

Polare Eisbohrkerne - ein Klimaarchiv für die letzten 800.000 Jahre

Hans.Oerter@awi.de

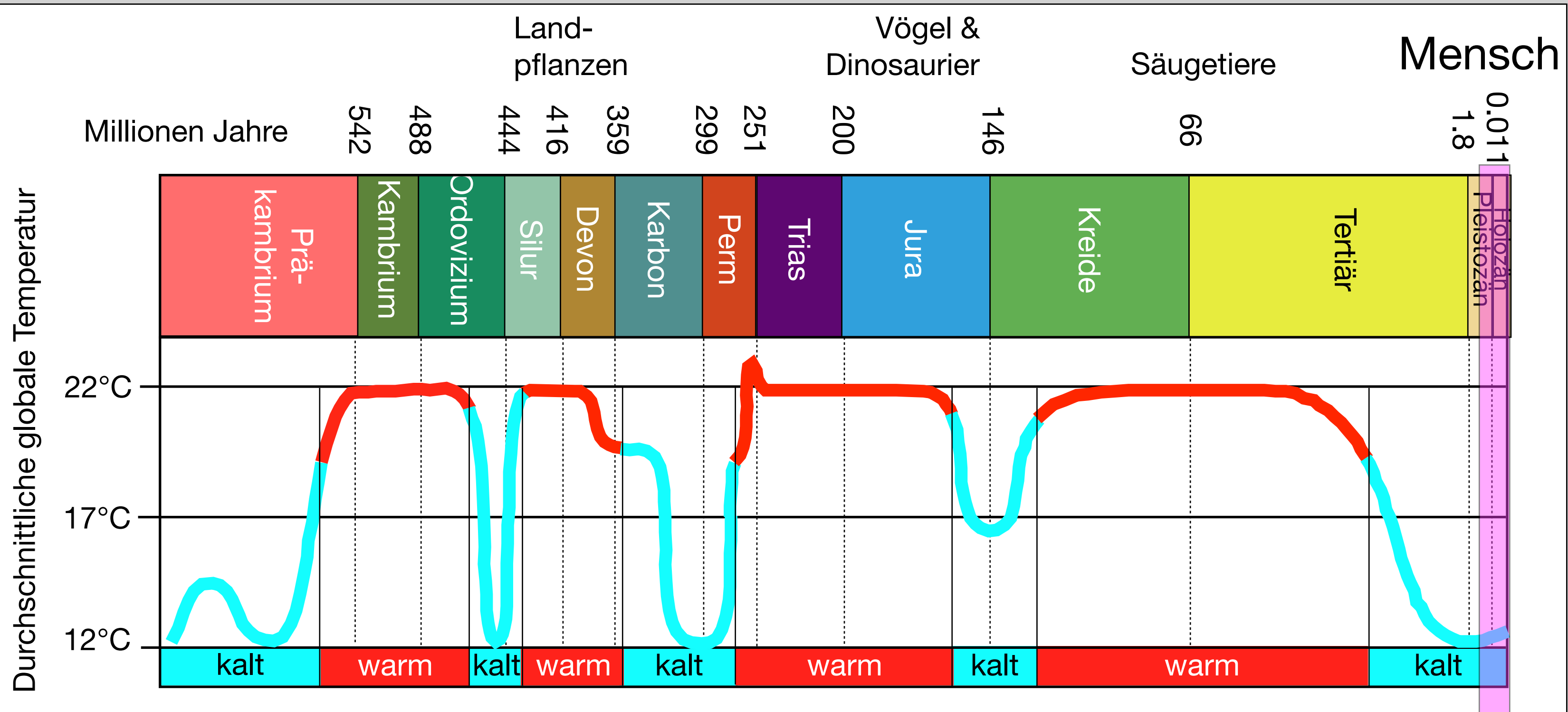
Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung
(AWI), Bremerhaven



104. MNU-Bundeskongress Hamburg, 24.-28. März 2013



Temperaturänderung auf geologischer Zeitskala



verändert nach: www.geologieinfo.de/palaeoklima

Wo wurde bereits gebohrt ?

Arktis (Grönland)

60° N

Meereis
Nordpol

Grönland

NEEM

2008-2011
2538 m
>120 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

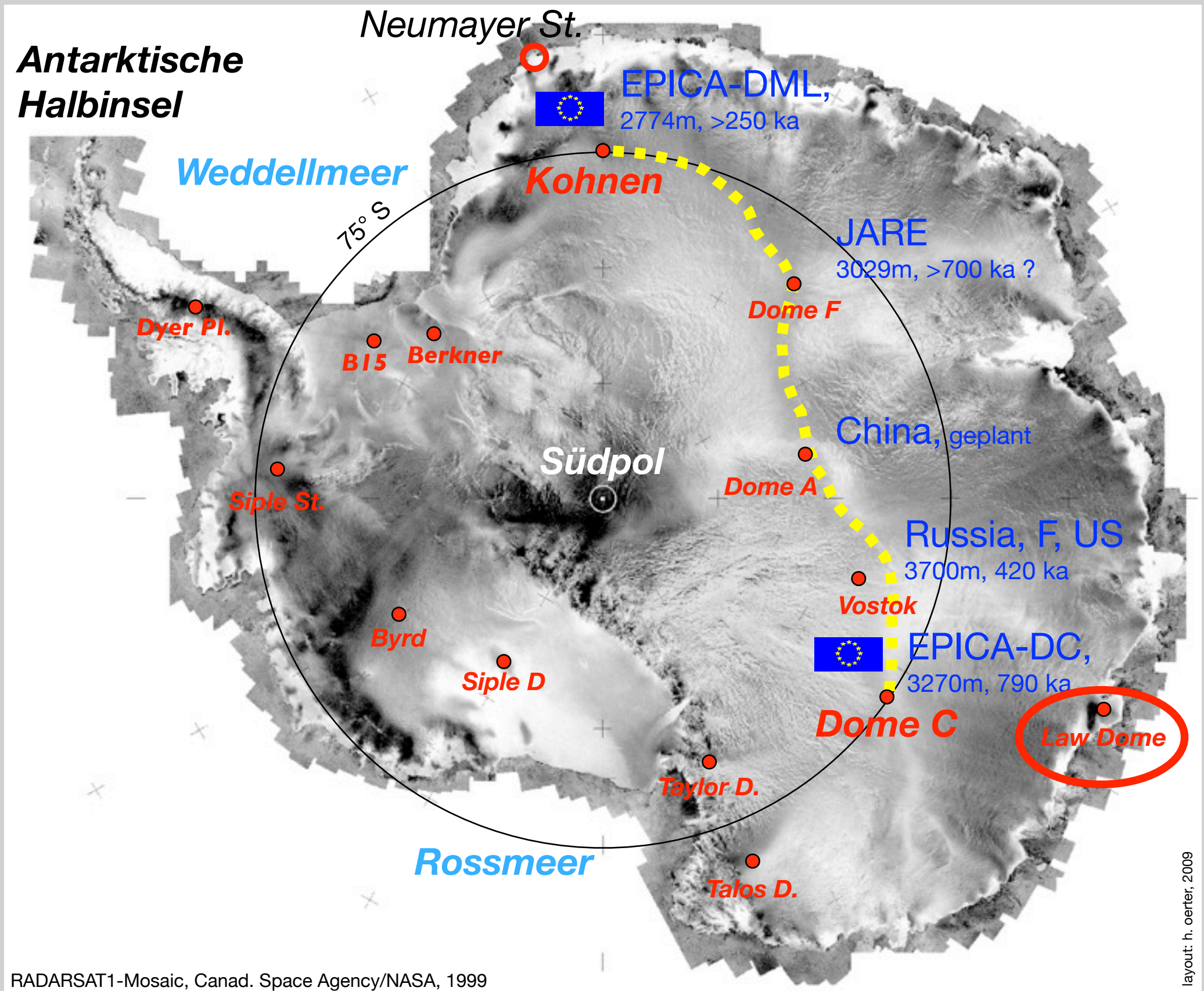
Oerter et al., *Polarforschung* 78 (1-2), 1-23 (2009)

www.polarforschung.de



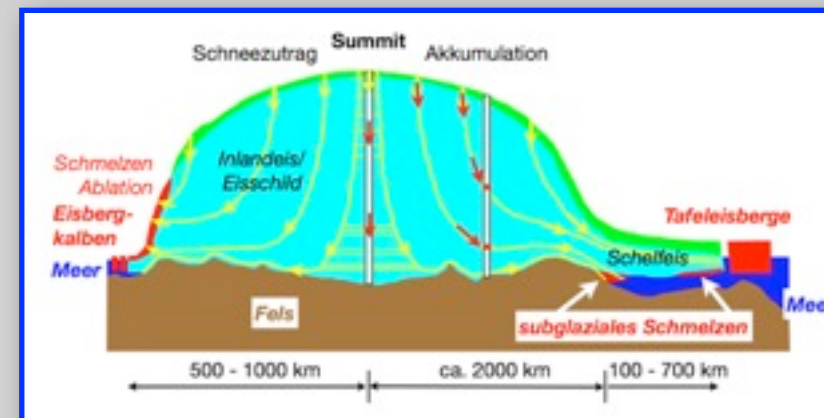
Haupteisscheide der Ostantarktis

Law Dome: hohe Akkumulationsrate (640 mm WW); Eiskern an dem rezente (1006-1978 AD) CO₂ - Konzentrationen bestimmt wurden.



RADARSAT1-Mosaic, Canad. Space Agency/NASA, 1999

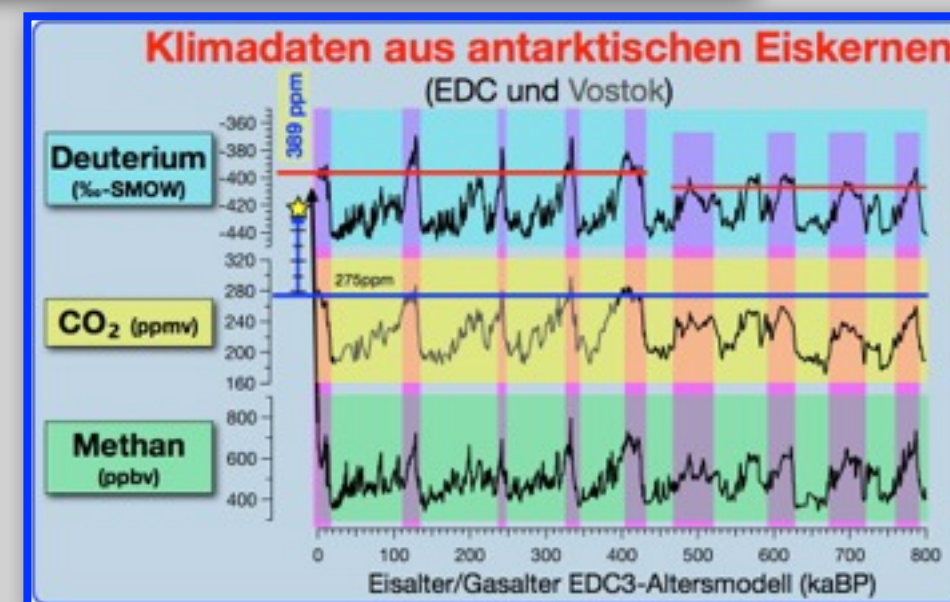
➔ Wie ist ein Eisschild aufgebaut ?

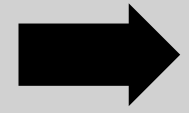


➔ Wie bohrt und zerteilt man einen Eisbohrkern ?



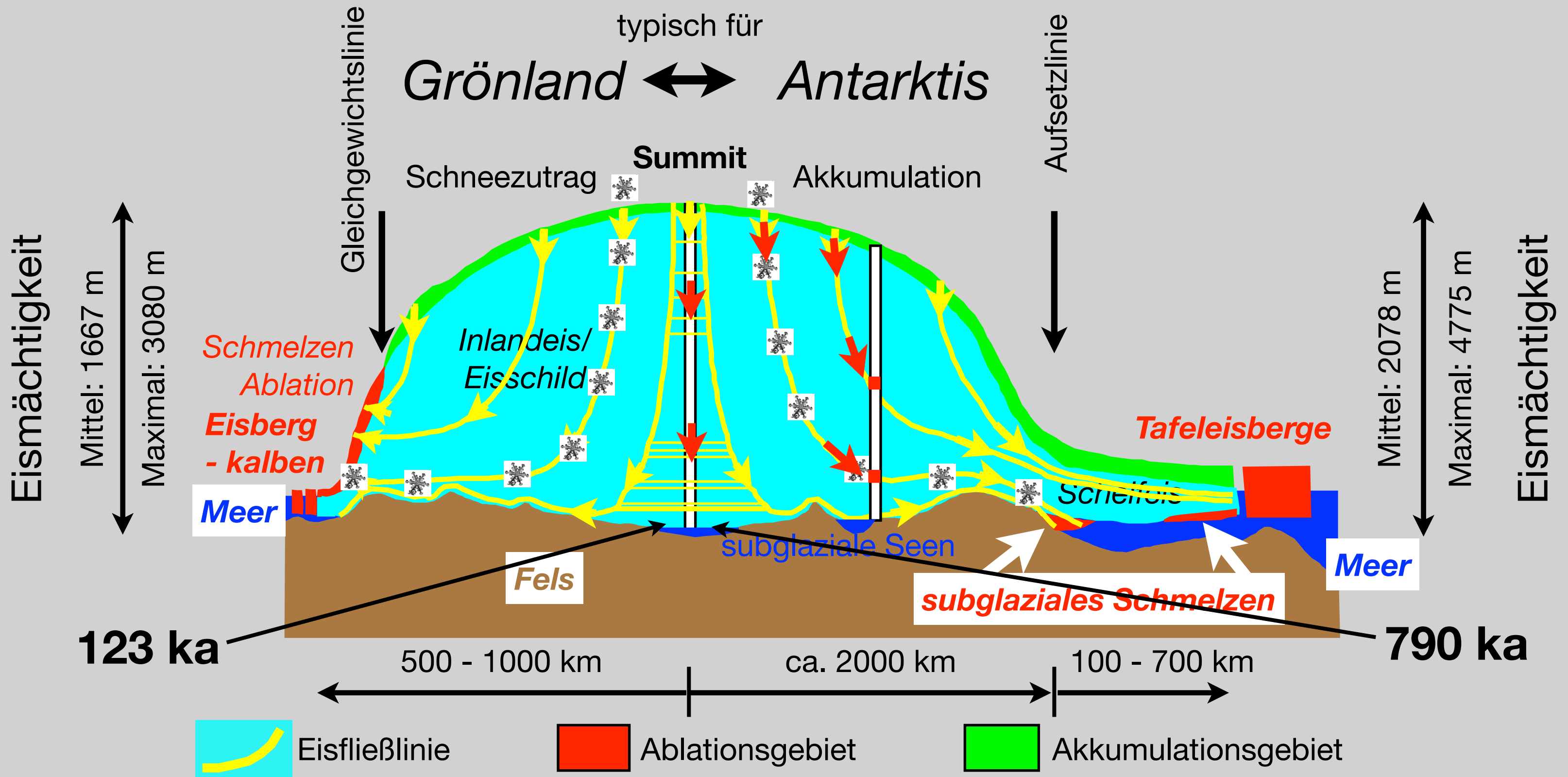
➔ Welche Klimainformation enthält ein Eisbohrkern ?





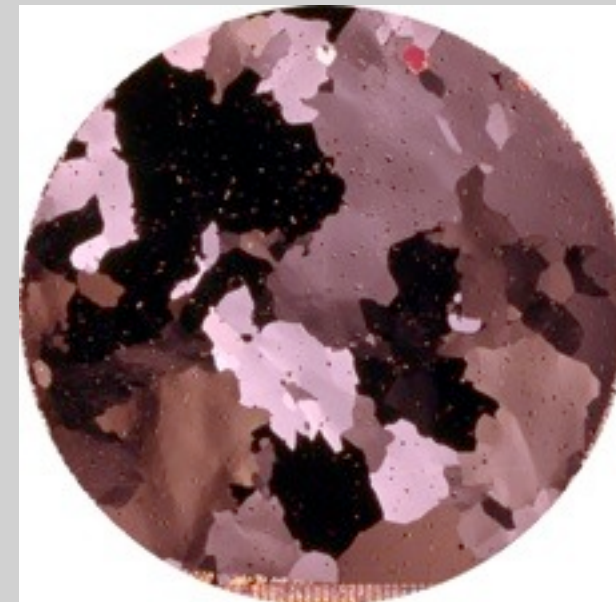
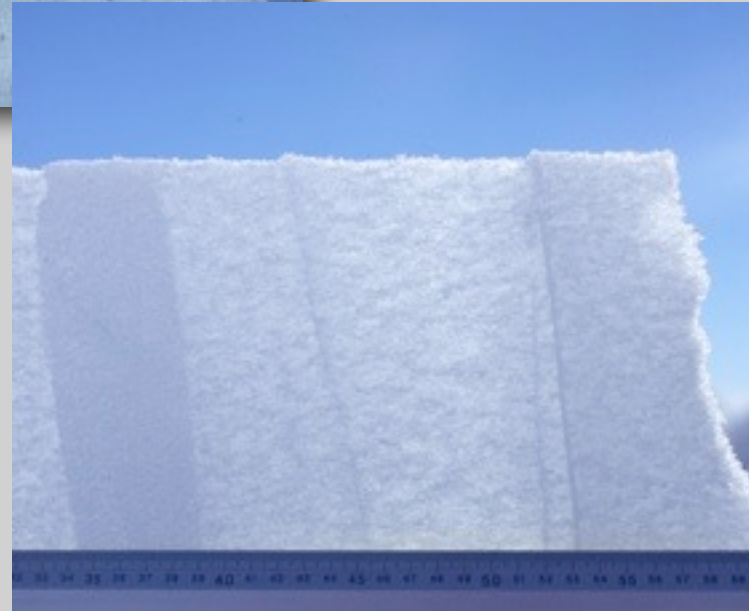
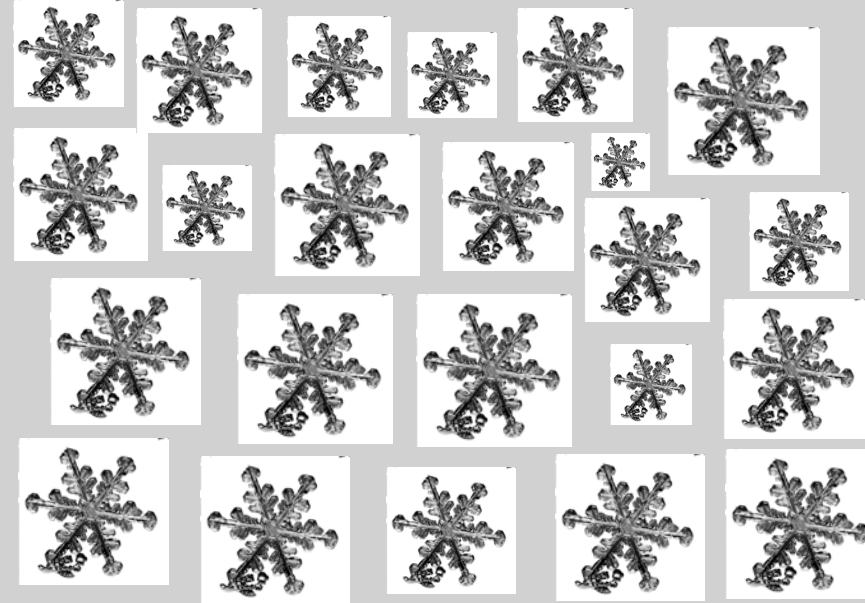
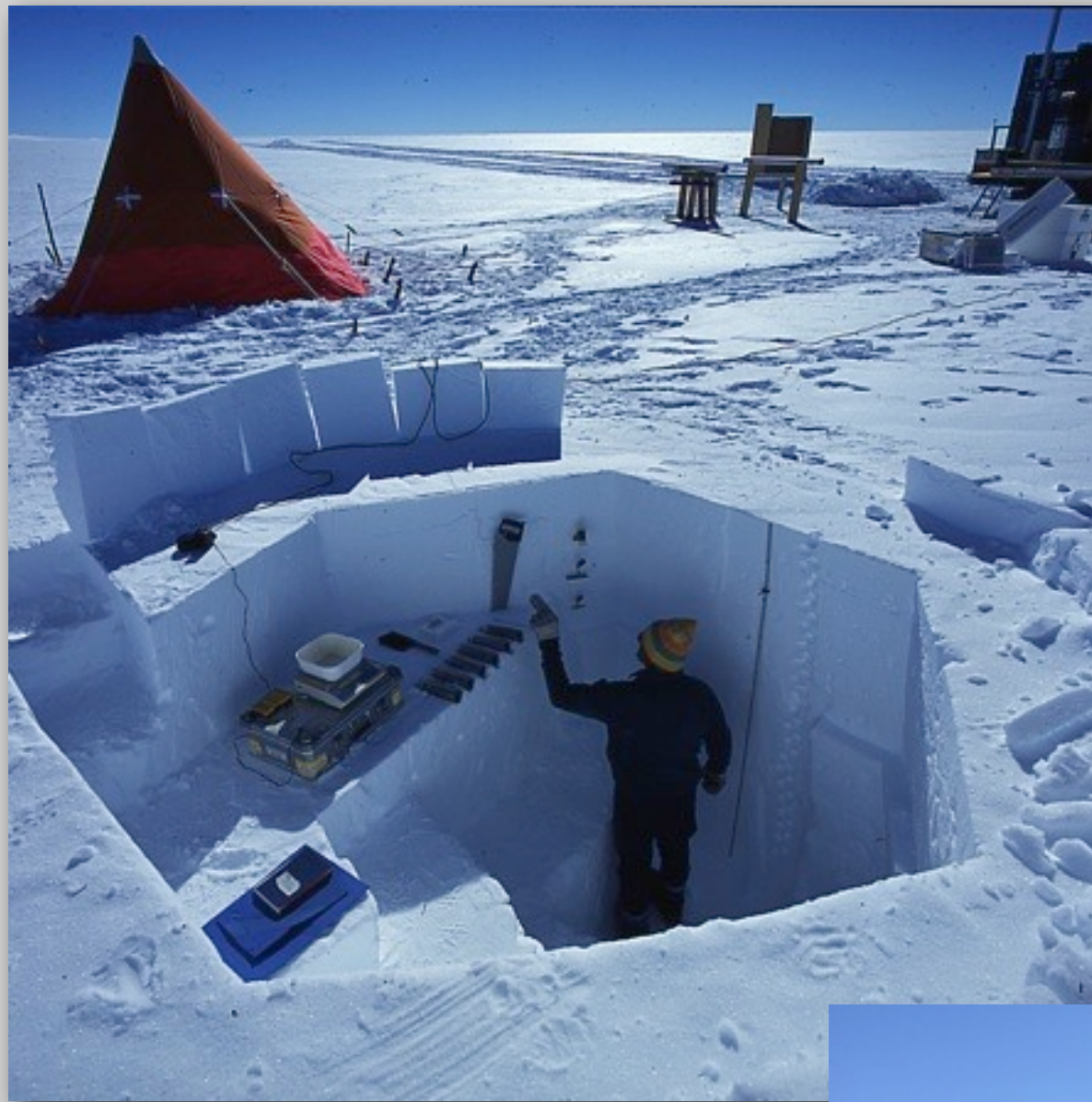
Wie ist ein Eisschild
aufgebaut ?

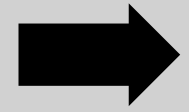
Schematischer Querschnitt durch einen Eisschild



grafik: h. oerter, 2009

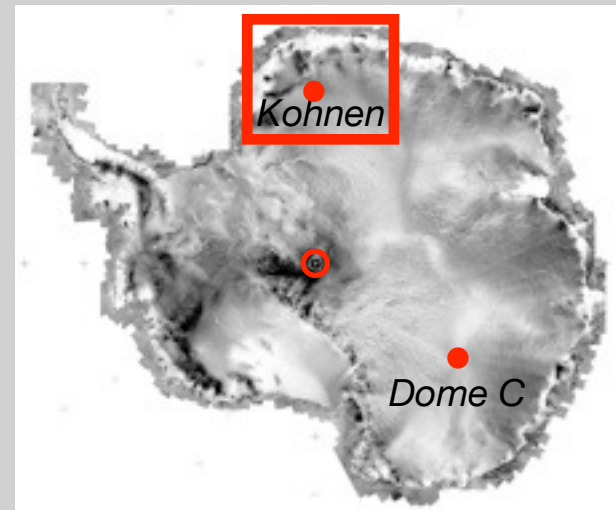
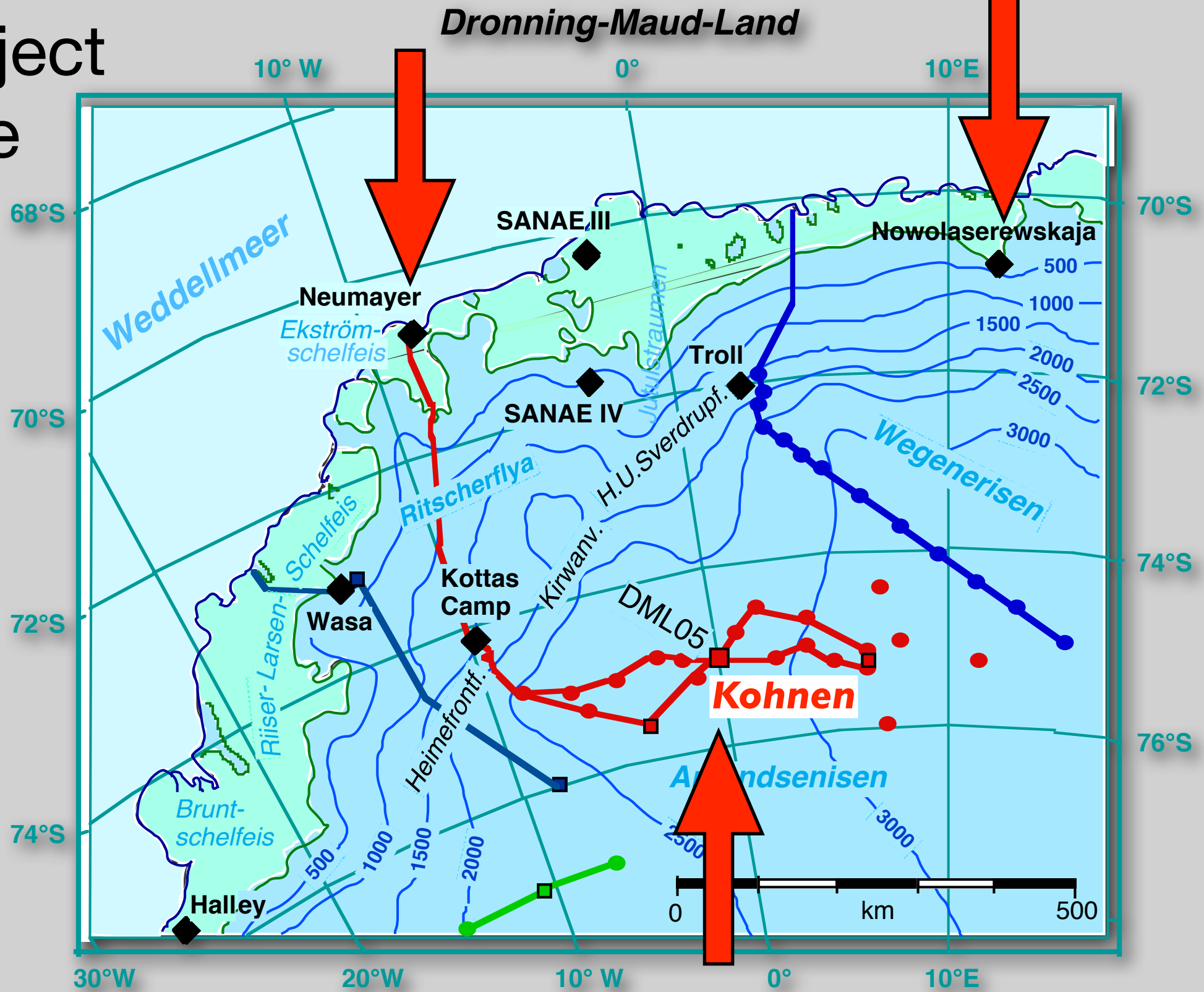
Ein Eisschild baut sich aus über einander liegenden Jahresschichten auf.





Wie bohrt und zerteilt
man einen Eisbohrkern ?

European Project for Ice Core Drilling in Antarctica (EPICA)

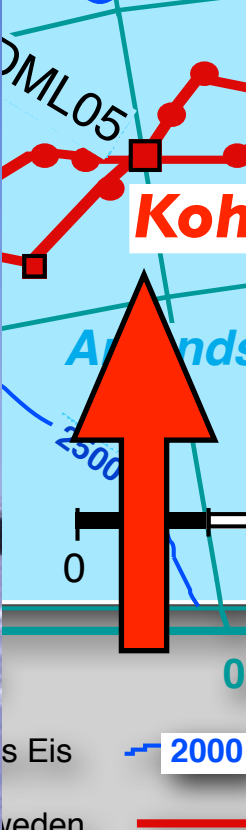
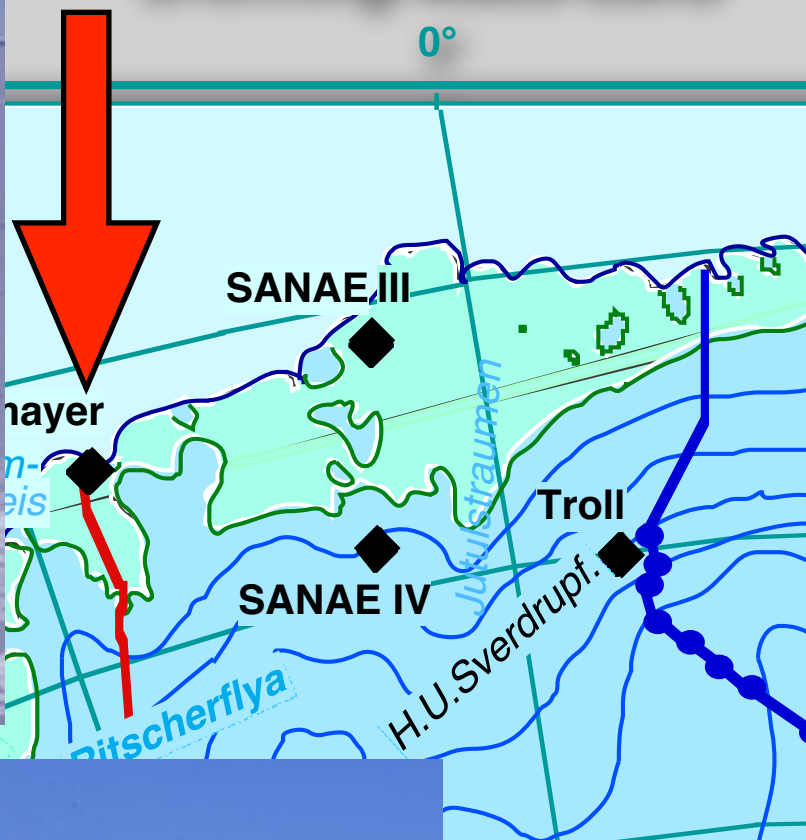


Meer
 Schelfeis
 Inlandeis, gegründetes Eis
 2000 Höhenlinie
 Aufsetzlinie

Traversenrouten:
 Großbritannien
 Schweden
 Deutschland
 Norwegen



Dronning-Maud-Land



Kohnen-Station

75°S, 0 °E, 2882 m

Funk, PC, e-mail

Messe

Küche

Sanitärcontainer

2 Schlafräume

à 4 Pers.

Schneeschmelze

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⁻²a⁻¹

Eis-Fließgeschwindigkeit:
0,756 m/a

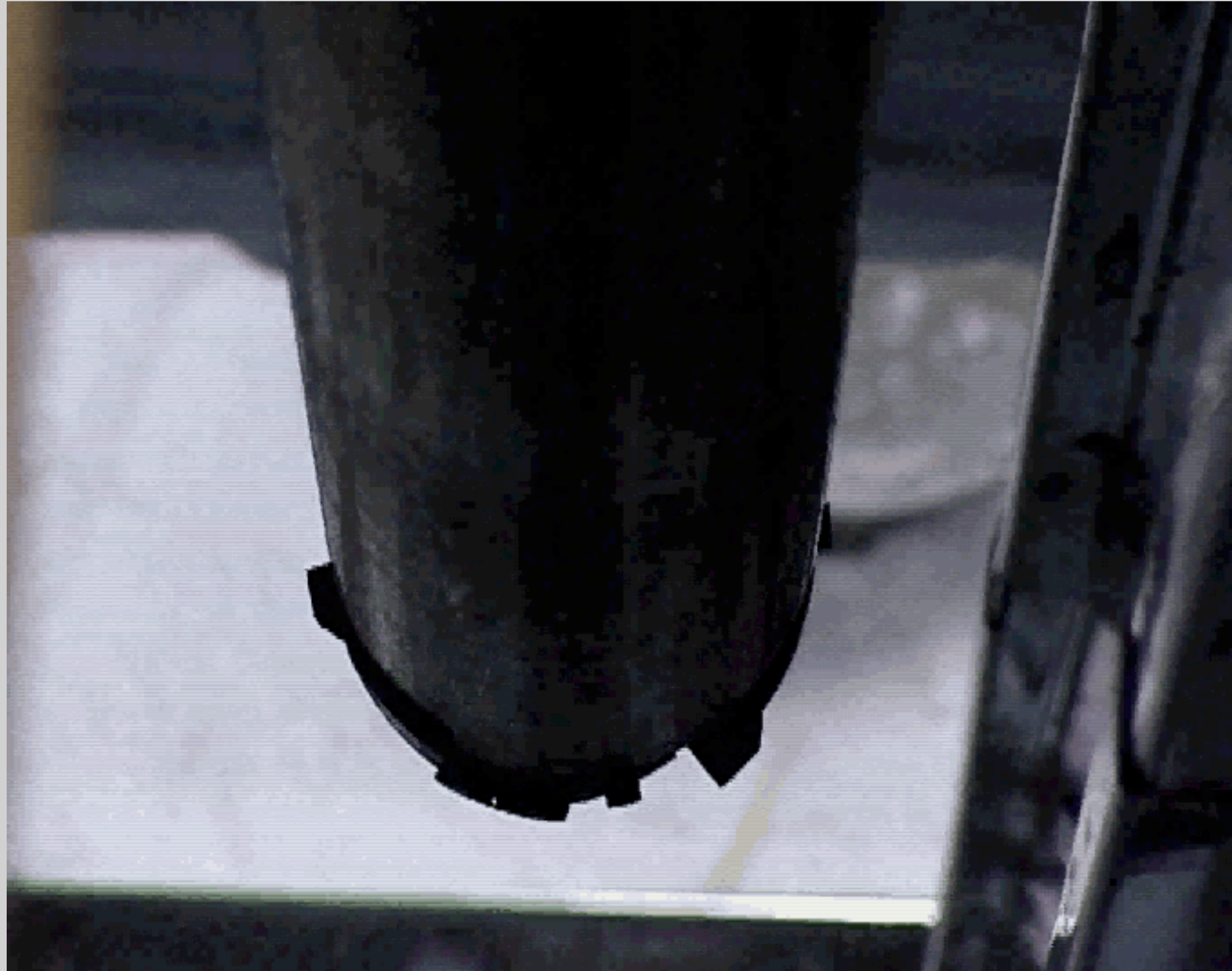
Eisdicke: 2782 ±10m

Länge Eiskern: 2774,1 m



photo: hans oerter, 2006

Bohren eines Eiskerns



Archiv AWI/Kipfstuhl

Antitorque



innen: Chips-Kammer



Motor & Elektronik



Hüllrohr



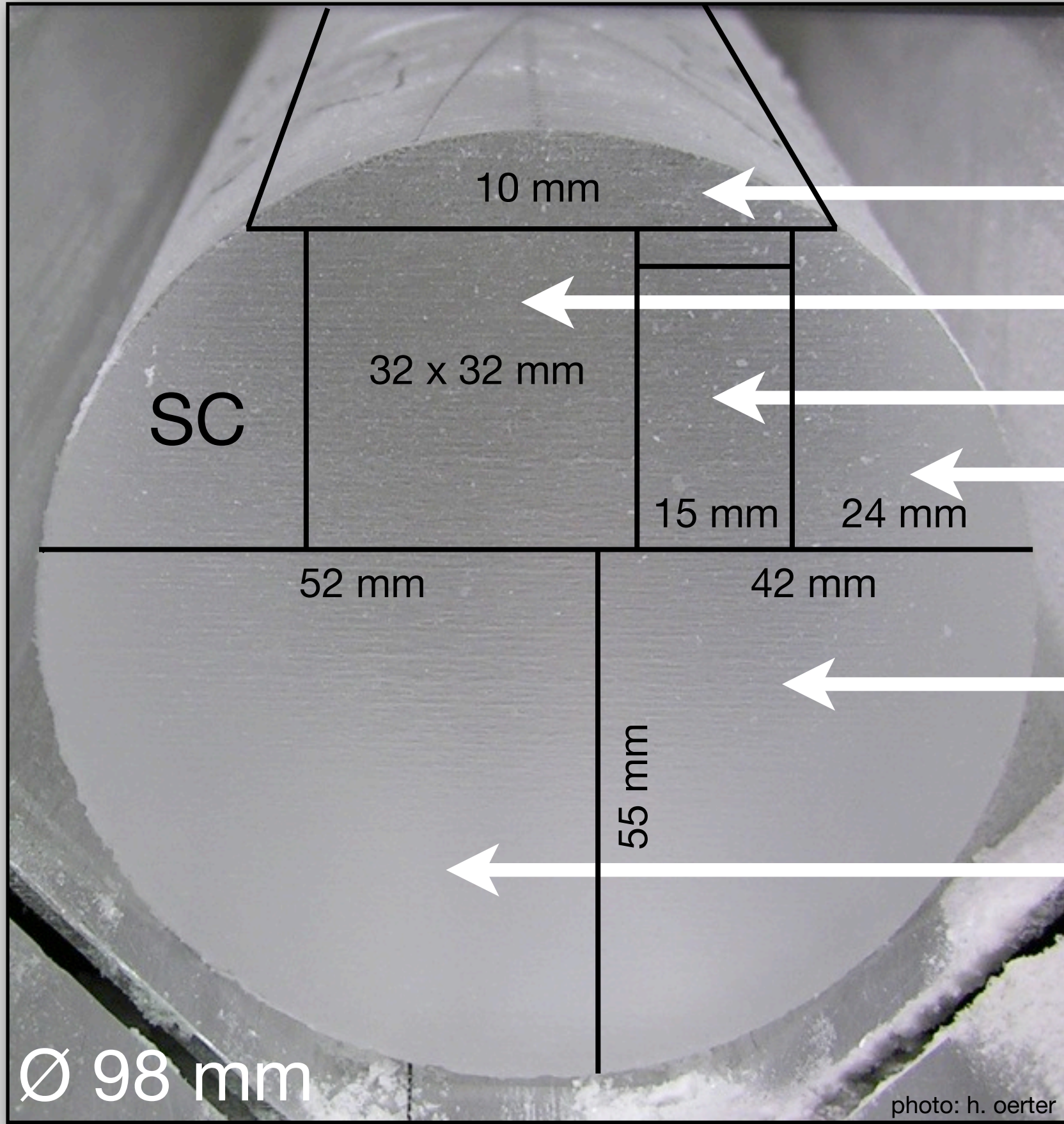
Bohrturm



Kernrohr & Bohrkrone







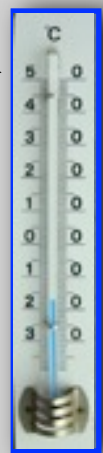
Schnittplan

Dünnschnitte

Cont. Flow Analysis (CFA)

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

^{10}Be



Gase, Staub

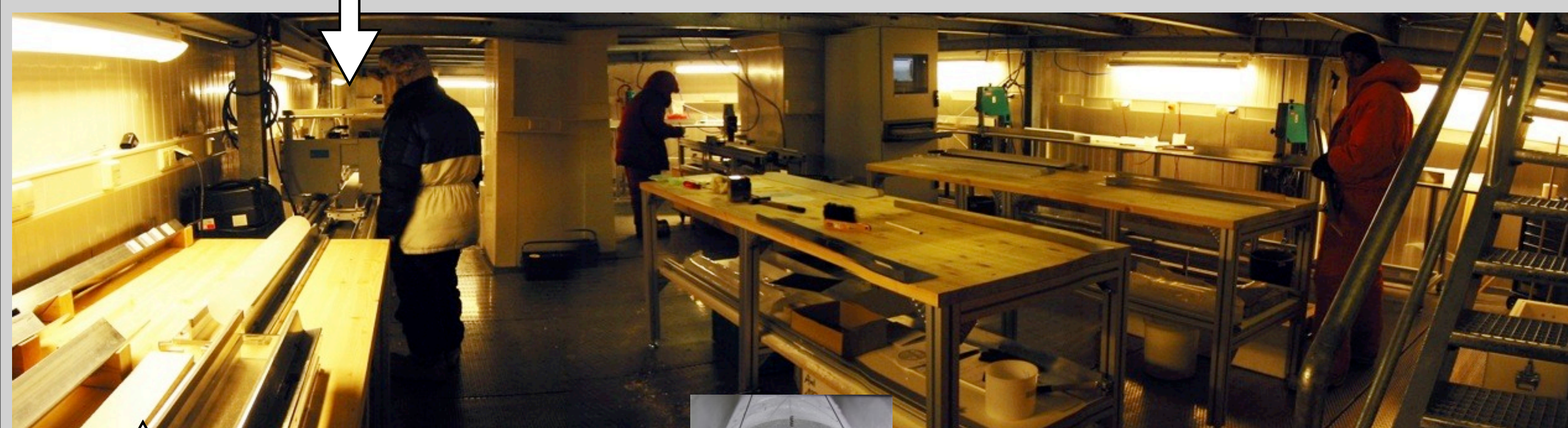
Archiv

SC: verfügbar für Steering Committee

photo: h. oerter

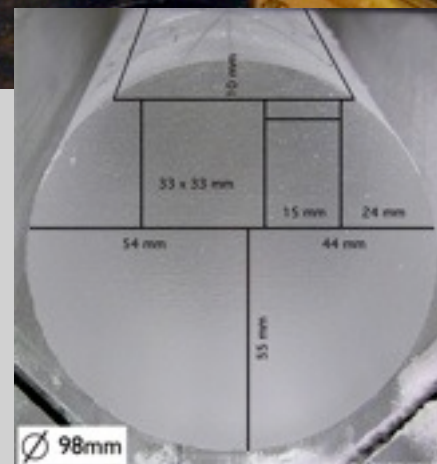
Das Eislabor am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven

Horizontalsäge



photos: hans oerter, 2002

Auspacken des Kerns



Das Eislabor am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven

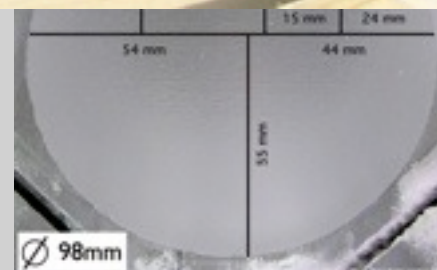
Horizontalsäge



photos: hans oerter, 2002

foto: hans oerter, 2009

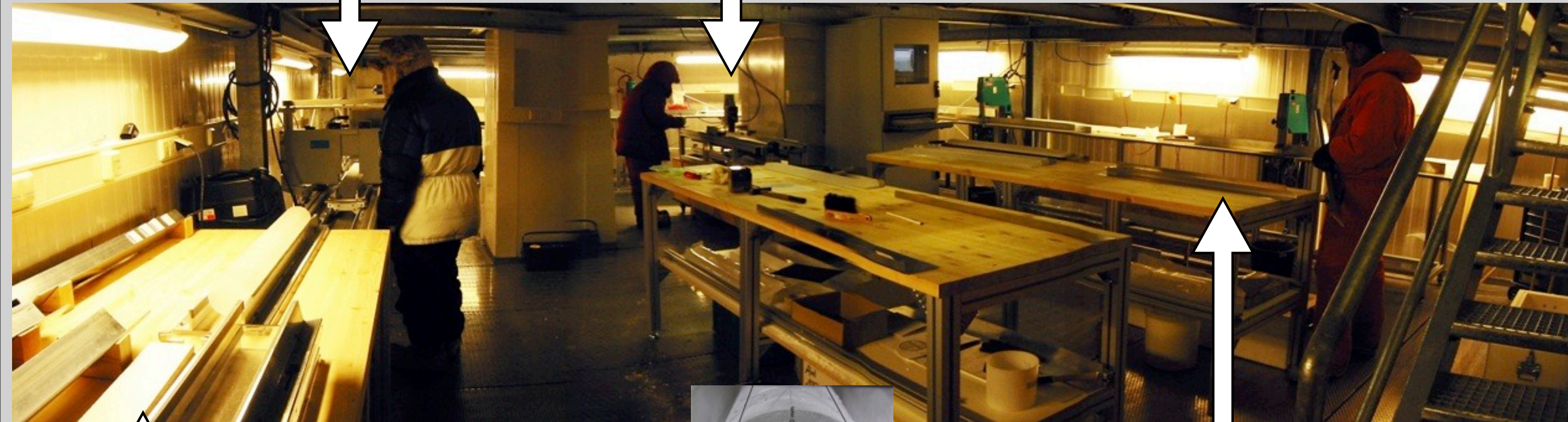
Auspacken des Kerns



Das Eislabor am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven

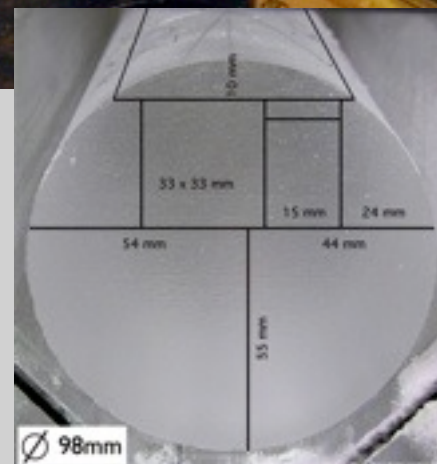
Horizontalsäge

Line-Scan



photos: hans oerter, 2002

Auspacken des Kerns



Vorbereitung für Line-Scan

Das Eislabor am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven

Horizontalsäge

Line-Scan



Auspac



foto: hans oerter, 2003



photos: hans oerter, 2002

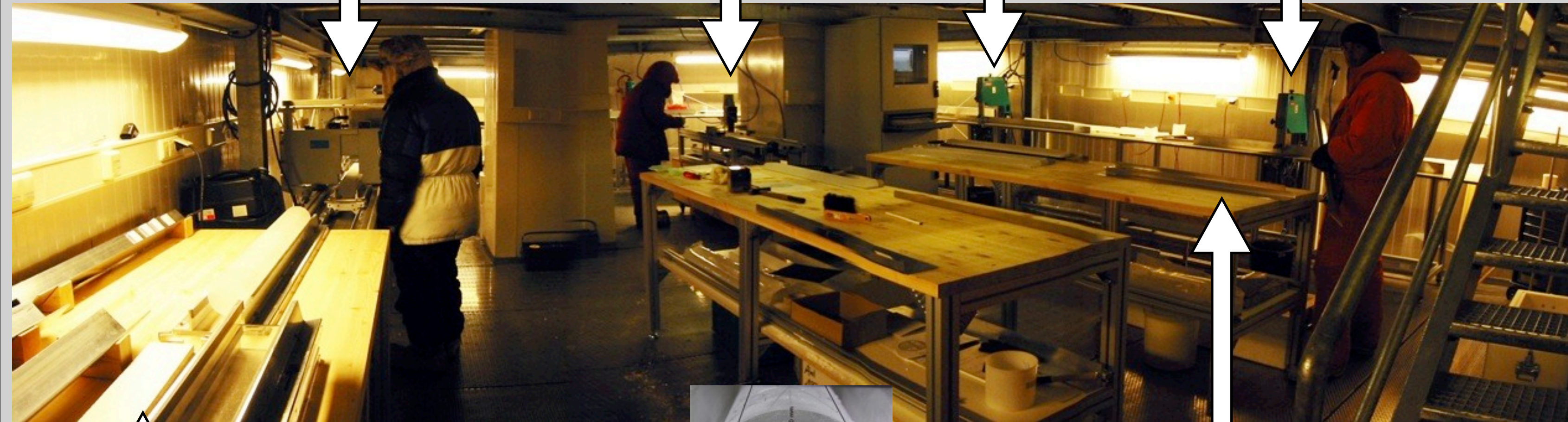
Vorbereitung für Line-Scan

Das Eislabor am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven

Horizontalsäge

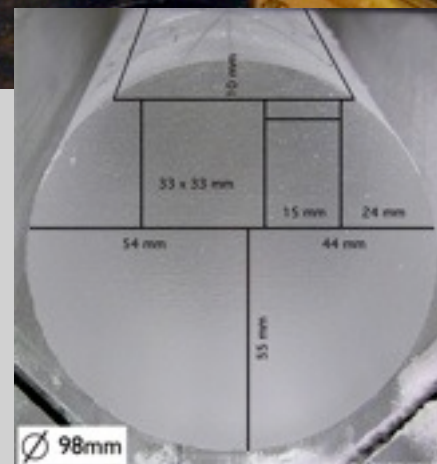
Line-Scan

Längs- und Querschnitte



photos: hans oerter, 2002

Auspacken des Kerns



Vorbereitung für Line-Scan

Das Eislabor am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven

Horizontalsägen



foto: hans oerter, 2003

Längs- und Querschnitte



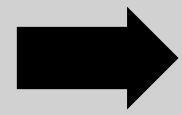
photos: hans oerter, 2002

Auspacken des Ke



Vorbereitung für Line-Scan



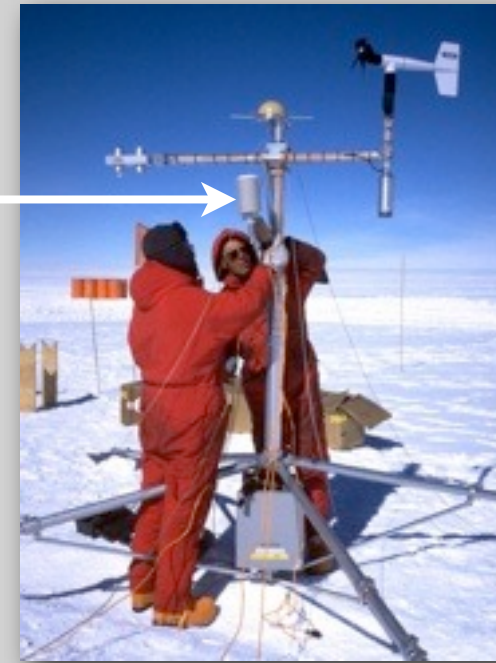
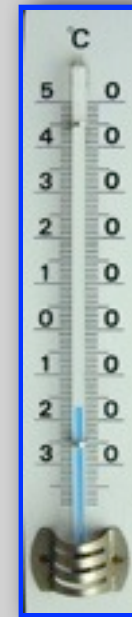


Welche Klimainformation
enthält ein Eisbohrkern ?

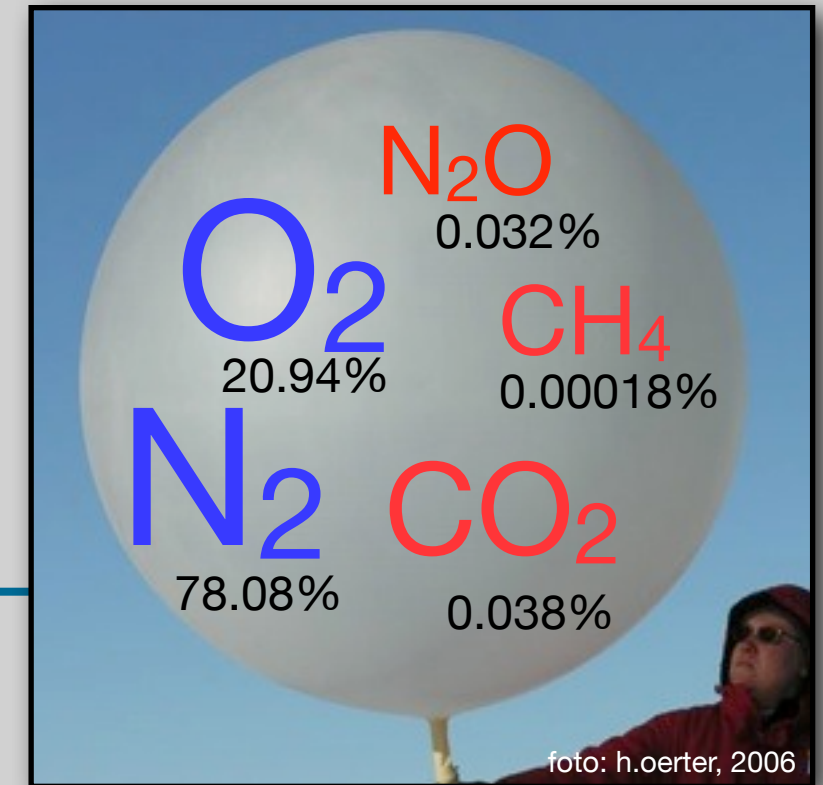
Das Klima-Archiv Eis speichert Informationen zu:

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

Lufttemperatur



Gasgehalt in der Atmosphäre



Aerosole



Willi Dansgaard (1922-2011)



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

Hans Oeschger (1927-1998)



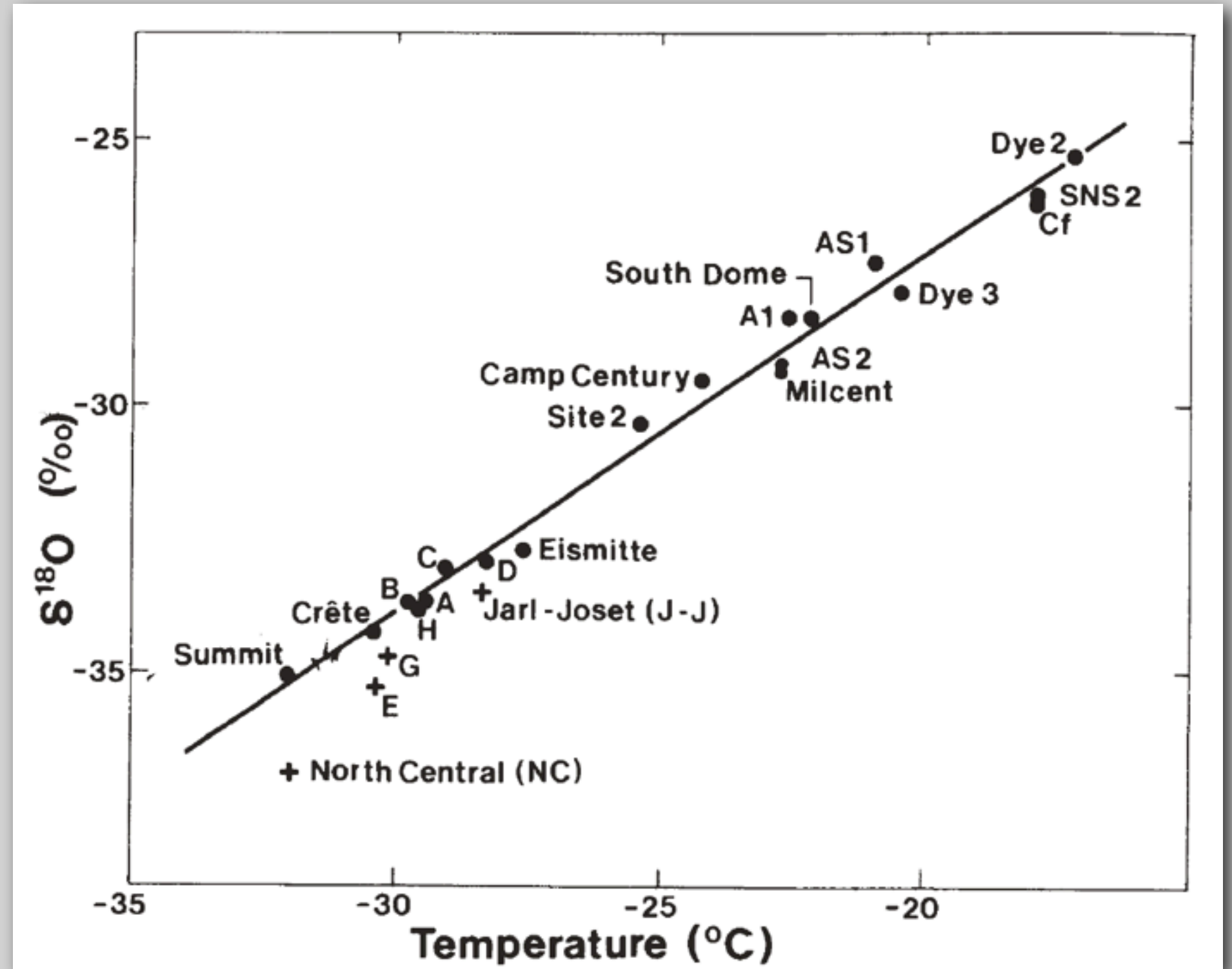
Fig. 7.6 *We were called The Three Musketeers. Chester Langway between Hans Oeschger and myself. Chet told a story well, here on how he let himself be lowered into the 80 m deep shaft to the water reservoir at Camp Century. The telephone connection to the crew at surface had broken down, and when he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

Das Isotopenthermometer

Mittlerer jährlicher δ -Wert von Schnee aufgetragen gegen die Temperatur an E.G.I.G.- und anderen Stationen auf Grönland, die später beprobt wurden.



© Niels Bohr Institute, Copenhagen, 2005

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

Meteoric Water Line

V-SMOW:

Vienna Standard
Mean Ocean
Water

IAEA-Standards:

V-SMOW2:

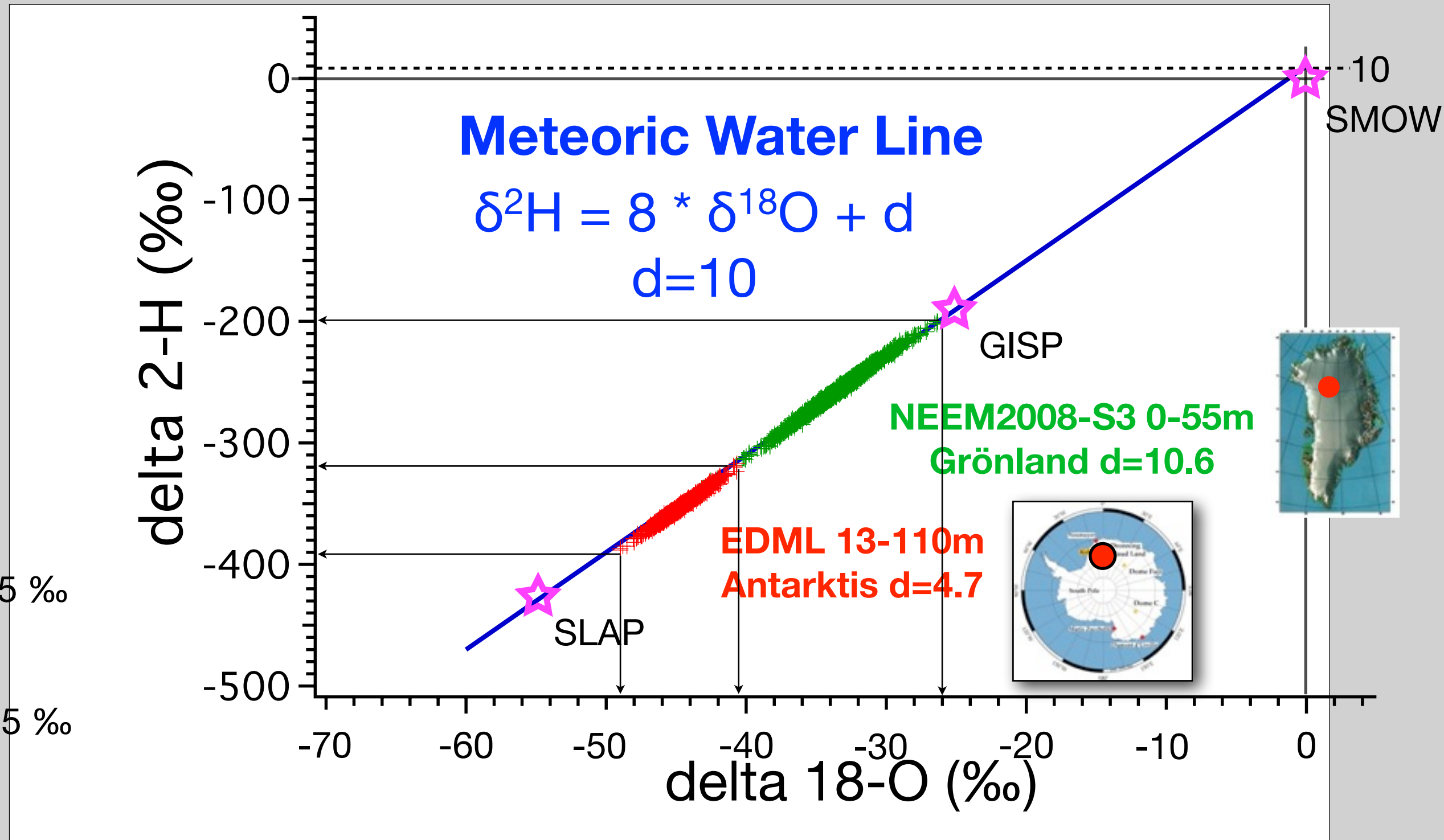
$\delta^{18}\text{O} = 0 \text{ ‰}$, $\delta^2\text{H} = 0 \text{ ‰}$

V-GISP:

$\delta^{18}\text{O} = -24.76 \text{ ‰}$, $\delta^2\text{H} = 189.5 \text{ ‰}$

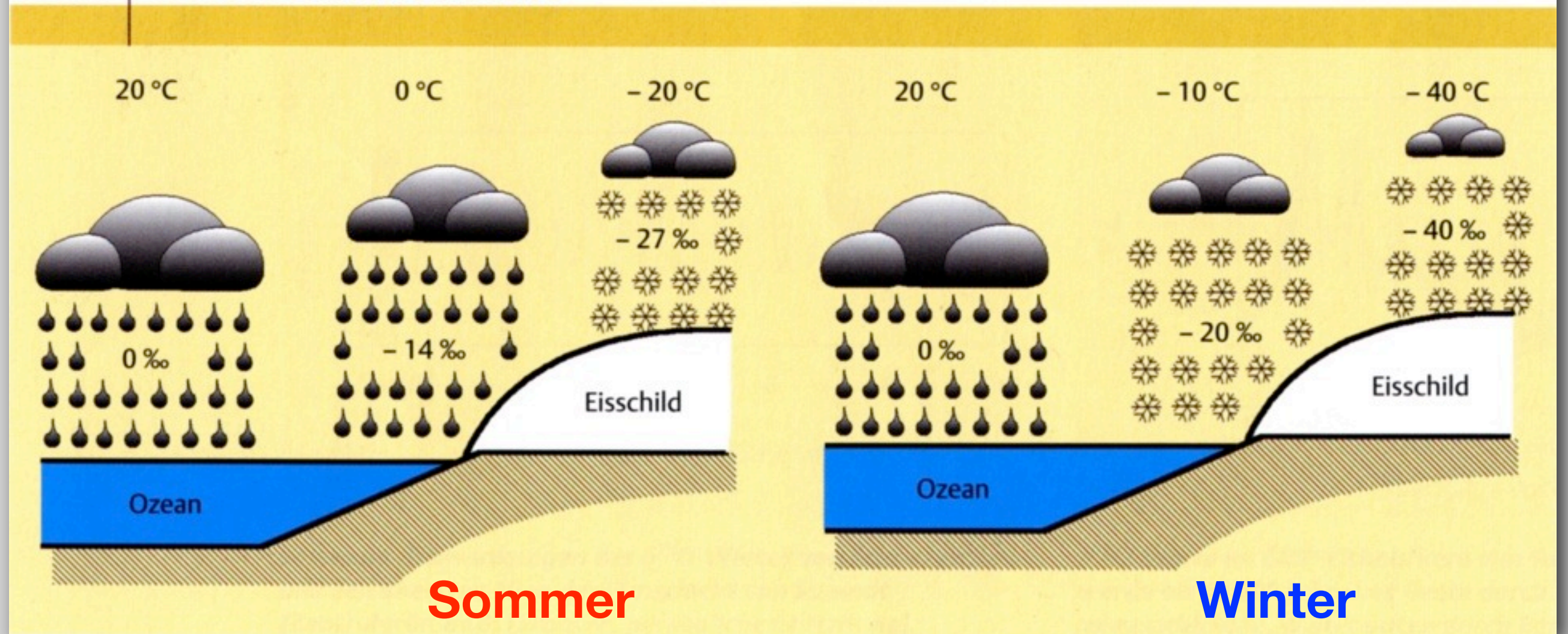
V-SLAP2:

$\delta^{18}\text{O} = -55.50 \text{ ‰}$, $\delta^2\text{H} = -427.5 \text{ ‰}$



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)

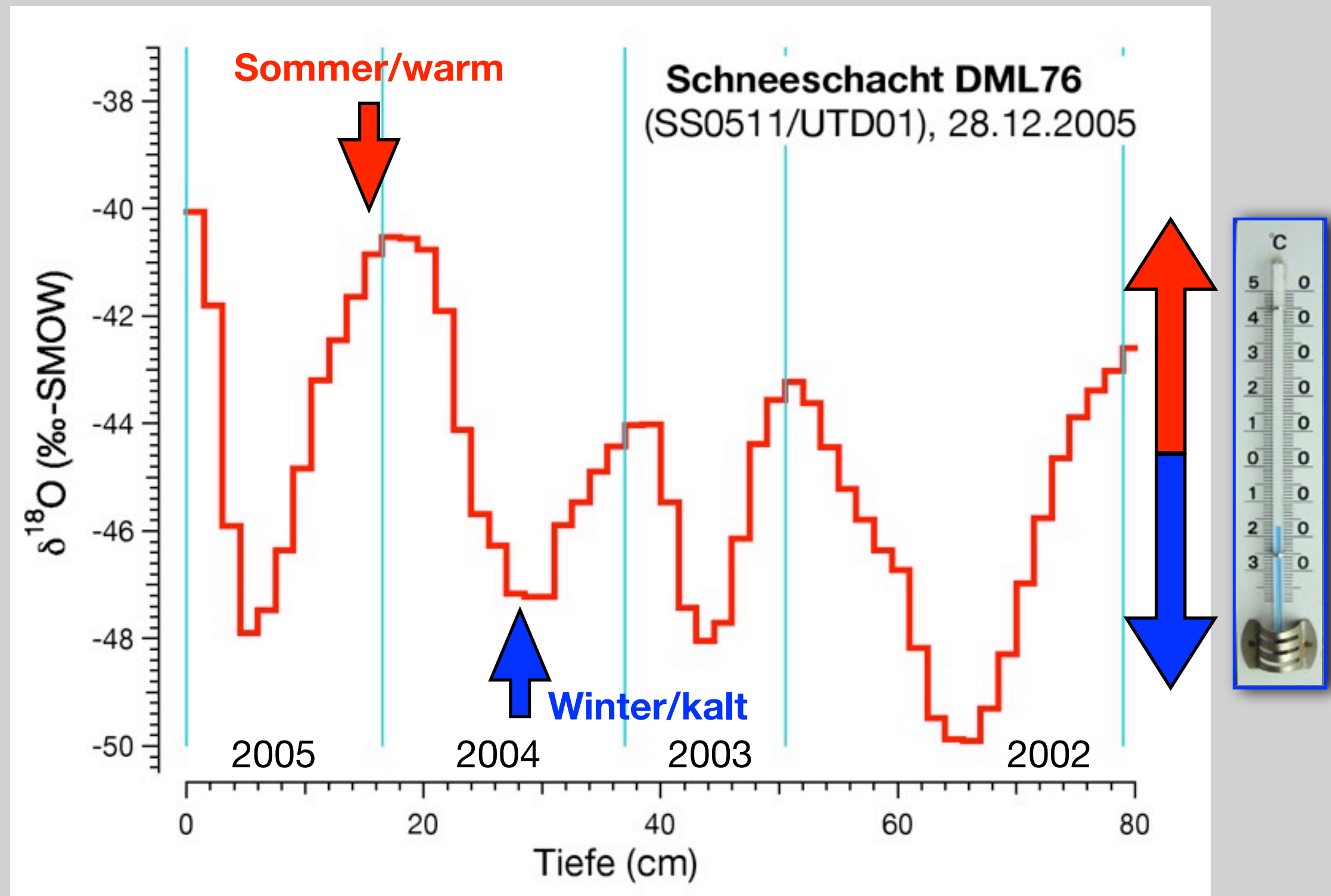
Sauerstoff:	^{16}O	^{17}O	^{18}O
	997 600 ppm	400 ppm	2 000 ppm
Wasserstoff:	^1H	^2H (Deuterium)	
	999 850 ppm	150 ppm	

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

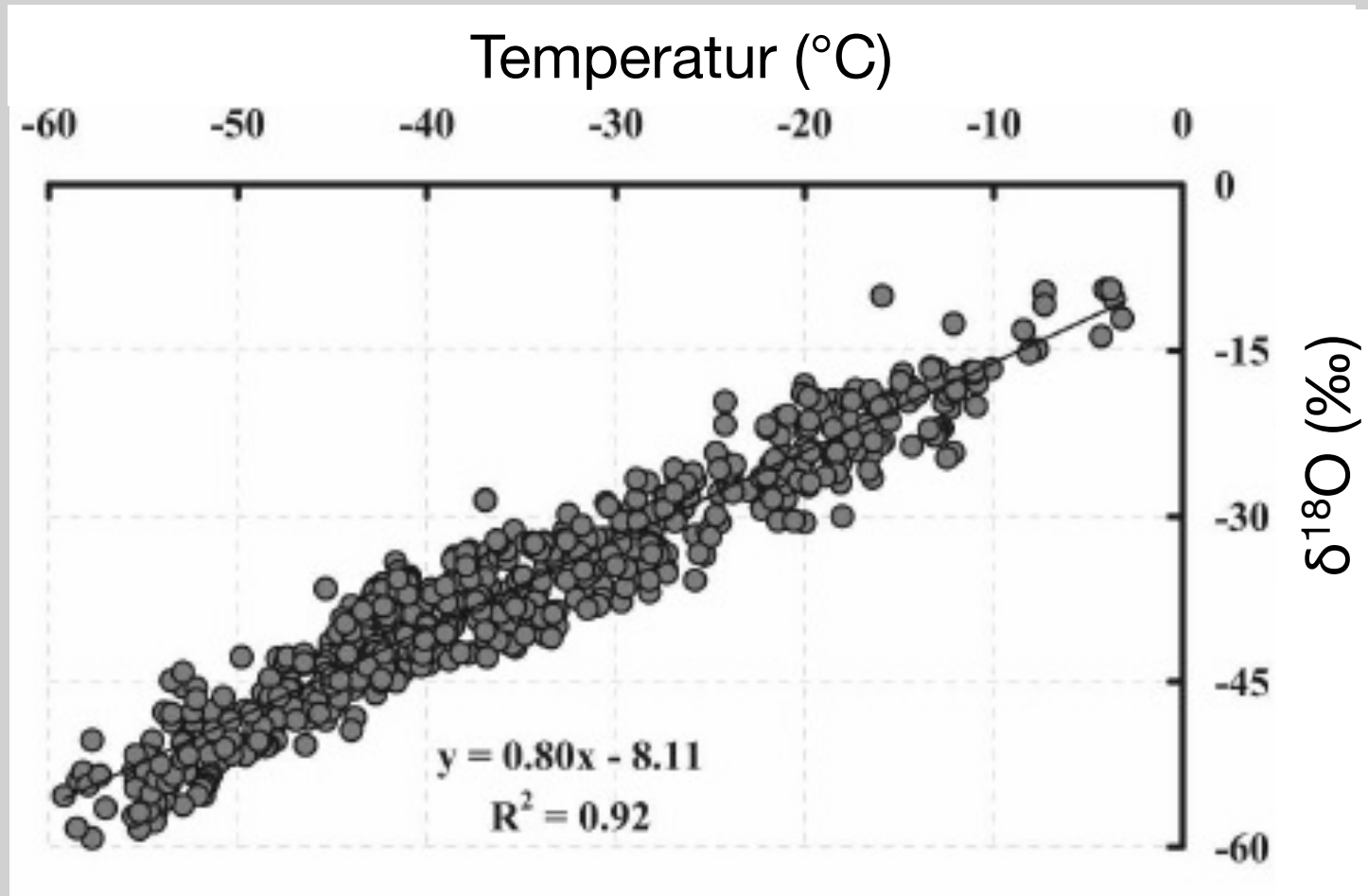
stabile Isotope zeigen saisonale Schwankungen, mit hohen Werten im Sommer und niedrigen Werten im Winter

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

„Isotopenthermometer“ muss kalibriert werden

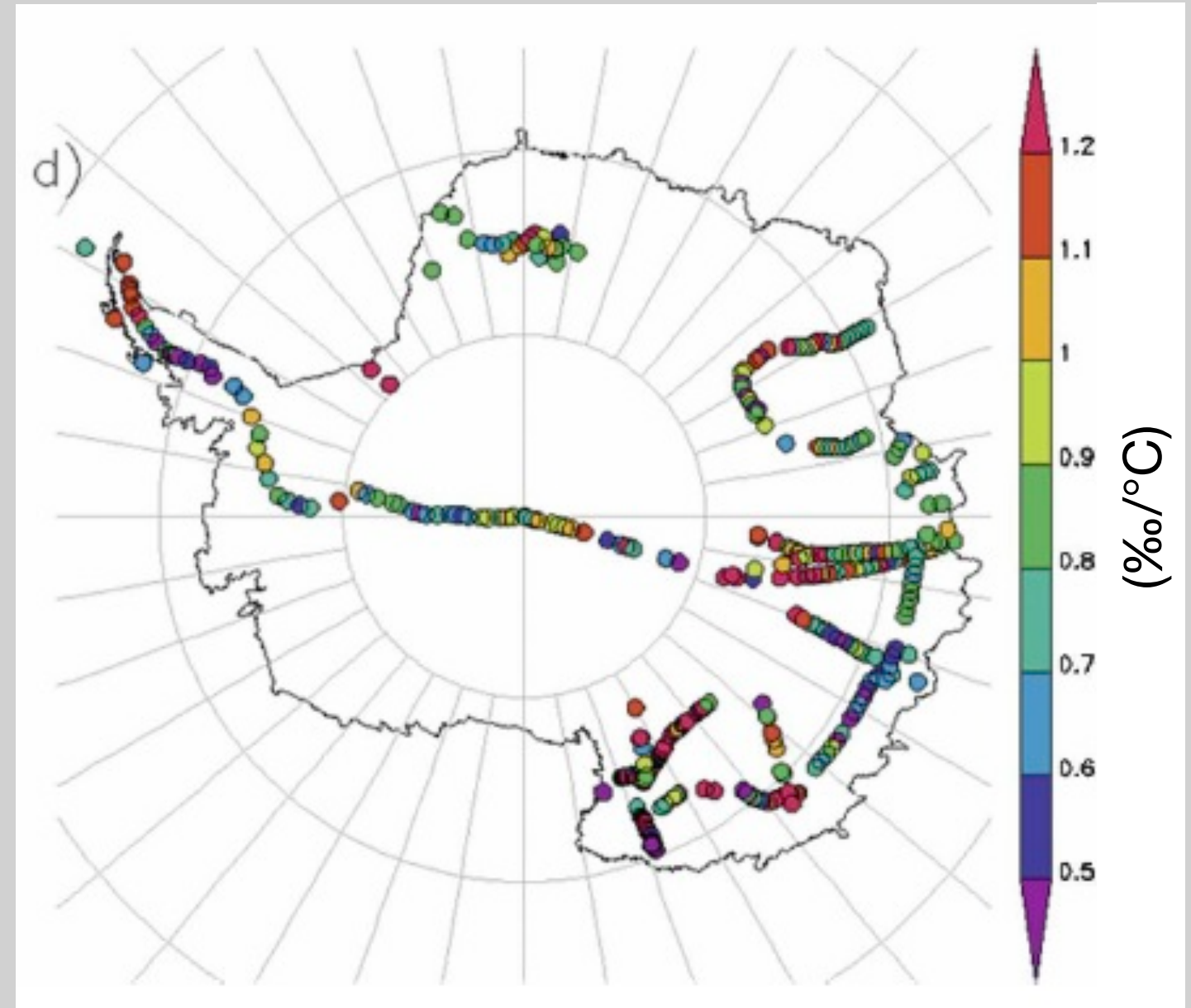


Kalibrierung Isotopenthermometer



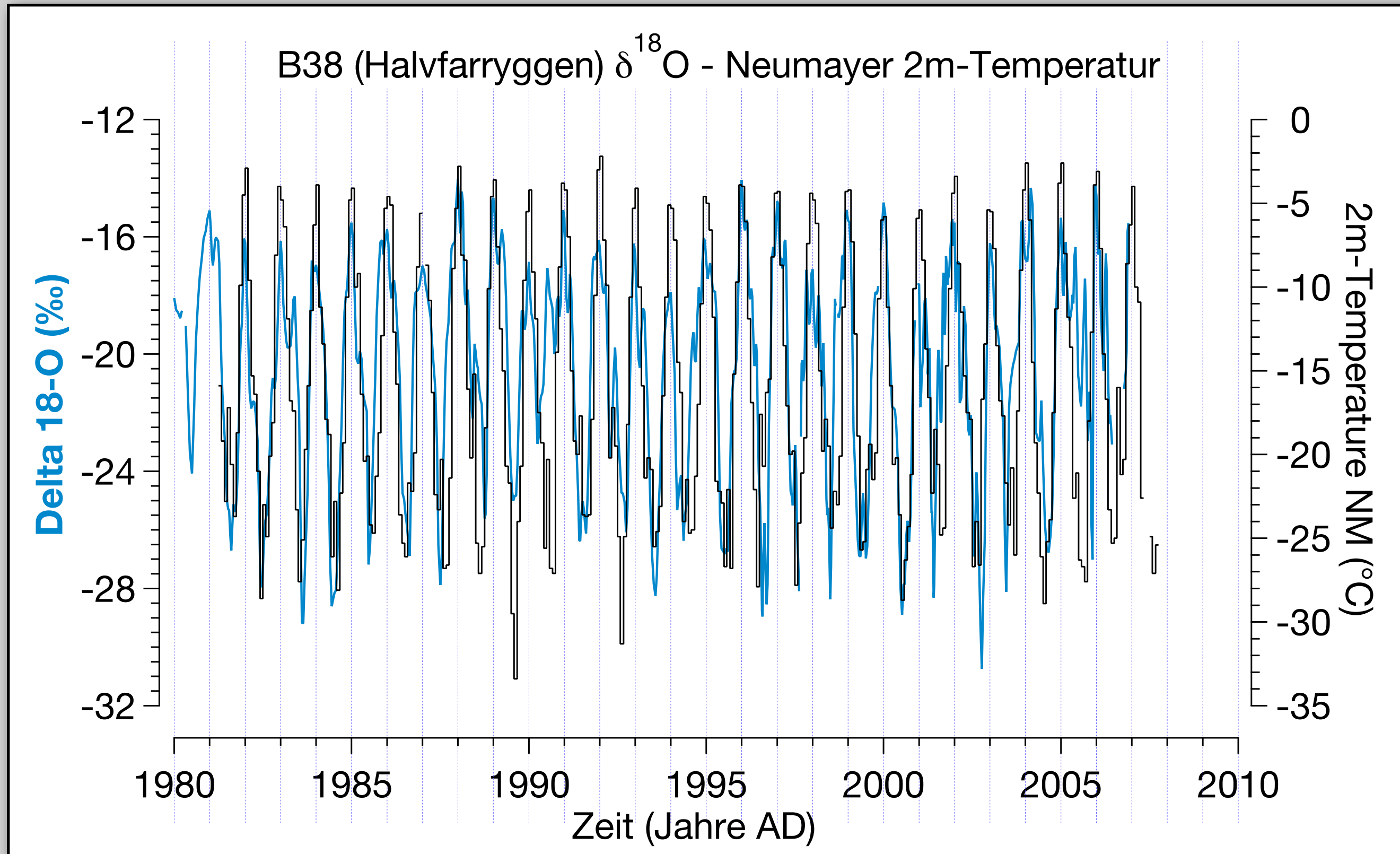
Masson-Delmotte, V. et al. (2008): A Review of Antarctic Surface Snow Isotopic Composition: Observations, Atmospheric Circulation, and Isotopic Modeling. *Journal of Climate* **21**, 3359-3387.

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



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

Datierung von Eiskernen: Jahresgänge

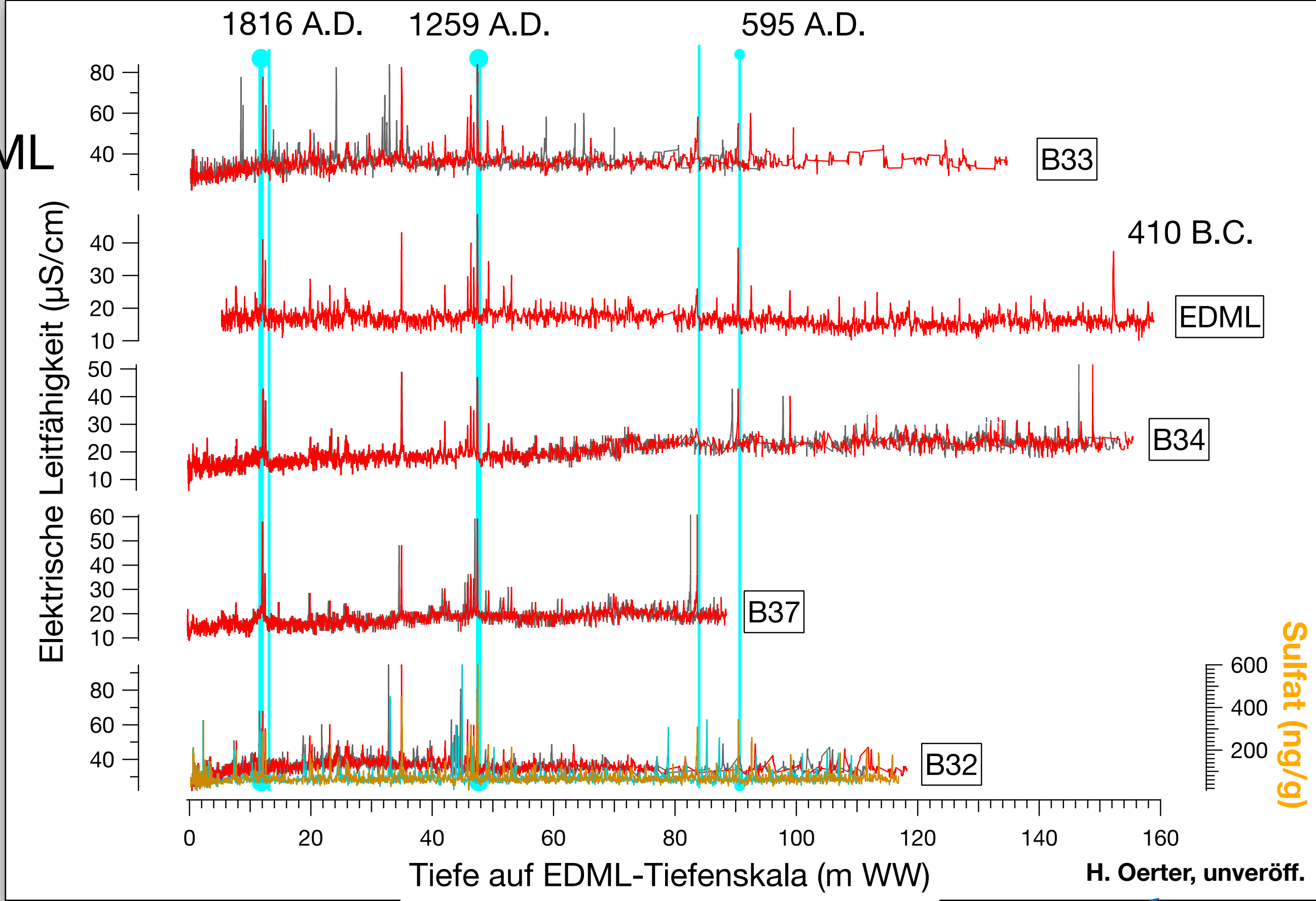


Fernandoy, F. et al.: Stable-isotope ratios and accumulation rates in East Antarctica. *Journal of Glaciology*, Vol. 56, No. 198, 673-687 (2010)

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)

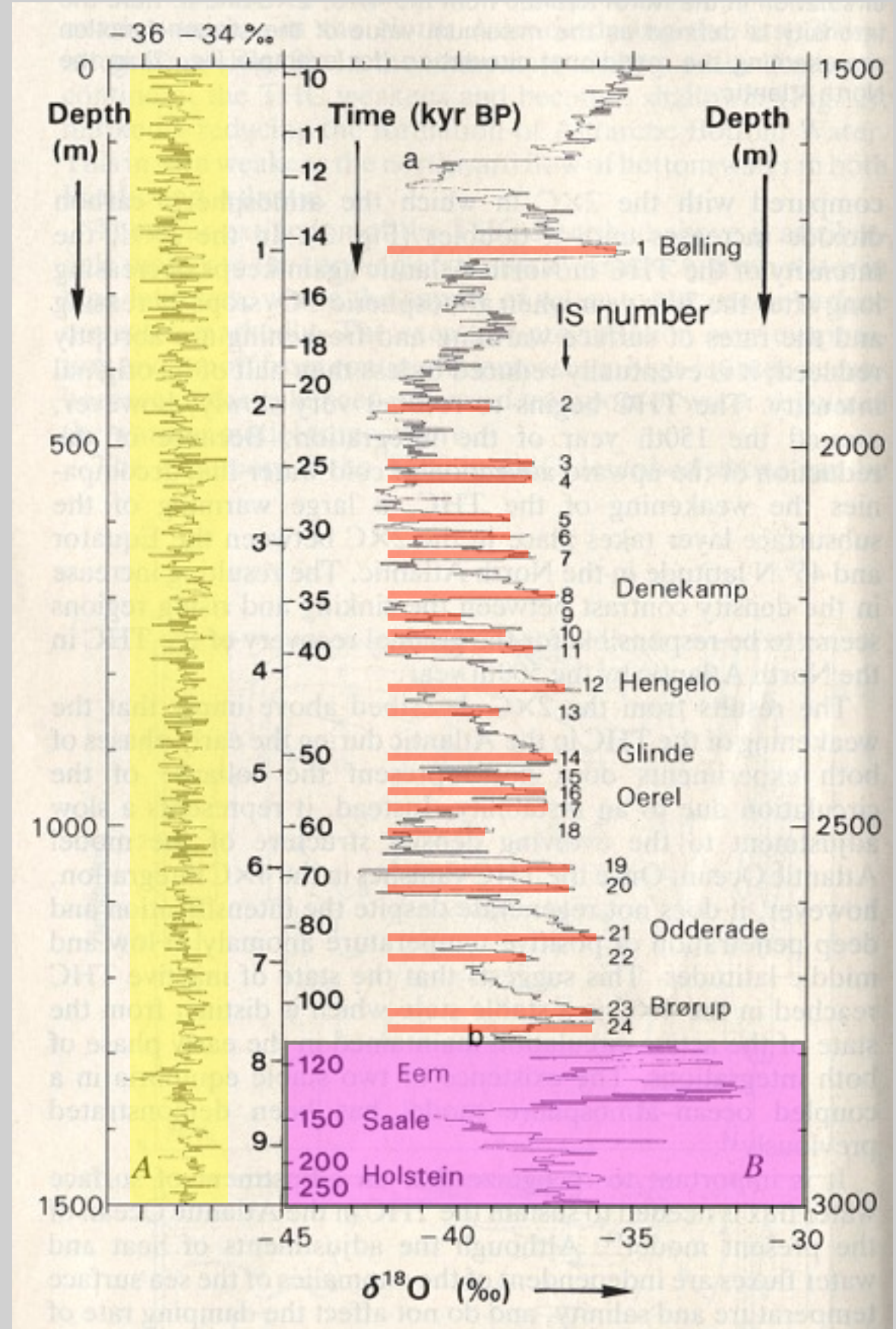
Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record

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-Ereignisse

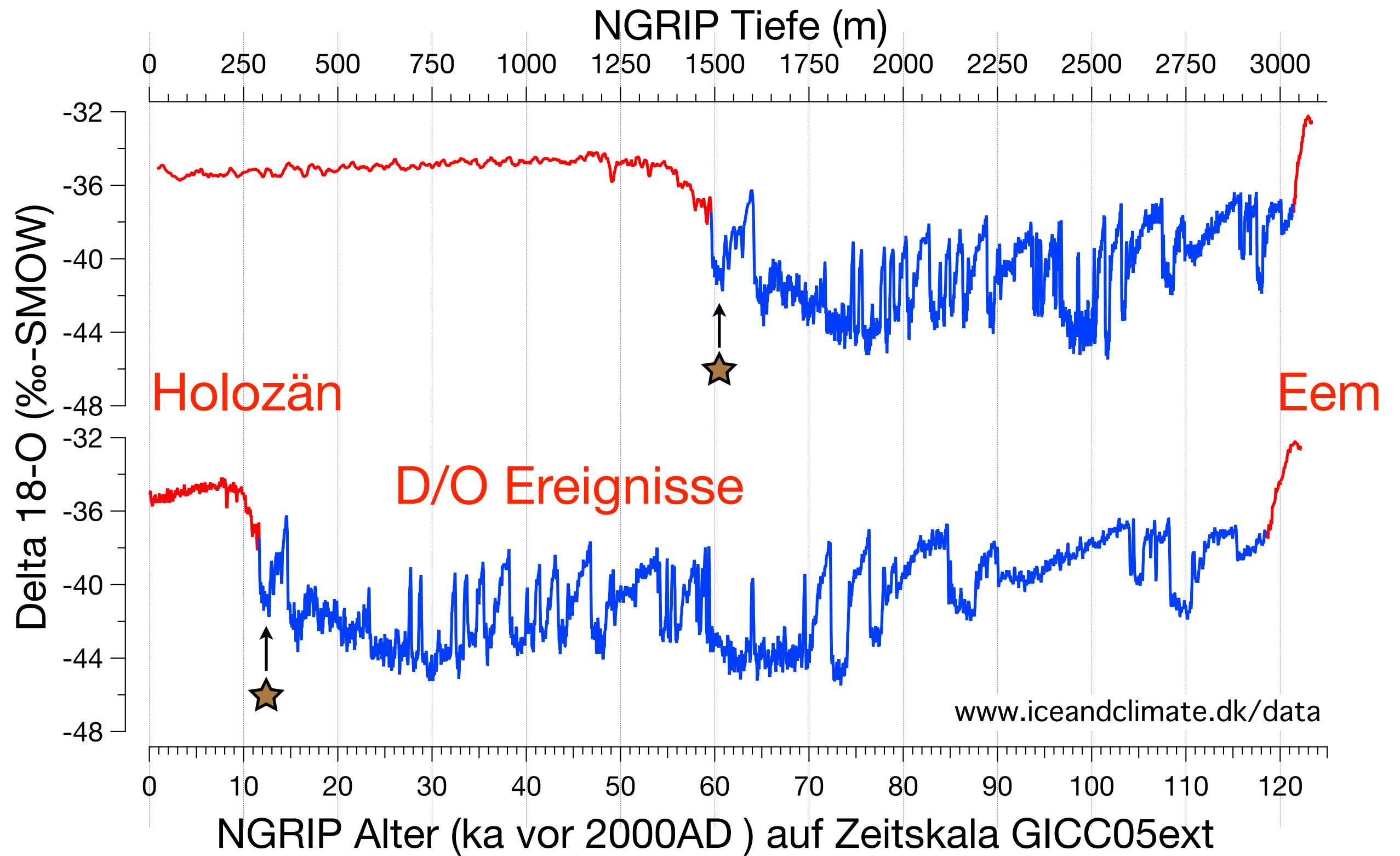


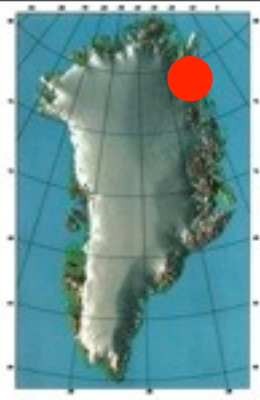
NorthGRIP

rot =
Interglazial
(Warmzeit)

blau =
Glazial
(Eiszeit)

★
Jüngere Dryas

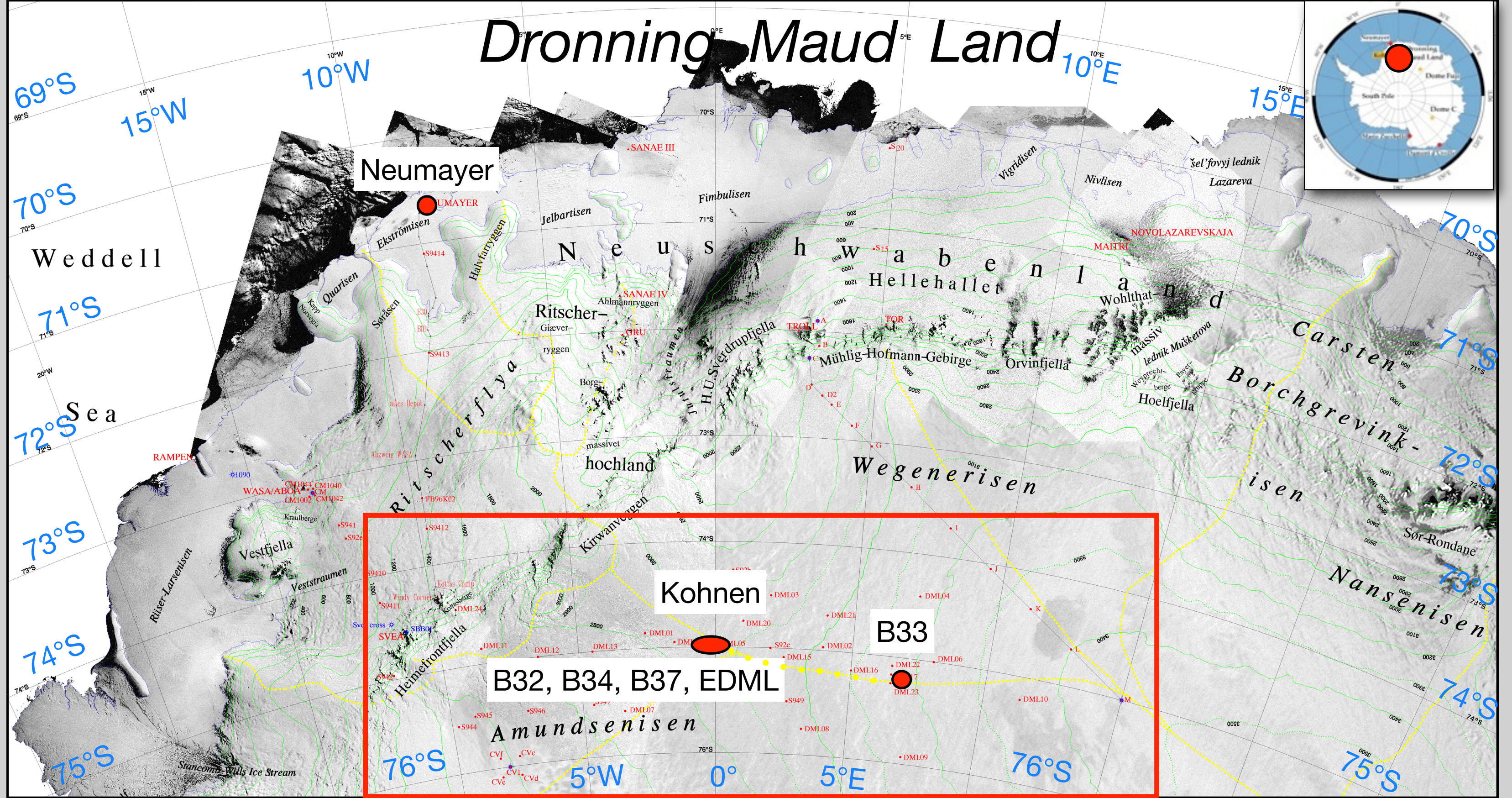
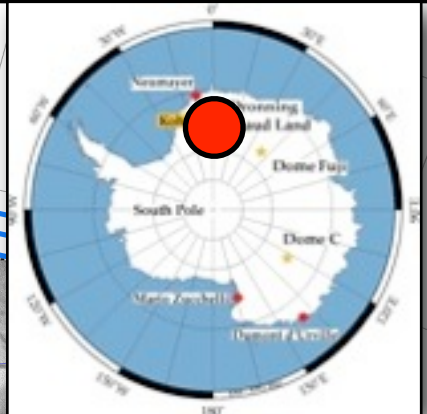




← Jüngere Dryas
Holozän (seit 11,7 ka BP)

Letztes Glazial (Eiszeit)

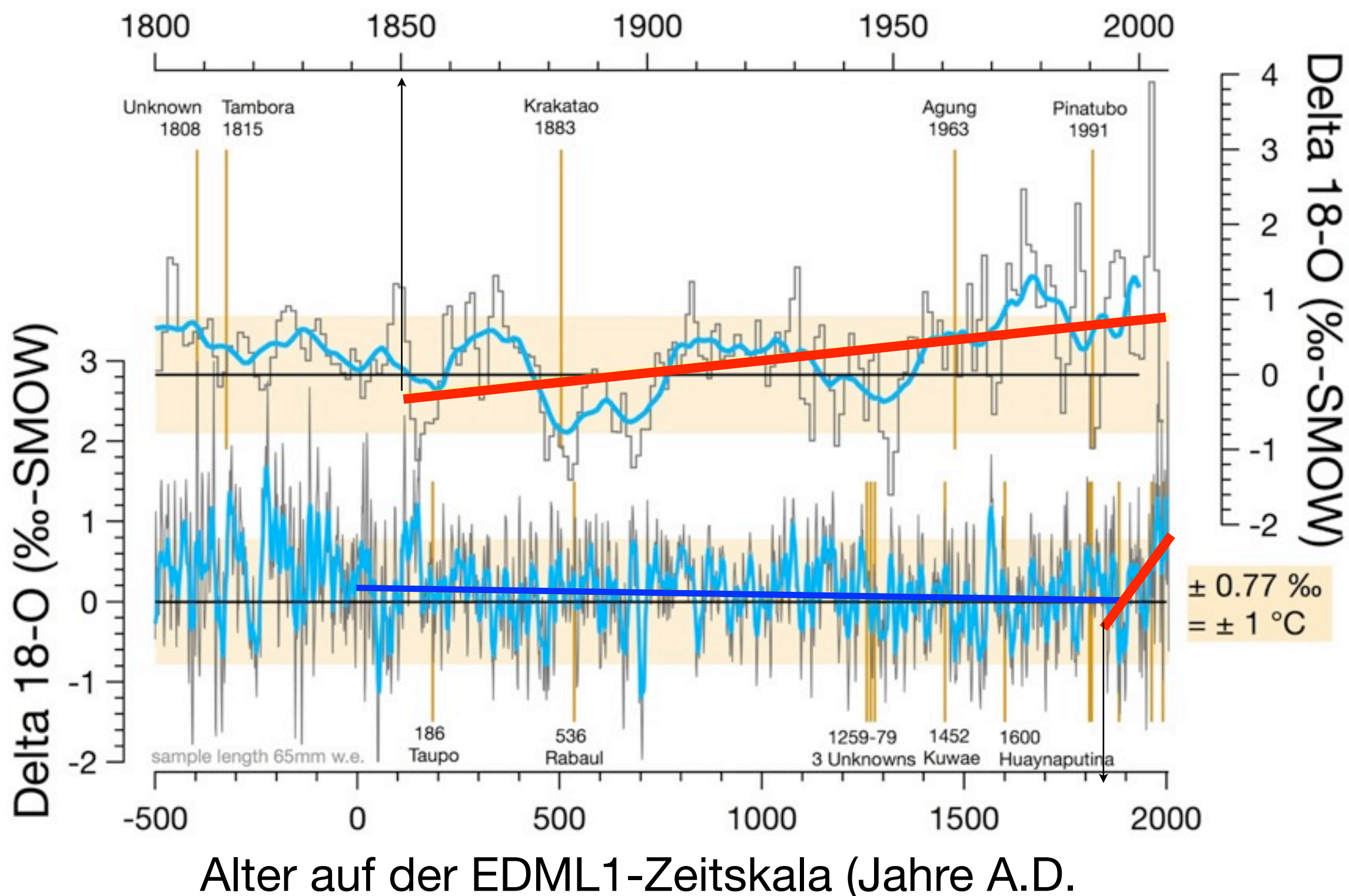
Dronning Maud Land



Satellite Image Map Dronning Maud Land 1:2000000, Draft Vers.4.2, BKG, Frankfurt am Main, Nov.1998 (detail)

Das Klima der letzten 2000 Jahre aus 5 Eiskernen

Abweichung vom Mittel 1259-1815 A.D.



10 - 60 ka BP

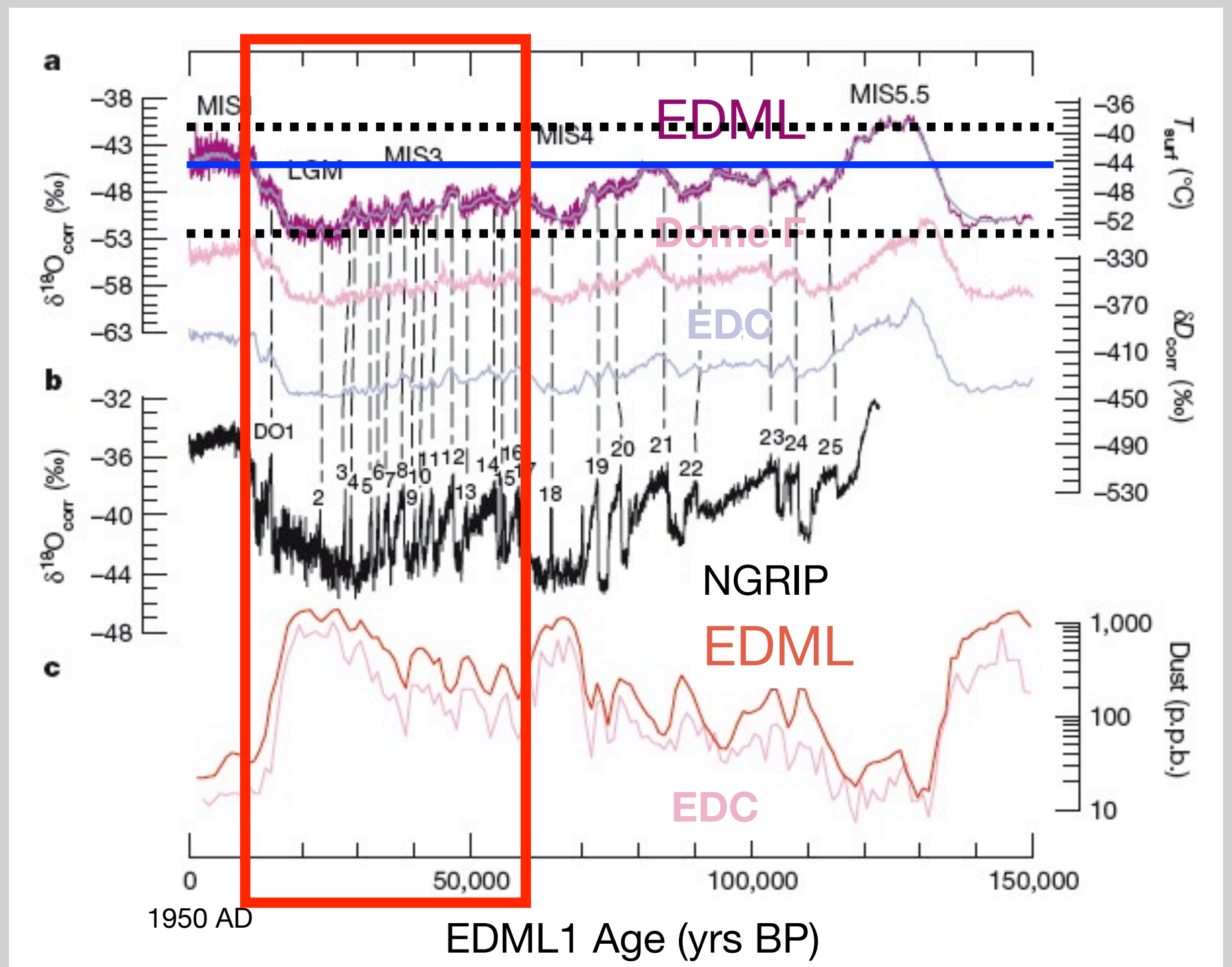
Hohe Co-Varianz zwischen den Antarktischen Eiskernen EDML, Dome F und EDC

$\delta^{18}\text{O}$ -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

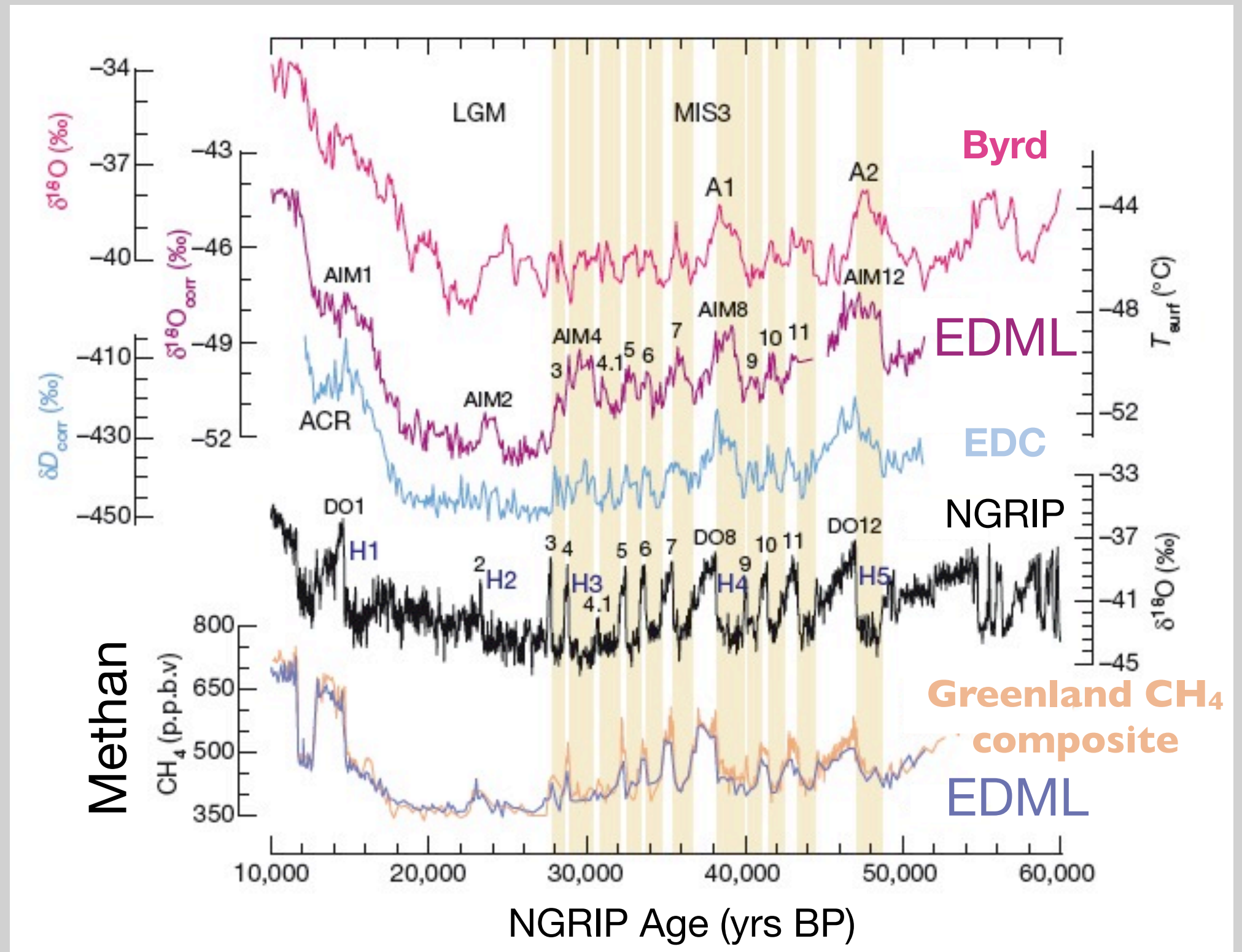
farbig gezeichnet sind
Kaltphasen im Norden

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

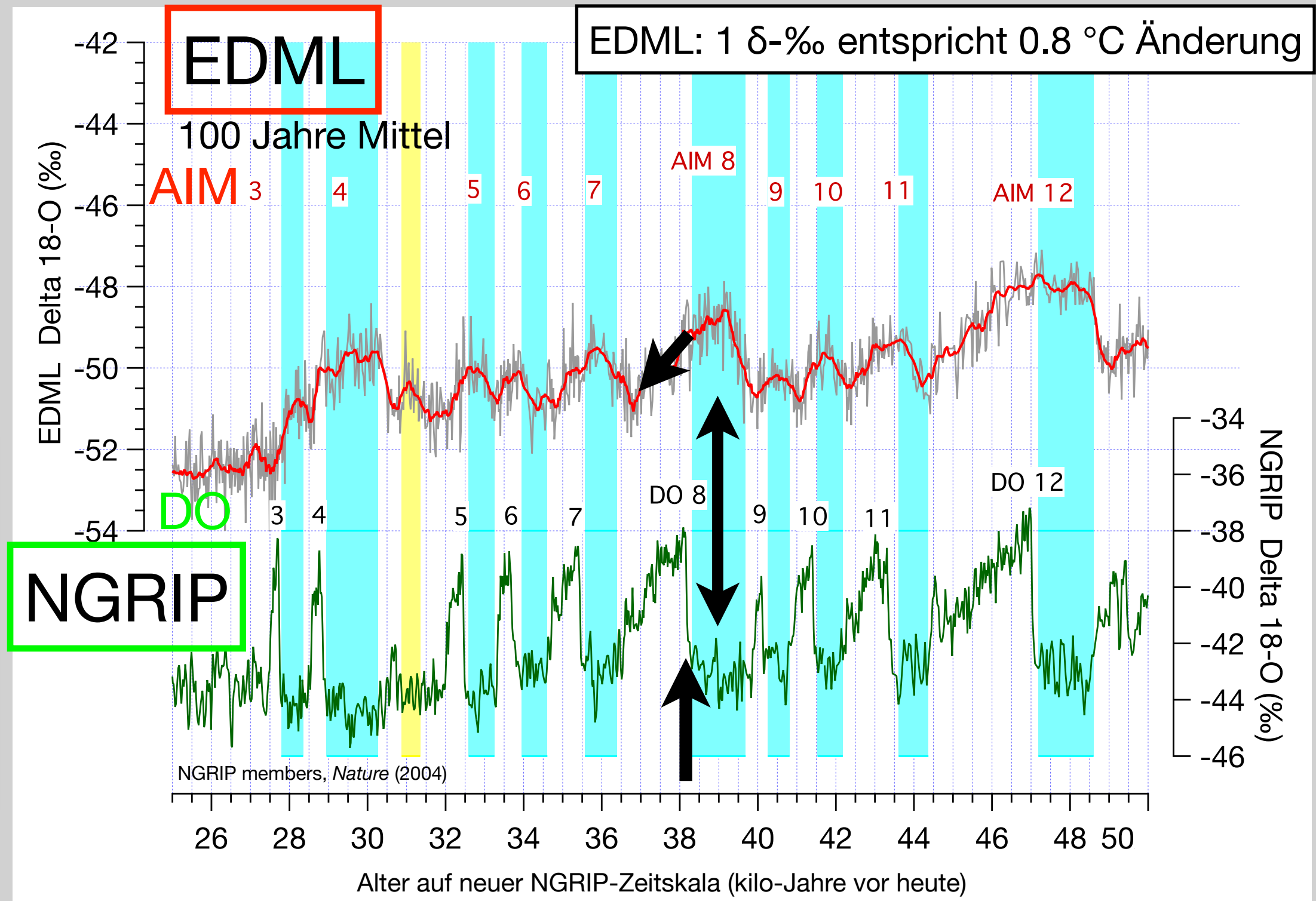


Quelle: EPICA Community Members: *Nature*, **444**, 195-198, (2006). data: [doi:10.1594/PANGAEA.552235](https://doi.org/10.1594/PANGAEA.552235)

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

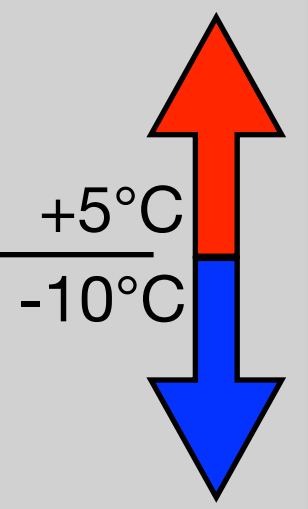
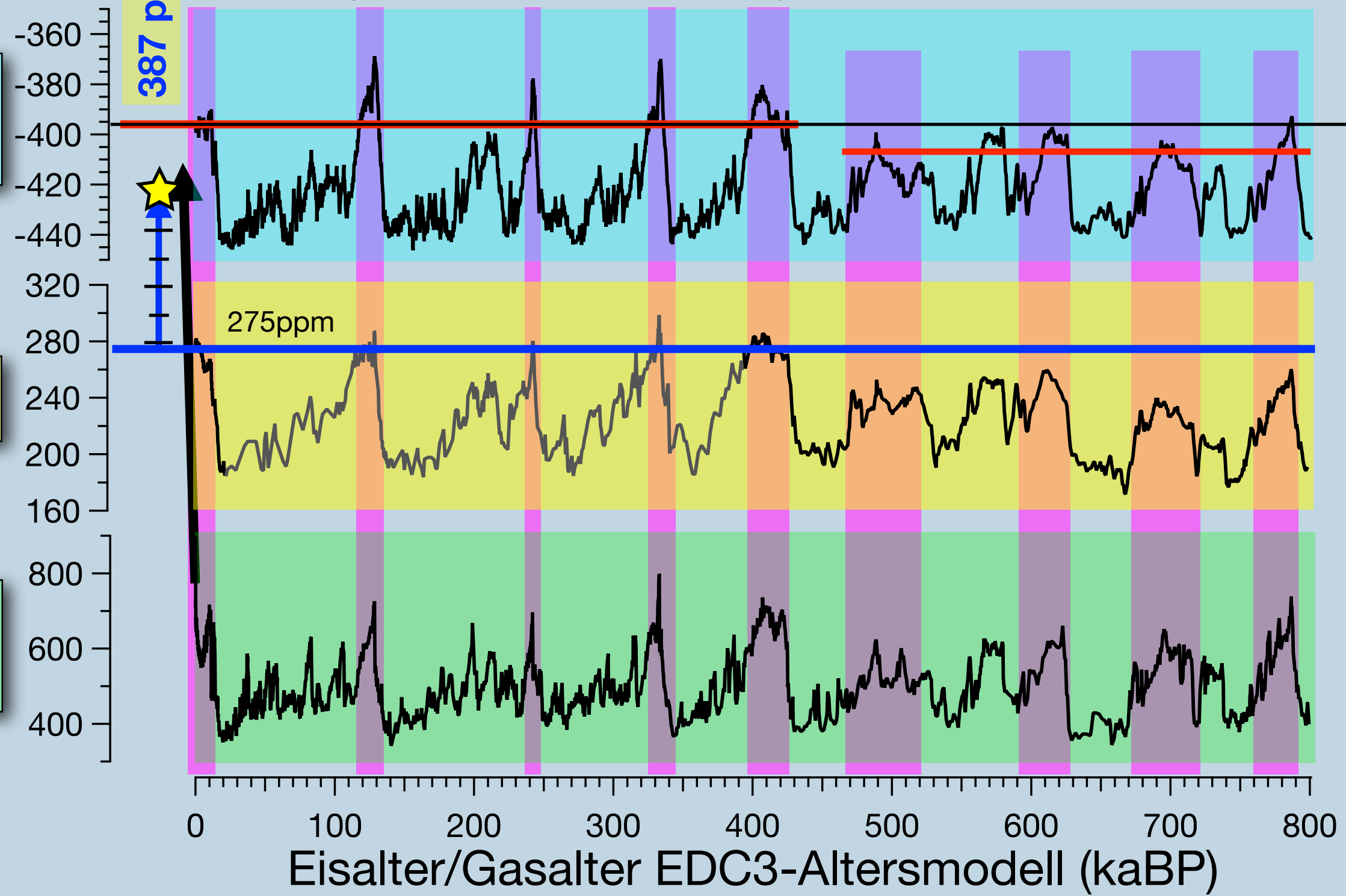
Klimadaten aus antarktischen Eiskernen

(EDC und Vostok)

Deuterium
(‰-SMOW)

CO₂ (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

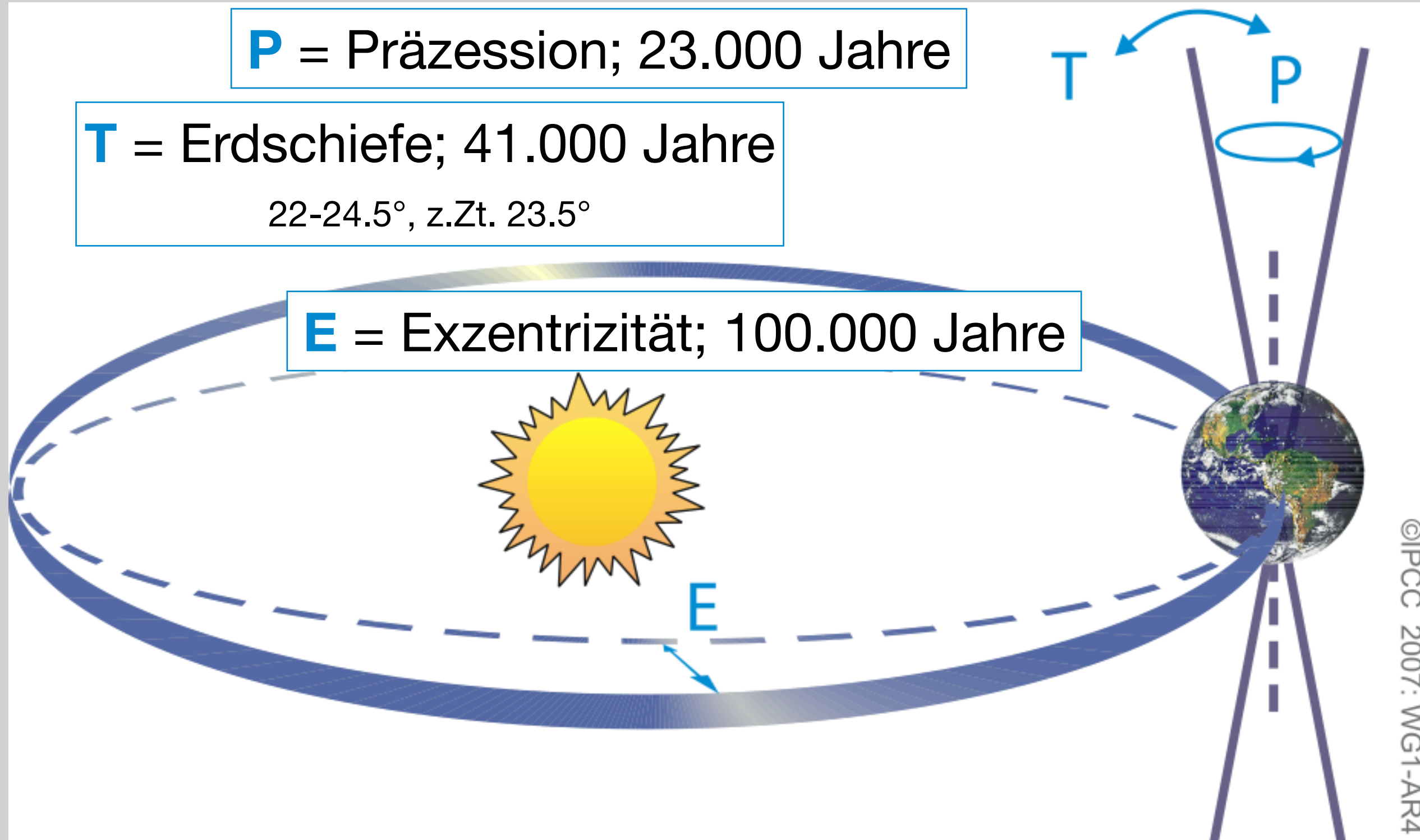
Erdumlaufbahn - Milankovitch-Zyklen

P = Präzession; 23.000 Jahre

T = Erdschiefe; 41.000 Jahre

22-24.5°, z.Zt. 23.5°

E = Exzentrizität; 100.000 Jahre



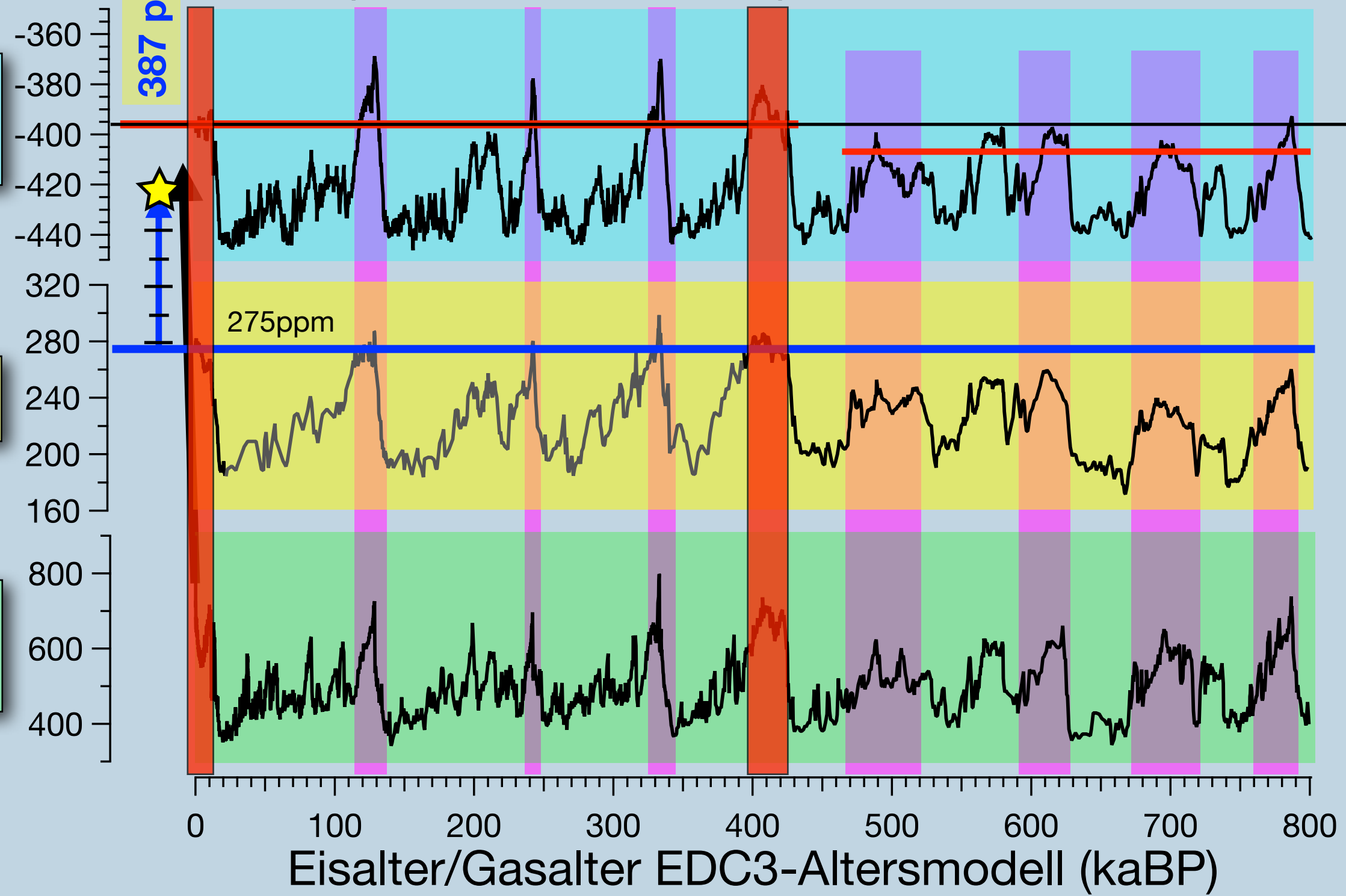
Klimadaten aus antarktischen Eiskernen

(EDC und Vostok)

Deuterium
(‰-SMOW)

CO₂ (ppmv)

Methan
(ppbv)



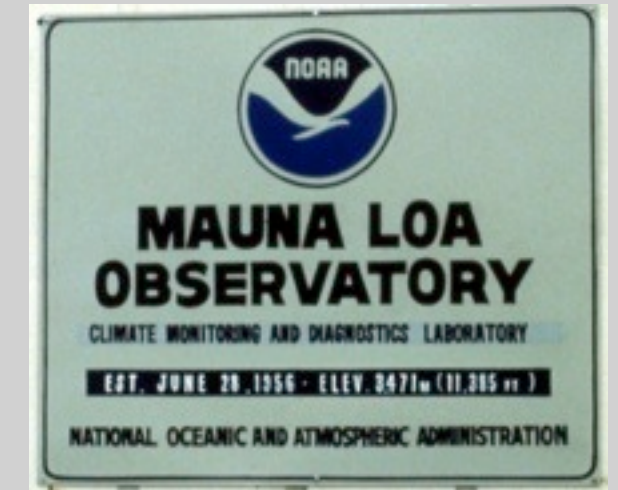
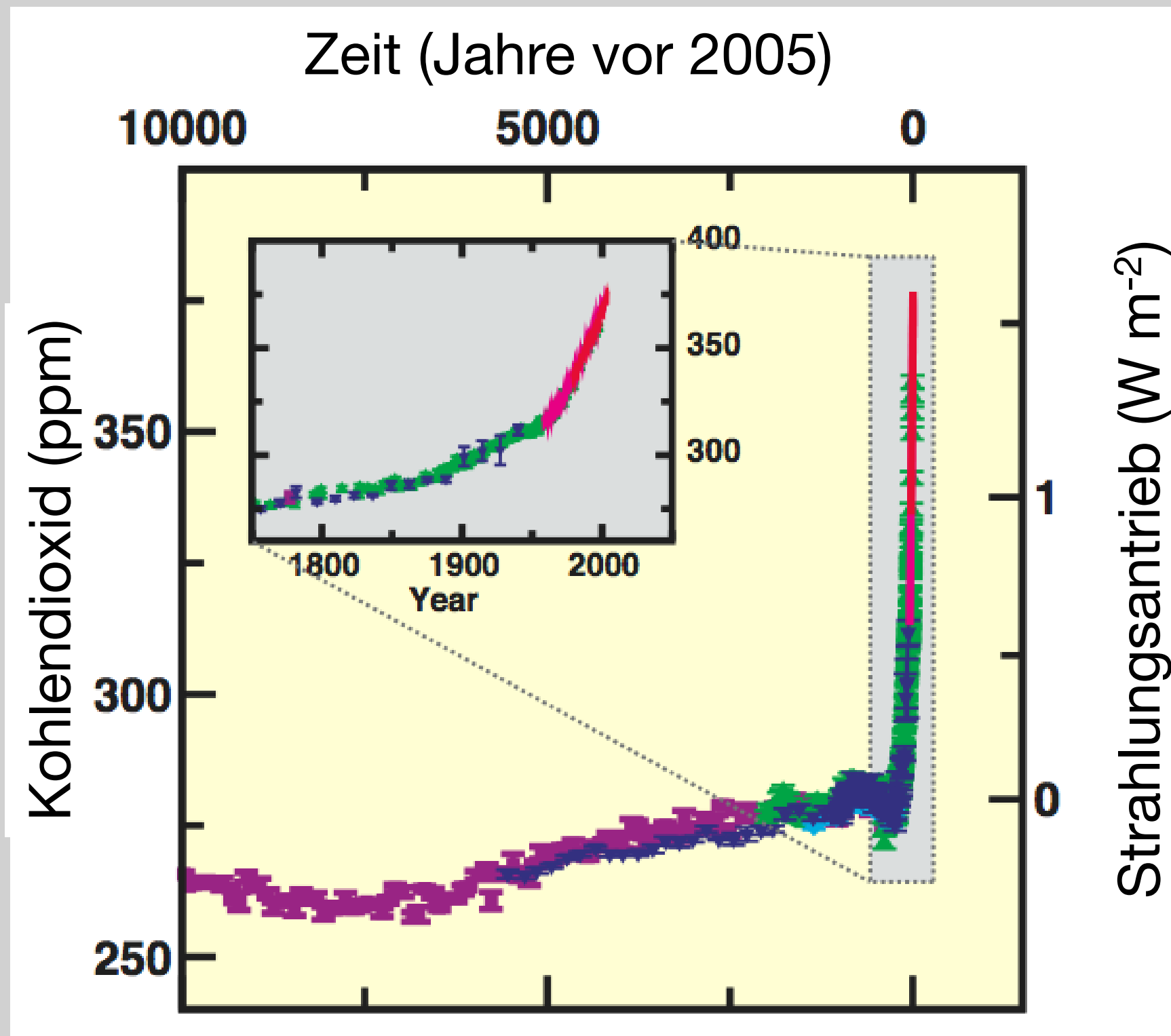
Quellen (NOAA/WDC Paleoclimatology):

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

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

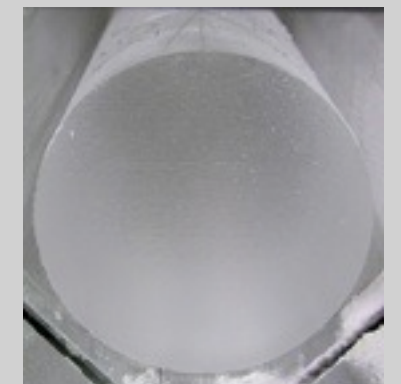
Loulerque, L. et al.
(2008): *Nature* 453,
383-386

Kohlendioxid-Gehalt der Atmosphäre



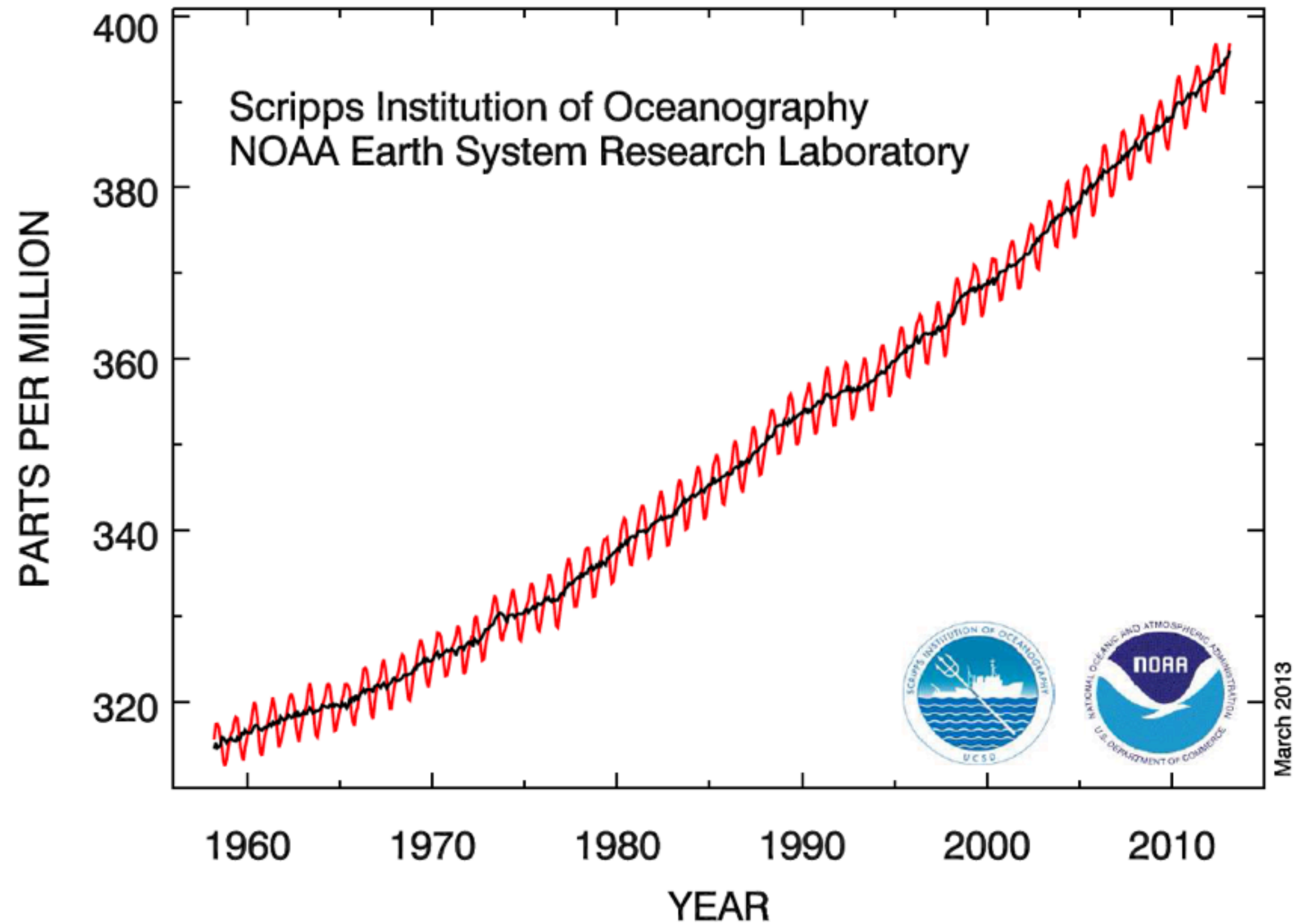
Messung an
Luftproben seit 1958

Messung an
Eisproben



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

Atmospheric CO₂ at Mauna Loa Observatory



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

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

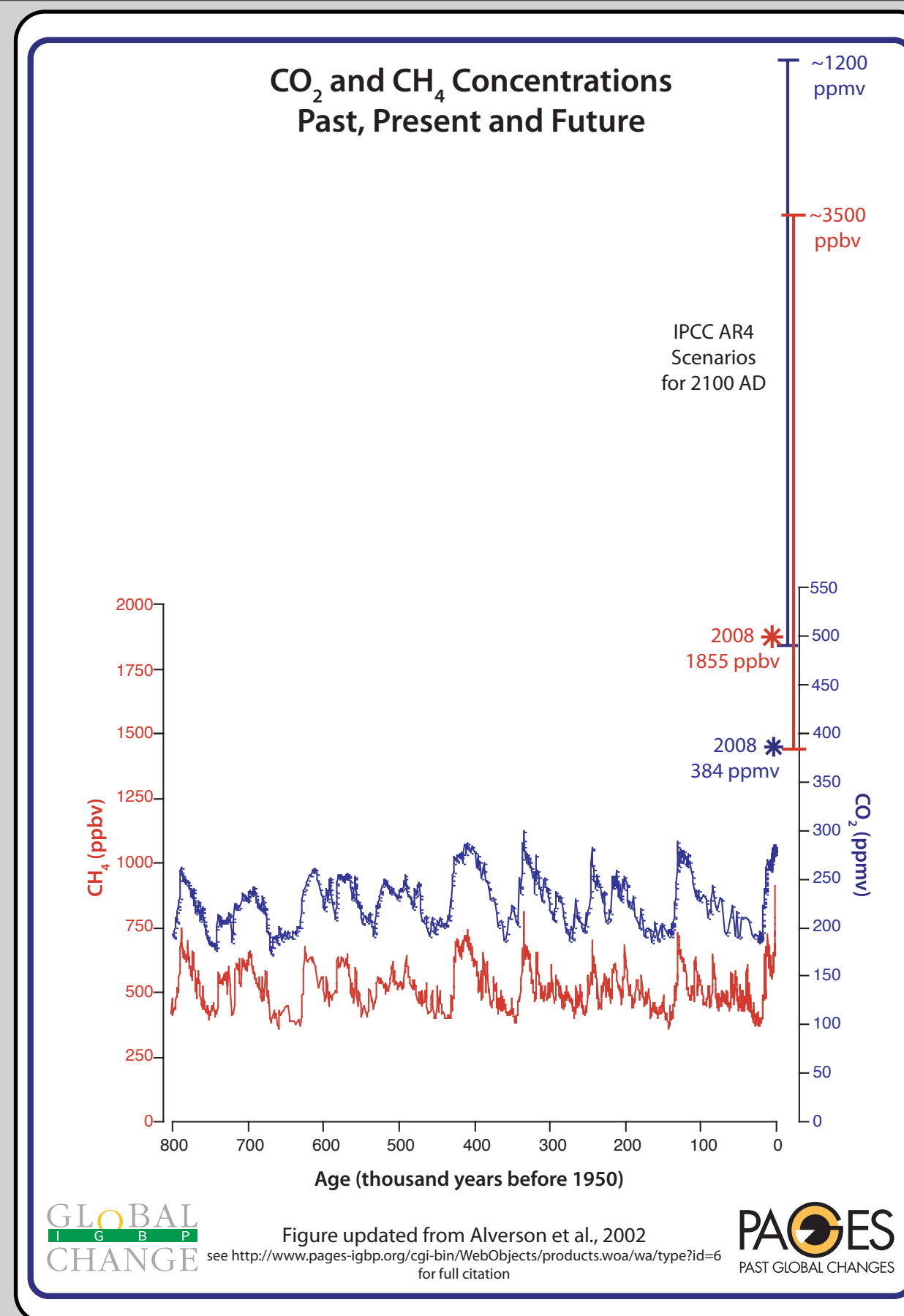
<http://www.awi.de/People/show.php?hoerter>

Carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) 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>



CO₂ 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

CH₄ data:

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

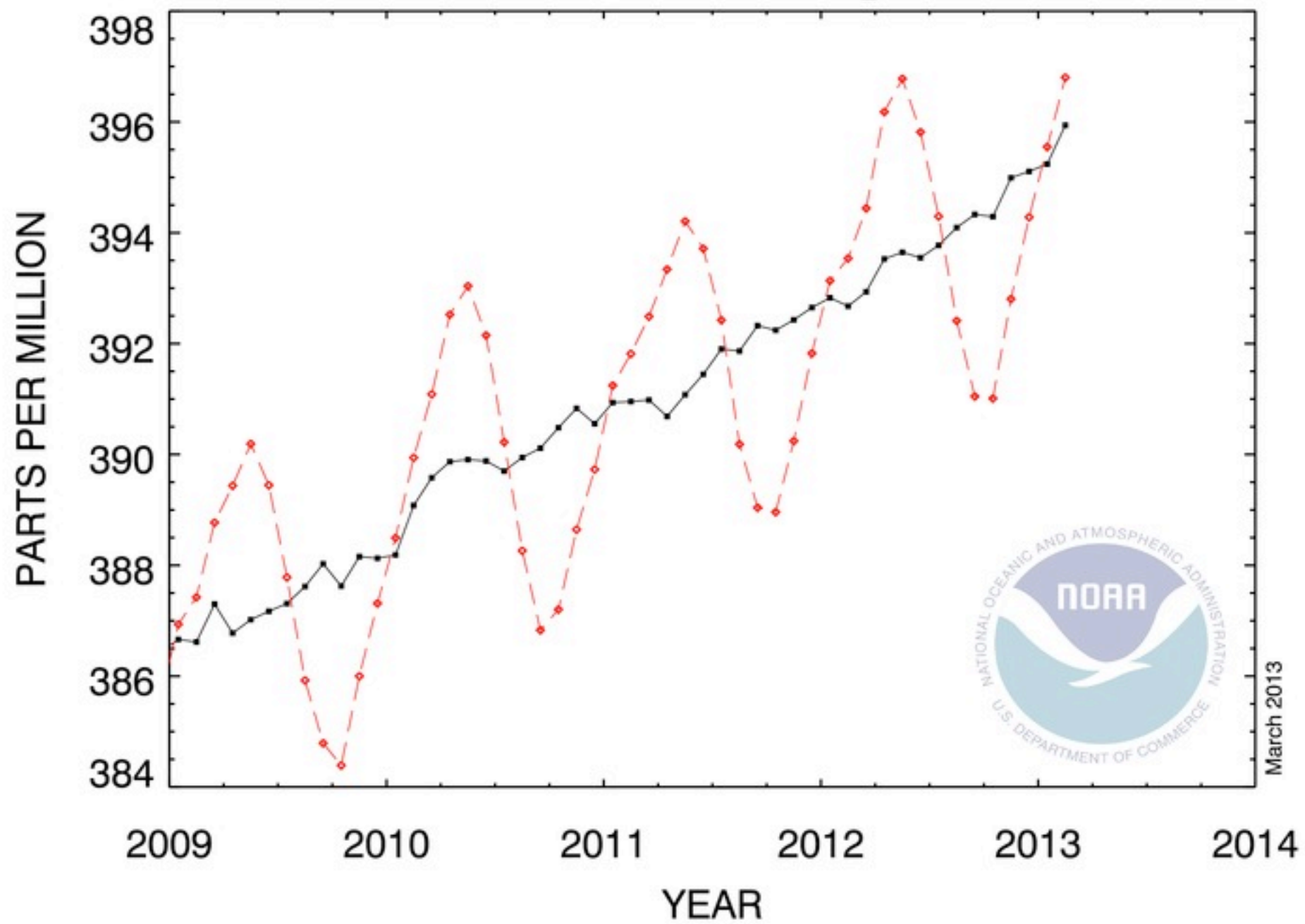
Current atmospheric concentrations:

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

CO₂: Pieter Tans NOAA/ESRL
www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends

CH₄: Advanced Global Atmospheric Gases Experiment (AGAGE)

RECENT MONTHLY MEAN CO₂ AT MAUNA LOA



<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>