderungsraten erbringen. Der gegenwärtige CO2-Gehalt ist nach den Daten von GEOCARB unspektakulär, nach den Daten der Eiskerne ohne Präzedenz und nach den Daten aus den Stomata nicht anomal. Also, mit welcher Methode kann man am besten den historischen CO2-Gehalt der Atmosphäre rekonstruieren?

Die Probleme mit den Eisbohrkernen sind 1) das Verhältnis zwischen Luft und Alter zum Verhältnis Eis und Alter und 2) die Effekte, die verschieden tiefen Einlagerungen auf die Gaskonzentrationen haben.

Das Alter der Eisschichten kann ziemlich einfach und genau bestimmt werden. Die Altersbestimmung der in das Eis eingeschlossenen Luftbläschen lässt sich dagegen nicht so einfach oder genau durchführen. Die am meisten verbreitete Methode für die Altersbestimmung ist gegenwärtig der Gebrauch des „Firn Densification Models“ (FDM). Firn weist eine größere Dichte als Schnee, aber eine geringere Dichte als Eis auf. Wenn die Schichten von Schnee und Eis immer tiefer begraben werden, werden sie zunächst zu Firn und dann zu Eis gepresst. Die Tiefe, in der die Poren im Firn geschlossen werden und die Gasbläschen gefangen sind, kann sehr variieren… Daher kann die Spannbreite zwischen dem Alter des Eises und der eingeschlossenen Luftbläschen von 30 bis über 2000 Jahre reichen.

Der Eisbohrkern EPICA C weist eine Spannbreite über 2000 Jahre auf. Die Poren haben sich nicht geschlossen, bevor sie eine Tiefe von 99 m erreicht hatten, wo das Eis 2424 Jahre alt ist. Nach dem FDM wurde die Luft des vergangenen Jahres in einer Eisschicht eingelagert, die vor über 2000 Jahren entstanden ist.

Ich habe viele Zweifel über die Genauigkeit der FDM-Methode. Ich bezweifle irgendwie, dass die Luft in einer Tiefe von 99 m die Luft aus dem vergangenen Jahr ist. Gas hat nicht die Tendenz, sich durch die Sedimente hindurch nach unten auszubreiten… Mit der geringeren Dichte als Fels oder Wasser tendiert es eher dazu, nach oben zu wandern. Das ist auch der Grund dafür, warum Erdöl und Erdgas fast immer viel älter sind als die Felsformationen, in denen sie sich gesammelt haben. Ich weiß wohl, dass Luft in Eis eindringt… Aber es scheint mir so, als ob es in der Tiefe zu einer Vermischung der gegenwärtigen Luft, die sich im Eis durchsetzt, und der von unten aufsteigenden älteren Luft kommt, bevor das Eis völlig verfestigt ist.

Eine Studie von Van Hoof et al. (2005) zeigt, dass die CO2-Daten aus Eisbohrkernen im Wesentlichen eine geringe Frequenz des CO2-Gehaltes in der Vergangenheit im Bereich von einem bis zu mehreren Jahrhunderten repräsentieren.

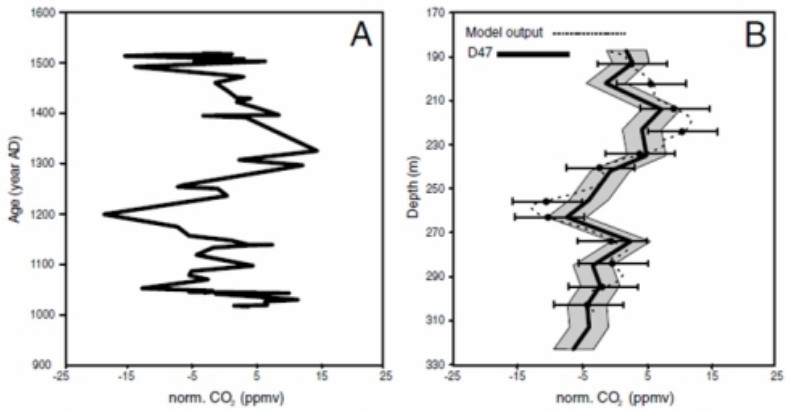


Fig. 1. (A) Raw data: normalized stomatal frequency based CO_2 mixing ratios as calculated from stomatal index: stomatal index (SI) (%) = [stomatal density (SD) (number/mm^2)]/[stomatal density (SD) (number/mm^2) + epidermal cell density (ED) (number/mm^2)] × 100 of fossil *Q. robur* (oak) leaves derived from channel deposits of the River Roer (The Netherlands) (van Hoof, 2004; Wagner et al., 2004). The chronology of the stomatal frequency record is based on wiggle-match dating of eleven AMS ^{14}C measurements (van Hoof, 2004). (B) The dotted black line represents the CO_2 [SI] output after application of the firn densification model (Kaspers et al., 2004a). Of selected data points that resemble the actual sample depth of the CO_2 [ice] measurements of the D47 core, averaged errors of the CO_2 [SI] are shown. The black line represents normalized CO_2 mixing ratios (CO_2 [ice]) of the D47 ice core and the grey area resembles the methodological error (Barnola et al., 1995).

Van Hoof et al., 2005. Atmosphärischer CO2-Gehalt im 13. Jahrhundert: Abgleich von Daten aus Eisbohrkernen und der Frequenzanalyse aus Stomata. Tellus (2005), 57B, S. 351 – 355.

Es scheint, dass die Eiskerndaten ein langfristiges Mittel mit niedriger Frequenz der atmosphärischen CO2-Konzentration zeigen, während sich aus den Stomata eine Komponente mit hoher Frequenz ergibt.

Die Daten aus den Stomata zeigen regelmäßig einen höheren CO2-Gehalt der Atmosphäre an als diejenigen aus den Eiskernen, vor allem für das vorige Interglazial (Eemian/Sangamonian)…

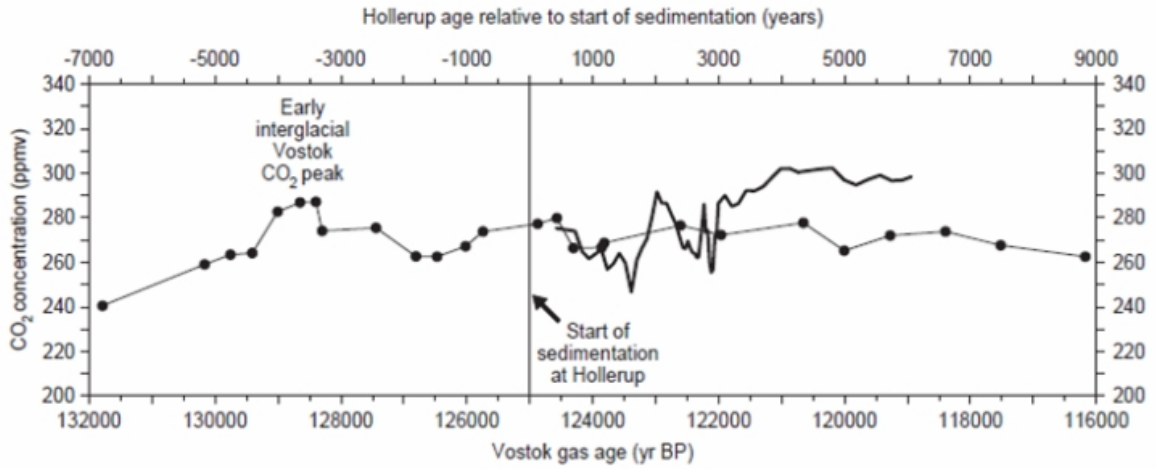
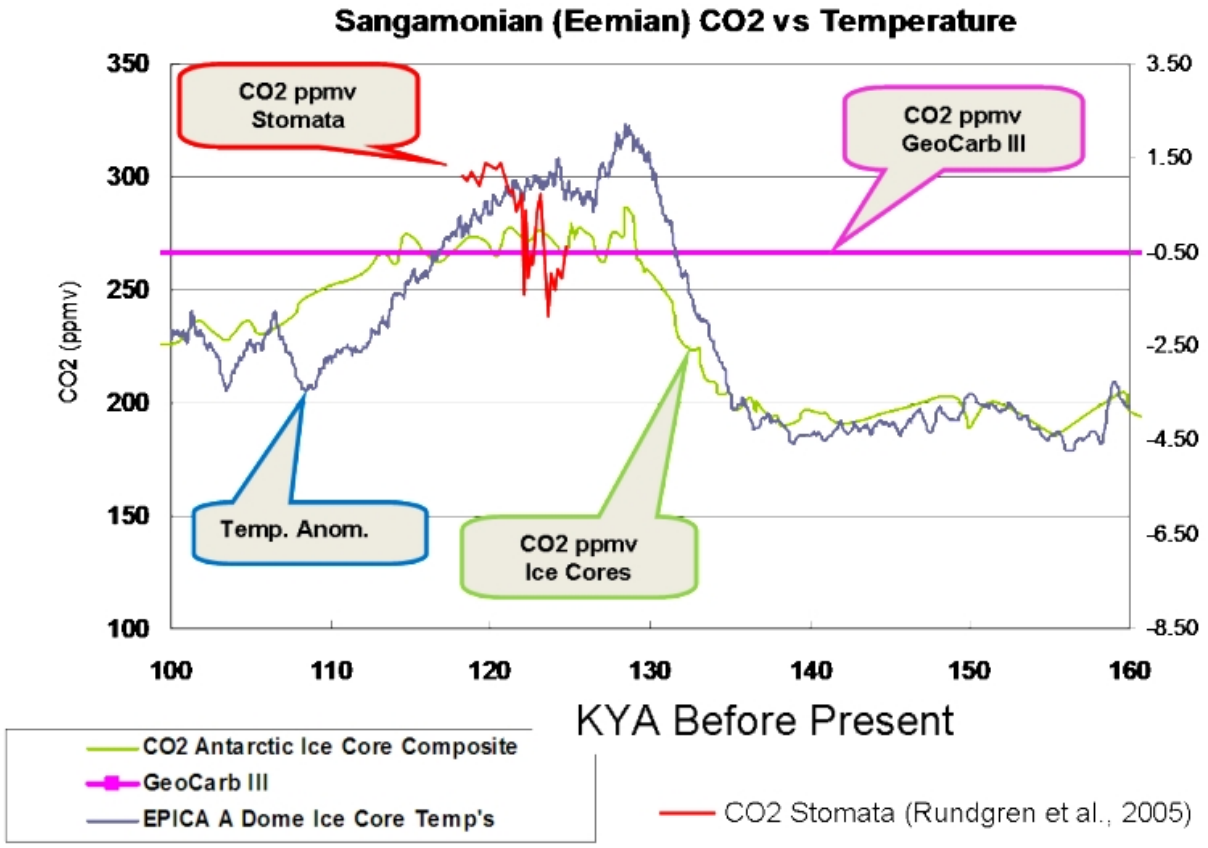


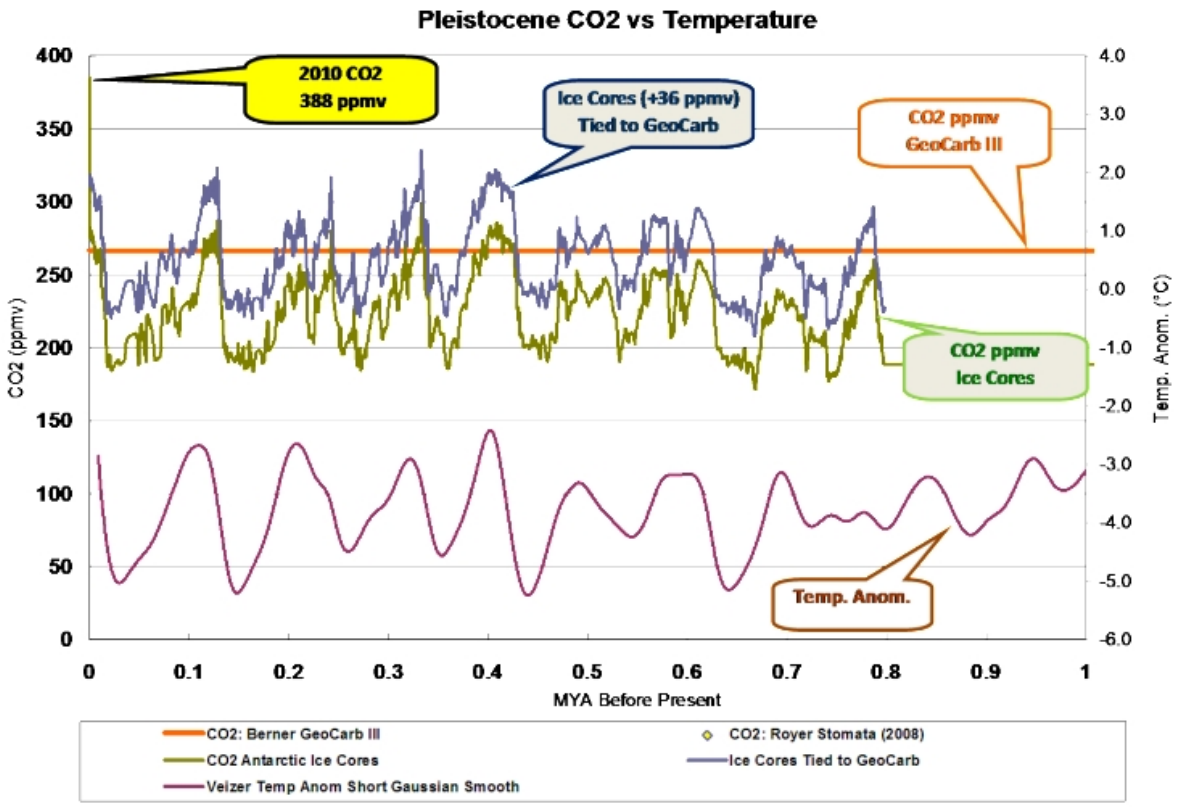
Fig. 5. Tentative matching of the Vostok CO_2 record (Petit et al., 1999) and Hollerup CO_2 reconstruction (five-point running mean values). The proposed matching takes into account the 6–7 kyr lag of peak interglacial sea levels relative to the early interglacial CO_2 peak in Vostok indicated by $\delta^{18}O_{atm}$ measurements on atmospheric O_2 trapped in the Vostok core (Sowers et al., 1991) and the 3–4 kyr delayed attainment of maximum interglacial sea levels in the North Sea area relative to the onset of the Eemian in northwestern Europe (Zagwijn, 1996; Kristensen et al., 2000).

Rundgren et al., 2005. Änderungen des atmosphärischen CO2-Gehaltes im letzten Interglazial aus Stomatadaten und ihre Relation zu Klimavariationen. Global and Planetary Change 49 (2005) S. 47 – 62.

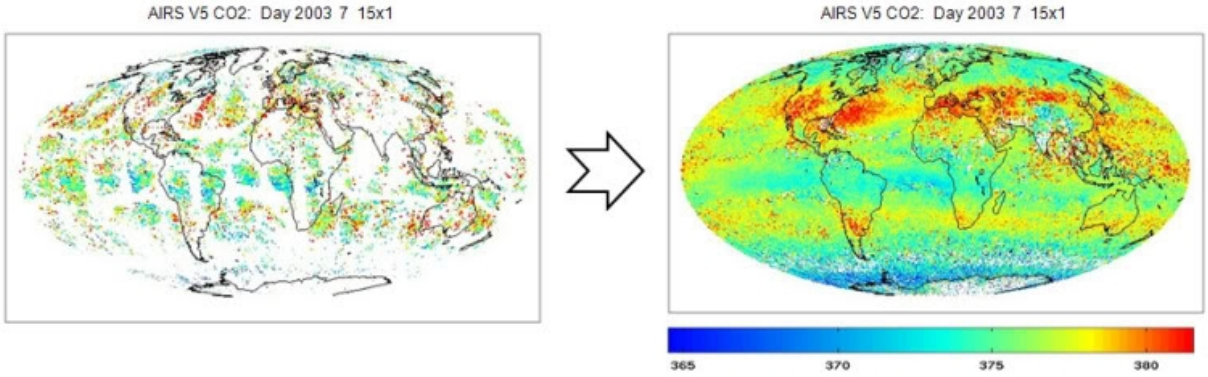
Die GEOCARB-Daten legen ebenfalls nahe, dass die CO2-Daten aus den Eisbohrkernen zu niedrig liegen…



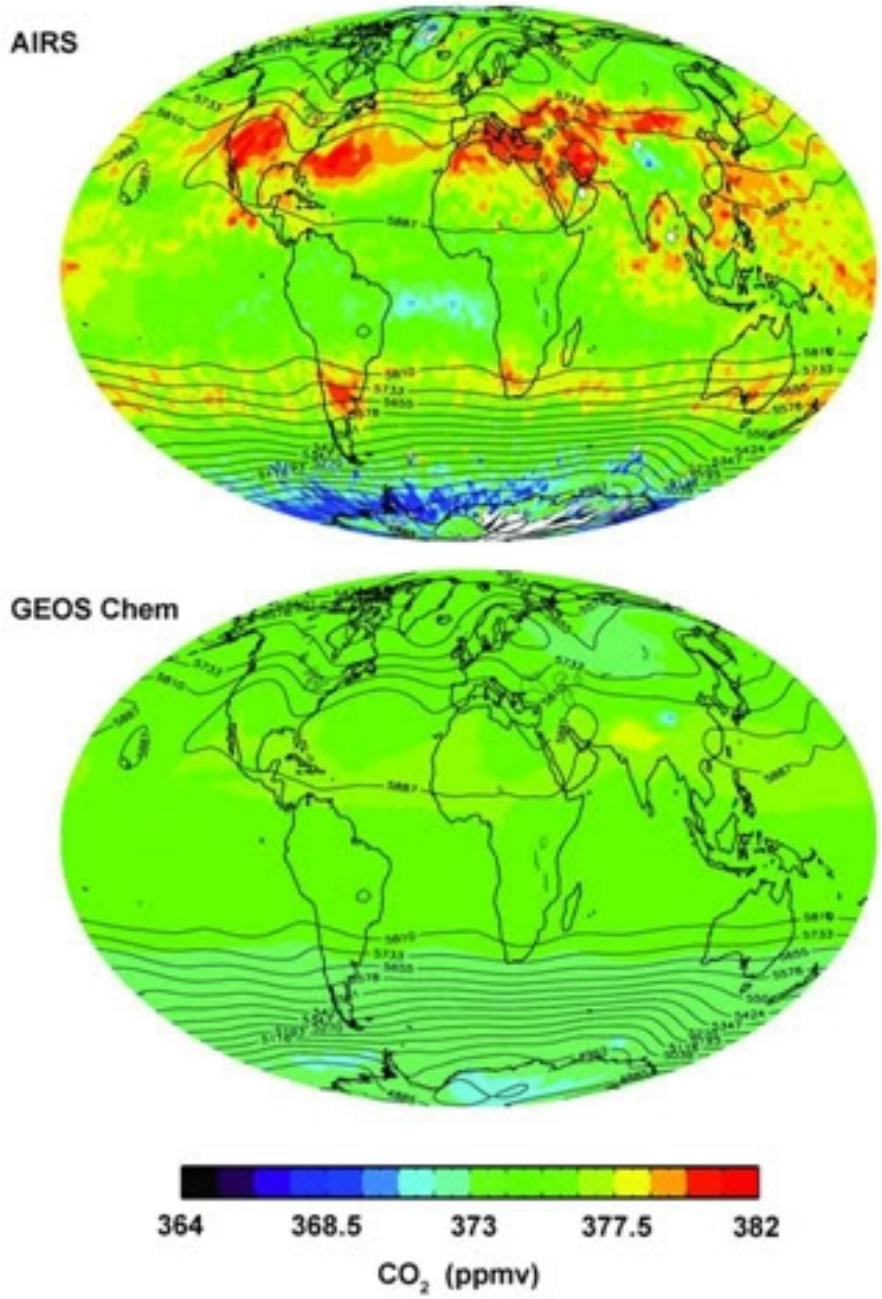
Der mittlere CO2-Gehalt der Eiskerne aus dem Pleistozän zeigt um 36 ppmv niedrigere Werte als GEOCARB…



Jüngere Satellitendaten (NASA AIRS) zeigen, dass der atmosphärische CO2-Gehalt in den Polargebieten signifikant geringer ist als in niedrigeren Breiten…



AIRS kann die Konzentration von Kohlendioxid in der mittleren Troposphäre mit 15 000 Beobachtungen täglich überwachen, von Pol zu Pol über den gesamten Globus mit einer Genauigkeit von 1 bis 2 ppm und einer horizontalen Auflösung von 1° zu 1°. Die monatliche Verteilung in der rechten Karte ermöglicht es Forschern, Variationen im CO2-Gehalt in verschiedenen Breiten und verschiedenen Jahreszeiten viel besser zu bestimmen. Bild: NASA
http://www.nasa.gov/topics/earth/agu/airs-images20091214.html



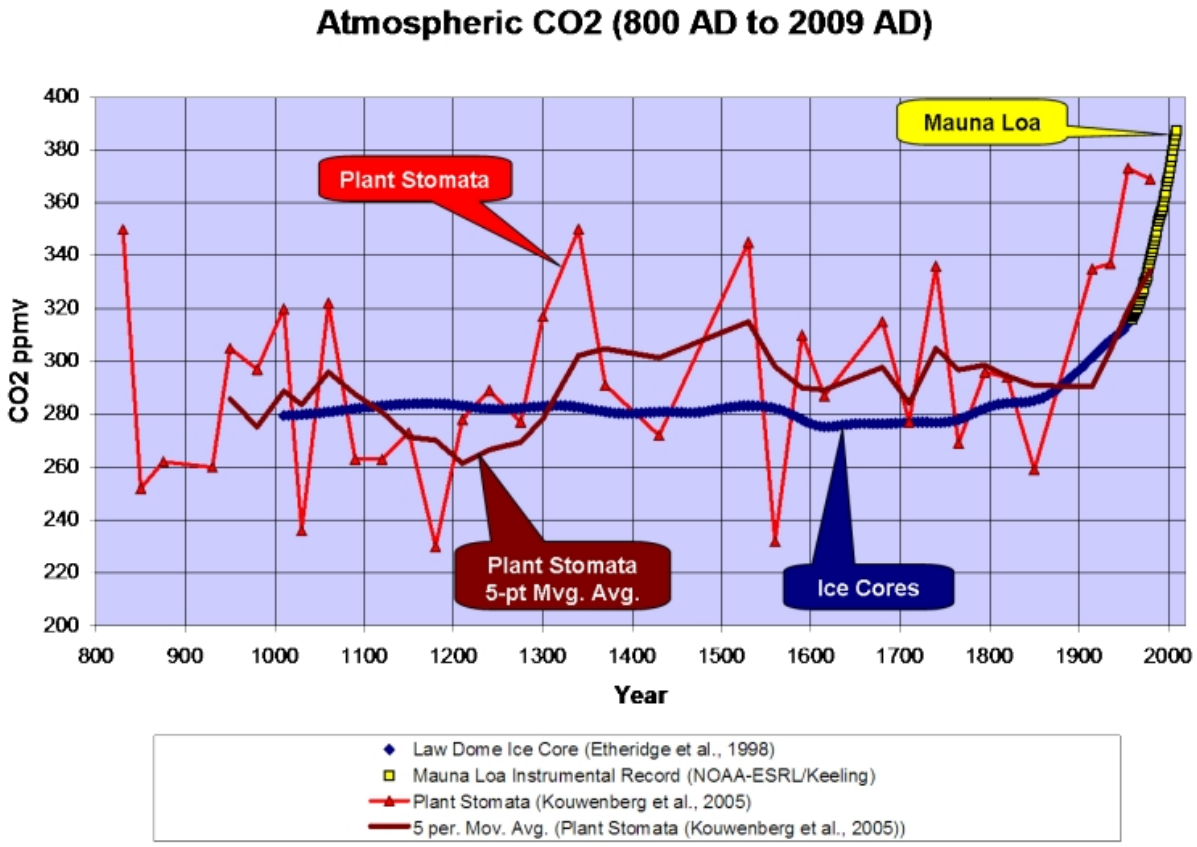
Die AIRS-Daten zeigen, dass das Kohlendioxid in der Erdatmosphäre nicht gleichmäßig verteilt ist, was durch direkte Messungen auch bestätigt wird. Der Gürtel maximaler CO2-Konzentration in der südlichen Hemisphäre, dargestellt in rot, erreicht sein Maximum im Juli und August, sein Minimum im Dezember und Januar. Es gibt einen Transportfluss von Kohlendioxid von der nördlichen zur südlichen Hemisphäre. Auf der Nordhemisphäre entsteht drei bis vier mal so viel anthropogenes Kohlendioxid wie auf der südlichen Hemisphäre. Bild: NASA: http://www.nasa.gov/topics/earth/agu/airs-images20091214.html

Also sollten die Eiskerndaten geringere Werte zeigen als die Pflanzenstomata und die Messungen auf dem Mauna Loa.

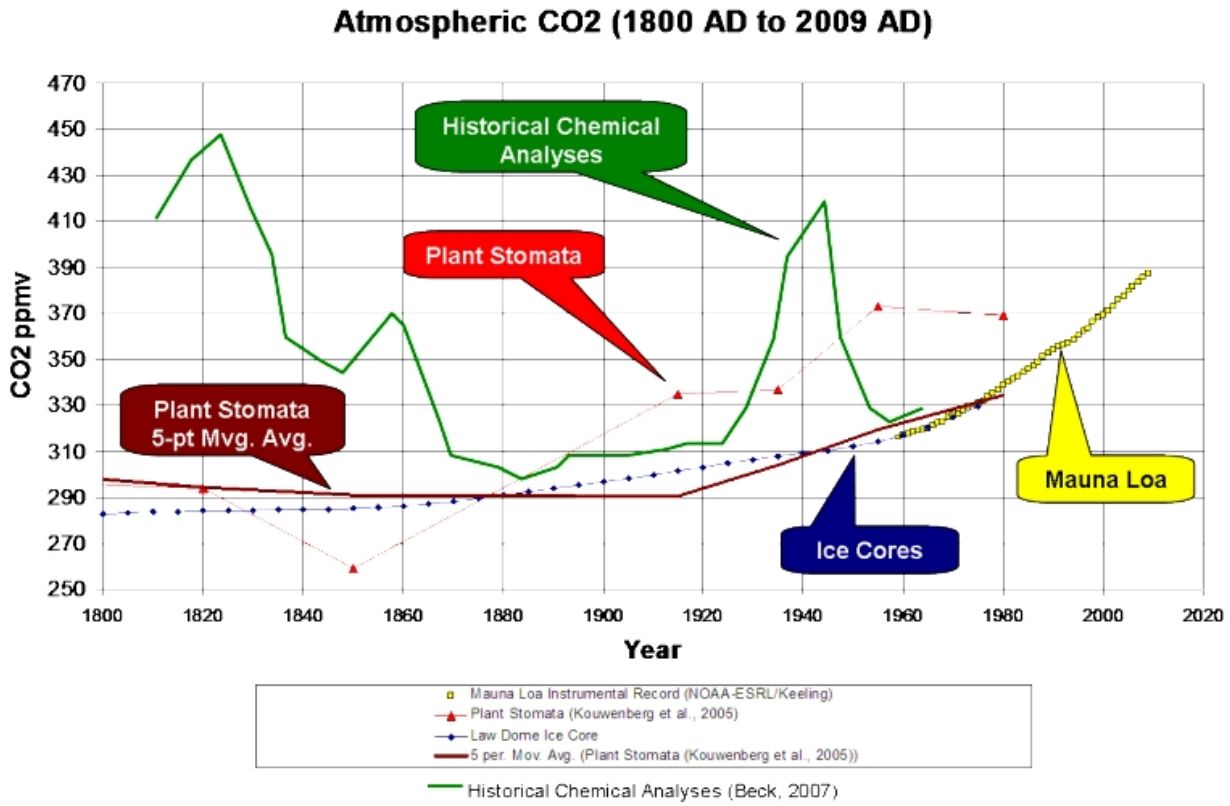
Kouwenberg et al. fanden 2005, dass „Aufzeichnungen der Frequenz von

Nadeln des Baumes *Tsuga heterophylla* (Westamerikanische Hemlocktanne), die unter der Erde begraben lagen, signifikante CO2-Fluktuationen im Maßstab von Jahrhunderten während des vorigen Jahrtausends zeigten“.

Die Daten aus Pflanzenstomata zeigen eine viel größere Variabilität des atmosphärischen CO2-Gehaltes über die letzten 1000 Jahre als die Daten aus Eiskernen. Sie zeigen außerdem, dass der Gehalt während des vorigen Jahrtausends oft zwischen 300 und 340 ppmv lag, einschließlich eines Anstiegs um 120 ppmv vom späten 12. Jahrhundert bis zum mittleren 14. Jahrhundert. Die Stomatadaten deuten auch einen höheren CO2-Gehalt an als die auf dem Mauna Loa gemessenen Werte; jedoch nähern sich beide Werte mit einem gleitenden Mittel über 5 Punkte ganz gut an…

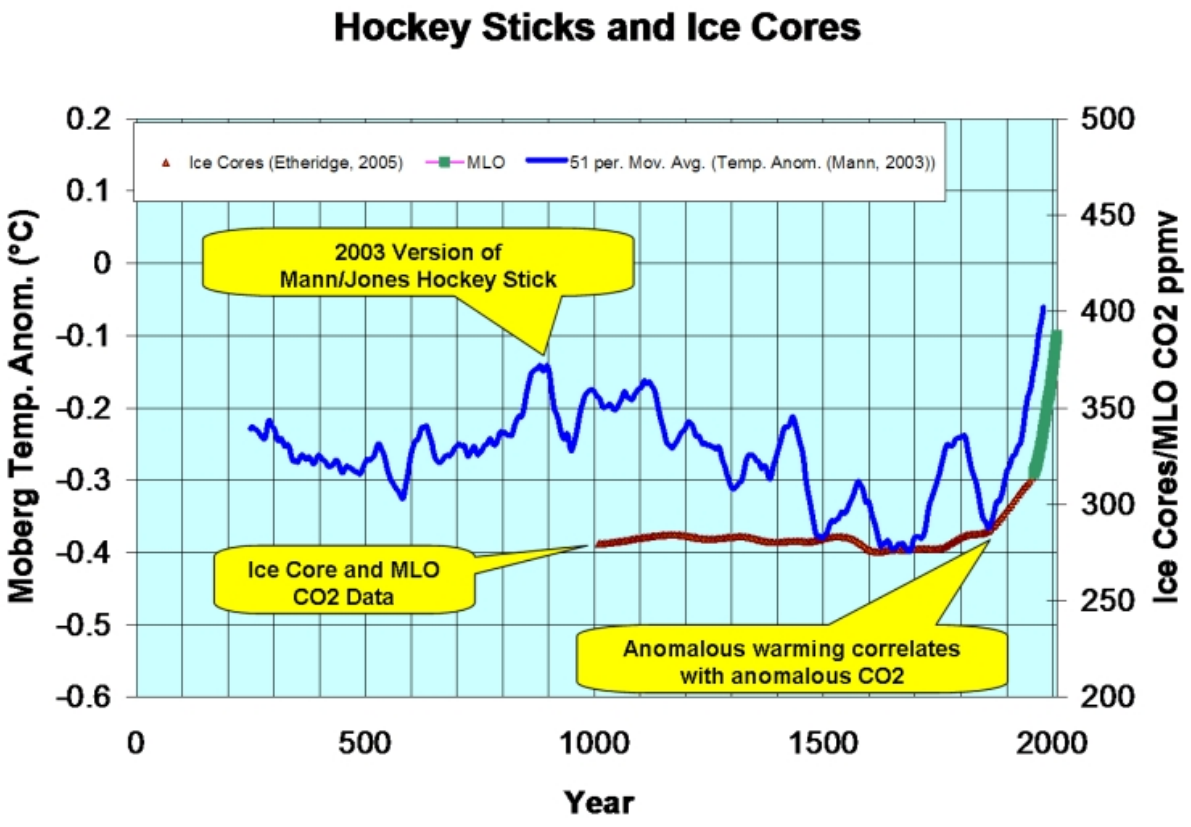


Eine Überprüfung historischer chemischer Analysen (Beck, 2007) zeigt sogar eine noch größere Variabilität des CO2-Anteils in der Atmosphäre als die Daten aus den Pflanzenstomata…

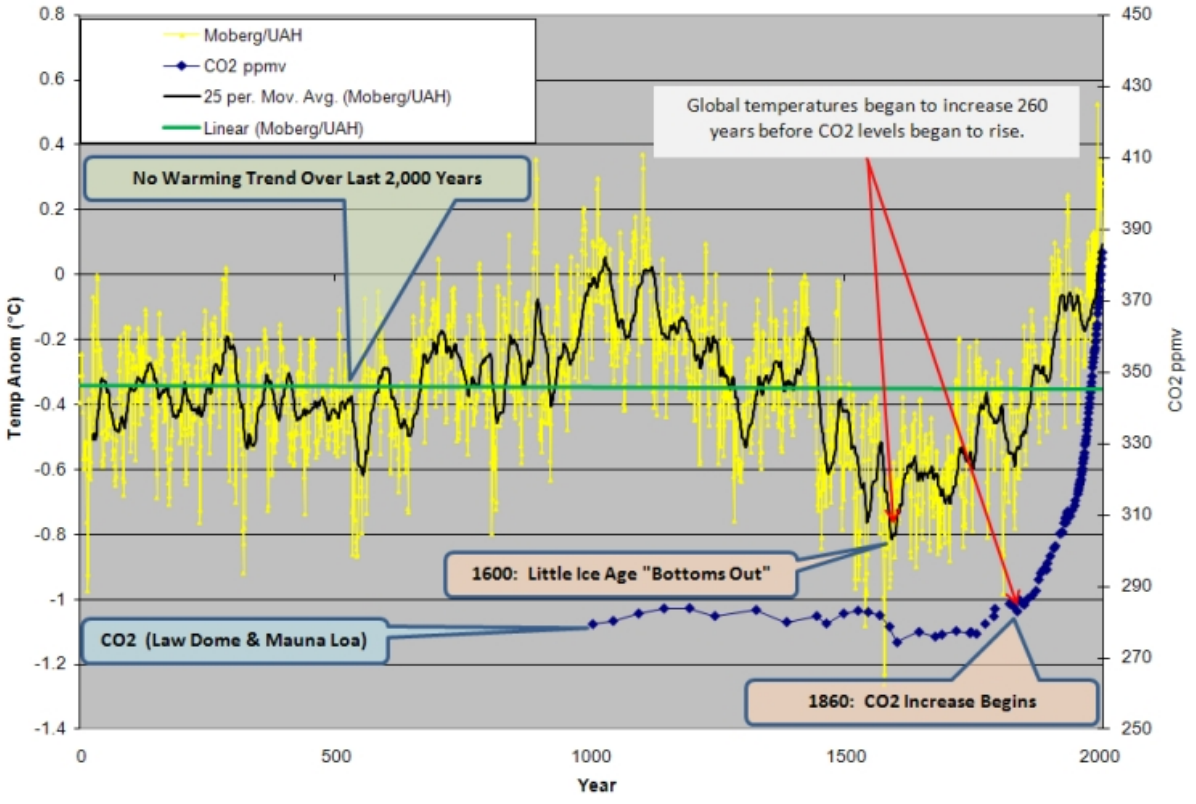


Was bedeutet das alles?

Das gegenwärtige „Paradigma“ besagt, dass der CO2-Gehalt der Atmosphäre von etwa 275 ppmv seit Mitte des 19. Jahrhunderts auf Werte um 388 ppmv gestiegen ist, und zwar als Ergebnis des Verbrennens von fossilen Energieträgern durch den Menschen. Der zunehmende CO“-Gehalt erwärmt möglicherweise den Planeten…

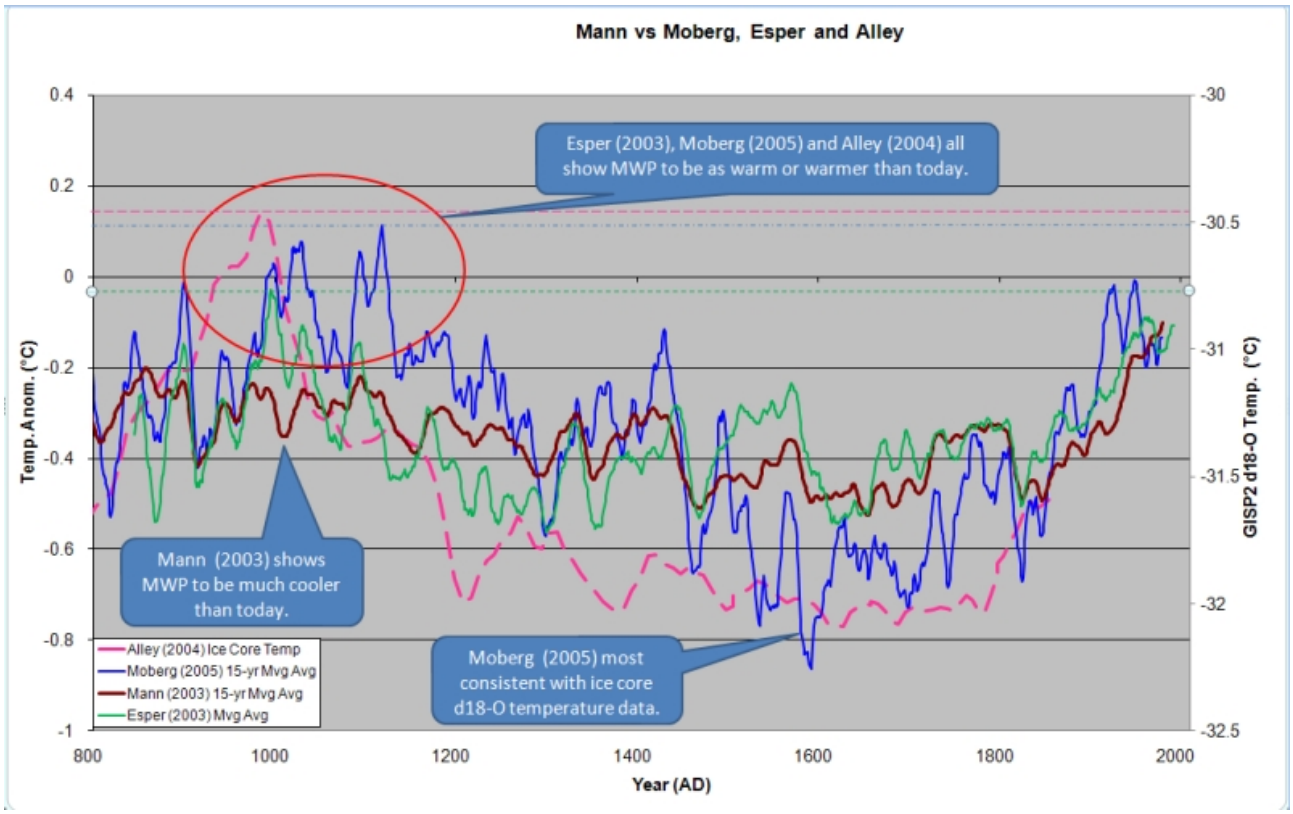


Jedoch, wenn wir den Nicht-Hockeyschläger nach Moberg (2005) betrachten, ändert sich die Korrelation zwischen Temperatur und CO2 ein wenig…



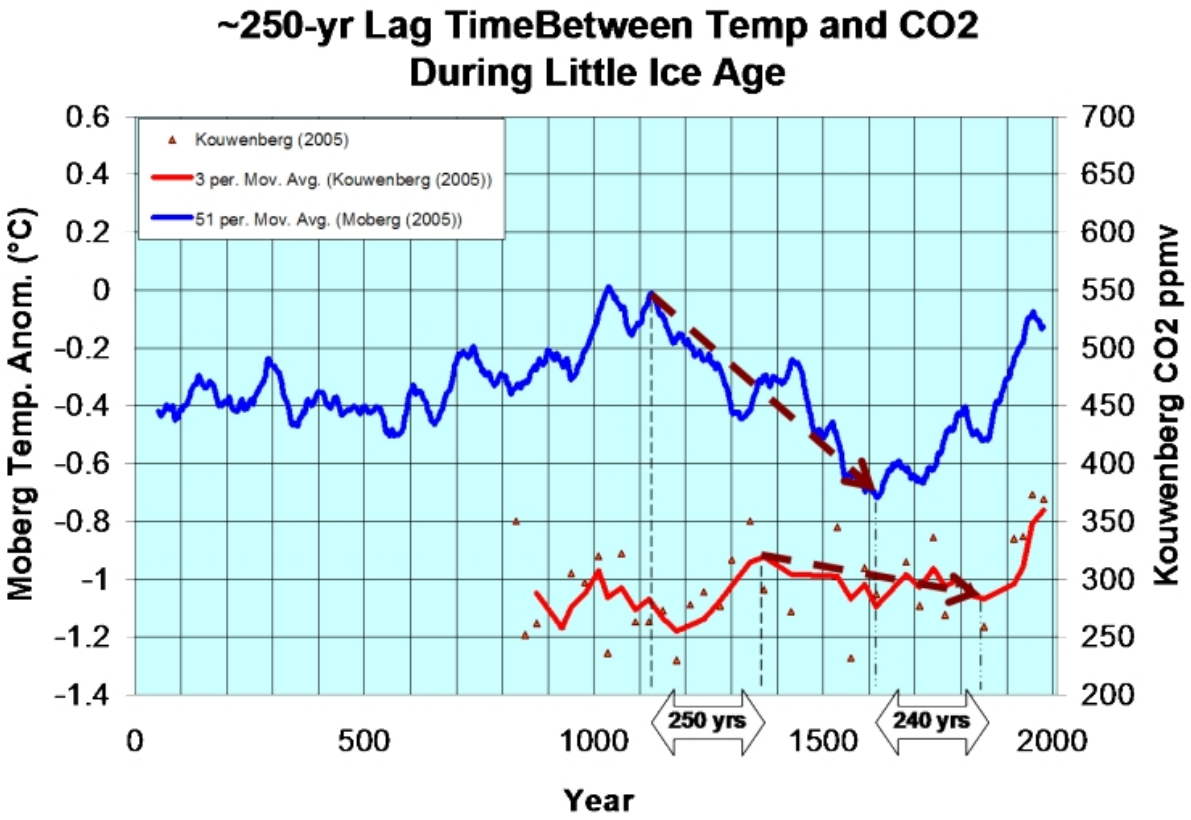
Moberg hat viel bessere Arbeit geleistet, die Komponente der niedrigen Frequenz des Klimasignals zu bewerten. Rekonstruktionen wie diese deuten auf ein viel variableres Klima während der letzten 2000 Jahre hin als jeder „Hockeyschläger“. Moberg konnte auch zeigen, dass die Erwärmung nach der Kleinen Eiszeit um das Jahr 1600 begonnen hatte, 260 Jahre, bevor der CO2-Gehalt zu steigen begann.

Wie man unten erkennen kann, sind geologisch konsistente Rekonstruktionen, wie sie Moberg und Esper durchgeführt haben, in viel besserer Übereinstimmung mit „direkten“ Messungen der Paläotemperatur als Alleys Eisbohrkernrekonstruktion aus dem inneren Grönland…



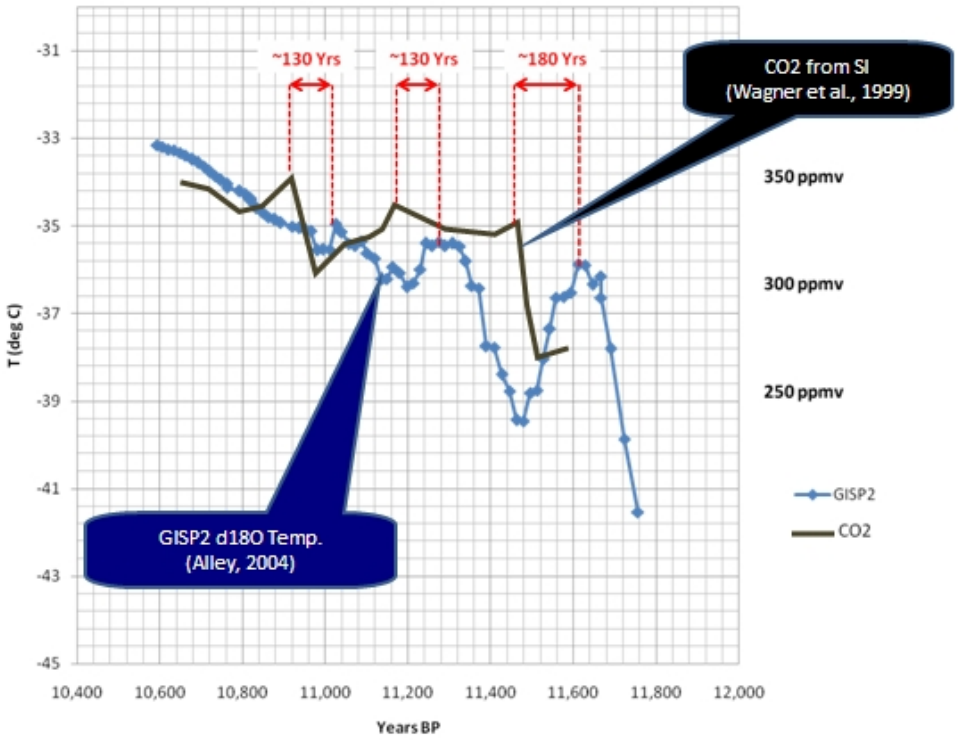
Um fair zu Dr. Mann zu sein, muss man erwähnen, dass er die Mittelalterliche Warmperiode ebenso wie die Kleine Eiszeit wieder eingeführt und zeitlich richtig zugeordnet hat; aber er nutzt immer noch Mike’s Trick, den Verlauf im 20. Jahrhundert in die Form eines Hockeyschlägers zu pressen.

Was passiert, wenn man die aus den Pflanzenstomata abgeleiteten CO2-Werte anstelle der Eiskerndaten benutzt?



Man findet, dass die Zeitverzögerung um etwa 250 Jahre konsistent ist. Der CO2-Gehalt erreichte sein Maximum 250 Jahre nach dem Höhepunkt der Mittelalterlichen Warmzeit und als die Abkühlung zur Kleinen Eiszeit begonnen hatte. Und es erreichte ein Minimum etwa 240 Jahre nach dem Tiefpunkt der Kleinen Eiszeit. In einer Weise ähnlich der Verzögerungen zwischen Eis- und Zwischeneiszeiten in den Eisbohrkernen zeigen die Daten aus den Pflanzenstomata dass Änderungen des CO2-Gehaltes den Temperaturänderungen des vorigen Jahrtausends um etwa 250 Jahre hinterher hinkten. Der Anstieg des CO2-Gehaltes, der im Jahre 1860 begonnen hatte, ist höchstwahrscheinlich auf die Erwärmung der Ozeane und der damit verbundenen Ausgasung zurückzuführen.

Zwar gibt es keine kontinuierlichen Stomatadaten während des Holozäns, aber es scheint so, als hätte es eine Zeitverzögerung auch im frühen Holozän gegeben…



Alley, R.B.. 2004.
GISP2 Ice Core Temperature and Accumulation Data.
IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology
Data Contribution Series #2004-013.
NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.

Wagner, F. et al., 1999.
Century-Scale Shifts in Early Holocene Atmospheric CO2 Concentration.
Science 18 June 1999:
Vol. 284 no. 542, pp. 1971 - 1973
DOI: 10.1126/science 284.5422.1971.

Wenn sie erst einmal im tiefen Ozean gelöst sind, können Kohlenstoffatome mehr als 500 Jahre dort verbleiben. Daher ist eine Verzögerung um 150 bis 200 Jahre zwischen dem 1500 Jahre langen Klimazyklus und der Ausgasung der Ozeane keine Überraschung.

Schlussfolgerungen

- Daten aus Eisbohrkernen stellen eine niederfrequente Abschätzung atmosphärischer CO2-Änderungen zwischen den Glazialen und Interglazialen des Pleistozäns dar. Jedoch unterschätzen die Eiskerne die Variabilität des interglazialen CO2-Gehaltes erheblich.

- GEOCARB zeigt, dass die Eiskerne den langzeitlichen CO2-Gehalt im Pleistozän um 36 ppmv unterschätzen.

- Neue Satellitenbeobachtungen zeigen, dass der atmosphärische CO2-Gehalt in der Antarktis um 30 ppmv niedriger liegt als in niedrigeren Breiten.

- Die Daten aus Pflanzenstomata zeigen, dass Eisbohrkerne nicht die CO2-Variationen im Maßstab von Jahrzehnten oder einem Jahrhundert auflösen, die von vergleichbarer Amplitude und Frequenz seit dem Beginn des Anstiegs um 1860 sind.

Daraus ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

- Der CO2-Gehalt war vom frühen Holozän durch alle vorindustriellen Zeiten sehr variabel und nicht stabil, wie es die Eisbohrkerne aus der Antarktis nahelegen.

- Die Kohlenstoff- und Klimazyklen zeigen in konsistenter Weise vom Frühen Holozän bis heute einen Zusammenhang.

- Der Kohlenstoffzyklus hinkt dem Klimazyklus hinterher, kommt also als Antrieb für den Klimazyklus nicht in Betracht.

- Die zeitliche Verzögerung ist mit der Hypothese eines von der Temperatur angetriebenen Kohlenstoffzyklus' konsistent.

- Der anthropogene Anteil am Kohlenstoffzyklus seit 1860 ist minimal und ohne Konsequenzen.

Hinweis des Autors: Alle Klimarekonstruktionen, die in diesem Beitrag beschrieben werden, gelten für die Nordhemisphäre, es sei denn, es wurde ausdrücklich auf die Südhemisphäre hingewiesen.

David Middleton; den Originalartikel finden Sie hier

Hinweis des Übersetzers: Einige Abbildungen enthalten eine längere Legende, die gewürzt ist mit allen möglichen Fachausdrücken. Da jedoch der Inhalt der Abbildungen auch im Text zusammenfassend beschrieben wird, wird hier auf eine Übersetzung dieser Inschriften verzichtet.

Übersetzt und mit einer Einführung versehen von Chris Frey für EIKE

den 2. Teil dieses interessanten Artikels finden Sie hier **und die Übersetzung hier:**

Eisbohrkerne aus der Antarktis: Probleme bei der Auswertung

In meinem ersten Gastbeitrag (CO2: Ice Cores vs. Plant Stomata, auf EIKE: hier) wurde die Qualität der Auswertungen von Eisbohrkernen mit denen von Pflanzenstomata verglichen. Eine der grundlegenden Arbeiten zu diesem Thema, aus der ich zitiert hatte, stammt von Thomas van Hoof mit dem Titel „Atmospheric CO2 during the 13th century AD: reconciliation of data from ice core measurements and stomatal frequency analysis." (Etwa: Der atmosphärische CO2-Gehalt während des 13. Jahrhunderts: Abgleich von Daten aus Eisbohrkernen und der Analyse von Pflanzenstomata). Van Hoof und seine Mitautoren zeigten, dass die Eiskerne aus der Antarktis lediglich die niederfrequente Komponente des

CO2-„Signals“ spiegelten…

> *Es ist weithin bekannt, dass Diffusionsprozesse innerhalb der Firnschicht und dem graduellen Einschluss von Luftbläschen im langsam von Schnee zu Eis werdenden Firn nur ein abgeschwächtes Signal der ursprünglichen atmosphärischen Variabilität liefern und hochfrequente Variationen verschleiern können. (Z. B. Trudinger et al., 2003)*

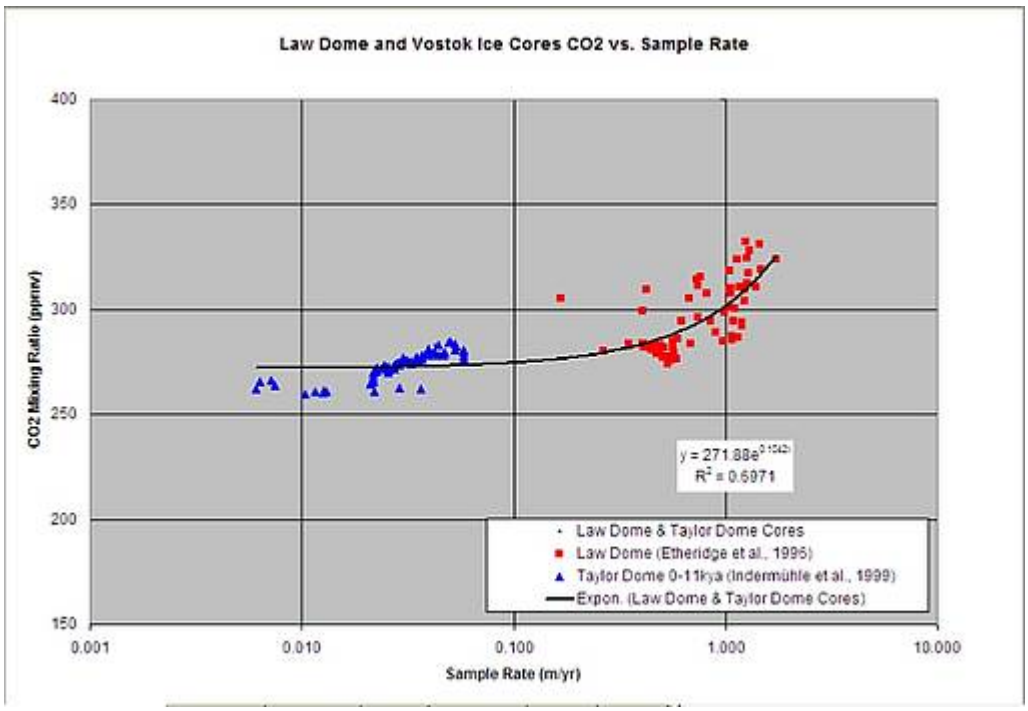
Dieser „Diffusionsprozess” ist zuallererst abhängig von der Schneezuwachsrate. Je höher der Schneezuwachs, umso weniger Diffusion und umso höher die Auflösung der Veränderungsfrequenzen. Verdichtungseffekte durch die Ablagerung immer neuer Schichten von Schnee können zum Diffusionsprozess beitragen. Die Studie von Dr. van Hoof zeigte deutliche Beweise dafür, dass die Chronologie aus Pflanzenstomata eine viel höhere Auflösung des CO2-Signal ergeben kann als in den Eiskernen. Ich fragte mich, ob irgendwelche Beweise für Diffusionseffekte von CO2-Variationen in den Eiskernen identifiziert werden können oder nicht, und zwar durch das Verhältnis zwischen der CO2-Durchmischung und der Rate der Schneezunahme. Die paläoklimatische Bibliothek der NOAA enthält keine Angaben zur Rate der Schneedeckenerhöhung von antarktischen Eisbohrkernen; aber der Zuwachs kann angenähert durch die Berechnung einer beispielhaften Zuwachsrate abgeschätzt werden.

Ich verwendete Daten von zwei antarktischen Eiskernen (Law und Taylor Domes), die die meiste Zeit des Holozäns abdecken (11 kya bis zum frühen 20. Jahrhundert) und verglich den Zuwachs mit dem Mischungsverhältnis von CO2. Die Raten wurden errechnet, indem einfach das Intervall der Schneehöhe durch das Zeitintervall der Eiszeit dividiert wurde:

$sr = [(zn - zn+1) / (tn - tn+1)]$

Hier ist sr = Zuwachsrate (m/yr), z = Höhe (m) und t = Eiszeitalter (yr)

Dann habe ich das Mischungsverhältnis des CO2 und der Zuwachsrate graphisch dargestellt. Es ist nicht überraschend, dass sich eine starke Korrelation während des gesamten Holozäns zeigt…



Antarktische Eisbohrkerne: Zuwachsrate im Vergleich zu CO2 während des Holozäns.

Dies zeigt sehr deutlich, dass die niedrigen CO2-Werte in den Eiskernen der Antarktis während des Holozäns leicht das Ergebnis von Diffusionsprozessen sein können und nicht als Beweis für einen stabilen CO2-Gehalt der Luft von etwa 275 ppmv in vorindustrieller Zeit taugen.

Literatur zu Teil 2

Etheridge, D.M., L.P. Steele, R.L. Langenfelds, R.J. Francey, J.-M. Barnola, and V.I. Morgan. 1996. Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO2 over the last 1000 years from air in Antarctic ice and firn. Journal of Geophysical Research 101:4115-4128.

Indermühle A., T.F. Stocker, F. Joos, H. Fischer, H.J. Smith, M. Wahlen, B. Deck, D. Mastroianni, J. Tschumi, T. Blunier, R. Meyer, B. Stauffer, 1999, Holocene carbon-cycle dynamics based on CO2 trapped in ice at Taylor Dome, Antarctica. Nature 398, 121-126.

Van Hoof, T.B., K.A. Kaspers, F. Wagner, R.S.W. van de Wal, W. Kürchner, H. Vissher, 2005. Atmospheric CO2 during the 13th century AD: reconciliation of data from ice core measurements and stomatal frequency analysis. Tellus (2005), 57B, 351–355.

Übersetzt von Chris Frey für EIKE

* Mit Dank an Leser Crisis Maven

Literatur zu Teil 1

References

Anklin, M., J. Schwander, B. Stauffer, J. Tschumi, A. Fuchs, J.M. Barnola, and D. Raynaud, CO2 record between 40 and 8 kyr BP from the GRIP ice core, (C12), 26539-26545, 1997.

Wagner et al., 1999. Century-Scale Shifts in Early Holocene Atmospheric CO2 Concentration. Science 18 June 1999: Vol. 284. no. 5422, pp. 1971 – 1973.

Berner et al., 2001. GEOCARB III: A REVISED MODEL OF ATMOSPHERIC CO2 OVER PHANEROZOIC TIME. American Journal of Science, Vol. 301, February, 2001, P. 182–204.

Kouwenberg, 2004. APPLICATION OF CONIFER NEEDLES IN THE RECONSTRUCTION OF HOLOCENE CO2 LEVELS. PhD Thesis. Laboratory of Palaeobotany and Palynology, University of Utrecht.

Wagner et al., 2004. Reproducibility of Holocene atmospheric CO2 records based on stomatal frequency. Quaternary Science Reviews 23 (2004) 1947–1954.

Esper et al., 2005. Climate: past ranges and future changes. Quaternary Science Reviews 24 (2005) 2164–2166.

Kouwenberg et al., 2005. Atmospheric CO2 fluctuations during the last millennium reconstructed by stomatal frequency analysis of Tsuga heterophylla needles. GEOLOGY, January 2005.

Van Hoof et al., 2005. Atmospheric CO2 during the 13th century AD: reconciliation of data from ice core measurements and stomatal frequency analysis. Tellus (2005), 57B, 351–355.

Rundgren et al., 2005. Last interglacial atmospheric CO2 changes from stomatal index data and their relation to climate variations. Global and Planetary Change 49 (2005) 47–62.

Jessen et al., 2005. Abrupt climatic changes and an unstable transition into a late Holocene Thermal Decline: a multiproxy lacustrine record from southern Sweden. J. Quaternary Sci., Vol. 20(4) 349–362 (2005).

Beck, 2007. 180 Years of Atmospheric CO2 Gas Analysis by Chemical Methods. ENERGY & ENVIRONMENT. VOLUME 18 No. 2 2007.

Loulergue et al., 2007. New constraints on the gas age-ice age difference along the EPICA ice cores, 0–50 kyr. Clim. Past, 3, 527–540, 2007.

DATA SOURCES

CO2

Etheridge et al., 1998. Historical CO2 record derived from a spline fit (75 year cutoff) of the Law Dome DSS, DE08, and DE08-2 ice cores.

NOAA-ESRL / Keeling.

Berner, R.A. and Z. Kothavala, 2001. GEOCARB III: A Revised Model of Atmospheric CO2 over Phanerozoic Time, IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series # 2002-051. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.

Kouwenberg et al., 2005. Atmospheric CO2 fluctuations during the last millennium reconstructed by stomatal frequency analysis of Tsuga heterophylla needles. GEOLOGY, January 2005.

Lüthi, D., M. Le Floch, B. Bereiter, T. Blunier, J.-M. Barnola, U. Siegenthaler, D. Raynaud, J. Jouzel, H. Fischer, K. Kawamura, and T.F. Stocker. 2008. High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000-800,000 years before present. Nature, Vol. 453, pp. 379-382, 15 May 2008. doi:10.1038/nature06949.

Royer, D.L. 2006. CO2-forced climate thresholds during the Phanerozoic. Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 70, pp. 5665-5675. doi:10.1016/j.gca.2005.11.031.

TEMPERATURE RECONSTRUCTIONS

Moberg, A., et al. 2005. 2,000-Year Northern Hemisphere Temperature Reconstruction. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series # 2005-019. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.

Esper, J., et al., 2003, Northern Hemisphere Extratropical Temperature Reconstruction, IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series # 2003-036. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.

Mann, M.E. and P.D. Jones, 2003, 2,000 Year Hemispheric Multi-proxy Temperature Reconstructions, IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series #2003-051. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.

Alley, R.B.. 2004. GISP2 Ice Core Temperature and Accumulation Data. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series #2004-013. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.

VEIZER d18O% ISOTOPE DATA. 2004 Update.