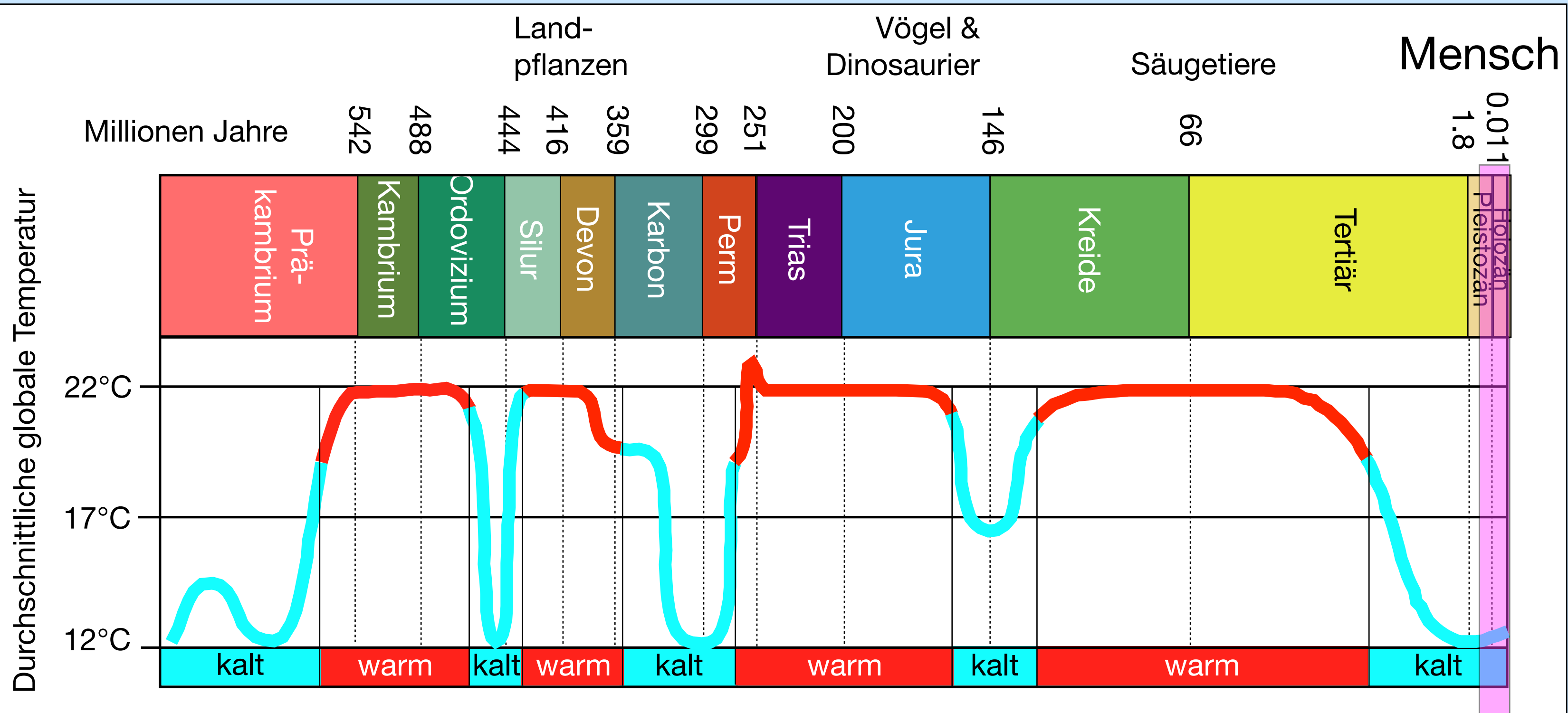


# Paläoklima - Eisbohrkern-Rekonstruktionen

[Hans.Oerter@awi.de](mailto:Hans.Oerter@awi.de)

# Temperaturänderung auf geologischer Zeitskala



verändert nach: [www.geologieinfo.de/palaeoklima](http://www.geologieinfo.de/palaeoklima)



# Wo wurde bereits gebohrt ?

## Arktis (Grönland)

60° N

Meereis  
Nordpol

Grönland

NEEM

2008-2011  
2538 m  
>108 ka

GISP2

1989-1993  
3053 m,  
>110 ka

GRIP

1990-1992  
3029 m,  
>105 ka

NorthGRIP

1996-2003  
3090 m,  
123 ka

## Antarktis

60° S

Antarktische  
Halbinsel

Südpol

Westantarktis

Ostantarktis

source: ArcInfo/G. Rotschky



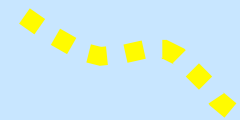
# Tiefe Eisbohrkerne in der Antarktis



European Project for Ice Core Drilling in Antarctica (EPICA)  
1996-2008

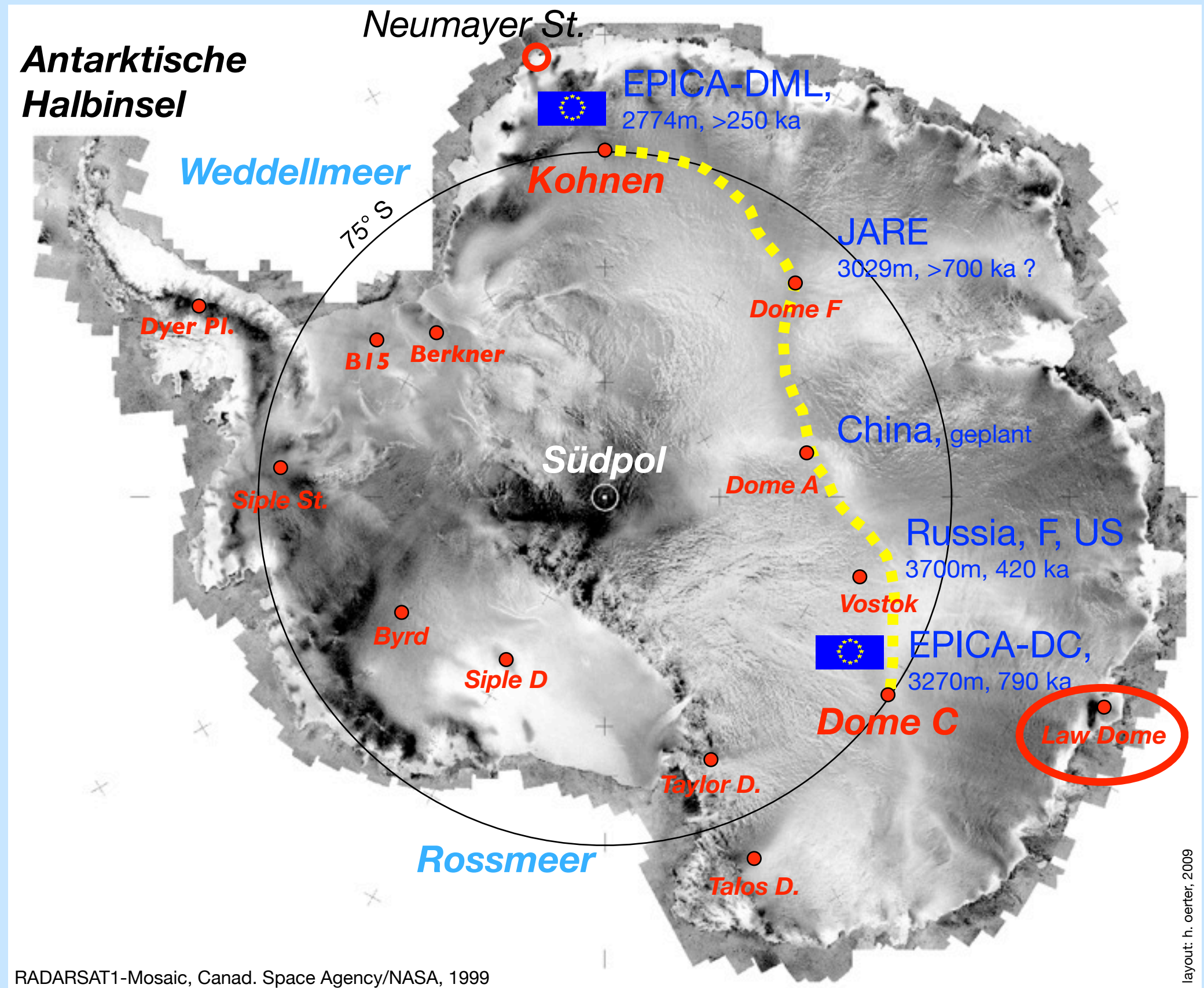
Oerter et al., *Polarforschung* 78 (1-2), 1-23 (2009)

[www.polarforschung.de](http://www.polarforschung.de)



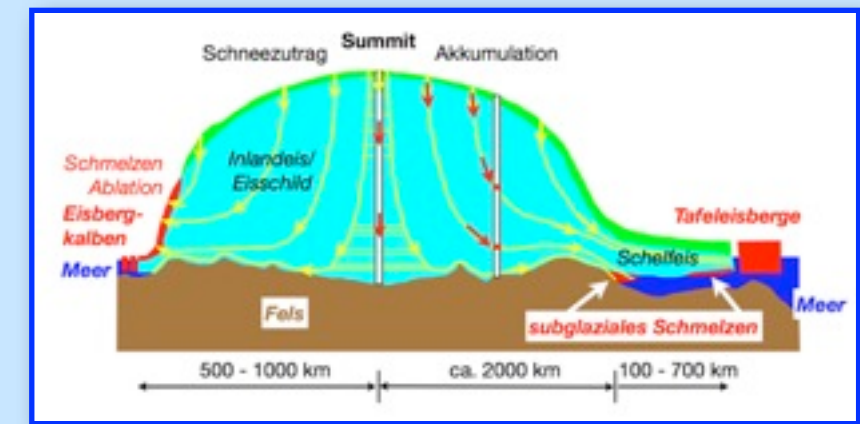
Haupteisscheide der Ostantarktis

**Law Dome:** hohe Akkumulationsrate (640 mm WW); Eiskern an dem rezente (1006-1978 AD) CO<sub>2</sub> - Konzentrationen bestimmt wurden.





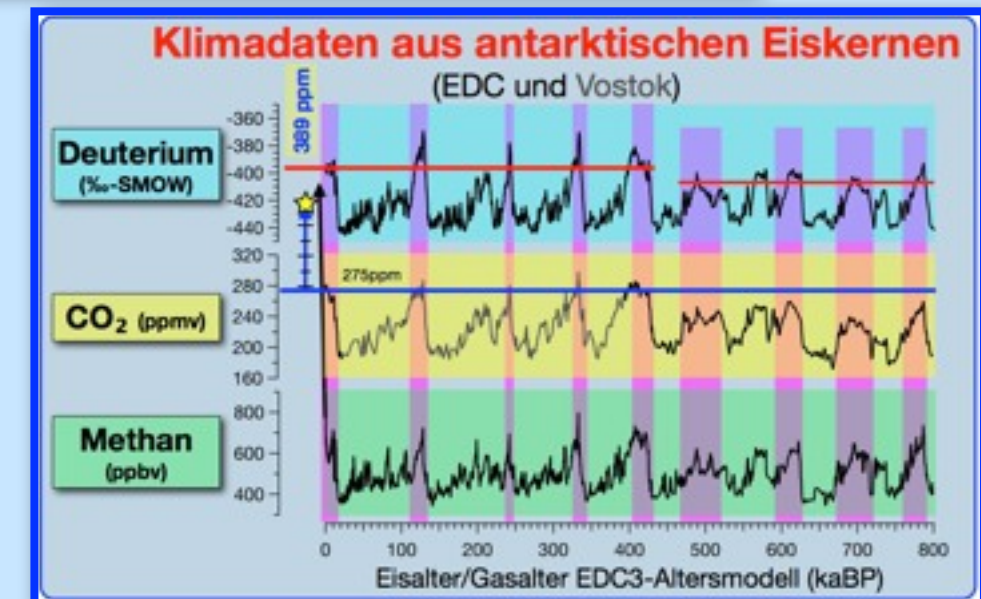
➔ Wie ist der Antarktische Eisschild aufgebaut ?



➔ Wie bohrt und zerteilt man einen Eisbohrkern ?

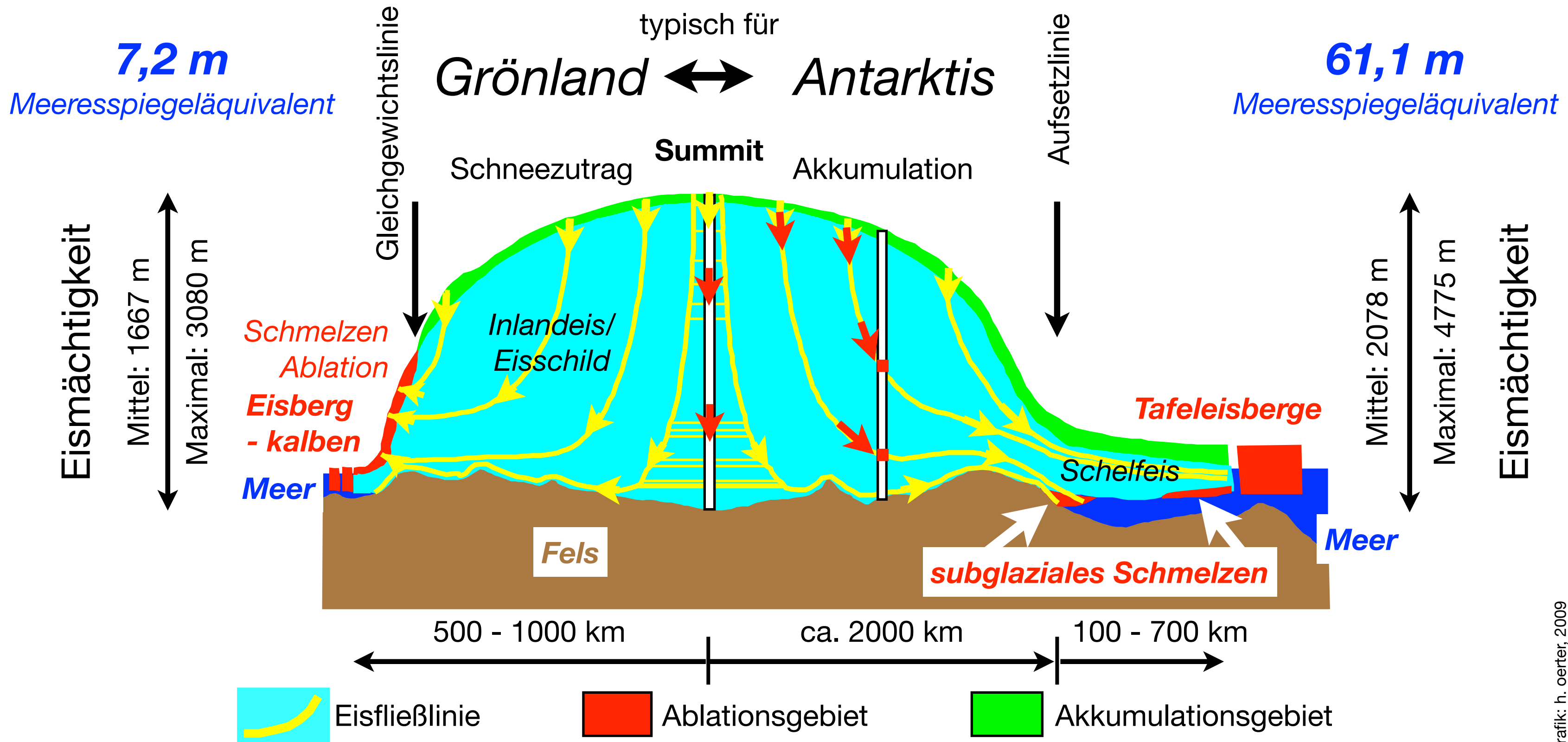


➔ Welche Klimainformation enthält ein Eisbohrkern ?

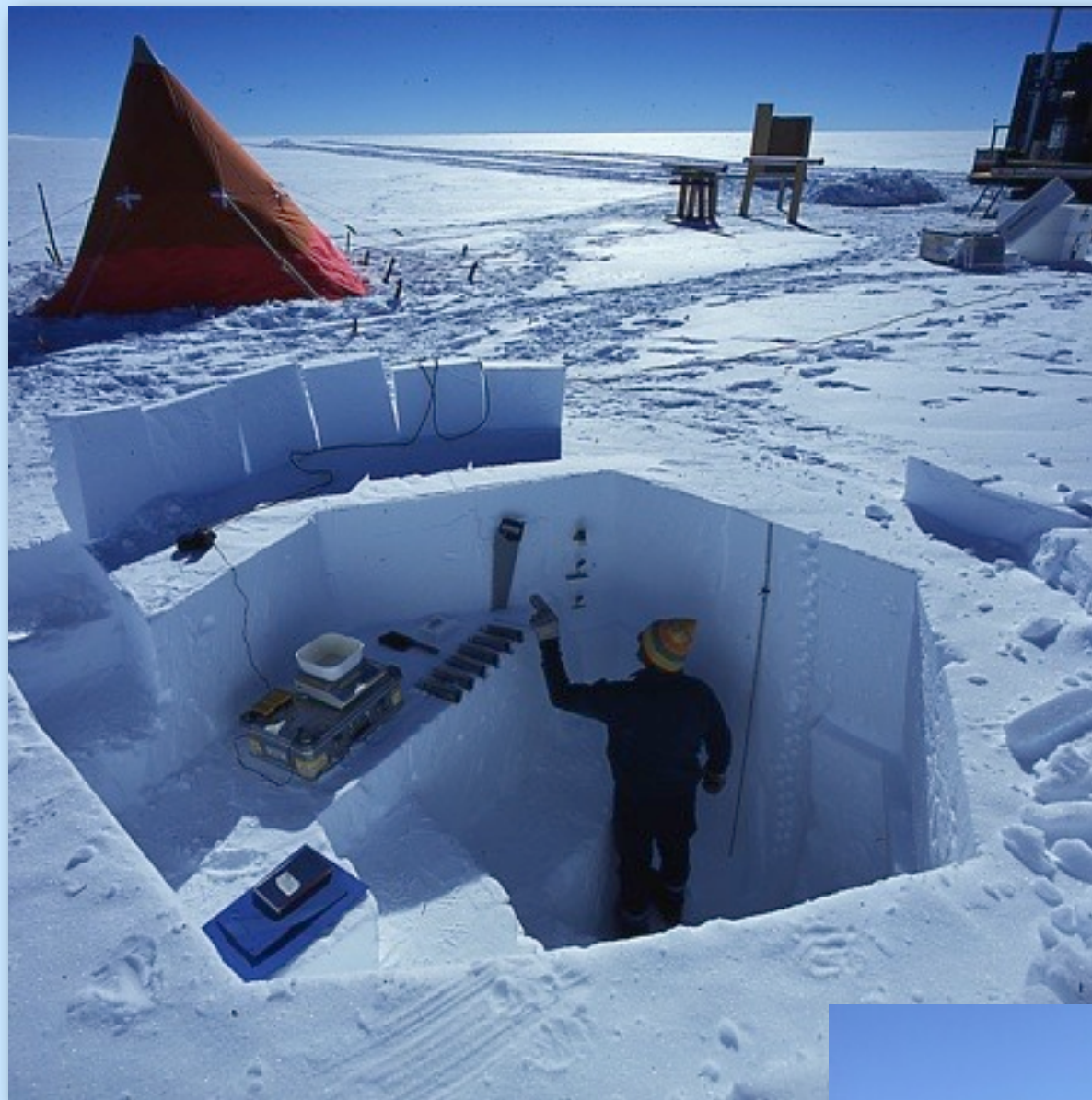




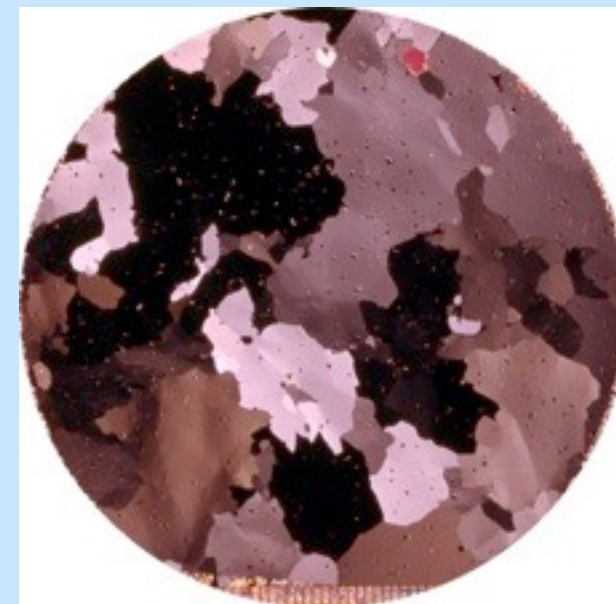
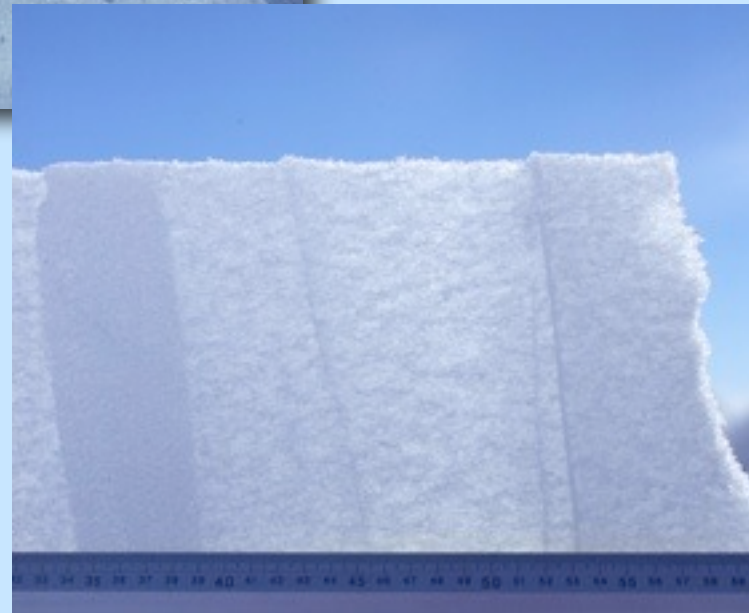
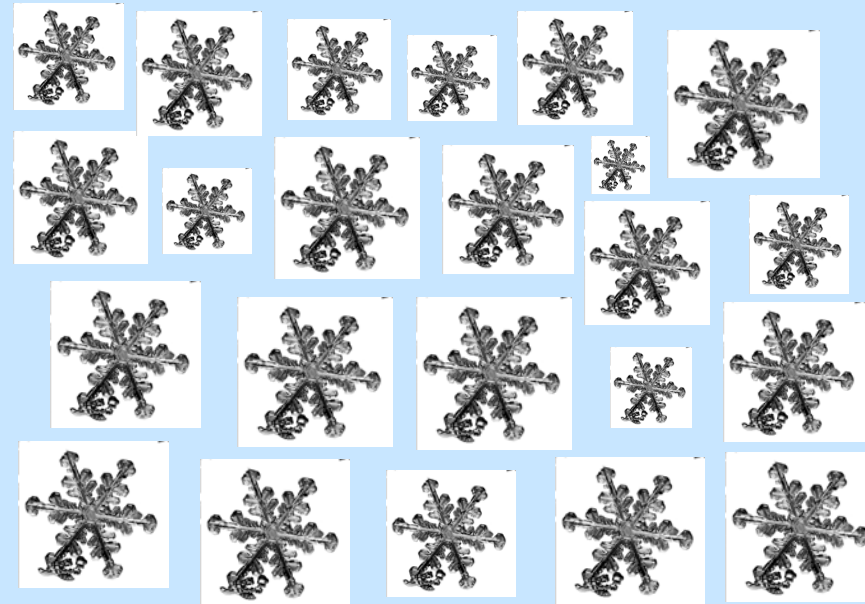
# Schematischer Querschnitt durch einen Eisschild



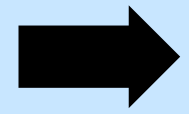




Ein Eisschild baut sich aus über einander liegenden Jahresschichten auf.



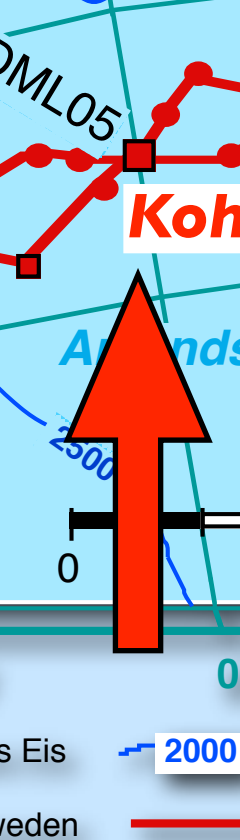
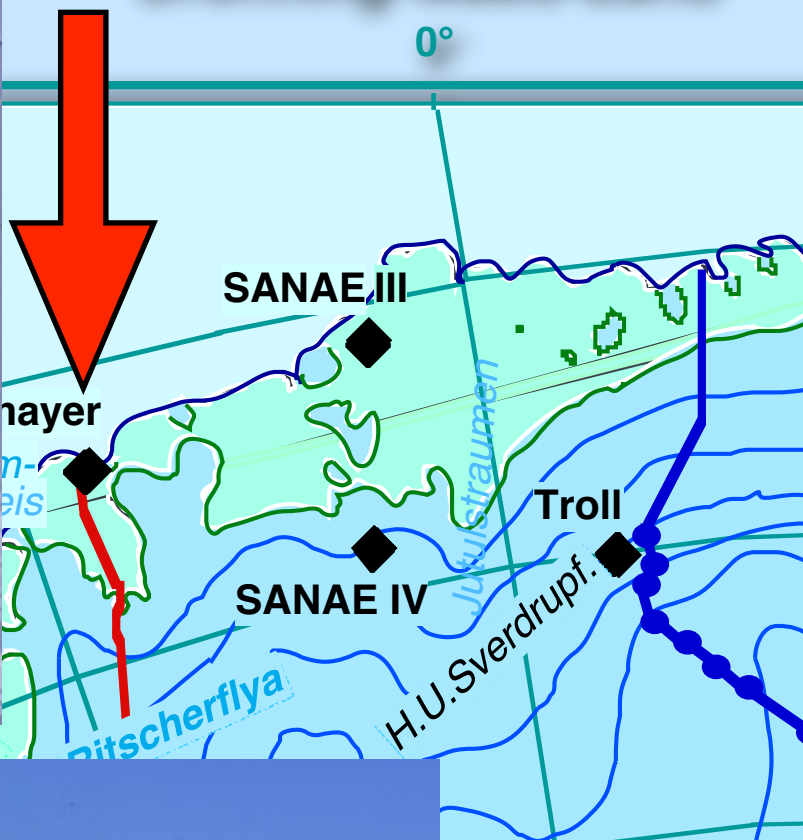




Wie bohrt und zerteilt  
man einen Eisbohrkern ?



# Dronning-Maud-Land





# Kohnen-Station

75°S, 0 °E, 2882 m

Funk, PC, e-mail

Messe

Küche

Sanitärcontainer

2 Schlafräume  
à 4 Pers.

Schneesmelze

Generator

Lager

Werkstatt

Zum Bohren



# Kohnen-Station

75°00'09"S, 00°04'06"E,  
2892 m (WGS84)

Bohrzeitraum: 2001-2006

Mittlere Jahres-  
temperatur: -44.6 °C

Akkumulationsrate:  
64 kg m<sup>-2</sup>a<sup>-1</sup>

Eis-Fließgeschwindigkeit:  
0,756 m/a

Eisdicke: 2782 ±10m

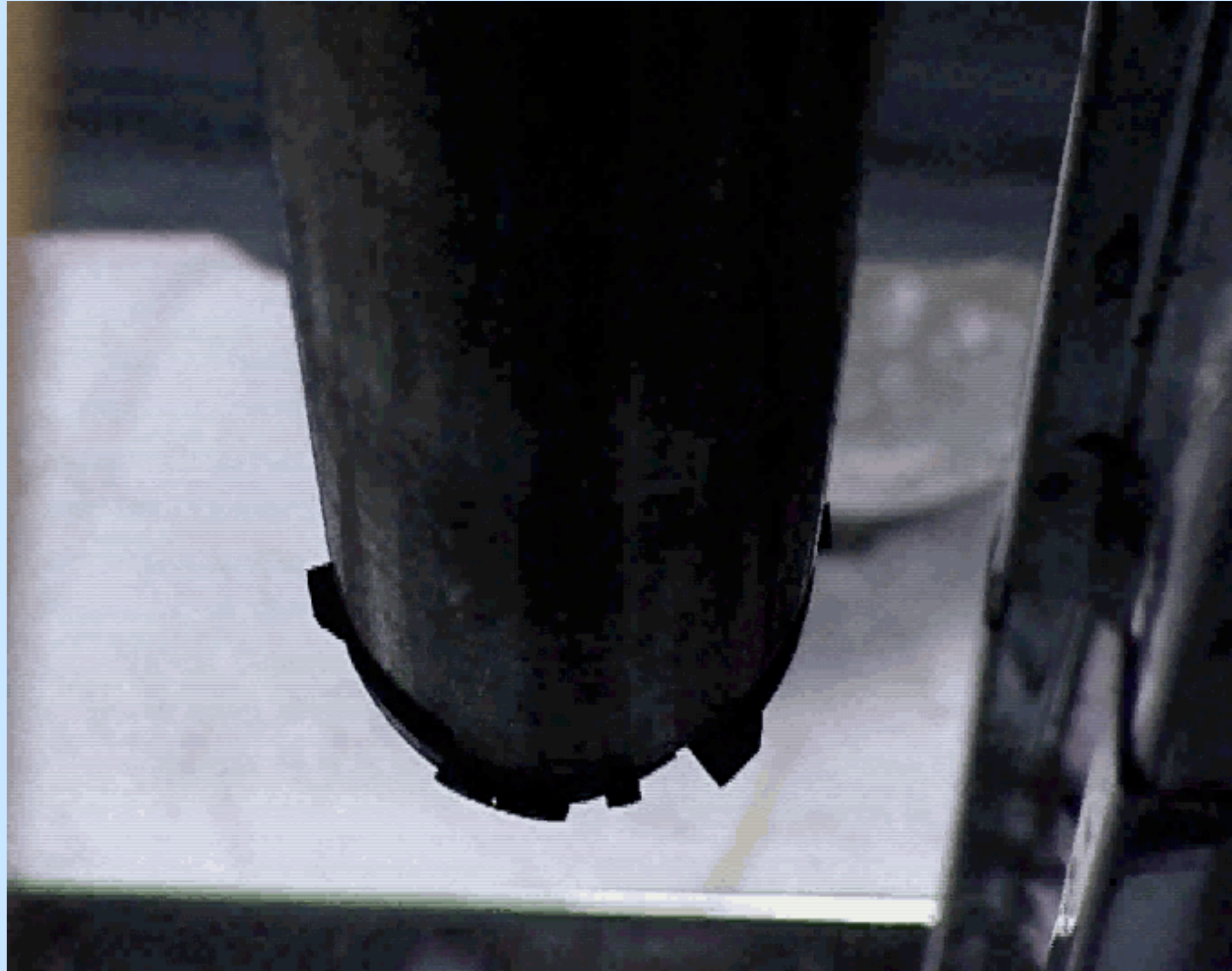
Länge Eiskern: 2774,1 m



photo: hans oerter, 2006

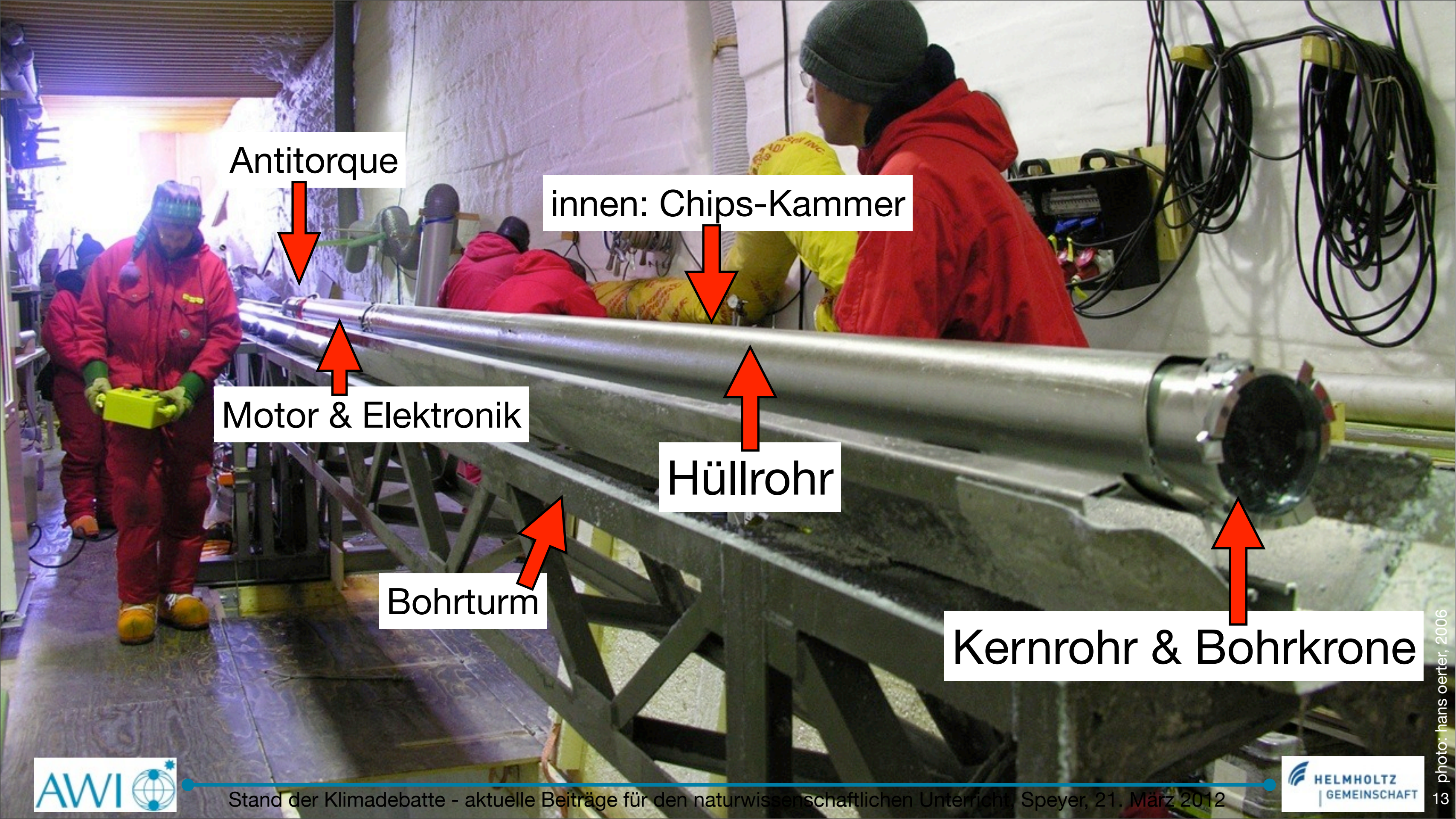


# Bohren eines Eiskerns



Archiv AWI/Kipfstuhl





Antitorque



innen: Chips-Kammer



Motor & Elektronik



Hüllrohr



Bohrturm



Kernrohr & Bohrkrone

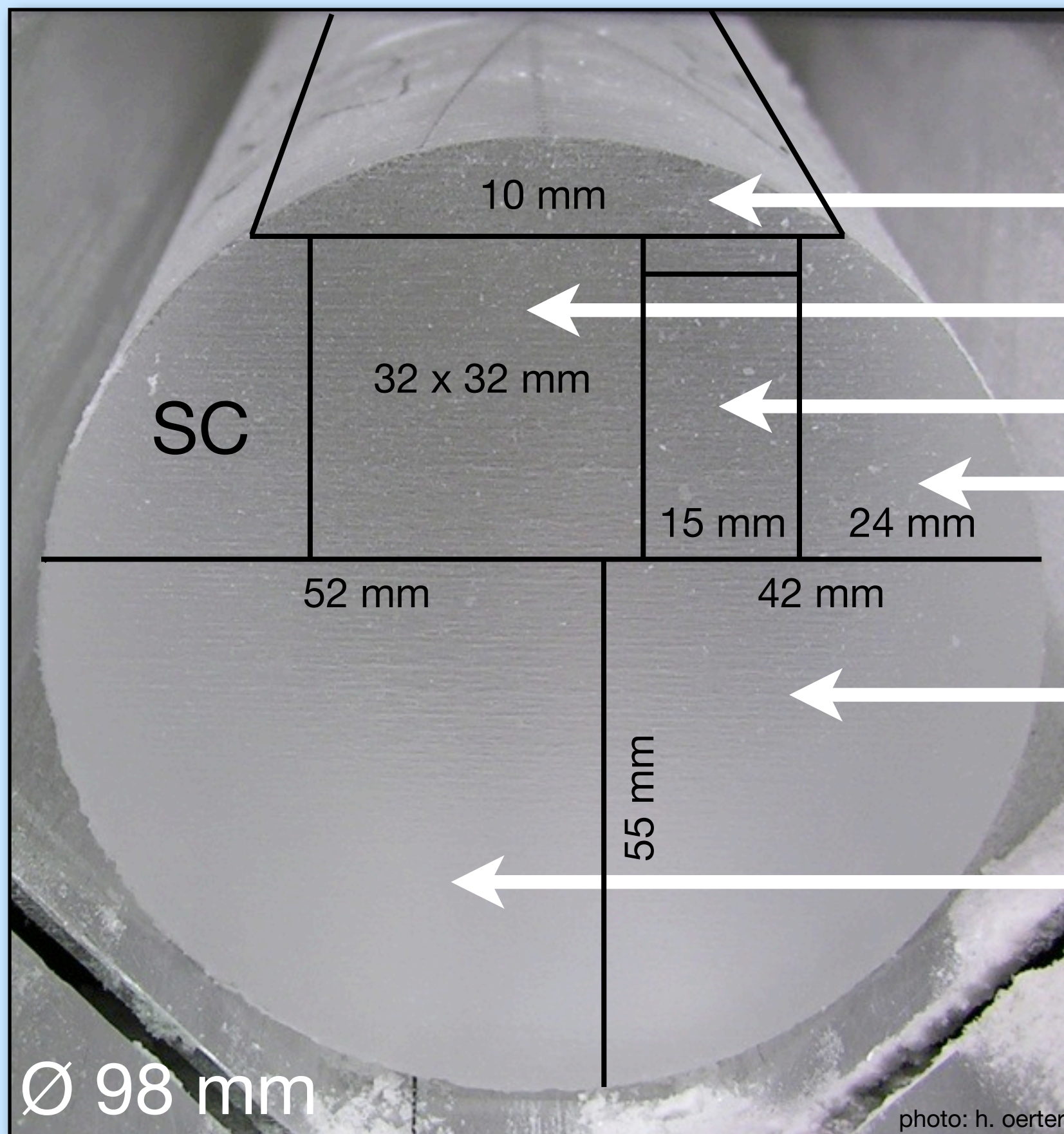








# Schnittplan

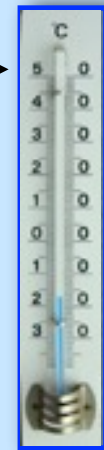


Dünnschnitte

Cont. Flow Analysis (CFA)

$\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  →

$^{10}\text{Be}$



Gase, Staub

Archiv

SC: verfügbar für Steering Committee



# Das Eislabor am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven

Horizontalsäge

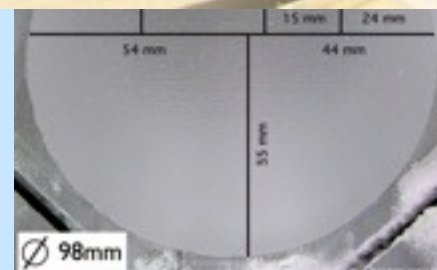
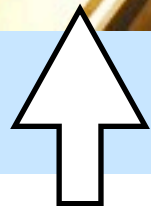


foto: hans oerter, 2009



photos: hans oerter, 2002

Auspacken des Kerns





# Das Eislabor am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven

Horizontalsäge

Line-Scan

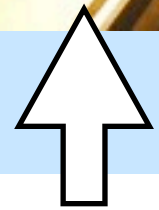


foto: hans oerter, 2003



photos: hans oerter, 2002

Vorbereitung für Line-Scan



Auspack



# Das Eislabor am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven

Horizontalsägen

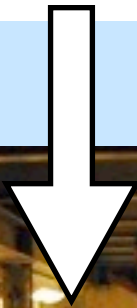


foto: hans oerter, 2003

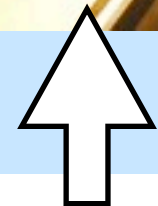
Längs- und Querschnitte



photos: hans oerter, 2002

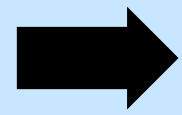


Vorbereitung für Line-Scan



Auspacken des Ke





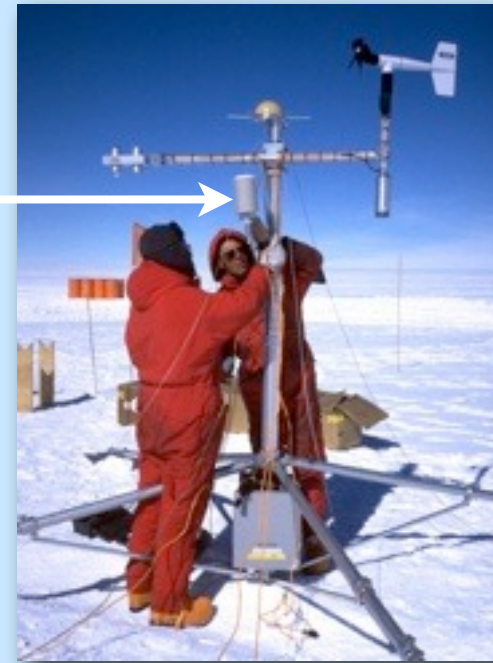
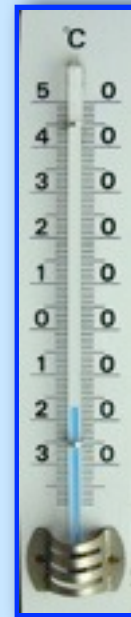
Welche Klimainformation  
enthält ein Eisbohrkern ?



# Das Klima-Archiv Eis speichert Informationen zu:

$\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ , stabile Isotope

Lufttemperatur



Gasgehalt in der Atmosphäre

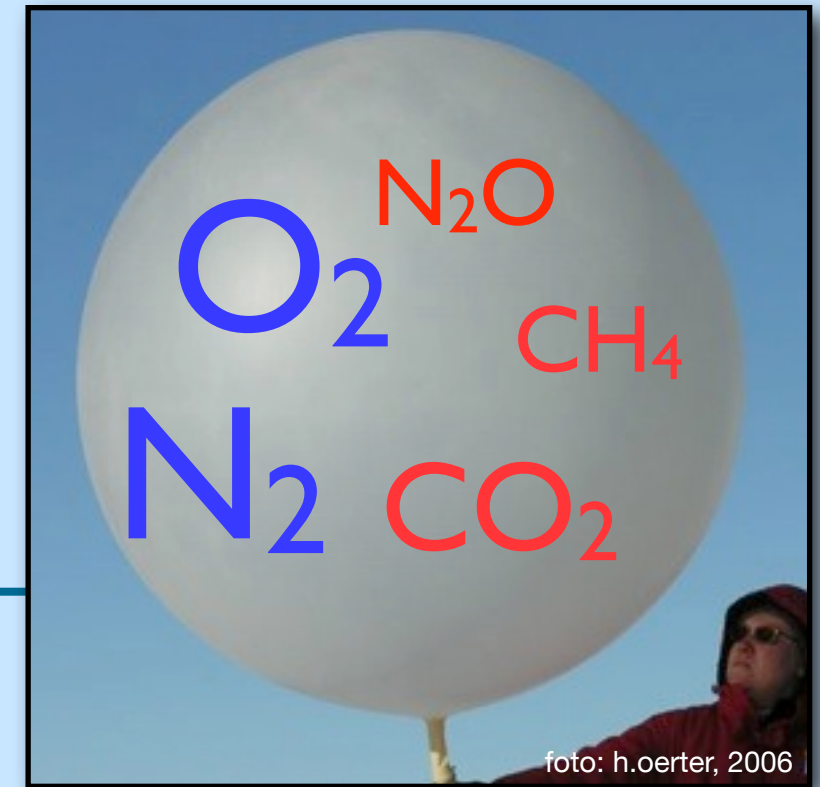


foto: h.oerter, 2006

Aerosole



Mt. Pinatubo 1991

foto: NOAA



foto: h. oerter, 1973



foto: h.oerter, 2010



# Willi Dansgaard (1922-2011)



**Fig. 7.5** *I served as a coolie and a packing master*

# Hans Oeschger (1927-1998)



Text

**Fig. 7.6** *We were called The Three Musketeers. Chester Langway between Hans Oeschger and myself. Chet told a story well, here on how he let himself be lowered into the 80 m deep shaft to the water reservoir at Camp Century. The telephone connection to the crew at surface had broken down, and when he approached the water surface they misunderstood his shout for stopping – or did they?*

© Niels Bohr Institute, Copenhagen, 2005

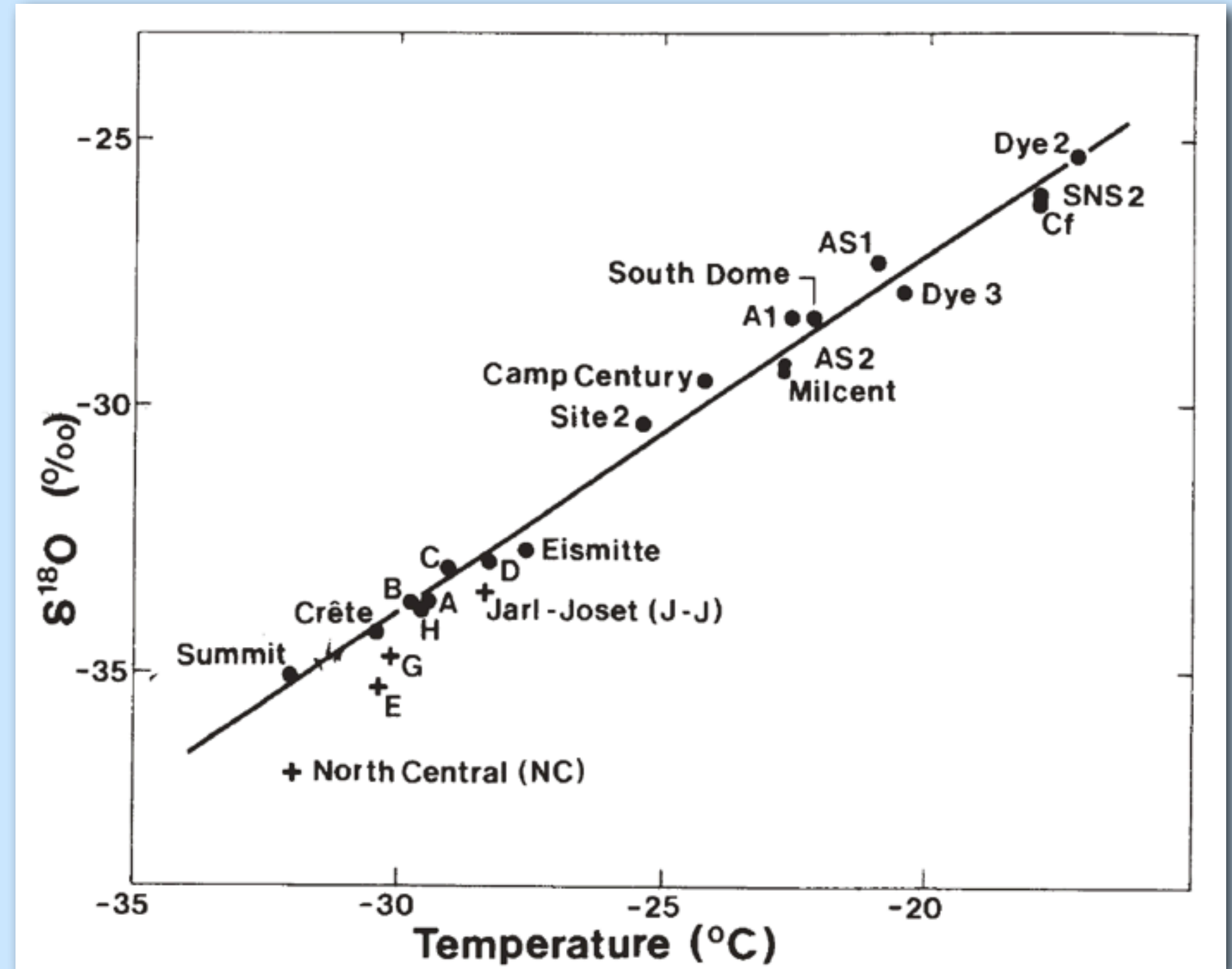
aus: Willi Dansgaard: Frozen Annals - Greenland Ice Sheet Research, Copenhagen (2005)

Stand der Klimadebatte - aktuelle Beiträge für den naturwissenschaftlichen Unterricht, Speyer, 21. März 2012



# Das Isotopenthermometer

*Mittlerer jährlicher  $\delta$ -Wert von Schnee aufgetragen gegen die Temperatur an E.G.I.G.- und anderen Stationen, die später beprobt wurden.*



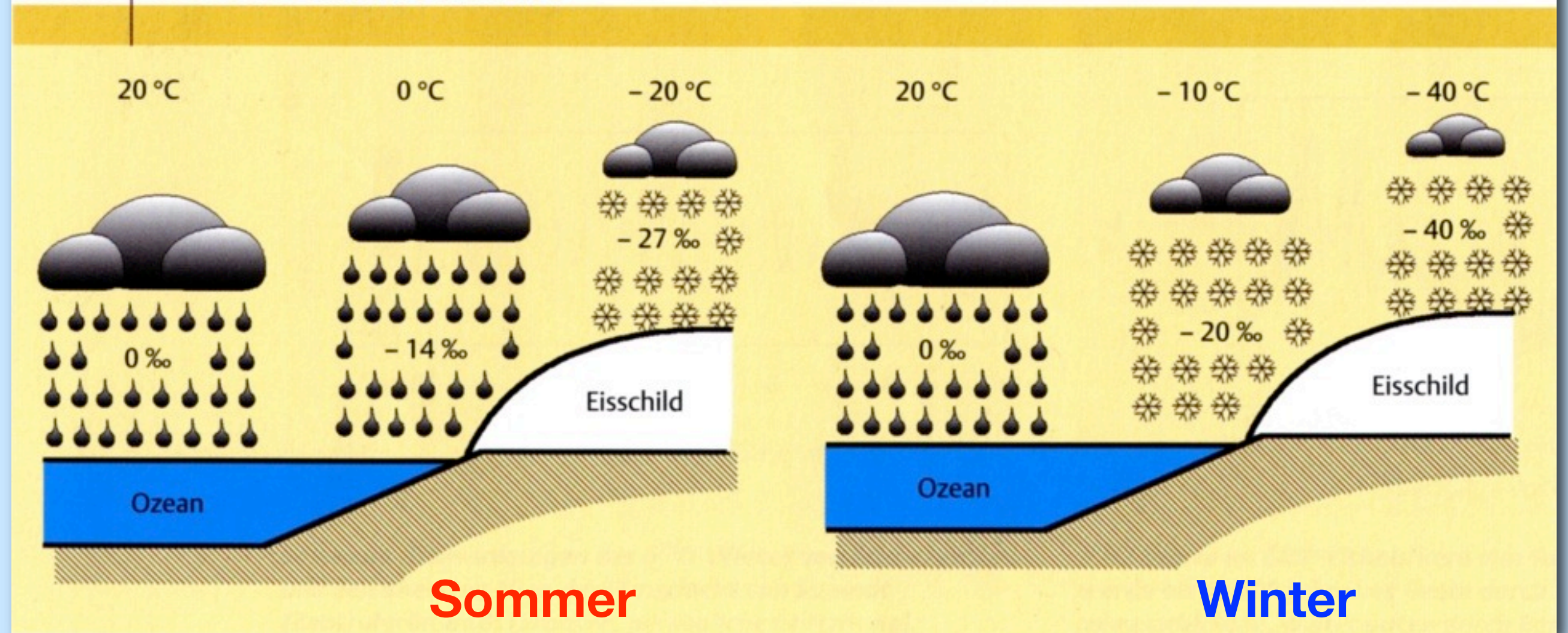
© Niels Bohr Institute, Copenhagen, 2005

aus: Willi Dansgaard: Frozen Annals - Greenland Ice Sheet Research, Copenhagen (2005)



# Das „Isotopenthermometer“ ( $\delta^{18}\text{O}$ vs. Temp.)

ABB. 1 | ISOTOPENFRAKTIONIERUNG aus: B. Stauffer, 2001: Das „Isotopenthermometer“ im ewigen Eis. *Physik in unserer Zeit*, 32.Jg. (3), 106-113



SMOW:  
Standard  
Mean Ocean  
Water

$$\delta^{18}\text{O} = \left( \frac{C_{\text{Probe}}}{C_{\text{Standard}}} - 1 \right) * 1000 \text{ ‰ SMOW}$$

Isotopenverhältnisse (Konzentrationen in ppm)

Sauerstoff:	$^{16}\text{O}$	$^{17}\text{O}$	$^{18}\text{O}$
	997 600 ppm	400 ppm	2 000 ppm
Wasserstoff:	$^1\text{H}$	$^2\text{H}$ (Deuterium)	
	999 850 ppm	150 ppm	

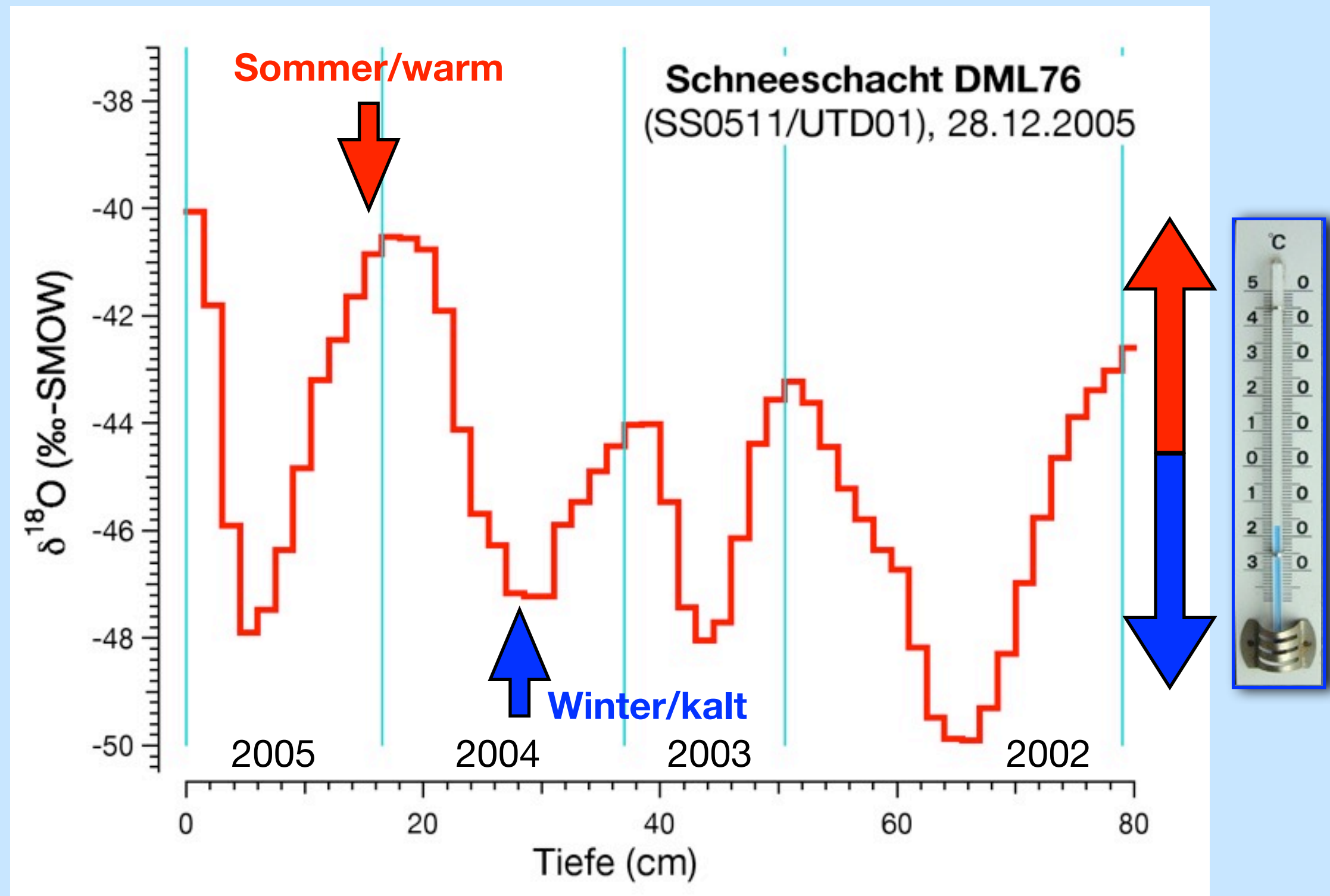


# Das „Isotopenthermometer“ ( $\delta^{18}\text{O}$ vs. Temp.)

stabile Isotope zeigen saisonale Schwankungen, mit hohen Werten im Sommer und niedrigen Werten im Winter

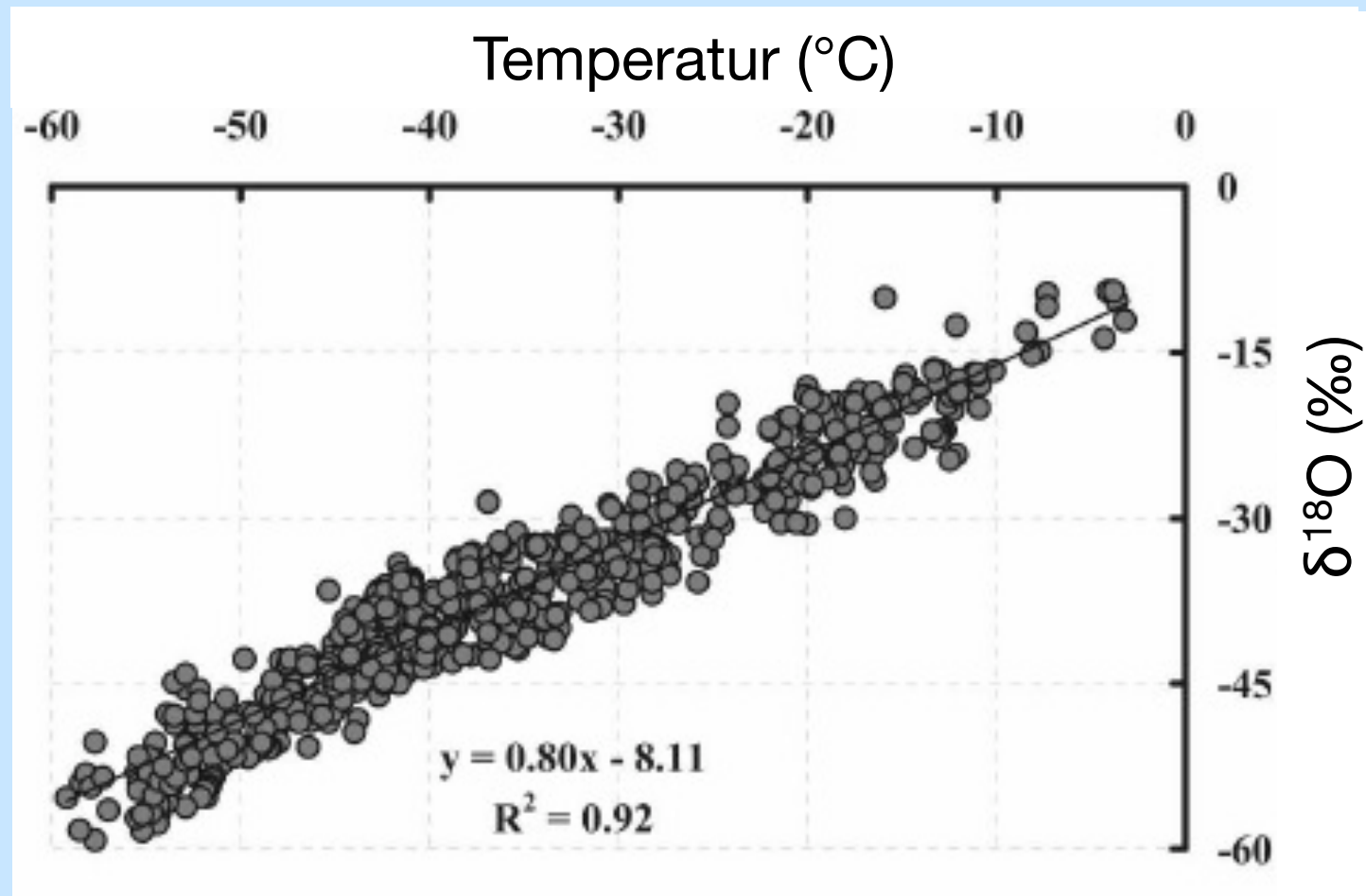
W. Dansgaard: Stable isotopes in precipitation. Tellus 16, 436-468 (1963)

„Isotopenthermometer“ muss kalibriert werden



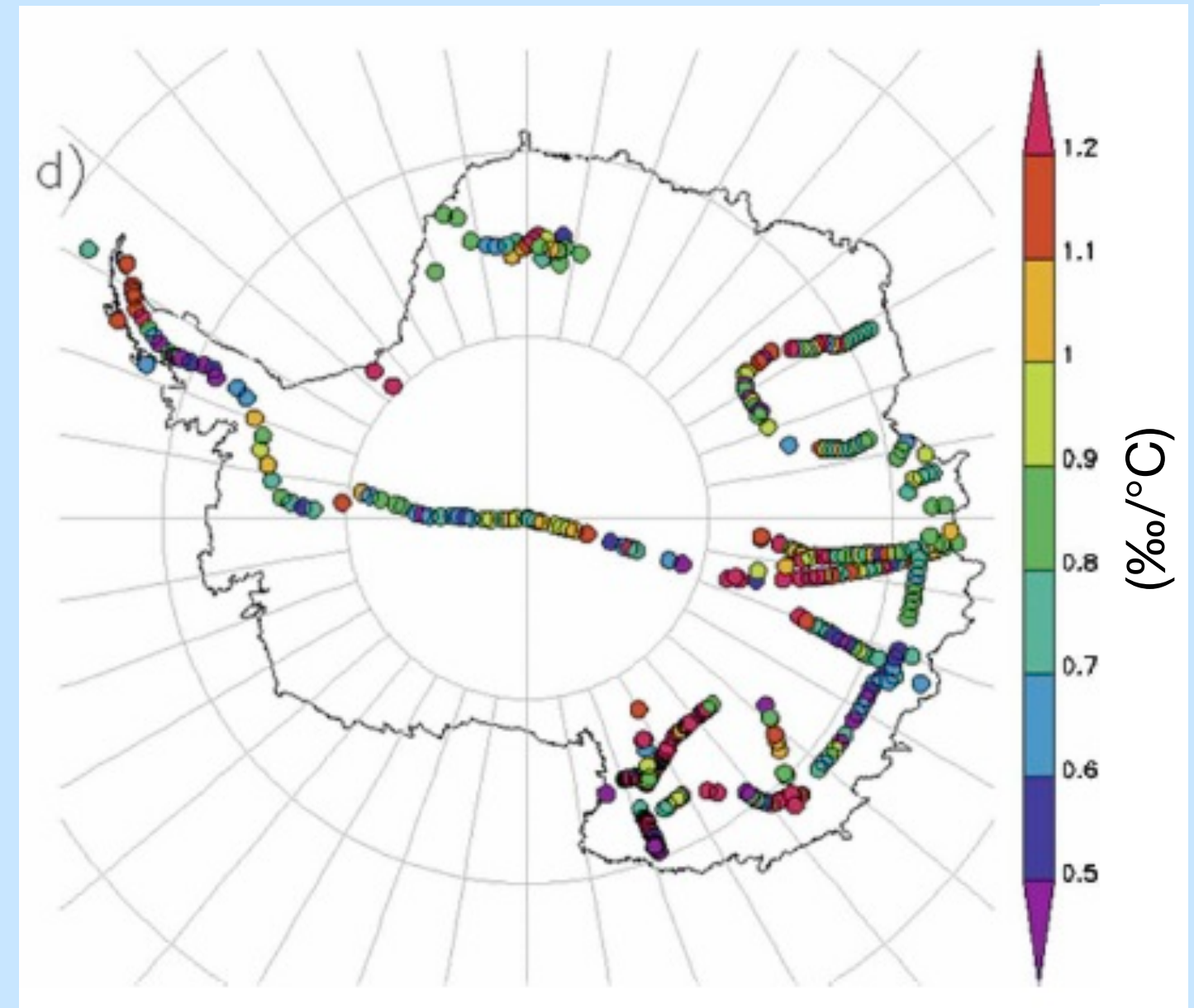


# Kalibrierung Isotopenthermometer



Masson-Delmotte, V. et al. (2008): A Review of Antarctic Surface Snow Isotopic Composition: Observations, Atmospheric Circulation, and Isotopic Modeling. *Journal of Climate* **21**, 3359-3387.

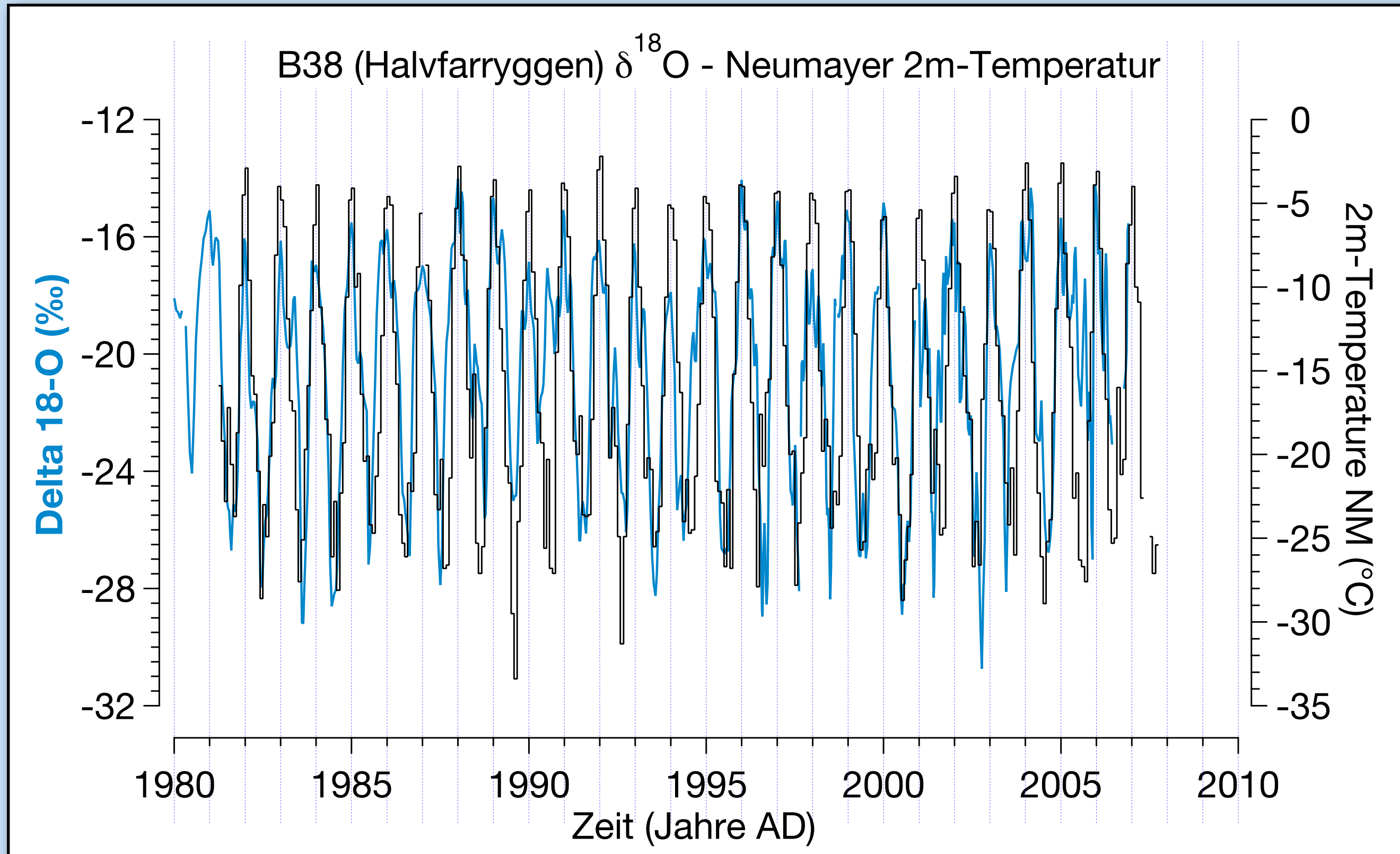
$$\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = 0.80 \times T (\text{°C}) - 8.11$$



Lokaler Gradient für  
 $\delta^{18}\text{O}$  - Temperatur (‰/°C)



# Datierung von Eiskernen: Jahresgänge



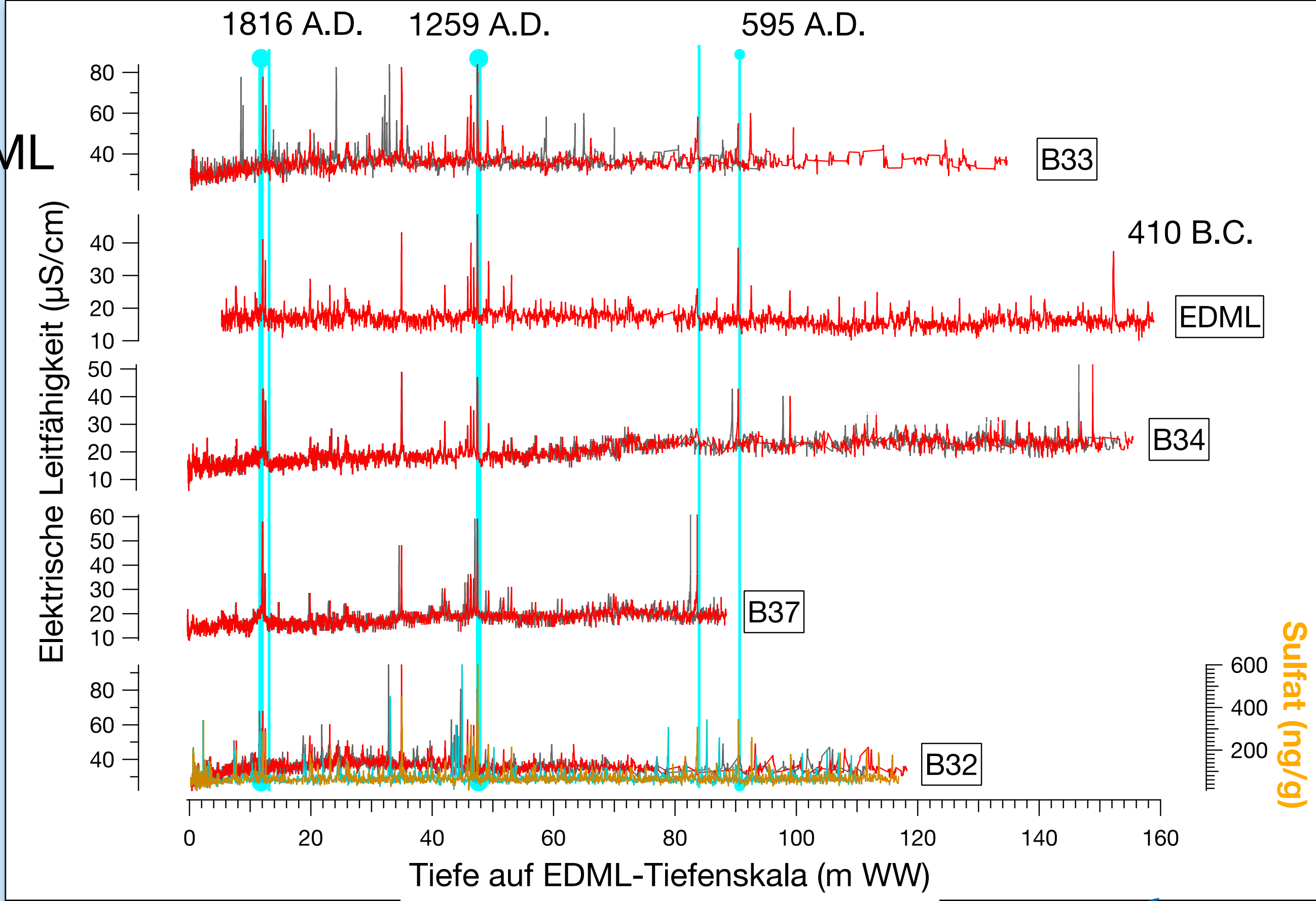
Fernandoy, F. et al.: Stable-isotope ratios and accumulation rates in East Antarctica. *Journal of Glaciology*, Vol. 56, No. 198, 673-687 (2010)



Anpassen der einzelnen DEP-Profile an die EDML Tiefenskala

Hauptreferenzhorizonte:  
Tambora 1816  
Unbekannt 1259

Nächster Schritt:  
Übertragen der angepassten Tiefenskala auf  $\delta^{18}\text{O}$ -Daten.





# GRIP Bohrkern (1990-92)

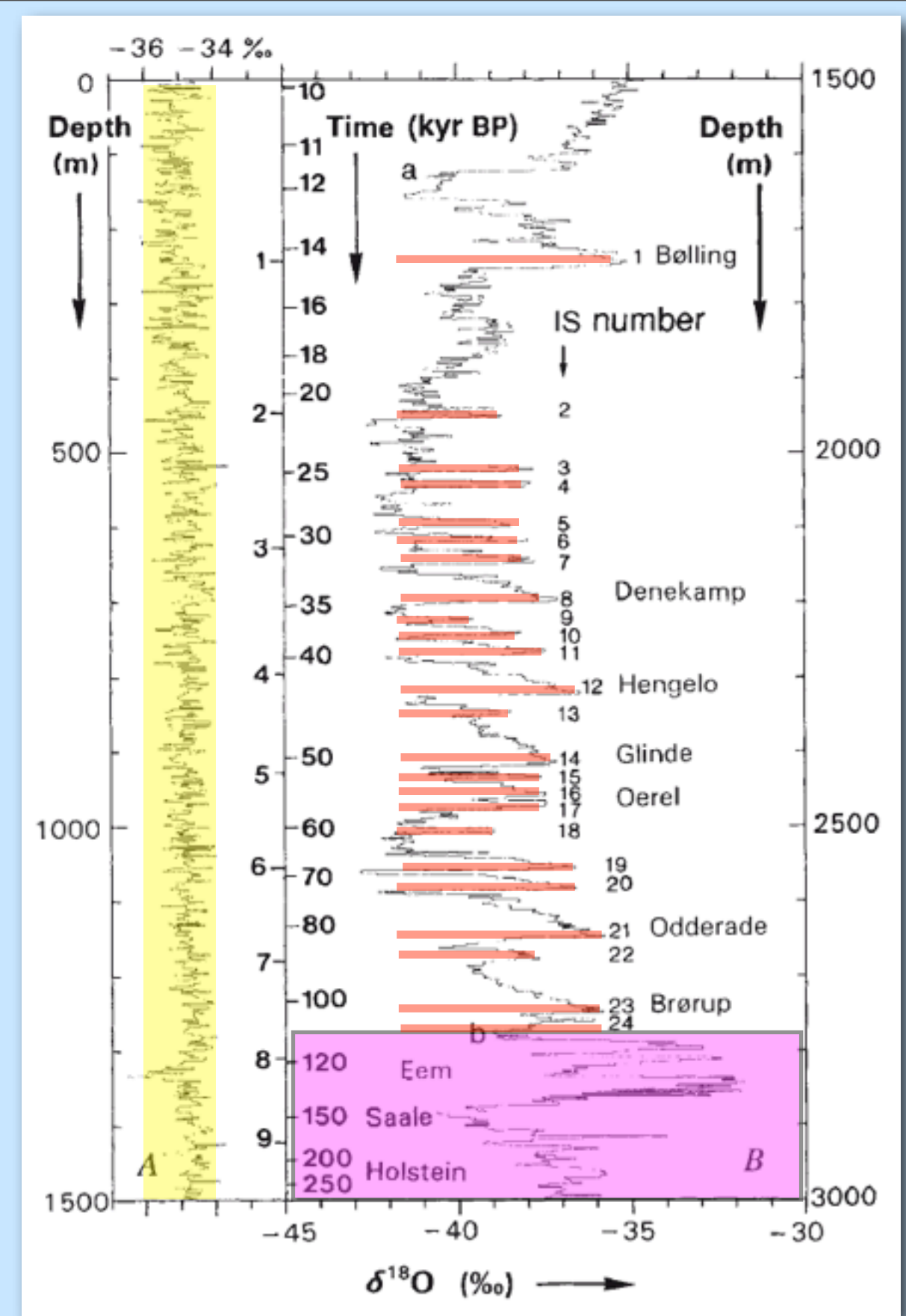
## Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record

W. Dansgaard\*, S. J. Johnsen\* †, H. B. Clausen\*,  
 D. Dahl-Jensen\* N. S. Gundestrup\*, C. U. Hammer\*,  
 C. S. Hvidberg\*, J. P. Steffensen\*,  
 A. E. Sveinbjörnsdottir †, J. Jouzel ‡ & G. Bond §

NATURE · VOL 364 · 15 JULY 1993

Stabiles Klima während Holzän

Interstadiale 1-24:  
 Dansgaard-Oeschger Events



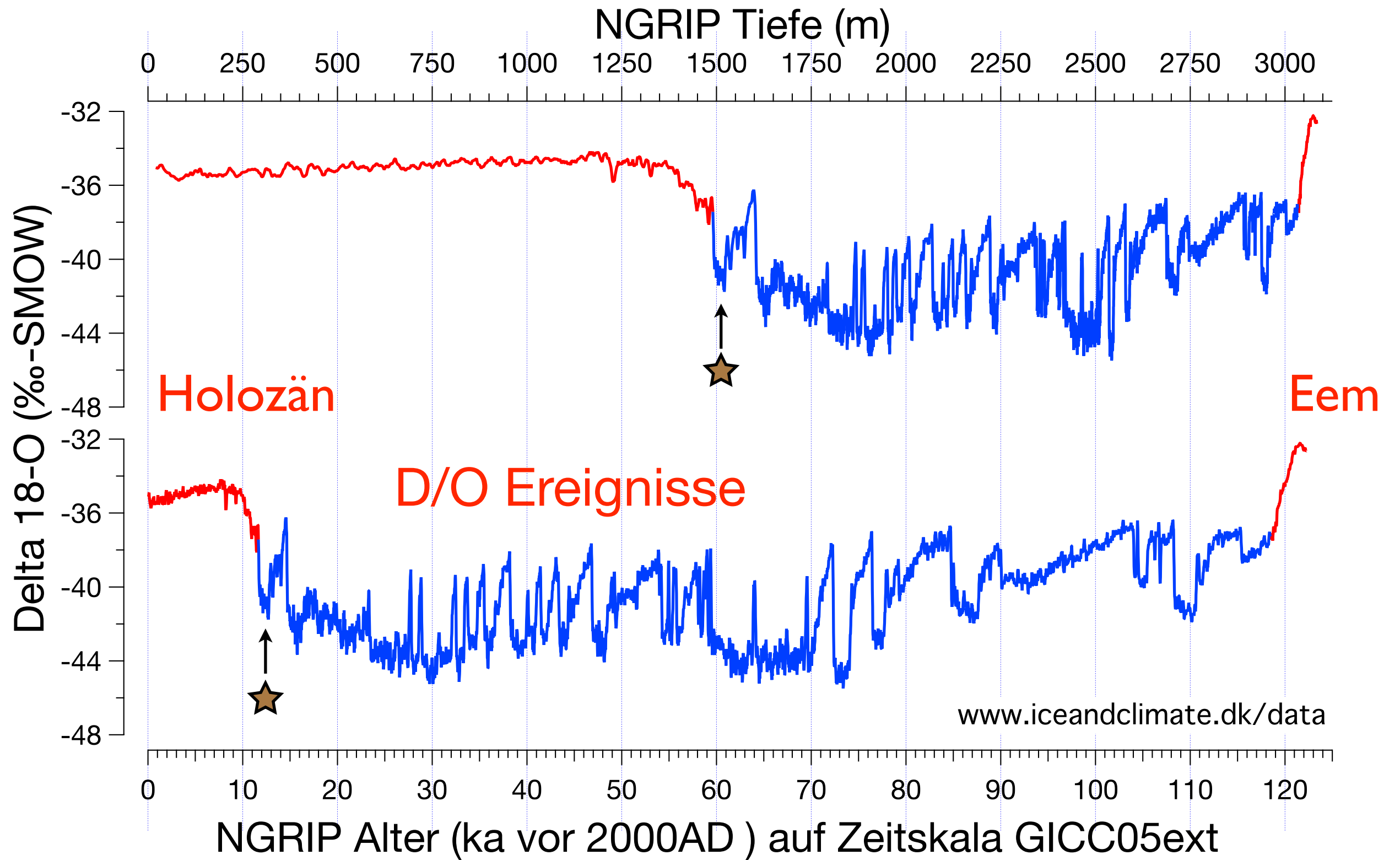


# NordGRIP

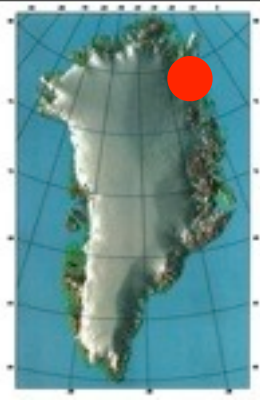
rot =  
Interglazial  
(Warmzeit)

blau =  
Glazial  
(Eiszeit)

★  
Jüngere Dryas







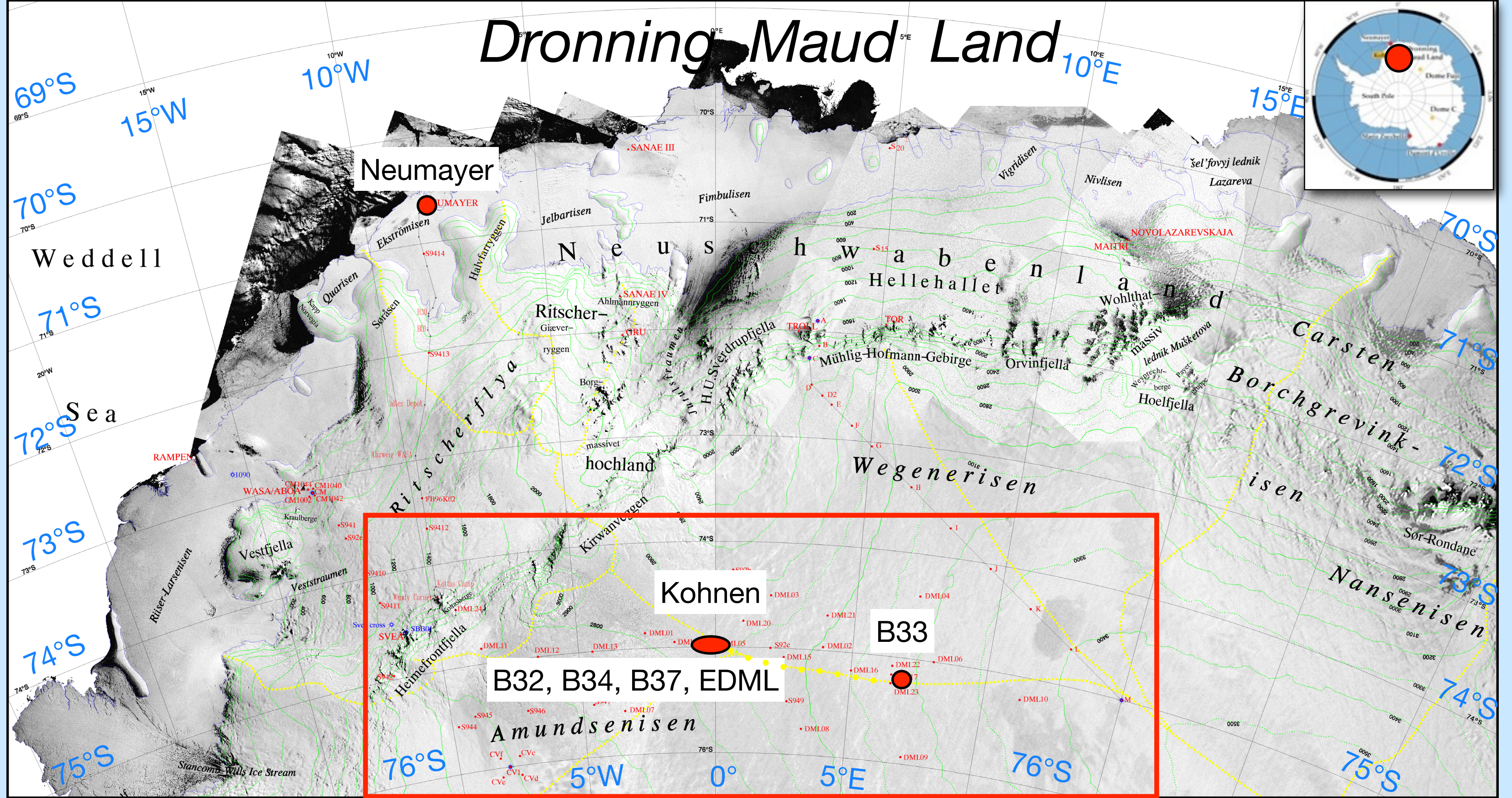
← Jüngere Dryas  
Holozän (seit 11,7 ka BP)

Letztes Glazial (Eiszeit)

foto: hans oerter, 1993



# Dronning Maud Land

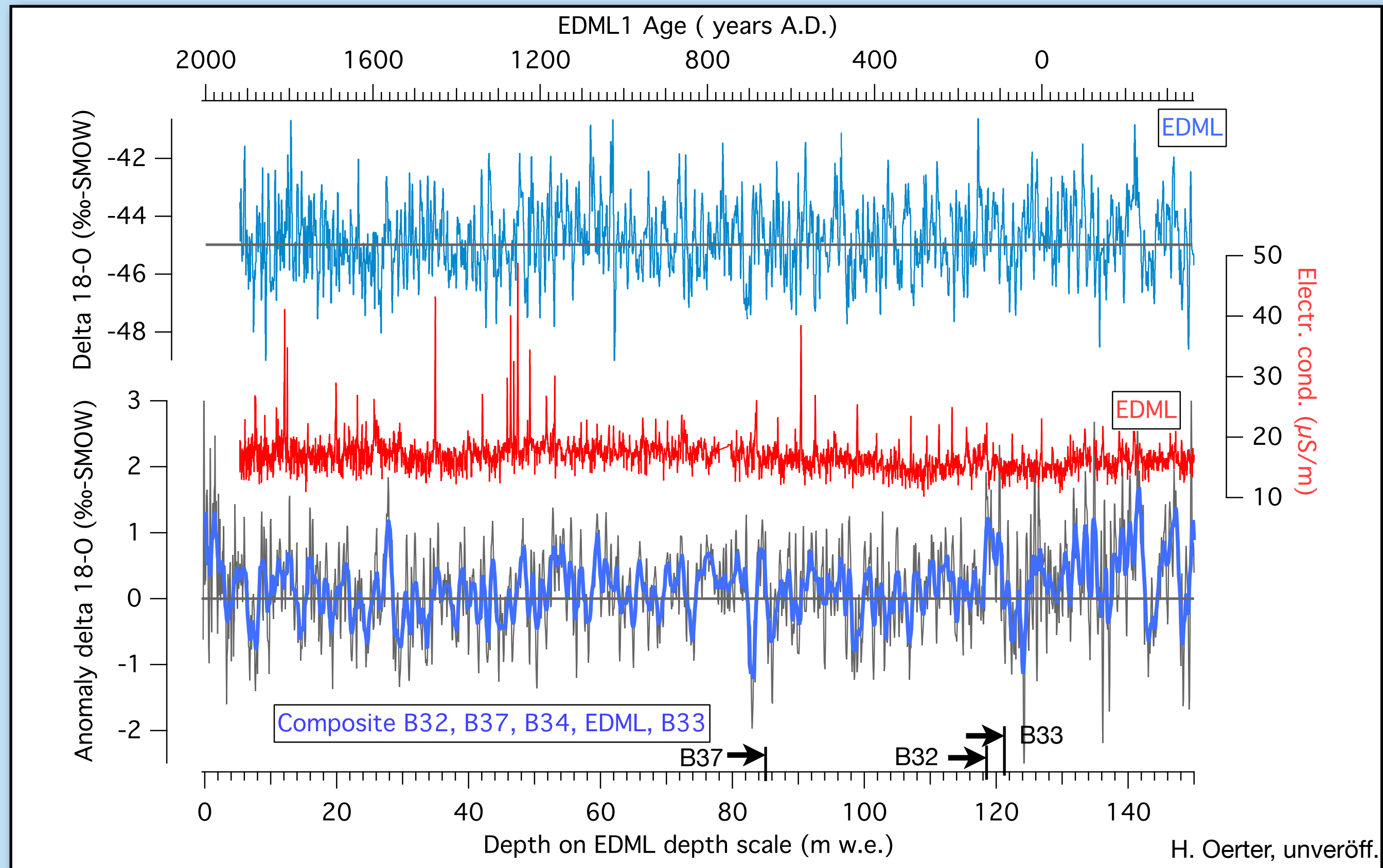




# Die letzten 2000 Jahre in der Antarktis

Nulllinie: Mittel 1259-1816 AD

Gleitendes Mittel  
11 Proben





# Die letzten 200 Jahre in der Antarktis

Gestapelte Jahresmittel  
von 10 bzw. 13 Firnkernen  
aus dem zentralen DML

Abweichung der  
gestapelten Jahresmittel  
vom Mittel 1801-1997

1801-1905:

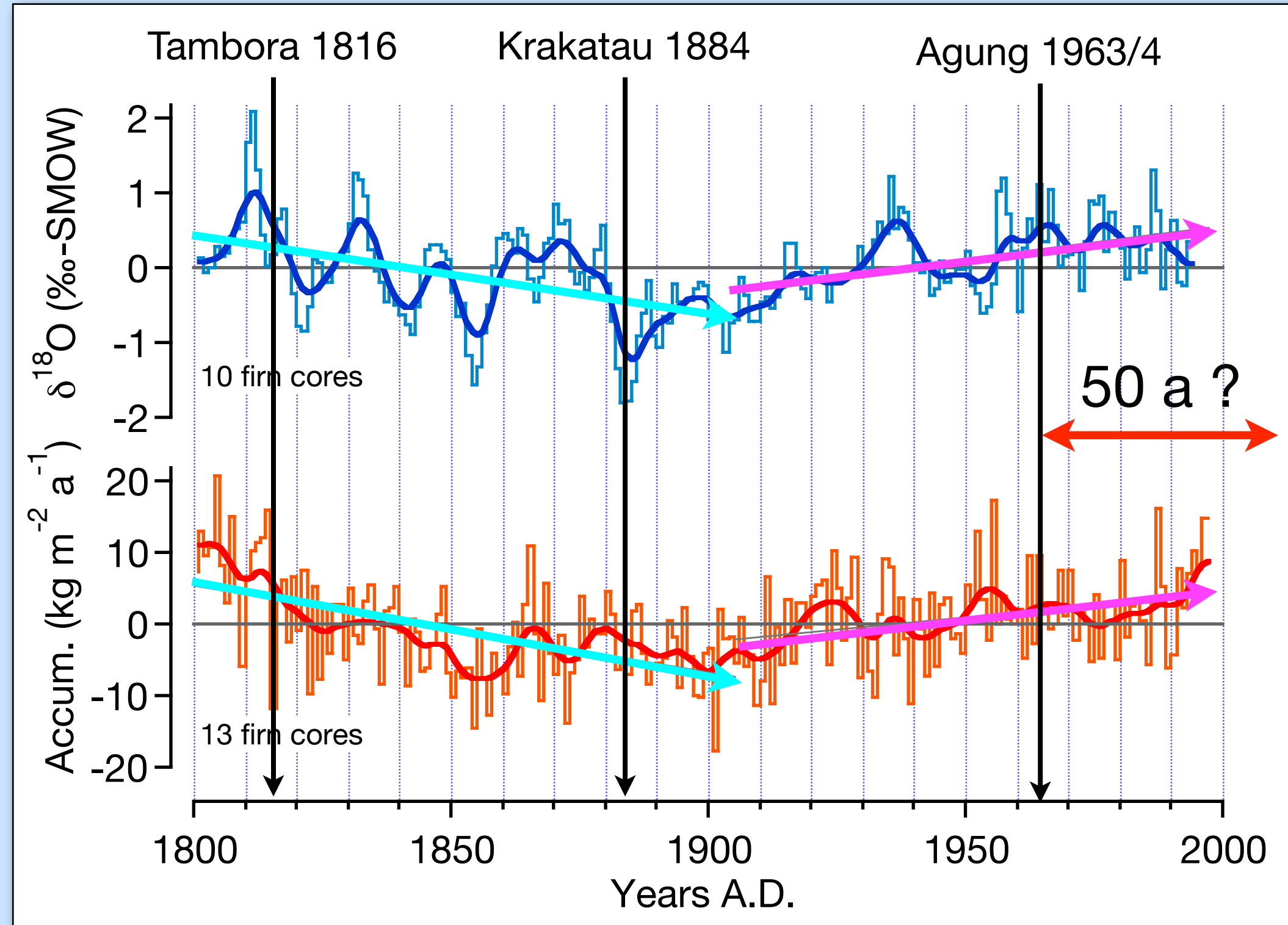
$\delta^{18}\text{O}$ :  $-0,010 \text{ ‰/a}$

Acc.:  $-0,120 \text{ kg m}^{-2}\text{a}^{-1}/\text{a}$

1905-1997:

$\delta^{18}\text{O}$ :  $+0,009 \text{ ‰/a}$

Acc.:  $+0,068 \text{ kg m}^{-2}\text{a}^{-1}/\text{a}$



Oerter et al.: Accumulation rates in Dronning Maud Land, Antarctica, as revealed by dielectric-profiling measurements of shallow firn cores. *Annals of Glaciology* **30**, 27-34 (2000)



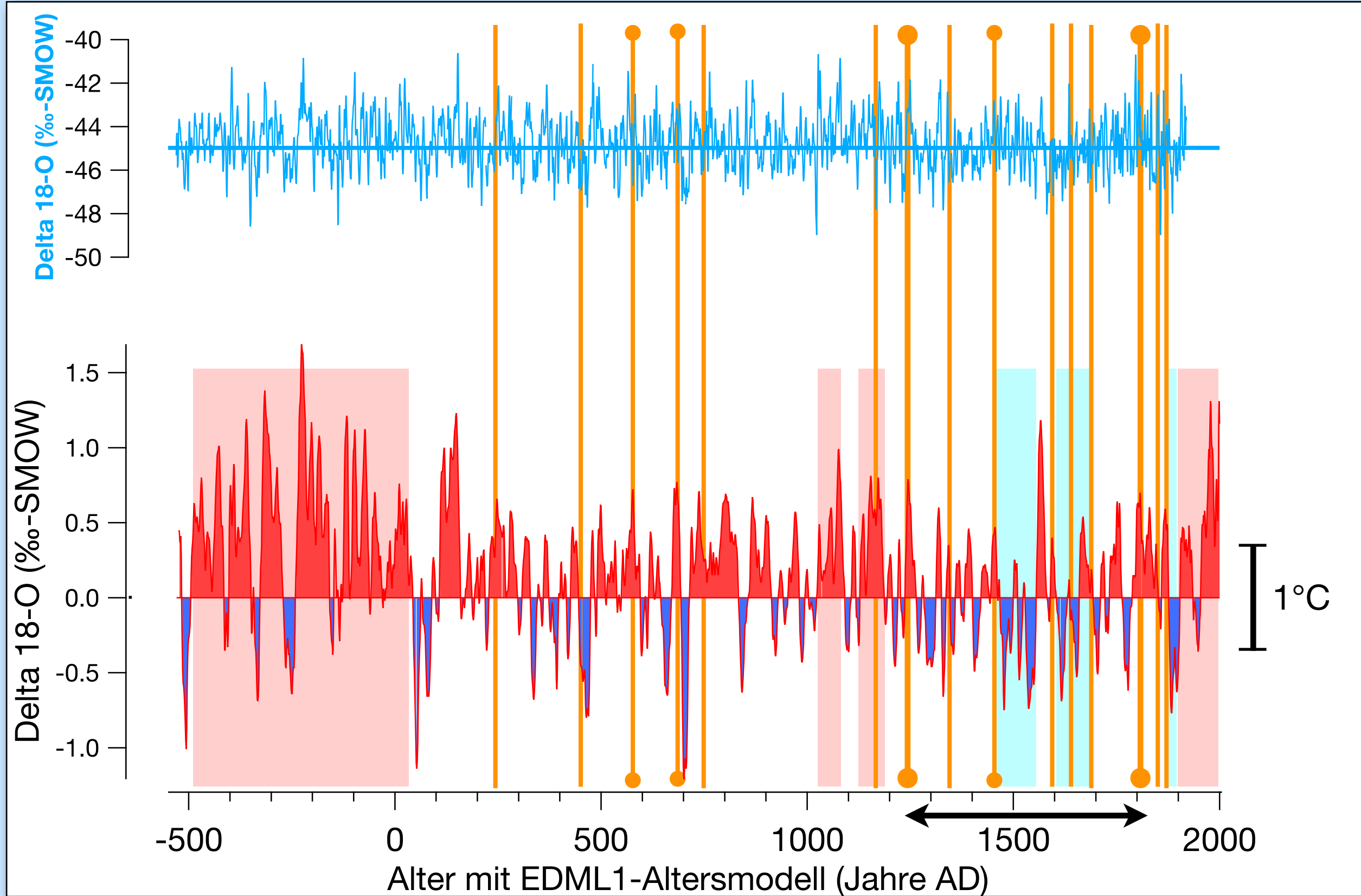
# EDML-Eiskern



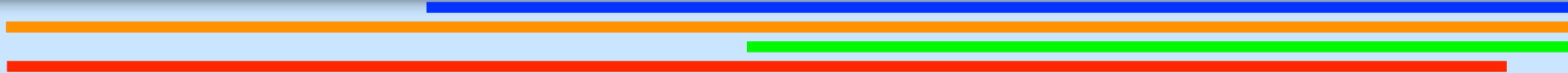
## DML Stapel

B32, B34, B37,  
EDML, B33

0 = Mittel 1259-1816 AD  
Probenintervall 65 mmWW  
gleitendes Mittel 11 Proben  
Temperatur-  
gradient: 0,7 ‰/°C



Gemeins.Zeit:



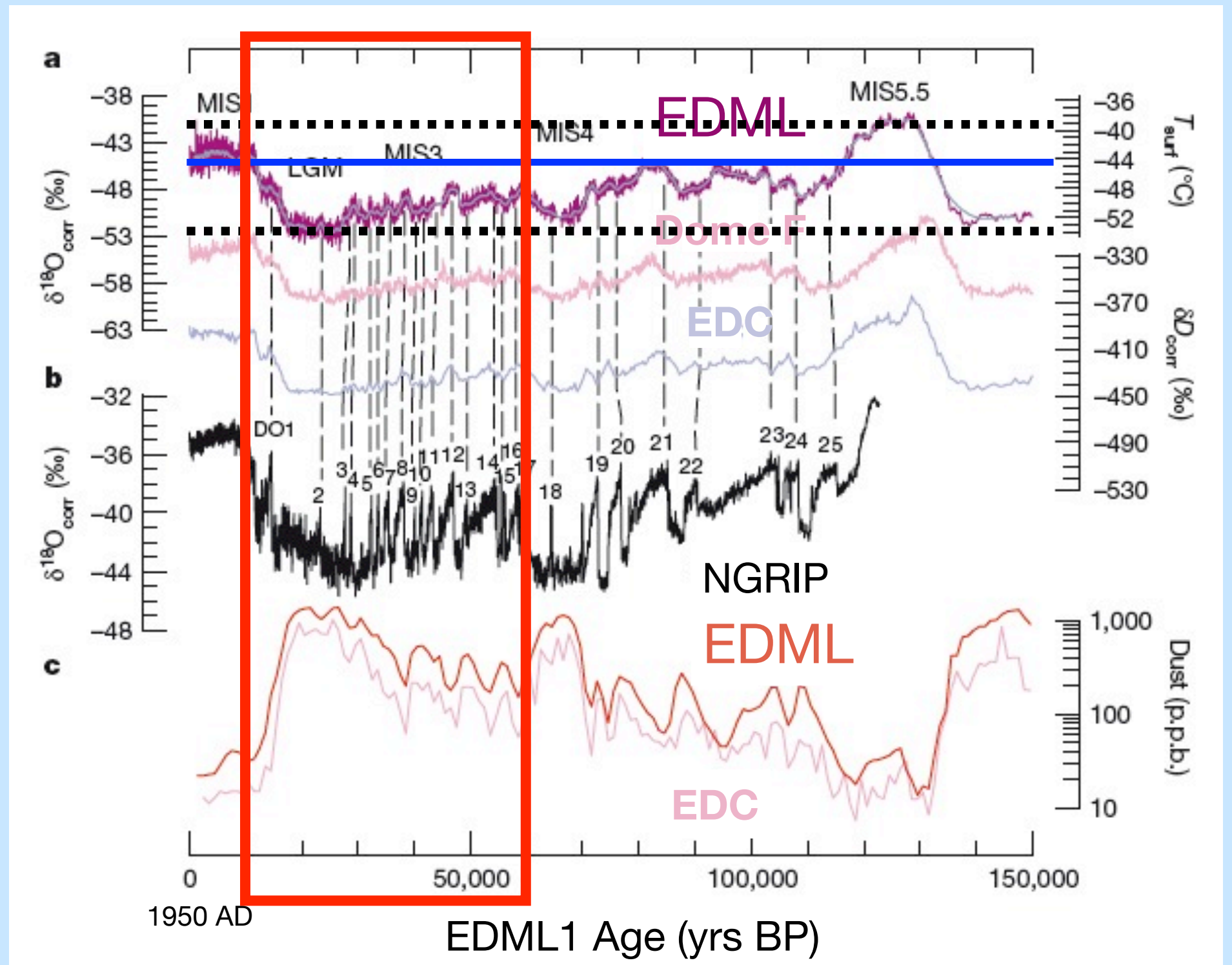


10 - 60 ka BP

Hohe Co-Varianz zwischen den Antarktischen Eiskernen EDML, Dome F und EDC

$\delta^{18}\text{O}$ -Spitzen in der Antarktis korrespondieren mit DO-Ereignissen in Grönland.  $\delta^{18}\text{O}$ -Spitzen in EDML deutlicher als in EDC und Dome F

Synchronisation EDML und EDC u.a. mit Staubgehalt.  
Kaltphasen: hoher Staubgehalt  
Warmphasen: niedriger Staubgehalt



Quelle: EPICA Community Members: *Nature*, **444**, 195-198, (2006). data: [doi:10.1594/PANGAEA.552235](https://doi.org/10.1594/PANGAEA.552235)



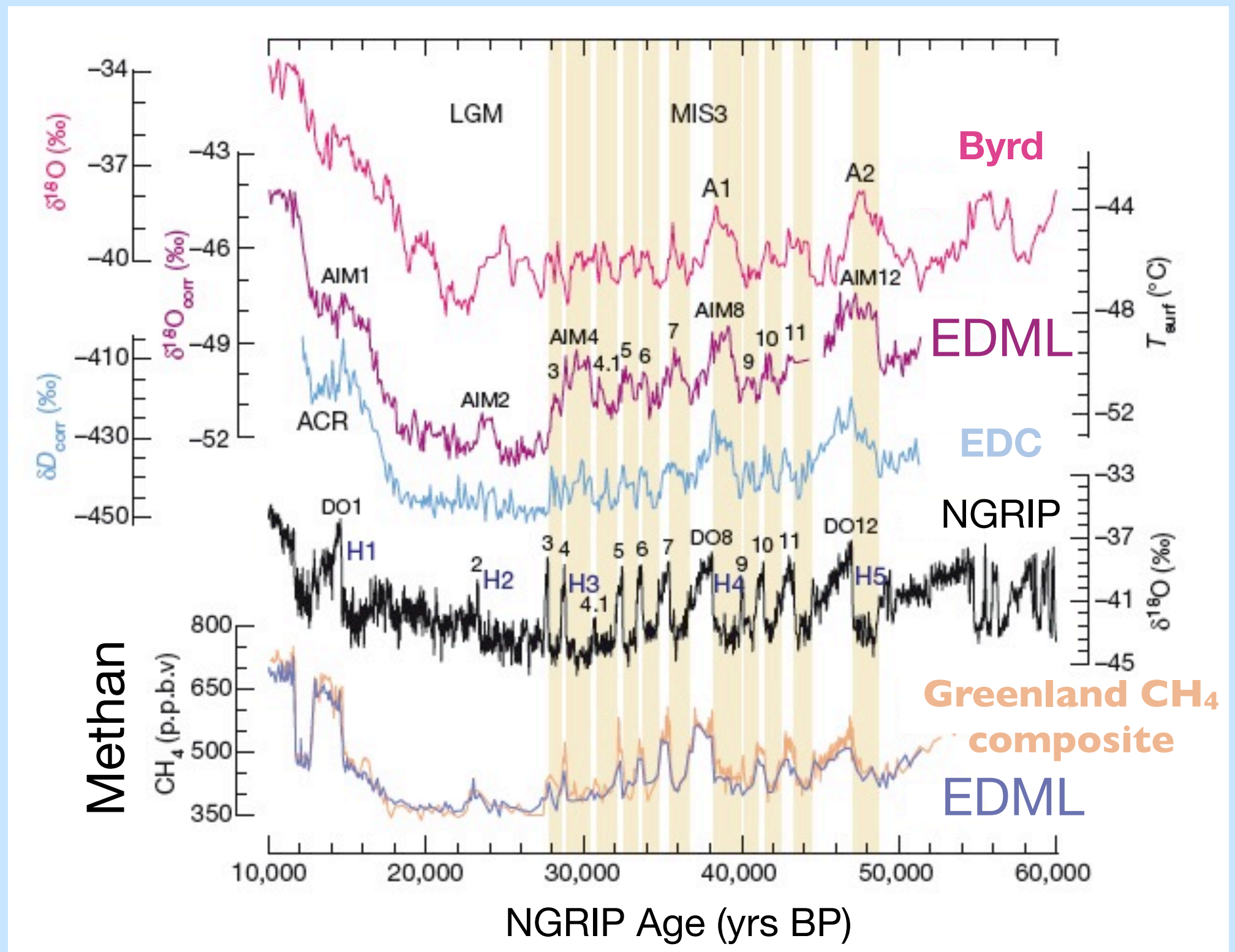
farbig gezeichnet sind  
Kaltphasen im Norden

A1 und A2 bereits im Byrd-Kern  
erkannt und DO 8 und DO 12  
zugeordnet.

Neue Nomenklatur: AIM  
Antartic Isotope Maximum

Synchronisation EDML und  
NGRIP mit Methangehalt.

Kaltphasen: niedriger Methangehalt  
Warmphasen: hoher Methangehalt



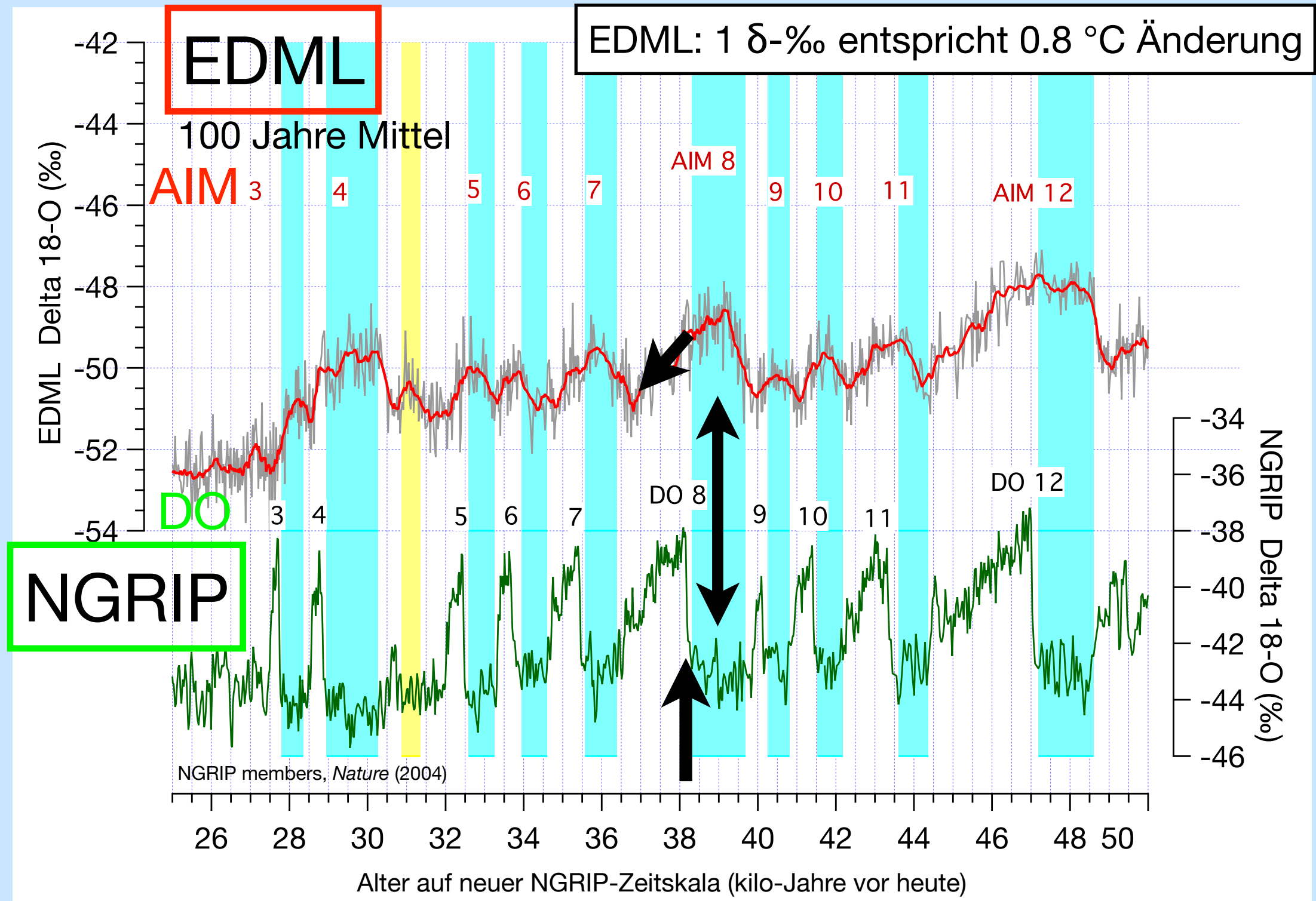
Quelle: EPICA Community Members: *Nature*, **444**, 195-198, (2006). data: [doi:10.1594/PANGAEA.552235](https://doi.org/10.1594/PANGAEA.552235)



# Vergleich Antarktis (EDML) - Grönland (NGRIP)

Jedes Antarktische Isotopen Maximum (AIM) im EDML-Kern entspricht einem DO Ereignis in Grönland (NGRIP)

In der Antarktis beginnt die Erwärmung in einer Kaltphase (Stadial) des Nordens, die Abkühlung in einer Warmphase (Interstadial)



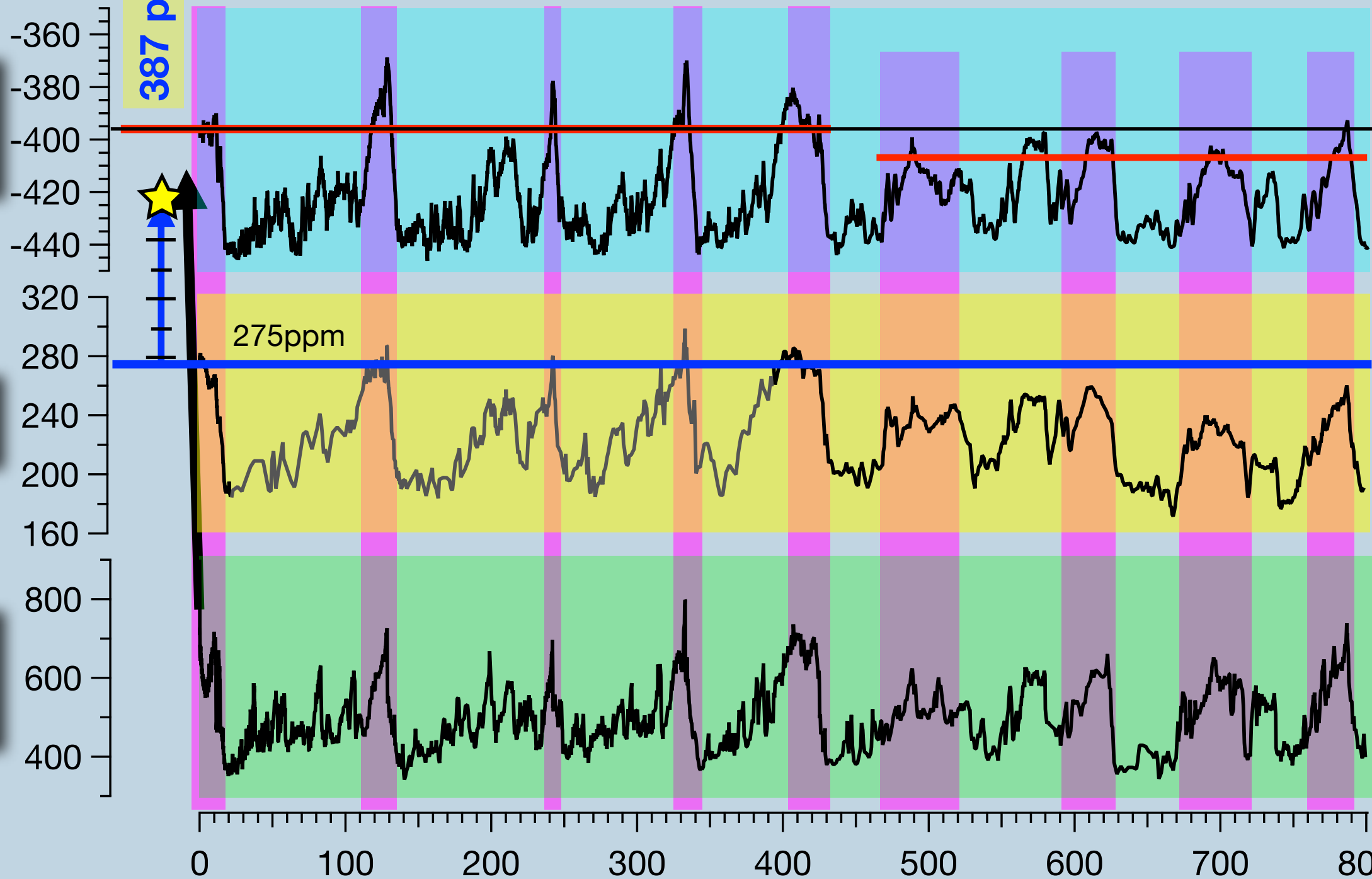
Quelle: EPICA Community Members: *Nature*, 444, 195-198, (2006). data: doi:10.1594/PANGAEA.552235



# Klimadaten aus antarktischen Eiskernen

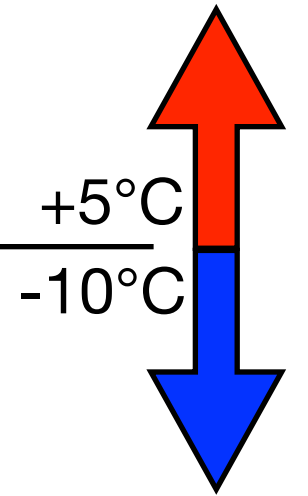
(EDC und Vostok)

**Deuterium**  
(‰-SMOW)



**CO<sub>2</sub>** (ppmv)

**Methan**  
(ppbv)



Quellen (NOAA/WDC  
Paleoclimatology:

Jouzel et al.(2007):  
*Science* 317, 793-796

Lüthi, D.et al. (2008):  
*Nature* 453, 379-382

Loulerque, L. et al.  
(2008): *Nature* 453,  
383-386



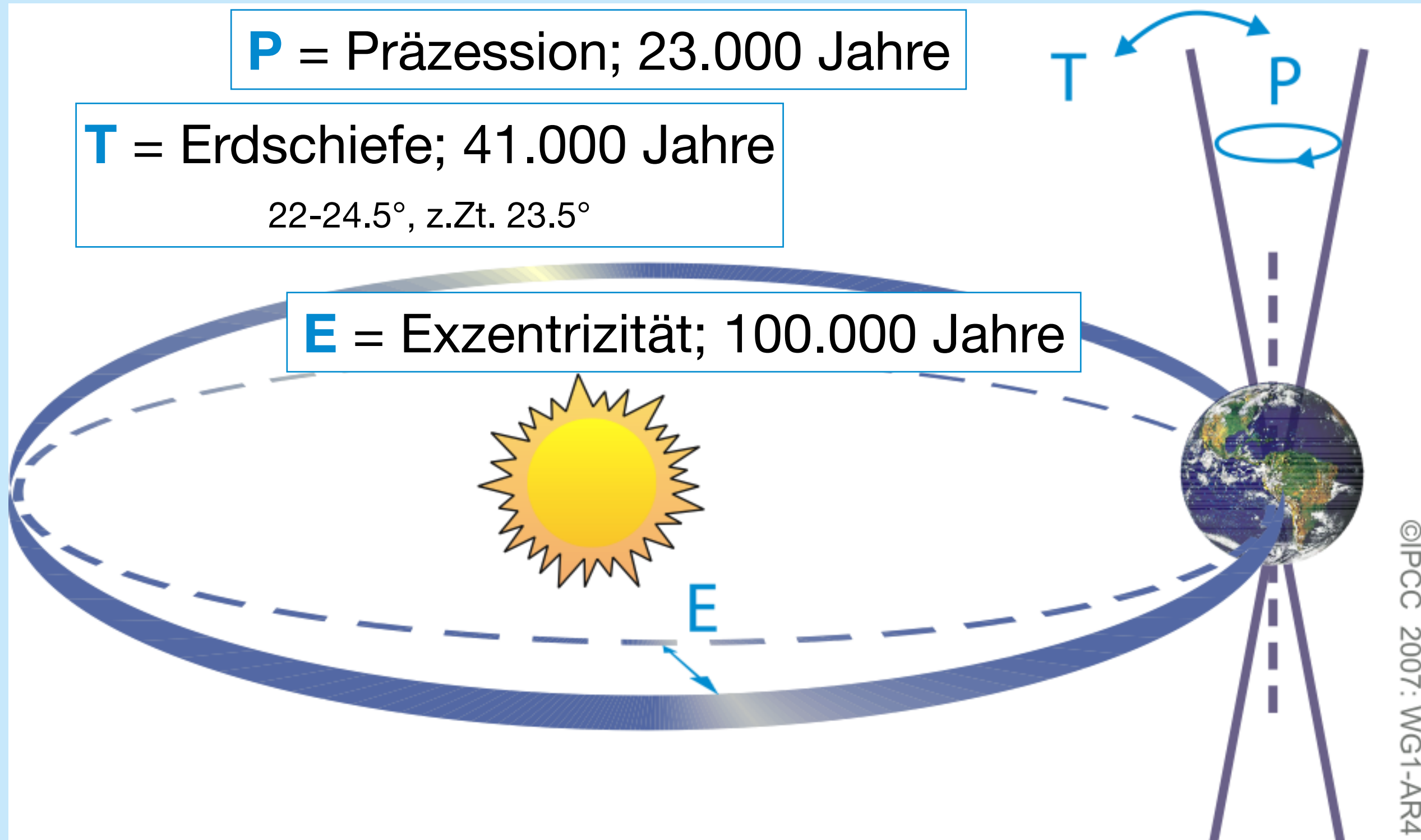
# Erdumlaufbahn - Milankovitch-Zyklen

**P** = Präzession; 23.000 Jahre

**T** = Erdschiefe; 41.000 Jahre

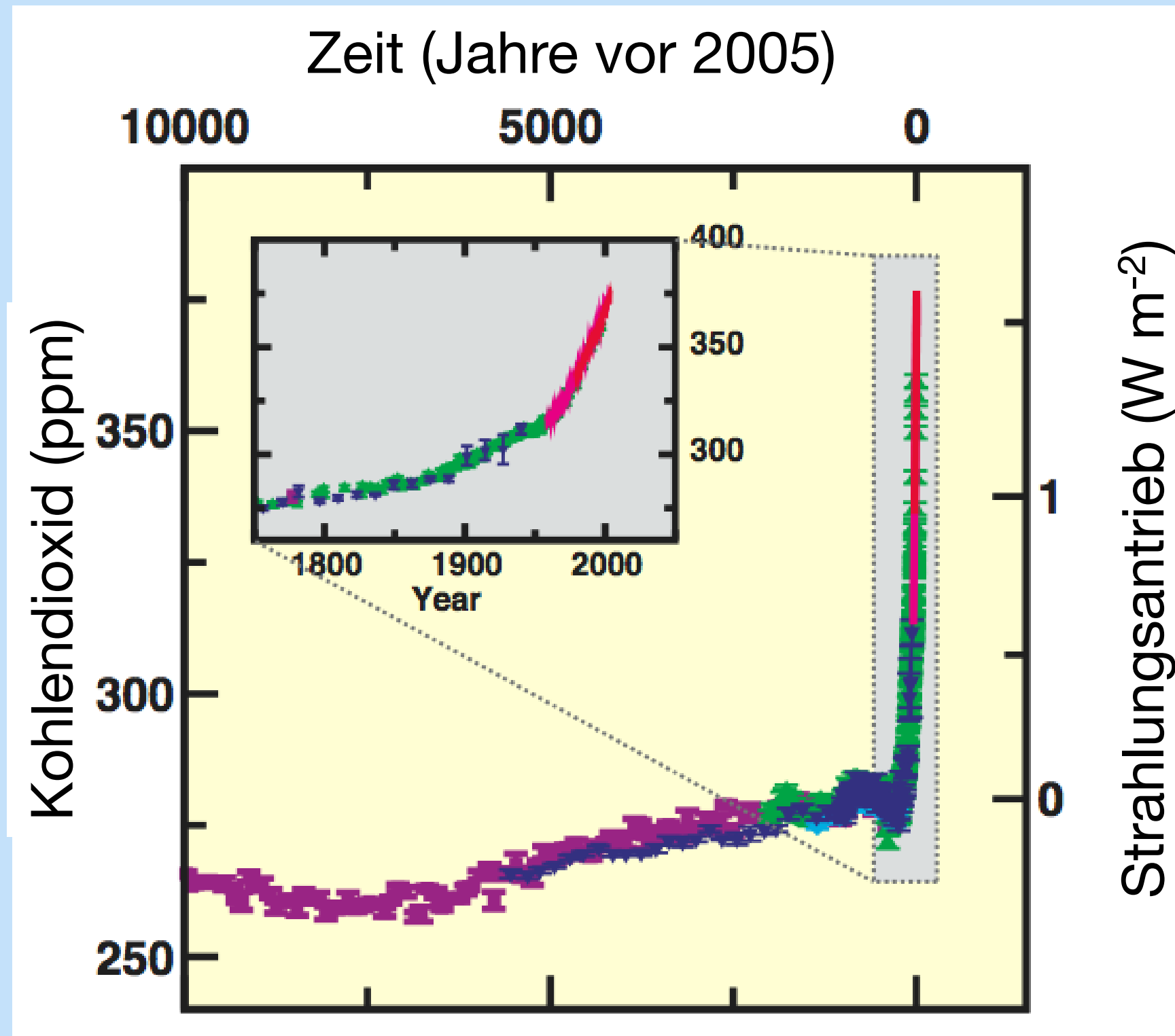
22-24.5°, z.Zt. 23.5°

**E** = Exzentrizität; 100.000 Jahre



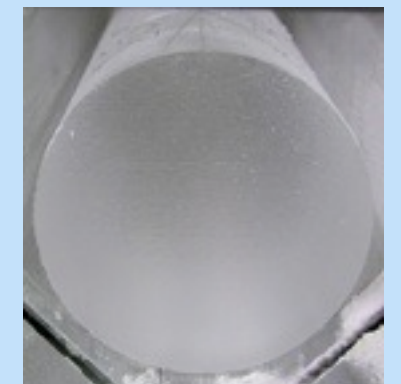


# Kohlendioxid-Gehalt der Atmosphäre



Messung an  
Luftproben seit 1958

Messung an  
Eisproben



Quelle: IPCC, Climate Change 2007: The Physical Basis, Summary for Policy Makers ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch))

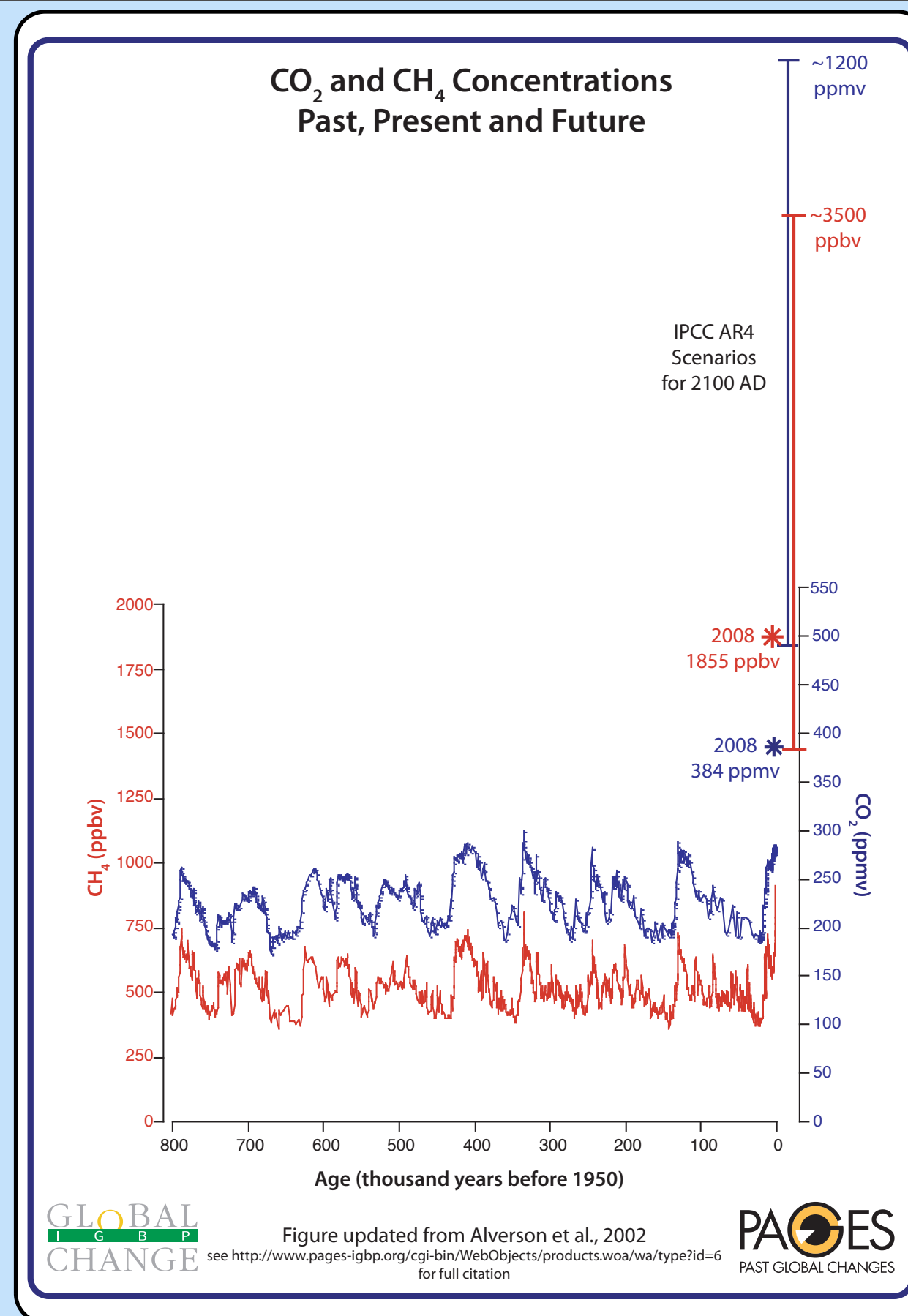


Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and methane (CH<sub>4</sub>) changes over the last 800 000 years from Antarctic ice cores

compared to 2008 values,

and the range of concentrations projected by IPCC AR4 scenarios for the year 2100.

Quelle: <http://www.pages-igbp.org>



CO<sub>2</sub> data is a compilation of the following records:

Monnin et al., 2001: Science, 291: 112-114.  
 Petit et al., 1999: Nature, 399: 429-236.  
 Pepin et al., 2001: J. Geophysical Res. 106: 31,885-31,892.  
 Raynaud et al., 2005: Nature, 436: 39-40.  
 Siegenthaler et al., 2005: Science, 310: 1313-1317.  
 Luethi et al., 2008: Nature, 453: doi:10.1038/nature06949

CH<sub>4</sub> data:

Louergue, L., et al., 2008: Nature, 453: 383-386.

Current atmospheric concentrations:

the Carbon Dioxide Information Analysis Center (<http://cdiac.ornl.gov>).

CO<sub>2</sub>: Pieter Tans NOAA/ESRL  
[www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends)

CH<sub>4</sub>: Advanced Global Atmospheric Gases Experiment (AGAGE)



# Zusammenfassung

- Eis ist ein Archiv für Veränderung von Temperatur und Gasgehalten
- Eis-Archiv in Grönland 123.000 Jahre, in der Antarktis 800.000 Jahre
- Treibhausgehalte heute erheblich höher als die, die man im Eis in der Vergangenheit nachweisen kann.



**weiterführende Informationen:**

**Kohnen-Station und EPICA-Projekt:**

Oerter et al., *Polarforschung* 78 (1-2), 1-23 (2009); [www.polarforschung.de](http://www.polarforschung.de)

home page von PAGES (Past Global Changes): [www.pages-igbp.org](http://www.pages-igbp.org)

<http://www.awi.de/People/show.php?hoerter>



