

Dem Klima auf der Spur - Bohren im Eis der Antarktis

Dr.-Ing. Hans Oerter

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung,
Bremerhaven

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

Vier Vorbemerkungen zur Klimafrage:

Klima in der Presse - in unserem
Bewusstsein ?

Kohlendioxid in der Atmosphäre

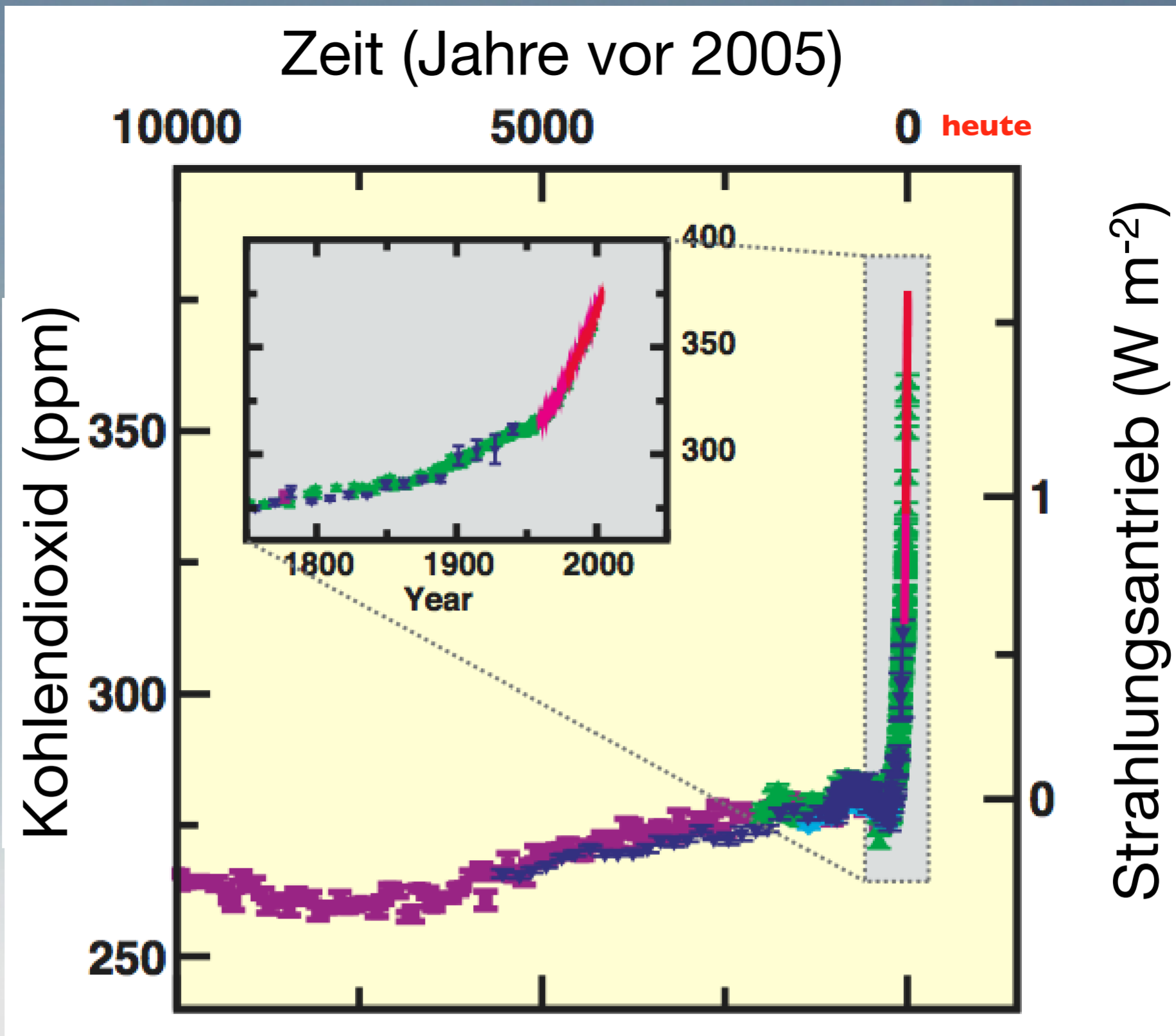
Lufttemperatur einst und jetzt

wachsende Weltbevölkerung

Ein Blick in die Presse



Kohlendioxid-Gehalt der Atmosphäre



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



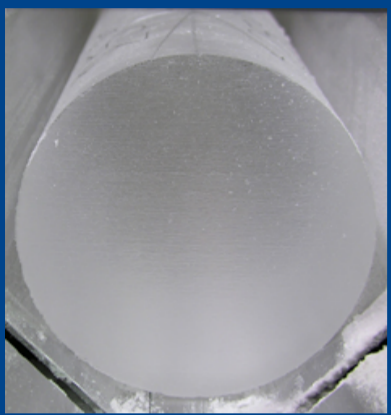
Burg zu Hagen im Bremischen e.V., Hagen, 28. April 2009



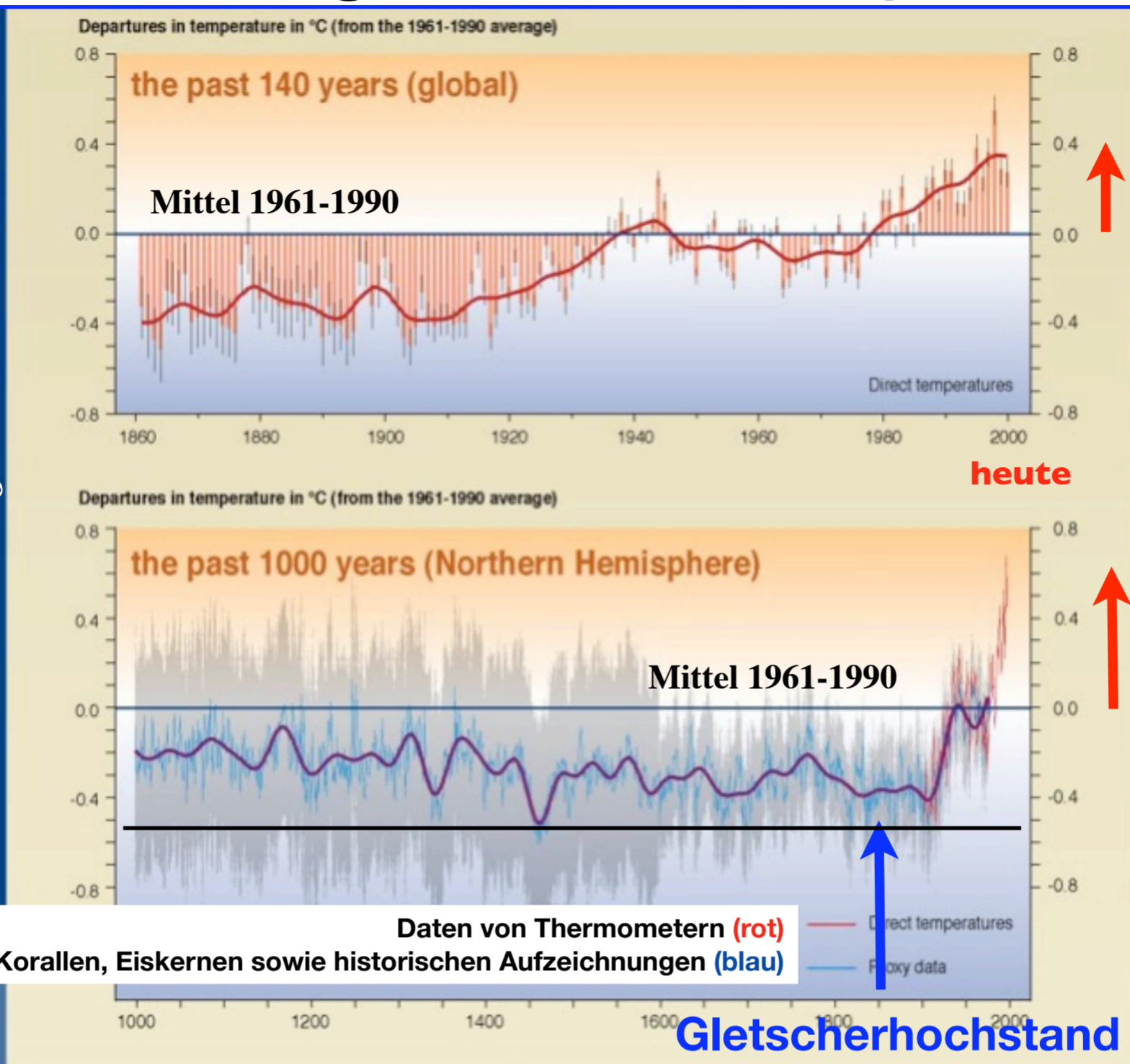
Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre. Eine Zusammenstellung der Entwicklung des Kohlendioxidgehalts in der Atmosphäre finden wir in dem 2007 veröffentlichten Bericht des Weltklimarates, IPCC. Wir sehen eine Kurve, die seit 5.000 Jahren vor heute langsam ansteigt. Ab 1850 wird der Anstieg stärker und ab 1950 geht dann die Kurve dann steil nach oben. Die unterschiedliche Farbgebung bei der Darstellung der Kurve verweist auf den unterschiedlichen Ursprung für die Messdaten. Nur die rote Kurve zeigt Messwerte an atmosphärischen Luftproben, gemessen an der Station Mauna Loa auf Hawaii. Diese Messreihe begann erst 1958! Alle anderen Messwerte wurden vorwiegend an antarktischen Eisproben gemessen. Der Anstieg des Kohlendioxidgehalts in der Atmosphäre hängt ursächlich mit der Verbrennung fossiler Brennstoffe zusammen. Er ist also zum größten Teil anthropogen verursacht.

Der aus dem Anstieg des Kohlendioxids resultierende Strahlungsantrieb (radiative forcing) ist auf der rechten Achse angegeben.

Änderung der Lufttemperatur



Abweichung der Temperatur (°C)
vom Mittel der Jahre 1961-1990



+ 0.4 °C
global

+ 0.7 °C
Nordhem.

Daten von Thermometern (rot) und von Baumringen, Korallen, Eiskernen sowie historischen Aufzeichnungen (blau)

Gletscherhochstand um 1850

IPCC INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

SYR - FIGURE 2-3



Burg zu Hagen im Bremischen e.V., Hagen, 28. April 2009



Lufttemperatur einst und jetzt. Der Verlauf der Lufttemperatur (unteres Diagramm) in der Nordhemisphäre während der vergangenen 1000 Jahren kann für die Zeit ab etwa 1900 AD aus direkten Messungen (rote Kurve) und für die Zeit davor aus Klimaarchiven abgeleitet werden (blaue Kurve). Als Klimaarchive dienen Baumringe, Korallenriffe und vor allem Eisbohrkerne aus alpinen und arktischen Gletschern sowie dem grönländischen Inlandeis. Auch historische Aufzeichnungen werden zur Klimarekonstruktion verwendet.

Die Unsicherheit der Rekonstruktion ist durch die graue Kurve angegeben. Erst mit Einsetzen der Temperaturregistrierung nimmt die Unsicherheit merklich ab.

Seit den 1990er Jahren ist das Temperaturmittel in der Nordhemisphäre um ca. 0,7°C über den Mittelwert des Referenzzeitraumes 1961-1990 angestiegen.

Die Schwankungen des globalen Mittelwertes der Lufttemperatur um den Mittelwert der Referenzperiode 1961-90 sind im oberen Diagramm für die Zeit seit 1860 angegeben. Hier sind die relativ kalten Temperaturen am Ende des 19. Jahrhunderts (Ende der „Kleinen Eiszeit“) gut erkennbar, der anstieg bis in 1940er Jahre des 20. Jahrhunderts, wenig Schwankungen zwischen 1940 und 1980 und der danach folgende kräftige Anstiege der Lufttemperatur bis zur heutigen Zeit. Der globale Mittelwert ist seit 1990 um 0,4 °C angestiegen.

Der letzte Gletscherhochstand im alpinen und arktischen Raum wird auf die Zeit um 1850 datiert. Seither hat die Gletschersubstanz abgenommen. Die Abnahme war nicht kontinuierlich, sondern sie wurde durch einige Phasen mit ausgeglichenen oder sogar positiven (z.B. in den 1970/80er Jahren) Massenbilanzen unterbrochen.



foto: hans oerter, 20.09.1985

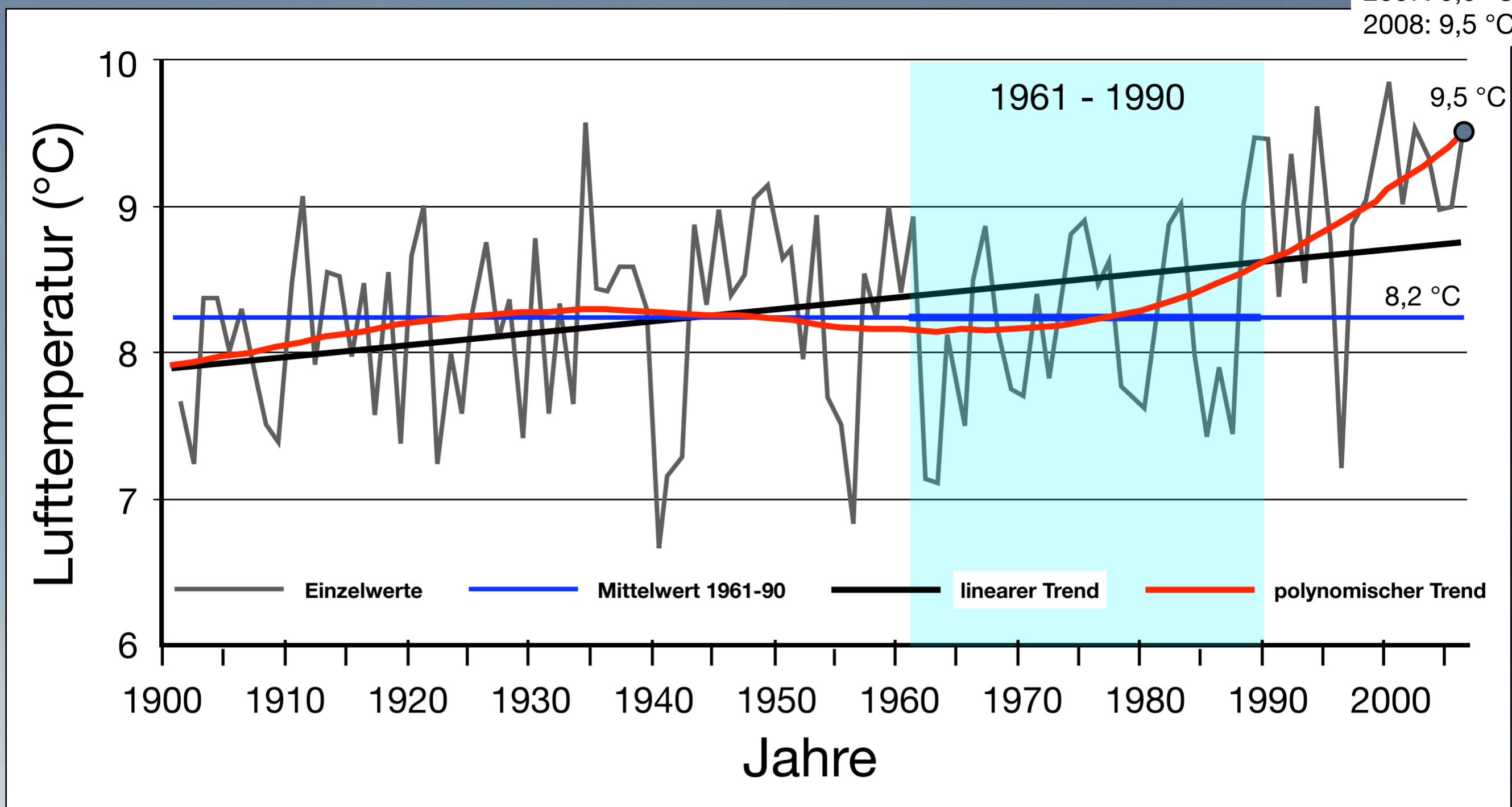
Vernagtferner / Ötztaler Alpen, Österreich

Burg zu Hagen im Bremischen e.V., Hagen, 28. April 2009

Der Gletscherhochstand um 1850 ist im alpinen Raum durch hohe, deutlich erkennbare Moränenrücken dokumentiert. Als die im Bild sichtbare „Vernagthütte“ des Deutschen Alpenvereins im Jahre 1901 gebaut wurde, war das Tal des Vernagtbachs mit der über 100 Meter mächtigen Zunge des Vernagtferners ausgefüllt. Das Baumaterial für die neue Hütte wurde über das Eis zur Baustelle transportiert.

Jahresmittel der Lufttemperaturen in Deutschland von 1901 bis 2006. Der lineare Trend weist einen Anstieg (Erwärmung) um 0,9 °C aus.

2007: 9,9 °C
2008: 9,5 °C

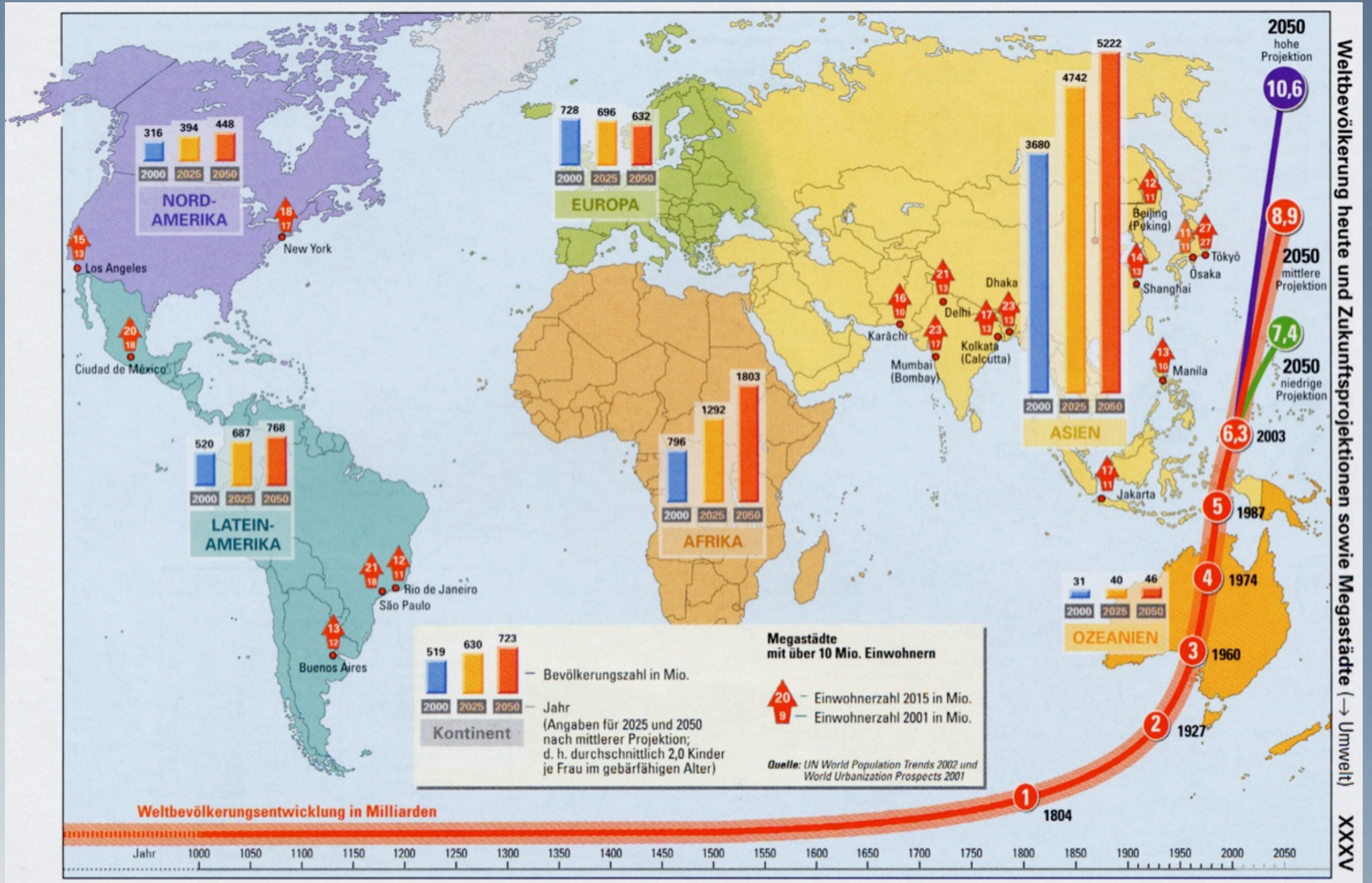


Quelle: G. Müller-Westermeier, Deutscher Wetterdienst: Klimawandel in Deutschland - DWD nennt neueste Zahlen und Fakten (2007). (<http://www.dwd.de>)

Die Temperaturerhöhung der letzten Jahrzehnte ist auch für die Lufttemperaturen in Deutschland nachweisbar. Dargestellt sind die Ganglinie der Einzelwerte der Jahresmitteltemperaturen für die Zeit 1901-2006, der Mittelwert der Referenzperiode 1961-1990 mit 8,2 °C, sowie ein linearer und ein polynomischer Trend. Der lineare Trend weist einen Anstieg der Temperatur um 0,9 °C seit 1901 aus. 2007 und 2008 lagen die Jahresmittel bei 9,9°C bzw. 9,5°C.

Quelle: G. Müller-Westermeier, Deutscher Wetterdienst: Klimawandel in Deutschland - DWD nennt neueste Zahlen und Fakten (2007). (<http://www.dwd.de>)

Wachsende Weltbevölkerung



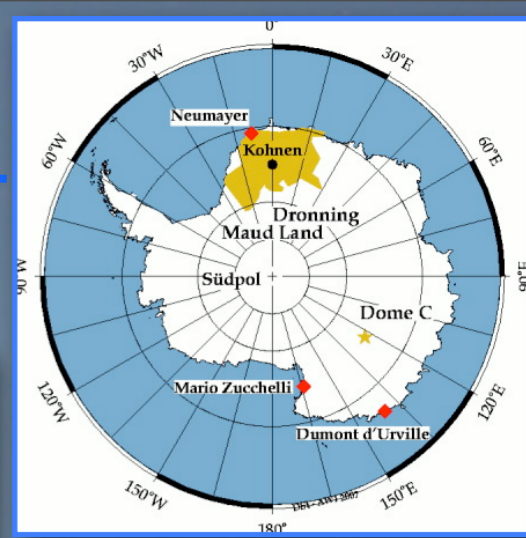
Quelle: Der Fischer Weltalmanach 2004, Frankfurt a.M. (2003)

Wachsende Weltbevölkerung. Die Veränderung des Klimas ist ein globales Problem, sowohl was die Ursachen als auch die Folgen angeht. Ein Blick auf eine Statistik der Entwicklung der Weltbevölkerung macht deutlich, dass die Weltbevölkerung seit 1800 AD von 1 Milliarde Menschen auf 6,3 Milliarden Menschen im Jahr 2003 gestiegen ist. Jeder Mensch braucht Energie um zu leben! Der Energieverbrauch in der Zukunft wird dort am stärksten steigen, wo die meisten Menschen leben und der Lebensstandard die höchsten Steigerungsraten erwarten lässt, nämlich im asiatischen Raum.

Quelle: Der Fischer Weltalmanach 2004, Frankfurt a.M. (2003)

1. Das Projekt EPICA

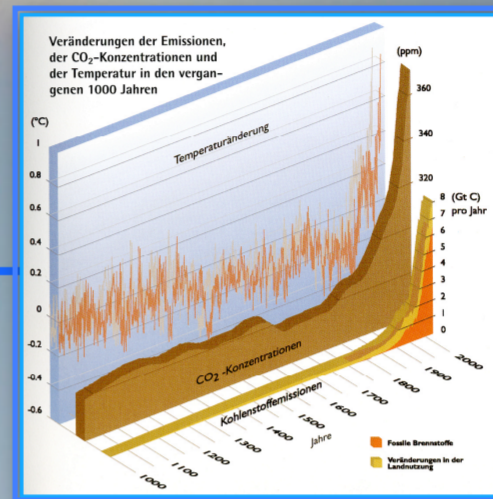
2. Inlandeis und Klimainformation im Eis



3. Wie gewinnt man Eisbohrkerne



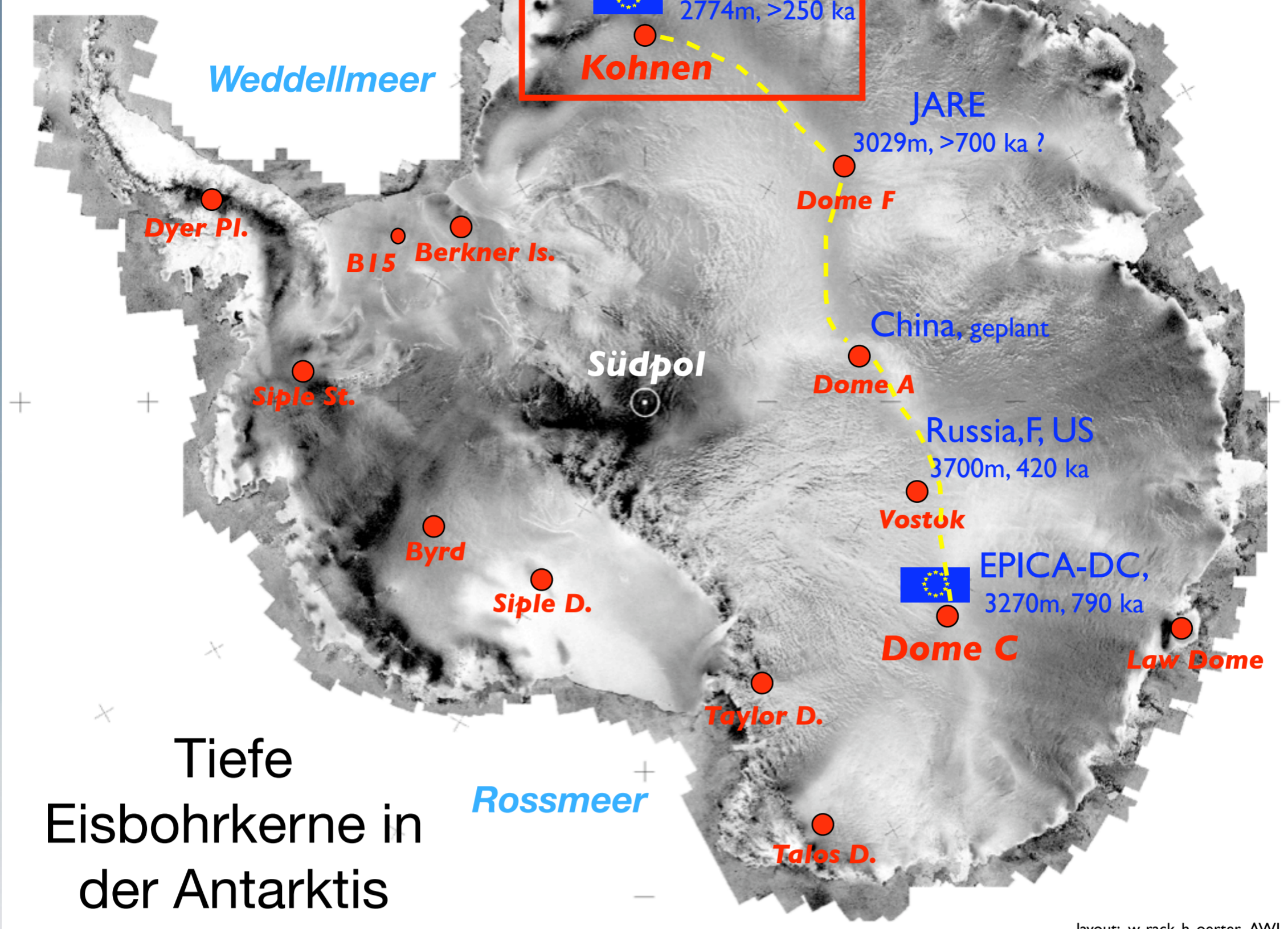
4. Was sagen uns die Eisbohrkerne zum Klima?



5. Der Blick in die Zukunft



Antarktische Halbinsel



Tiefe Eisbohrkerne in der Antarktis

layout: w. rack, h. oerter, AWI

Die tiefen Eiskernbohrungen bei der Kohnen-Station (EPICA (EU), EDML), auf Dome Fuji (Japan), bei der Station Vostok (Russland) und auf Dome C (EPICA (EU), EDC) liegen auf der Haupt-Eisscheide (ice divide) der Ostantarktis (gestrichelte gelbe Linie). Die neue, geplante chinesische Bohrung auf Dome A, wird ebenfalls auf dieser Eisscheide liegen.

EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica); transnationales, europäisches Forschungsprojekt unter dem Schirm der European Science Foundation (ESF) mit Förderung durch die EU und aus nationalen Beiträgen, 1995-2006. 2 Eisbohrkerne (3260 und 2774m) aus der Antarktis.

Nach Abschluss des europäischen Projektes GRIP 1993 in Grönland riefen die an GRIP beteiligten Länder unter Schirmherrschaft der ESF das Projekt EPICA ins Leben, um die gute wissenschaftliche Zusammenarbeit zu erweitern und die in Europa vorhandene polare Logistik optimal zu nutzen. Das Ziel war es zwei tiefe Eisbohrkerne in der Antarktis zu bohren, um daraus die klimatischen Veränderungen (Lufttemperatur, Gasgehalt der Atmosphäre, Aerosole) in der Vergangenheit mit hoher zeitlicher Auflösung und über einen möglichst langen Zeitraum (Jahrhunderte bis Jahrhunderttausende) zu rekonstruieren. Der bis dato älteste Eiskern war der Wostok-Eiskern. An EPICA beteiligten sich Belgien, Dänemark, Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, Niederlande, Norwegen, Schweden und die Schweiz.

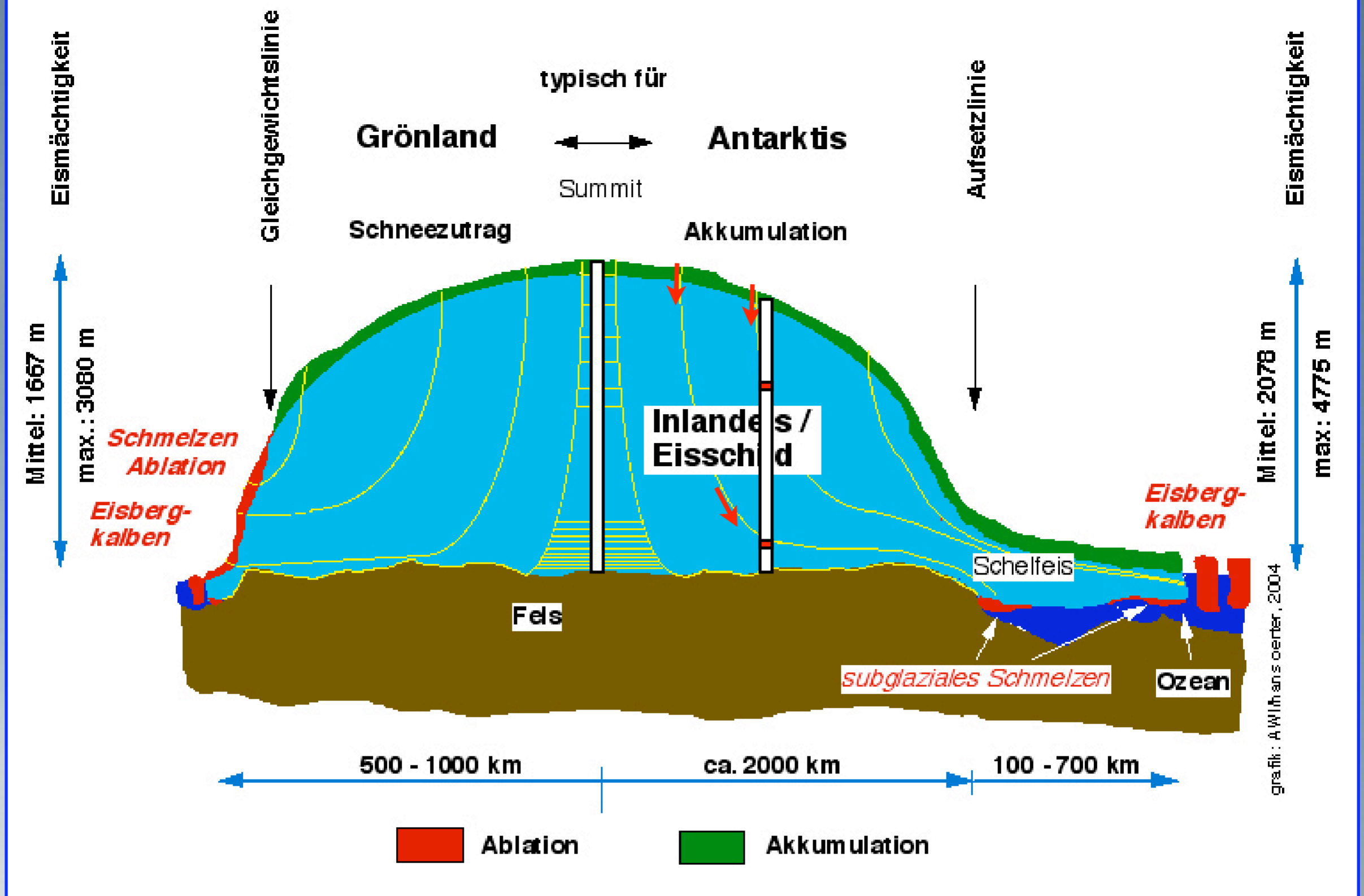
Als Bohransatzpunkte wurden der Dome C (75° 06' S, 123° 24' O, 3233 m Meereshöhe, Jahresmitteltemperatur -54.5 °C, jährlicher Schneezutrag 25,5 kg/m²; Eiskern EDC) und eine Stelle (Kohnen-Station) in Dronning-Maud-Land (75° 00' S, 0° 04' O, 2892 m Meereshöhe, Jahresmitteltemperatur -44.6 °C, jährlicher Schneezutrag 64 kg/m²; Eiskern EDML) ausgewählt. Der 3260 m tiefe EDC-Kern ergab mit ca. 800.000 Jahren (in einer Tiefe von ca. 3200m) die bisher längste klimatische Zeitreihe aus einem Eiskern. Die untersten 60 m des EDC-Kerns zeigen Störungen und können nicht klimatisch interpretiert werden. Die Bohrung wurde ca. 15 m über einem vermuteten subglazialen See gestoppt. Das Alter des 2774 m tiefen EDML-Kerns wird auf ca. 250-300.000 Jahre geschätzt, mit 150.000 Jahren sicher datiert ist er bis zu einer Tiefe von 2416 m. Er zeigt bis ca. 80.000 Jahre vor heute (Tiefe 1970 m) aufgrund der höheren Schneezutratsrate eine deutliche höhere zeitliche Auflösung als EDC (entsprechende Tiefe 1160 m). Am Ende der Bohrung drang subglaziales Wasser in das Bohrloch von EDML ein.

Das Bohrcamp auf Dome C wurde in der Antarktissaison 1995/96 aufgebaut. Die Logistik wurde von Frankreich und Italien bereitgestellt. Gebohrt wurde in den Folgejahren immer nur in den antarktischen Sommermonaten November-Januar. In der Saison 1996/97 begannen die Bohrarbeiten. Im Dezember 1998 hat sich der Bohrer in einer Tiefe von 780 m festgefahren und konnte nicht mehr befreit werden. Im Dezember 1999 wurde eine zweite Bohrung angesetzt (Augustin et al. 2007), die bis Januar 2001 eine Tiefe von 1459 m, bis Januar 2002 eine Tiefe von 2870 m und bis Januar 2003 eine Tiefe von 3190 m erreichte. In der Saison 2004/05 wurde die Bohrung auf die Endtiefe von 3260 m gebracht. (EPICA Community Members 2004, Jouzel et al. 2007)

In Dronning-Maud-Land mussten in den antarktischen Sommern 1995/96 – 1998/99 noch aufwändige geophysikalische Voruntersuchungen durchgeführt werden, um einen geeigneten Bohransatzpunkt festlegen zu können. Diese umfassten

Inlandeis und Klimainformation aus Eisbohrkernen

Schematischer Querschnitt durch einen Eisschild



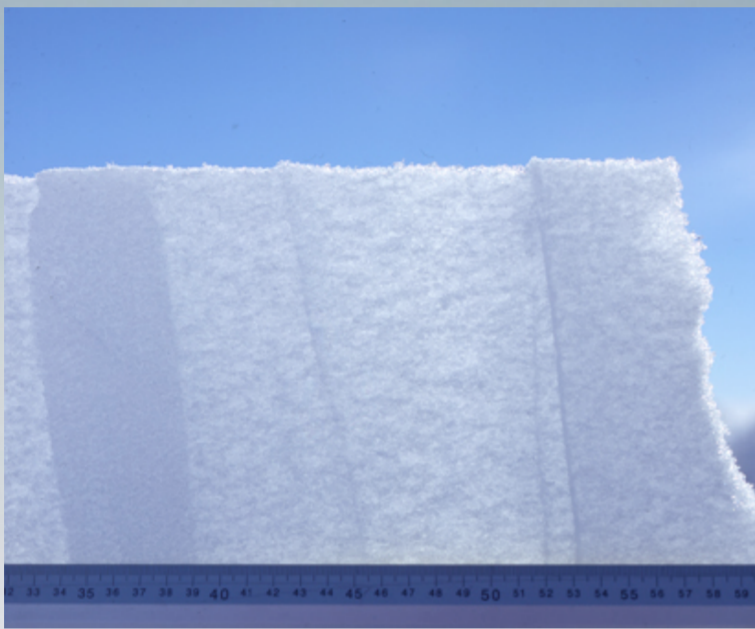
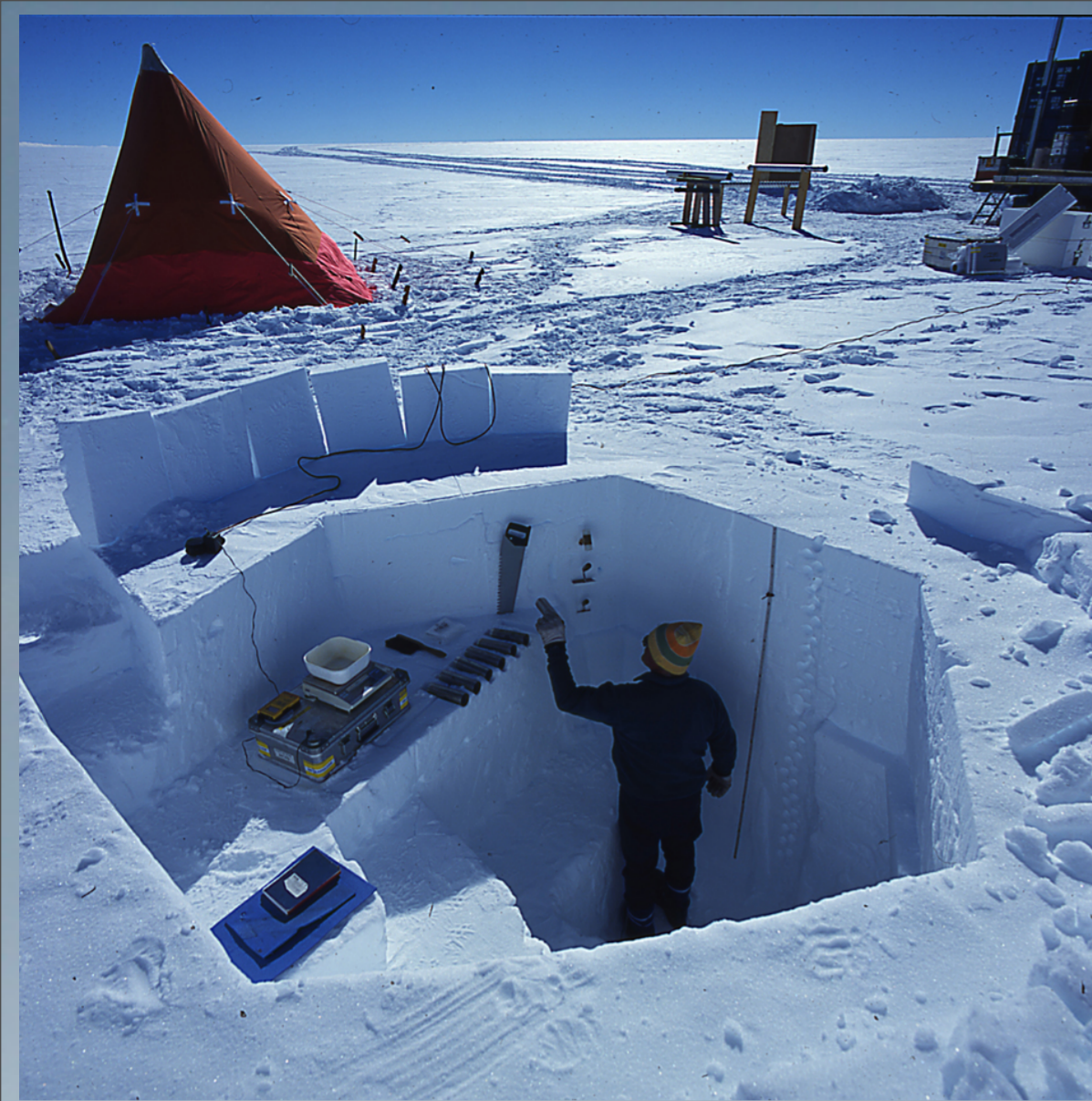
Inlandeis von Grönland / Antarktika entspricht 7,2 m / 61,1m Meeresspiegeländerung (IPCC 2001)

Aufbau eines Eisschildes oder Gletschers

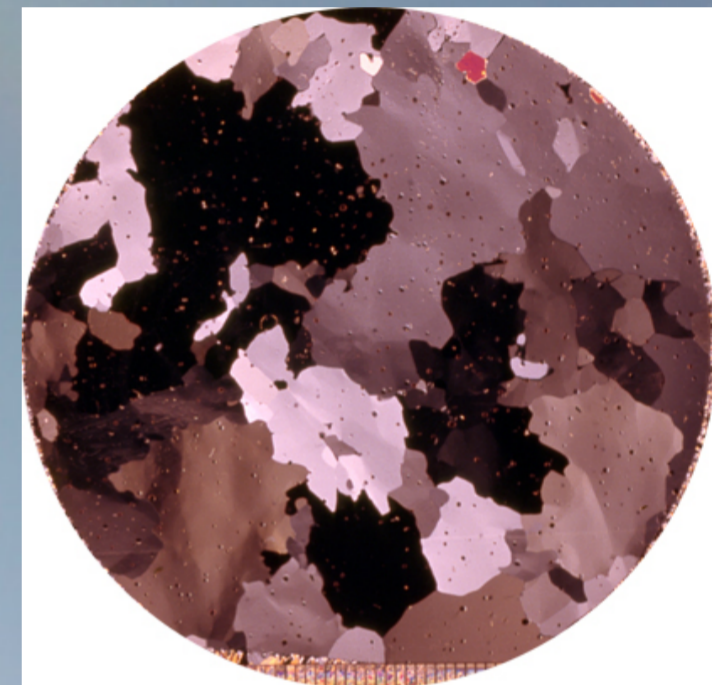
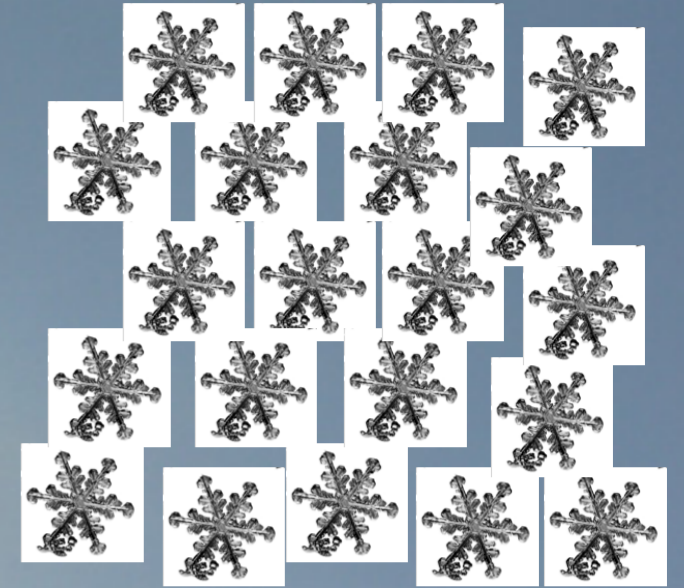
Man unterscheidet bei einem Gletscher und bei den Eisschilden das Akkumulationsgebiet (grüne Schicht) und das Ablationsgebiet (rot). In der Antarktis, mit Ausnahme der Antarktischen Halbinsel, ist es kalt genug, so dass kaum oder kein Schmelzen an der Oberfläche auftritt (geringe Schmelzbeträge gefrieren in den darunter liegenden kälteren Schichten wieder). Deshalb erstreckt sich das Akkumulationsgebiet bis an die Küste, einschl. der Schelfeisgebiete. Das Akkumulationsgebiet ist durch eine positive Massenbilanz an der Oberfläche gekennzeichnet, d.h. im Jahresmittel bleibt der Schneeniederschlag erhalten. Der Grönländische Eisschild weist eine deutliche Trennung zwischen Ablations- und Akkumulationsgebiet auf. Die Trennlinie wird als Gleichgewichtslinie bezeichnet. Im Ablationsgebiet wird im Jahresmittel der jährliche Schneeniederschlag und zusätzlich alte Eismasse abgeschmolzen. Auch das Kalben von Eisbergen zählt zu den ablativen Prozessen, da dadurch die Eismasse verringert wird. Zusätzlich kommt es an der Unterseite der schwimmenden Eismassen (Gletscherzungen bzw. Schelfeise) zum Abschmelzen von Eis. Dieser Prozess wird in der Antarktis unter einigen Schelfeisen durch das Anlagern von in der Wassersäule gebildeten Eiskristallen (marines Eis) teilweise kompensiert.

Der ideale Punkt für eine Eiskerntiefbohrung liegt auf dem höchsten Punkt (engl.: summit) eines Eisschildes, von dem aus das Eis radial abfließt oder auf einer sog. Eisscheide (engl.: ice divide), mit vorwiegend seitlichem Abfluss. Nur auf einem Summit kann man Eis erbohren, das in der Vergangenheit an derselben Stelle als Schnee gefallen ist. An allen anderen Stellen eines Eisschildes, wurde der Schnee einst an höherer Stelle abgelagert und ist erst allmählich zum Bohransatzpunkt geflossen. Bei der Interpretation der Eiskerndaten müssen also Veränderungen längs dieses Fließweges berücksichtigt werden.

Ein Eisschild baut sich aus über einander liegenden Jahresschichten auf.



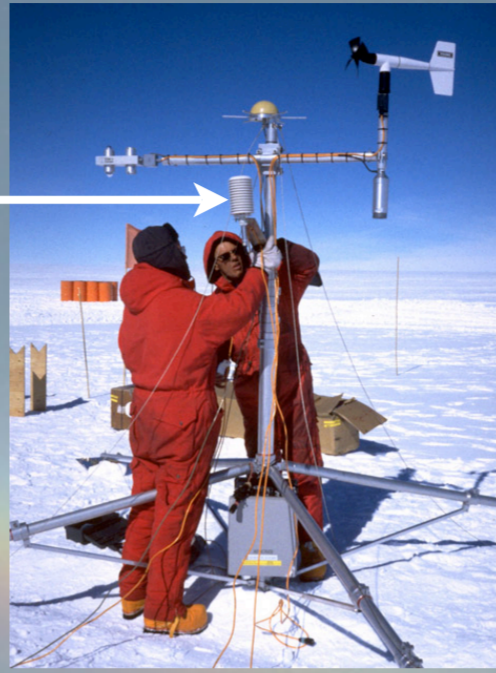
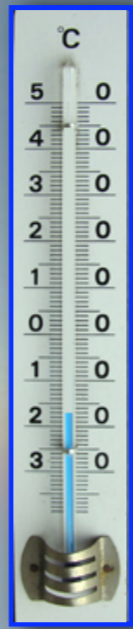
fotos: hans oerter



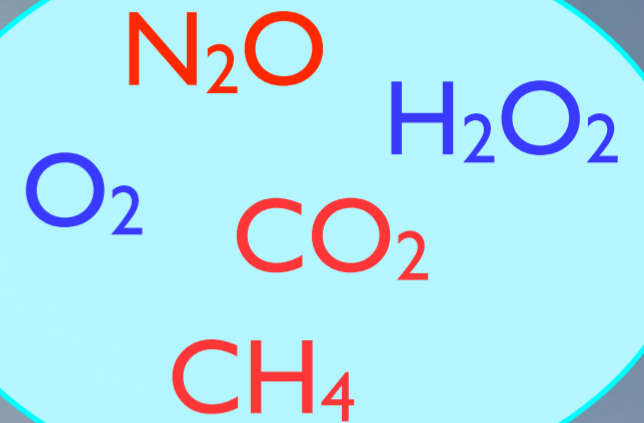
Ein Eisschild baut sich aus über einander liegenden Jahresschichten auf. Die Niederschlagsverhältnisse in der Antarktis entsprechen einem ariden Klima. So beträgt z. B. am Südpol die Jahresschneeakkumulation etwa $80 \text{ kg m}^{-2}\text{a}^{-1}$, an der Kohnen-Station $64 \text{ kg m}^{-2}\text{a}^{-1}$, an der an der Küste liegenden Neumayer-Station etwa $340 \text{ kg m}^{-2}\text{a}^{-1}$. Die Jahresschichten lassen sich in den oberen Metern der Firndecke noch gut erkennen. Mit zunehmender Tiefe werden die Jahresschichten in der Antarktis soweit ausgedünnt, dass sie nicht mehr nachweisbar sind. Der Dünnschnitt aus größerer Tiefe (rechts unten; Durchmesser ca. 76 mm) lässt erkennen, dass die einzelnen Eiskristalle mit zunehmender Tiefe wachsen und kleine Luftblasen eingeschlossen werden. Unterschiedliche Färbung zeigt unterschiedliche Orientierung der c-Achsen an.

Das Klima-Archiv Eis speichert Informationen zu:

Lufttemperatur



Gasgehalt in der Atmosphäre



Aerosole



Klimainformationen aus dem Eis

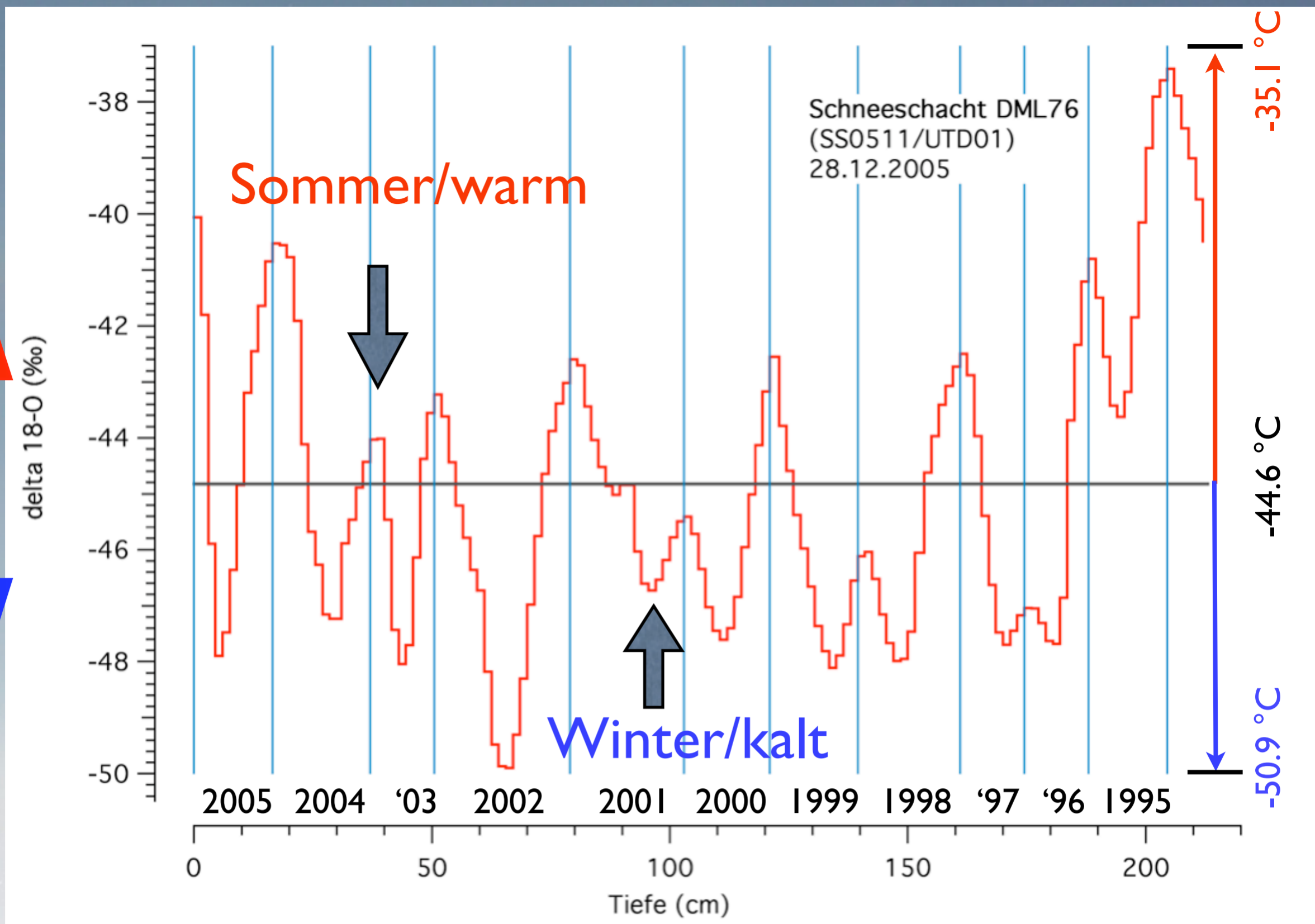
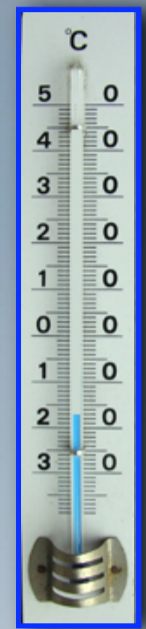
Im Eis sind Informationen zu Schwankungen der Lufttemperatur, zur Gas-Zusammensetzung in der Paleo-Atmosphäre und zum Gehalt an Aerosolen in der Vergangenheit gespeichert.

Die Temperaturinformation ist nicht direkt gespeichert. Sie muss aus so genannten Proxy-Daten berechnet werden. Als Temperaturproxy dienen die stabilen Isotope im Wassermolekül, das sog. Isotopenthermometer (z.B. Stauffer 2001), das die Beziehung zwischen Kondensationstemperatur und Gehalt an den stabilen Isotopen ^{18}O und Deuterium (2H) im Niederschlag beschreibt.

Atmosphärische Luft wird beim Übergang von Firn zu Eis ins Eis eingeschlossen und bleibt dort erhalten. Anfänglich ist die Luft in Luftblasen eingeschlossen, die sich jedoch zunehmendem hydrostatischen Druck (bei ca. 1000-1200m Eisauflast) in Klathrate umwandeln, d.h. ins Kristallgitter des Eises eingebaut werden. Bei Druckentlastung können sie wieder frei gesetzt werden. Eis ist das einzige Klimaarchiv, das Gase gespeichert hat. Ein Problem bei der Interpretation der Gasgehalte bzw. der Umrechnung von Tiefenprofilen in Zeitreihen ist die Differenz zwischen dem Alter des umgebenden Eises und der eingeschlossenen Luft.

Aerosole sind feste und flüssige Teilchen, die in der Atmosphäre transportiert werden. Sie stammen z.B. von Vulkaneruptionen, von weiten vegetationslosen Flächen oder werden an der Meeresoberfläche bzw. vom Meereis in die Luft aufgenommen und weitertransportiert. Hier spielen vor allem die biologische Aktivität nahe Meeresoberfläche und die Meeresbildung eine wichtige Rolle. Entsprechend gelangen schwefelhaltige Verbindungen aus dem Wasser in die Atmosphäre oder Seesalzkomponenten, die dann später in den Eiskernen nachgewiesen werden können

Das "Isotopen-Thermometer" ($\delta^{18}\text{O}$)



Das Isotopenthermometer

Wasser besteht aus Wasserstoff und Sauerstoff. Beide Elemente besitzen mehrere stabile Isotope, der Sauerstoff die Isotope ^{16}O und ^{18}O und der Wasserstoff die Isotope ^1H und ^2H (Deuterium). Die natürlichen Isotopenverhältnisse liegen für $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ bei 1880-2010 10^{-6} , für $^2\text{H}/^1\text{H}$ bei 90-170 10^{-6} . Isotopenverhältnisse können in Massenspektrometern relativ einfach und sehr genau gemessen werden. Sie werden nicht in den absoluten Konzentrationen c angegeben, sondern als Abweichung (δ -Notation) zu einem Standard-Ozeanwasser, dem sog. Standard Mean Ocean Water (SMOW), das von der Internationalen Atomenergiebehörde (IAEA) in Wien verwaltet wird. Für das Isotop ^{18}O gilt die Beziehung $\delta^{18}\text{O} = ((c_{\text{Probe}}/c_{\text{Standard}} - 1) 1000 \text{ ‰})$, für Deuterium gilt entsprechendes. Bei Phasenübergängen tritt eine Isotopenfraktionierung ein. Kondensiert Wasserdampf so wird Wasser mit den schweren Isotopen bevorzugt und im zurückbleibenden Wasserdampf werden die schweren Isotope abgereichert. Wenn sich zum Beispiel eine Luftmasse in den Subtropen mit Wasser sättigt und dann polwärts verschiebt, wird sie infolge der Abkühlung ständig Wasser durch Kondensation verlieren und so isotopisch immer leichter werden. Die physikalische Beziehung zwischen Kondensationstemperatur und δ -Wert hängt von der Art der Abkühlung ab (isobar oder adiabatisch) und ist daher nicht eindeutig. W. Dansgaard (*1922) hat jedoch für den grönländischen Eisschild anhand von Schneeproben zwischen δ -Wert und der mittleren Jahrestemperatur T die empirische Beziehung $\delta^{18}\text{O} [\text{‰}] = 0,67 T [\text{°C}] - 13,7 \text{ ‰}$ gefunden. Für die Antarktis entspricht im Mittel eine Temperaturänderung von 1°C einer Änderung des $\delta^{18}\text{O}$ -Wertes eine $0,80 \text{ ‰}$ und des δD -Wertes von $6,34 \text{ ‰}$. Es ergeben sich jedoch regional unterschiedliche Beziehungen, die bis zu 20% vom antarktischen Mittelwert abweichen können

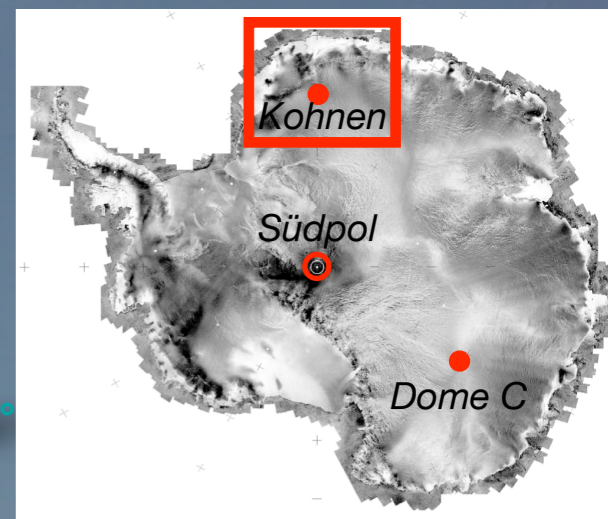
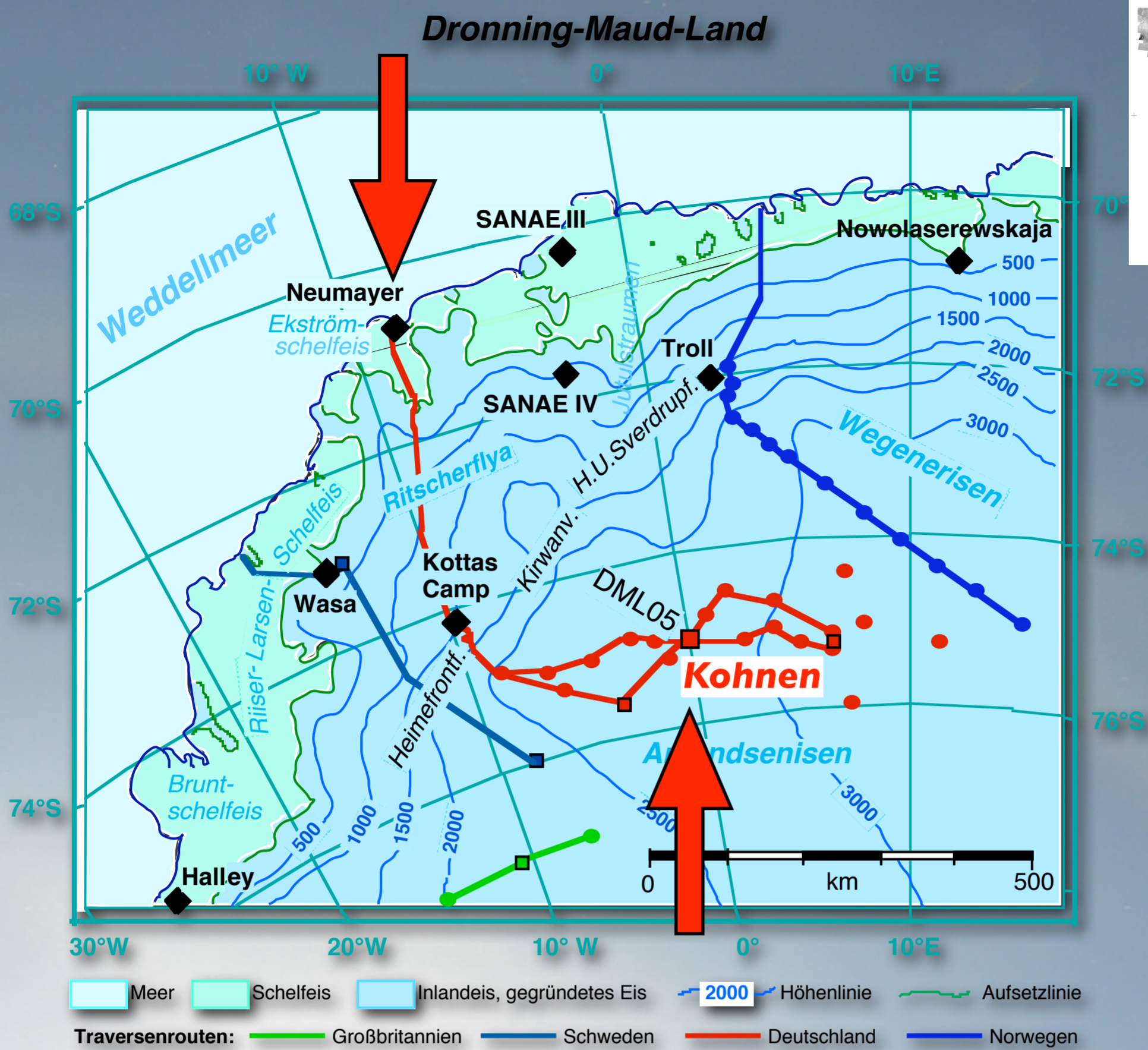
Wenn man annimmt, dass diese empirischen Beziehungen auch in der Vergangenheit gültig waren, kann man anhand von Isotopenmessungen an Eisbohrkernen die mittlere Jahrestemperatur berechnen. Dies ist für das Plateau des antarktischen Inlandeises ohne große Einschränkungen gültig. Für Grönland hat sich jedoch gezeigt, dass die tatsächlichen Temperaturschwankungen etwa doppelt so hoch gewesen sein müssen, als die aus dem Isotopenthermometer abgeleiteten Werte. Dies ergab sich aus Temperaturmessungen in Bohrlöchern von Eiskernbohrungen und aus dem Verhältnis der Stickstoffisotope $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ in der eingeschlossenen Luft, das u.a. von der Temperaturdifferenz zwischen Schneeoberfläche und der Tiefe des Lufteinschlusses abhängt. Man geht davon aus, dass sich in Grönland das Verhältnis von Sommer- zu Winterniederschlägen in Warm- und Kaltzeiten ändert und damit dort die Gültigkeit des Isotopenthermometers eingeschränkt wird.

Stauffer, B.: Mechanismen globaler Klimaschwankungen. Das Isotopenthermometer im ewigen Eis. Physik in unserer Zeit, 32/3, 106-113 (2001)

Wie bohrt man einen tiefen Eiskern?

Logistik und Bohrtechnik





Dronning-Maud-Land. Die Bohrstelle an der Kohnen-Station liegt im Dronning-Maud-Land, dem Teil der Antarktis, der Südafrika zugewandt ist. (roter Ausschnitt in der Übersichtskarte, rechts oben). Der Zugang zur Kohnen-Station, vor allem was den Transport von schweren Gütern, einschließlich des Treibstoffes, angeht, erfolgt über die deutsche Überwinterungsstation Neumayer an der Küste. Im Februar dieses Jahres wurde die Station Neumayer III, die dritte deutsche Überwinterungsstation seit 1981, in Betrieb genommen



Foto: Ude Cieluch, Alfred-Wegener-Institut, 2009

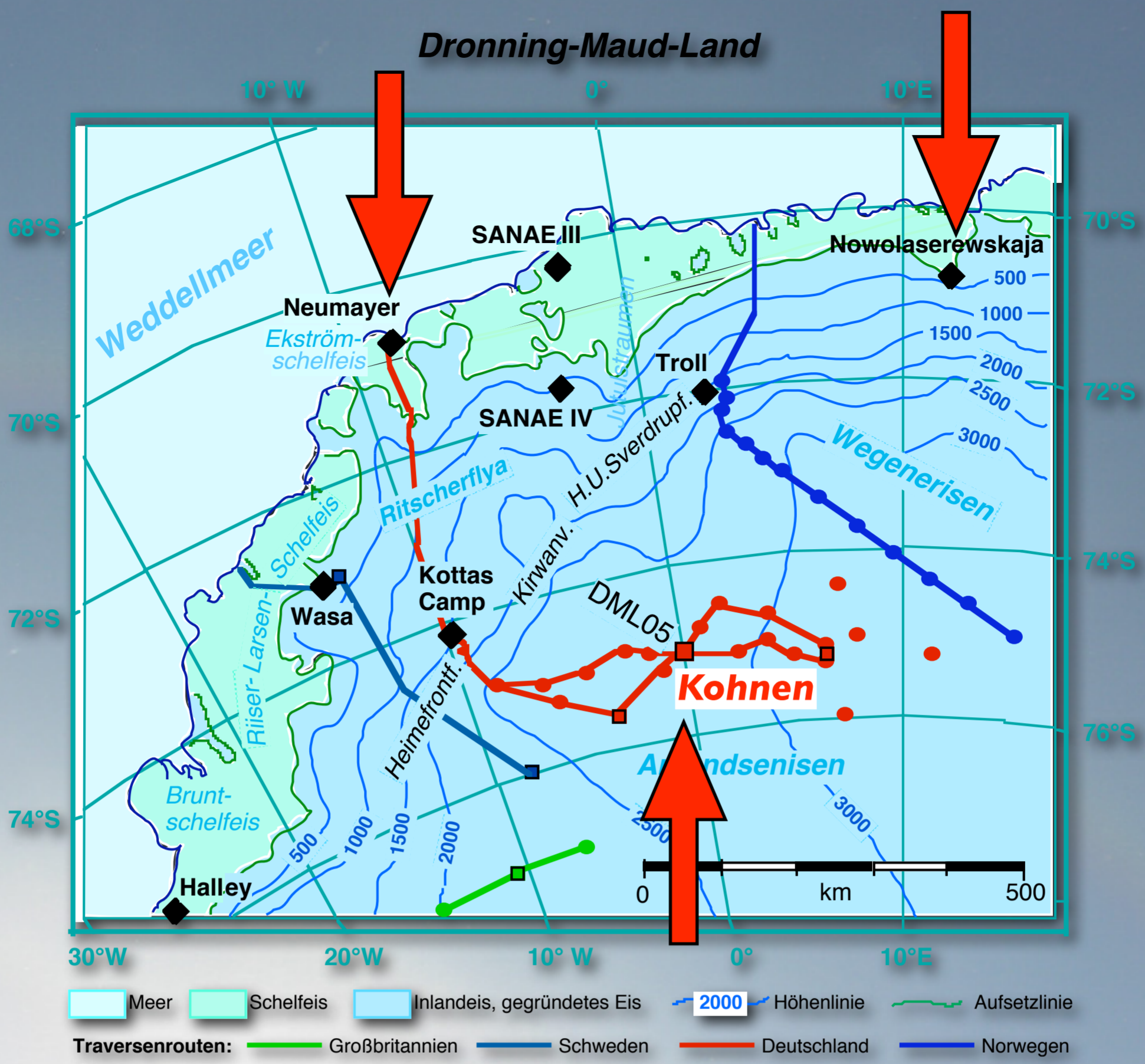


Luftaufnahme der Neumayer-Station III, im Hintergrund die Atka-Bucht.

Burg zu Hagen im Bremischen e.V., Hagen, 28. April 2009



Luftaufnahme der Neumayer-Station III, im Hintergrund die Atka-Bucht. (Foto: Ude Cieluch, Alfred-Wegener-Institut, 2009). Die Station ist seit dem 20. Februar 2009 in Betrieb.



Ein weiteres Tor für den Zugang in das Dronning-Maud-Land ist die Landepiste der russischen Station Nowolazerwskaja. Im Rahmen des Dronning-Maud-Land-Air-Networks (DROMLAN) wird diese Landepiste von Kapstadt aus angeflogen.



Die Anreise zur Neumayer-station erfolgt klassischer Weise mit dem deutschen Forschungseisbrecher FS Polarstern, entweder von Kapstadt auslaufend oder von Punta Arenas oder Ushuaia in Südamerika.

Das an der Schelfeiskante entladene Transportgut wird dann mit Schlittenzügen über das Eis zur Kohlen-Station befördert. Dabei ist eine Wegstrecke von 750 Kilometern zurückzulegen und ein Höhenunterschied von etwa 2900 Metern zu überwinden. Während der Bau- und Bohrzeiten von EPICA wurden häufig zwei dieser Traversen pro Sommersaison gefahren, um die Kohlen-Station vor allem ausreichend mit Treibstoff versorgen zu können.

Nowolazerewskaja erreicht von Kapstadt mit einer russischen Transportmaschine vom Typ Ilushjin 76. Diese Maschine befördert Personen und Fracht. Die Flugzeit von Kapstadt beträgt etwa sechs Stunden.

Die Wegstrecke Nowolazerewskaja - Kohlen-Station wird mit kleineren Flugzeugen vom Typ Basler BT67 geflogen. Dafür wird entweder die AWI-eigene Polar5 und ein entsprechendes Flugzeug aus der DROMLAN-Flotte eingesetzt.

Das rechte, untere Bild zeigt die Ankunft der ersten Teams der Saison 2007/08, am 8. Januar 2008.



foto: hans oerter, 2005

Novolazerewskaja Airfield, Antarktis



Burg zu Hagen im Bremischen e.V., Hagen, 28. April 2009



Entladen der IL76 nach Ankunft bei Nowolazerewskaja.

Landung bei Kohnen-Station, Antarktis



Basler BT67 (DC-3)

foto: hans oerter, 2005

Zur Antarktis 6 + 3 Stunden



foto: hans oerter, 2005

in nur $6 + 3 = 9$ Stunden Flugzeit kann man die Kohnen-Station auf dem Plateau des antarktischen Inlandeises erreichen. Temperaturen im hochsommerlichen Kapstadt meist um die $+30\text{ °C}$, Temperaturen an der Kohnen-Station, wie hier am 11. November 2005, unter -50 °C ; also 80 Grad Temperaturdifferenz innerhalb von etwa 12 Stunden!



foto: hans oerter, 2006

Zieht euch warm an!

Burg zu Hagen im Bremischen e.V., Hagen, 28. April 2009

Bei Temperaturen um die minus 40 Grad Celsius ist es wichtig gut wärmende Kleidung zu tragen, besonders gut wärmegeämmte Schuhe.

EPICA-Bohrcamp Kohnen-Station



Funk, PC, e-mail
Messe
Küche
Sanitärcontainer
2 Schlafräume
à 4 Pers.
Schneeschmelze
Generator
Lager
Werkstatt

Zum Bohren

Kohnen-Station

75°S, 0 °E, 2882 m

foto: hans oerter, 2006

Kohnen-Station (75°00' S, 00°04' O, 2882 m ü. Meer), dt. Forschungsstation in Dronning-Maud-Land (Neuschwabenland), Antarktis; erbaut 2000-2001. Meteorologische Daten: Schneezutrag 64 kg/m², Jahresmitteltemperatur -44,6°C. Mitternachtssonne von 31. Oktober bis 12. Februar.

Die Kohnen-Station wurde benannt nach dem dt. Geophysiker Dr. Heinz Kohnen (*1938, †1997). H. Kohnen war 1982-1997 der erste Leiter der Abteilung Logistik des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung in der Helmholtz-Gemeinschaft (AWI), Bremerhaven. Die Kohnen-Station wurde als Sommerstation für die 2. Eiskerntiefbohrung des European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA) vom AWI errichtet. Die Bohrarbeiten begannen im Januar 2001 und wurden im Januar 2006 abgeschlossen. Die Kohnen-Station wird auch nach Abschluss der Bohrarbeiten als Sommerstation vom AWI (www.awi.de) weiterbetrieben. Für das Bohrprojekt EPICA, einschließlich der Errichtung der Kohnen-Station, wurde nach den Richtlinien des Umweltschutzprotokolls (1991) zum Antarktisvertrag eine Umweltverträglichkeitsstudie erstellt. Das Projekt wurde am 6.10.2000 vom Umweltbundesamt genehmigt.

Die Station besteht aus elf 20-Fuss-Containern, die auf einer 32 m langen, 8 m breiten stählernen Plattform stehen. Die Plattform liegt etwa 2 m über der Schneeoberfläche und ruht auf 16 im Firn gegründeten, verlängerbaren Stahlstützen. Die Stationsplattform wird alle zwei Jahre um ca. 60 cm gehoben, um den Schneezutrag auszugleichen. Die Container beherbergen Funktionsräume für Generator, Schneeschmelze, Werkstatt, Lager, Schlafen, Toilette u. Waschraum, Küche, Messe sowie Telekommunikation. Neben der Station werden weitere Schlafmodule, Nahrungsmittelcontainer u. Tankcontainer auf Schlitten platziert, sodass insgesamt 20-25 Personen beherbergt werden können. Die Stromversorgung leistet ein 100kW Dieselgenerator, dessen Abwärme zum Schmelzen von Schnee für die Wasserversorgung genutzt wird. Für die Bohrarbeiten wurde 2001 neben der Station ein 66 m langer, 4,6m breiter und 6m tiefer Graben ausgefräst und mit einem Holzdach abgedeckt. In ihm steht die Bohranlage. Der Graben bietet außerdem Raum zur Bearbeitung und Zwischenlagerung der Eisbohrkerne.

Die Kohnen-Station wird hauptsächlich von der Neumayer-Station aus auf dem Landweg (Entfernung 750 km) mit Schlittenzügen, gezogen von Kettenfahrzeugen vom Typ PistenBully, versorgt. Personen werden auch mit Flugzeugen zur Station geflogen.

Die Universität Utrecht betreibt in Stationsnähe eine automatische Wetterstation.

Eine ausführliche Beschreibung der Station und des EPICA-Bohrprogrammes gibt Oerter et al. (2009): Kohnen Station – the Drilling Camp for the EPICA Deep Ice Core in Dronning Maud Land. *Polarforschung* 78(1-2), 1-23 (im Druck).



2 Sanitäräume
 à 4 Pers.
 Schneeschmelze
 Generator
 Lager
 Werkstatt



Burg zu Hagen im Bremischen e.V., Hagen, 28. April 2009



fotos: hans oerter, 2006-08

Einblick in Generator-Container, Sanitär-Container, Wohn-Container und Küche mit dem Koch Adi. Weitere schlafplätze sind in mobilen Wohneinheiten neben der Station verfügbar.



Die Messe der Kohlen-Station. Alltag (links unten, rechts oben), Sylvester 2005 (links oben) und Weihnachten 2005 (rechts unten).



foto: hans oerter, 2001

Drill und Science Trench im Bau

Burg zu Hagen im Bremischen e.V., Hagen, 28. April 2009

Bau von Drill- und Science-Trench (Bohr- und wissenschaftsgraben) an der Kohne-Station in der Saison 2000/01. Es wurde ein 60 Meter langer, 6 Meter tiefer und 4,70 Meter breiter Graben ausgefräst und mit einer hölzerner Dachhaut auf Periträgern abgedeckt.

Kohnen Station

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

Bohrzeitraum:
2001-2006

Mittlere Jahres-
temperatur: -45 °C

Akkumulationsrate:
64 kg m⁻²a⁻¹

Eis-Fließgeschwindigkeit:
0,756 m/a

Eisdicke:
2782 ±10m

Länge Eiskern:
2774,1 m



foto: hans oerter, 2006

Im Drill Trench: der Bohrturm

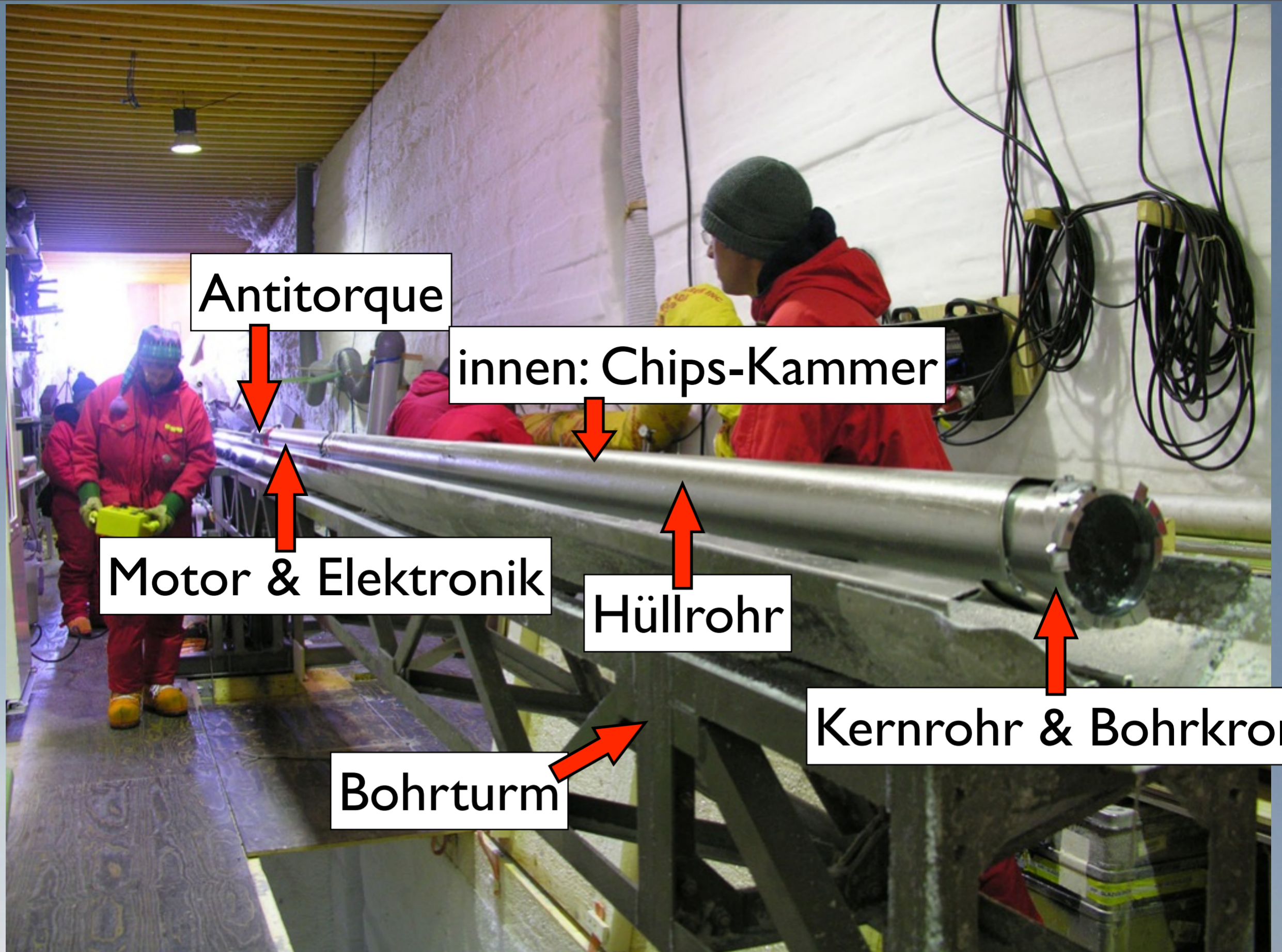
Blick in den sog. **Drill-Trench** mit dem Bohrturm (senkrechte Position). Links ist die heizbare Kammer zu sehen, in der die Steuer- und Überwachungselektronik für die Bohranlage steht und sich das Personal in den langen Phasen des Fierens und Hievens des Bohrgerätes aufwärmen kann. Bei Tiefen über 2000 m betragen die Hiev- und Fierzeiten jeweils ca. 45 Minuten! Rechts sind Arbeitstische. Unter dem Fußboden liegt ein schmaler, 6 m tiefer geneigter Graben, um das Bohrgerät (Gesamtlänge ca. 12 m) in die Horizontale schwenken zu können. Er wird während des Bohrvorgangs abgedeckt und nur zum Schwenken des Bohrers geöffnet. Die Temperatur im Drill-Trench lag bei ca. -30°C.

“Inclined Trench”
6 m tief



foto: hans oerter, 2006

Inclined Trench/geneigter Schacht



Antitorque

innen: Chips-Kammer

Motor & Elektronik

Hüllrohr

Kernrohr & Bohrkronen

Bohrturm

Das Bohrgerät

Bohrtechnik

Zum Bohren von Eiskernen wird heute hauptsächlich das elektromechanische Bohrverfahren eingesetzt, es kam jedoch bei den früheren amerikanischen und bei russischen Bohrungen, auch ein thermisches Kernbohrverfahren zum Einsatz. Beim elektromechanischen Bohrverfahren fräsen die Bohrmesser der Bohrkronen einen Ring um den Bohrkern frei. Der frei gefräste zylindrische Bohrkern wird mechanisch abgerissen und im Bohrgerät nach oben gehievt. Auch die angefallenen Späne müssen im Bohrgerät gesammelt und aus dem Bohrloch entfernt werden. Der Bohrer wird an einem Kabel gefahren. Das sog. Antitorque-System (meistens Plattfedern, die sich gegen die Wandung pressen) verhindert die Drehung des Bohrers um die eigene Achse. Antitorque, Bohrmotor, Steuerelektronik, Kammer für Bohrspäne und Kernrohr für den Bohrkern sowie die Bohrkronen bilden eine Einheit, die jeweils komplett ins Loch gefiert bzw. aus ihm heraus gehievt wird.

Bei Teufen über 200 Meter muss das Bohrloch mit einer Stützflüssigkeit gefüllt werden, um eine Verformung des Bohrlochs durch den hohen hydrostatischen Eisdrucks zu verhindern. Die Bohrflüssigkeit muss bei Temperaturen bis zu ca. -60°C flüssig bleiben, ihre Viskosität muss so ausgelegt sein, dass kein zu großer Widerstand bei der Bewegung des Bohrers im Bohrloch hervorgerufen wird und sie darf den Eiskern nicht verunreinigen. Bisherige Bohrlochflüssigkeiten waren Alkohol (greift jedoch den Bohrkern geringfügig an), hochreines Petroleum (D40 oder D60) mit Zusätzen (sog. Densifier) von chlorierten Kohlenwasserstoffen (HCFC 141 bzw. Solkane®141), die jedoch ab 2010 weltweit nicht mehr vertrieben werden dürfen. Bei der EDML-Bohrung wurde EXXOL®D40 mit Solkane®141 eingesetzt.

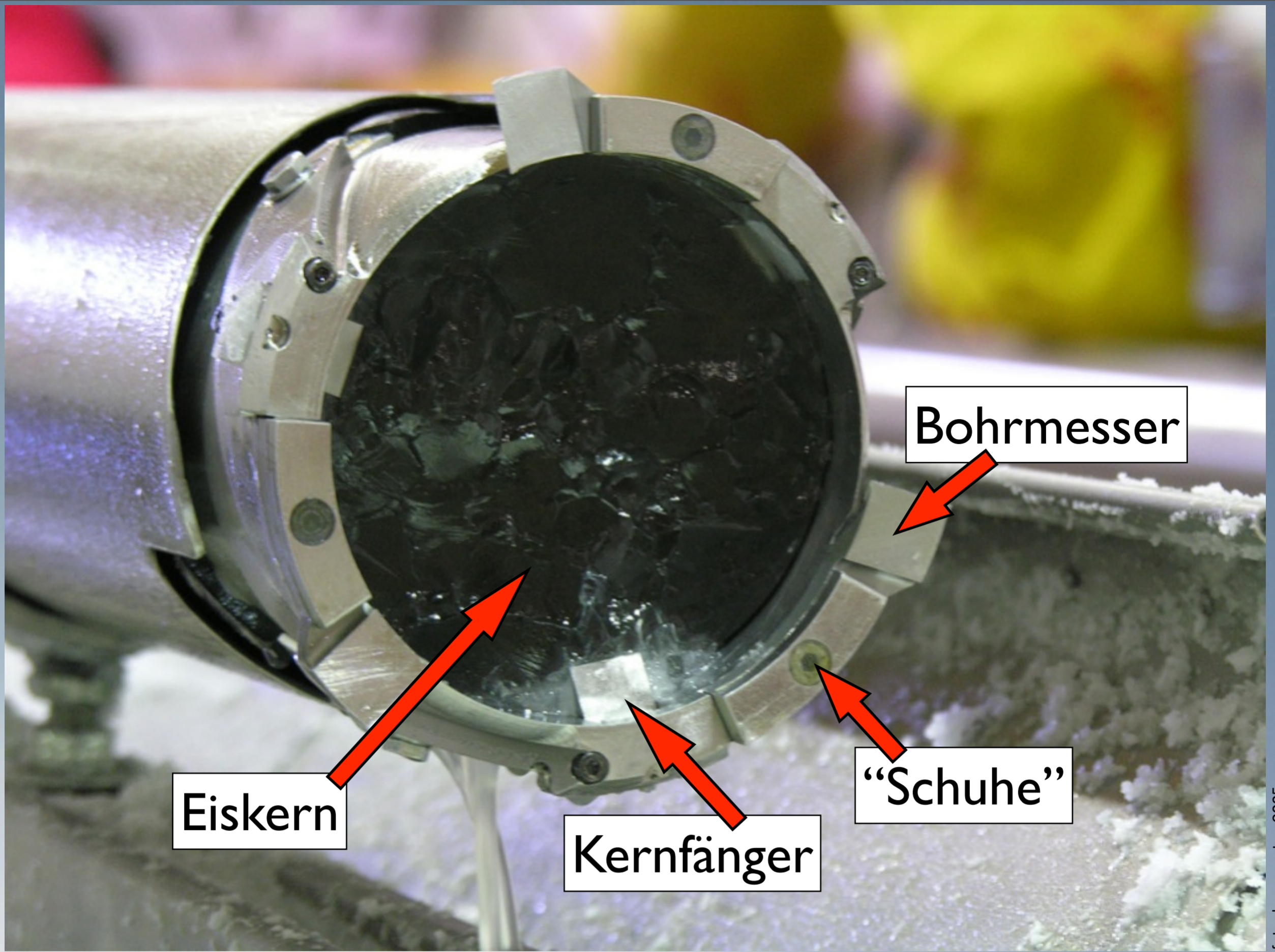


foto: hans oerter, 2005

Kernrohr mit Bohrkronen

Burg zu Hagen im Bremischen e.V., Hagen, 28. April 2009

Die Bohrkronen mit Kernfängern, „Schuhen“ und Bohrmessern. Im Kernrohr steckt ein neu gebohrter Eiskern aus einer Tiefe unter 2500 Metern.



foto: hans oerter, 2006

Erste Inspektion des frischen Kerns

Säubern und erste Inspektion eines frisch gebohrten Eiskernstückes.



foto: hans oerter, 2006

Blick in den Wissenschafts-Graben. Mit der Bandsäge auf der linken Seite werden die gebohrten Eiskerne jeweils auf einen Meter abgelängt. An diesen 1-m-Stücken wird dann die elektrische Leitfähigkeit des Eises mit DEP gemessen. Die Person mit rotem Parka wickelt die Kernstücke zur Vorbereitung der nächsten Messung in dünne Haushaltsfolie ein, während die andere die laufende Messung kontrolliert. In den weißen Kisten aus Polypropylen werden die Eiskerne gelagert und transportiert. Jeweils sechs 1-m-Stücke passen in eine Kiste.



foto: hans oerter, 2006

Sägen auf 1-Meter-Stücke

Burg zu Hagen im Bremischen e.V., Hagen, 28. April 2009

Sägen der Kerne auf 1-Meter-Stücke.



foto: hans oerter, 2006

Di-electric Profiling (DEP)

Burg zu Hagen im Bremischen e.V., Hagen, 28. April 2009

Messung der di-elektrischen Eigenschaften (elektrische Leitfähigkeit und davon abgeleitet Dichte) mit der so genannten DEP-Apparatur (Wilhelms, F., Kipfstuhl, J., Miller, H., Heinloth, K. & Firestone, J. (1998): Precise dielectric profiling of ice cores: a new device with improved guarding and its theory. *J. Glaciol.* **44** (146): 171-174)



foto: hans oerter, 2006

Verpacken der Kerne

Burg zu Hagen im Bremischen e.V., Hagen, 28. April 2009

Verpacken der Eiskerne (1-Meter-Stücke) in Polypropylenkisten. In diesen Kisten wurden die Eiskerne nach Bremerhaven transportiert und in ein Kühlhaus eingelagert.



foto: hans oerter, 2006

Bereit für den Abtransport

Burg zu Hagen im Bremischen e.V., Hagen, 28. April 2009

Die Eiskernkisten stehen bereit für den Abtransport (per Flugzeug) zur Neumayer-Station, wo sie in Tiefkühlcontainer eingestaut wurden.



foto: hans oerter, 2006

Beladen des Flugzeuges

Burg zu Hagen im Bremischen e.V., Hagen, 28. April 2009



foto: hans oerter, 2006



Twin-Otter von British Antarctic Survey (BAS)

Burg zu Hagen im Bremischen e.V., Hagen, 28. April 2009



41

Start der Twin-Otter an der Kohnen-Station zum Flug zur Neumayer-Station an der Küste.



foto: sepp kipfstuhl, 2006

Ein zufriedenes Team: 2774 m; 17. Jan.'06



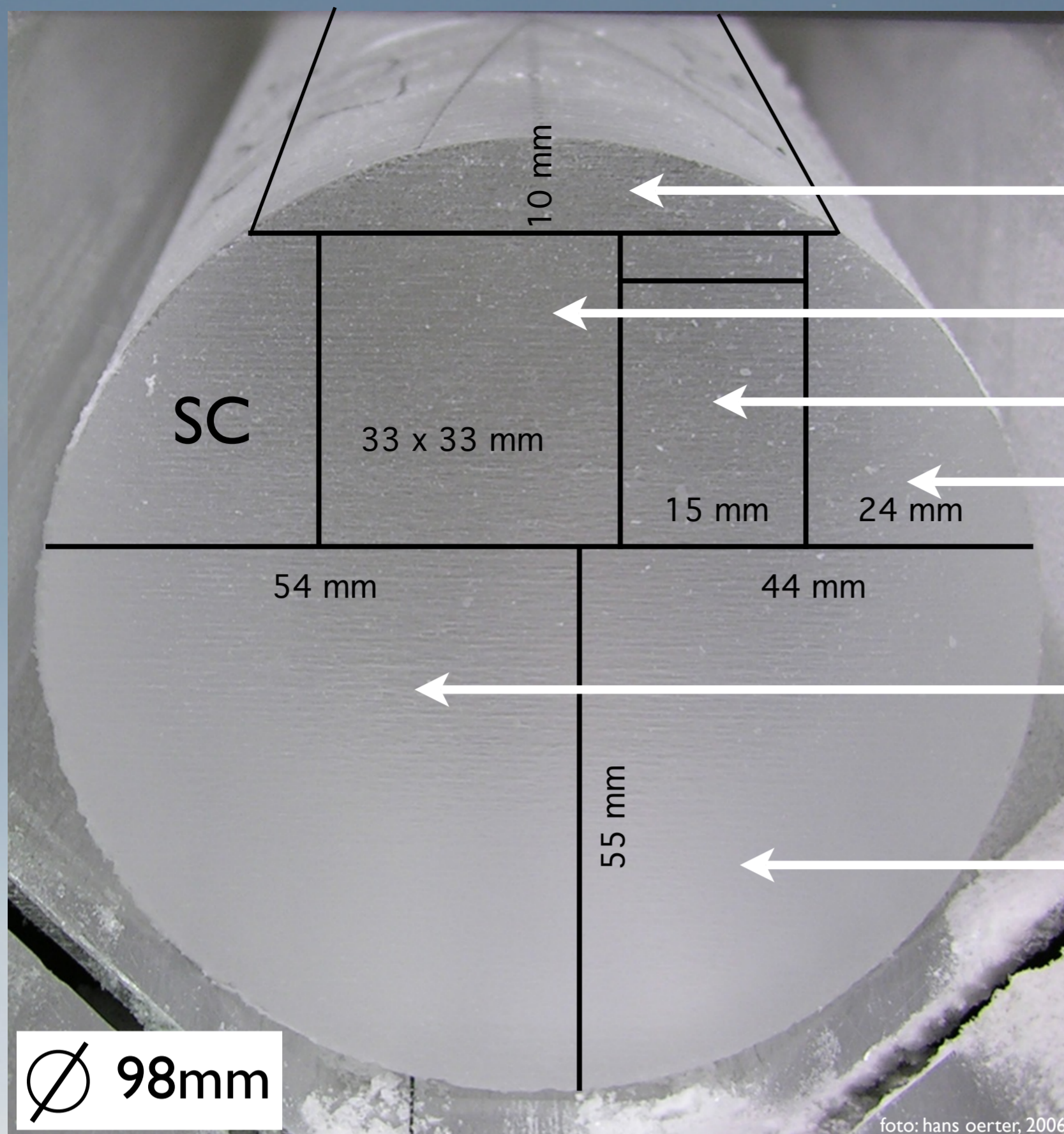
Burg zu Hagen im Bremischen e.V., Hagen, 28. April 2009



42

Gruppenbild des internationalen Bohrteams nach Abschluss der tiefen EPICA-Eiskernbohrung. Der Bohrer ist komplett vereist, nachdem er Kontakt mit dem subglazialen Wasser im untersten Bereich des Bohrlochs hatte.

Das Bohrteam, zu sehen sind: Karin Weiler (Schweiz), Tobjörn Karlin (Schweden), Sepp Kipfstuhl, Jens Köhler, Birthe Twarloh, Fernando Valero, Sergio Faria, Gunter Lawer, Dorothee Dick, Anja Lambrecht, Diedrich Fritzsche, Frank Wilhelms, Klaus Trimborn, Heinz Miller, Hans Beiersdorf, Johannes Freitag, Patrik Kaufmann (Schweiz), Jochen Krischat, Marc Blattner, Andreas Frenzel, Adi Ackermann, Cord Drücker, Hans Oerter, Gerit Birnbaum, Andreas Brehme, Günter Stoof. (Foto S. Kipfstuhl, 17.01.2006).



Dünnschnitte

CFA

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

^{10}Be

Archiv

Gase, Staub

∅ 98mm

foto: hans oerter, 2006

Probenzuteilung aus dem Eiskern

Schnittplan für den EDML-Eiskern. Die Standardbreite für die ^{18}O , ^2H und ^{10}Be Proben war 15 und 24 mm. Nur einige ausgewählte Kernstücke (bag??), an denen ^{18}O und ^2H mit 2,5 cm Tiefenauflösung gemessen wurden, hatten eine davon unterschiedliche Breite. Der Kerndurchmesser ist 98 mm; alle Maße angegeben in mm. SC = Stück, über das das EPICA-Steering-Committee gesondert verfügen konnte. CFA = Kontinuierliche Durchflussmessung (Continuous Flow Analysis). Phys. prop = physikalische Eigenschaften. Discont. samples = An diesen Proben wurden Gasgehalte und isotopische Zusammensetzung der Gase sowie Staub gemessen, jedoch nicht kontinuierlich über den gesamten Eiskern.

Das Eislabor am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven

Horizontalsäge

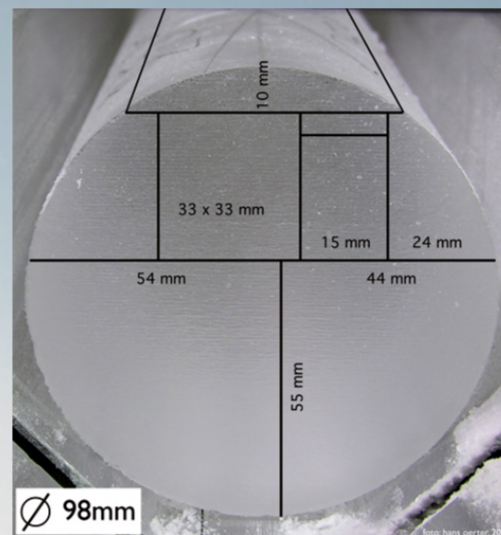
Line-Scan

Längs- und Querschnitte



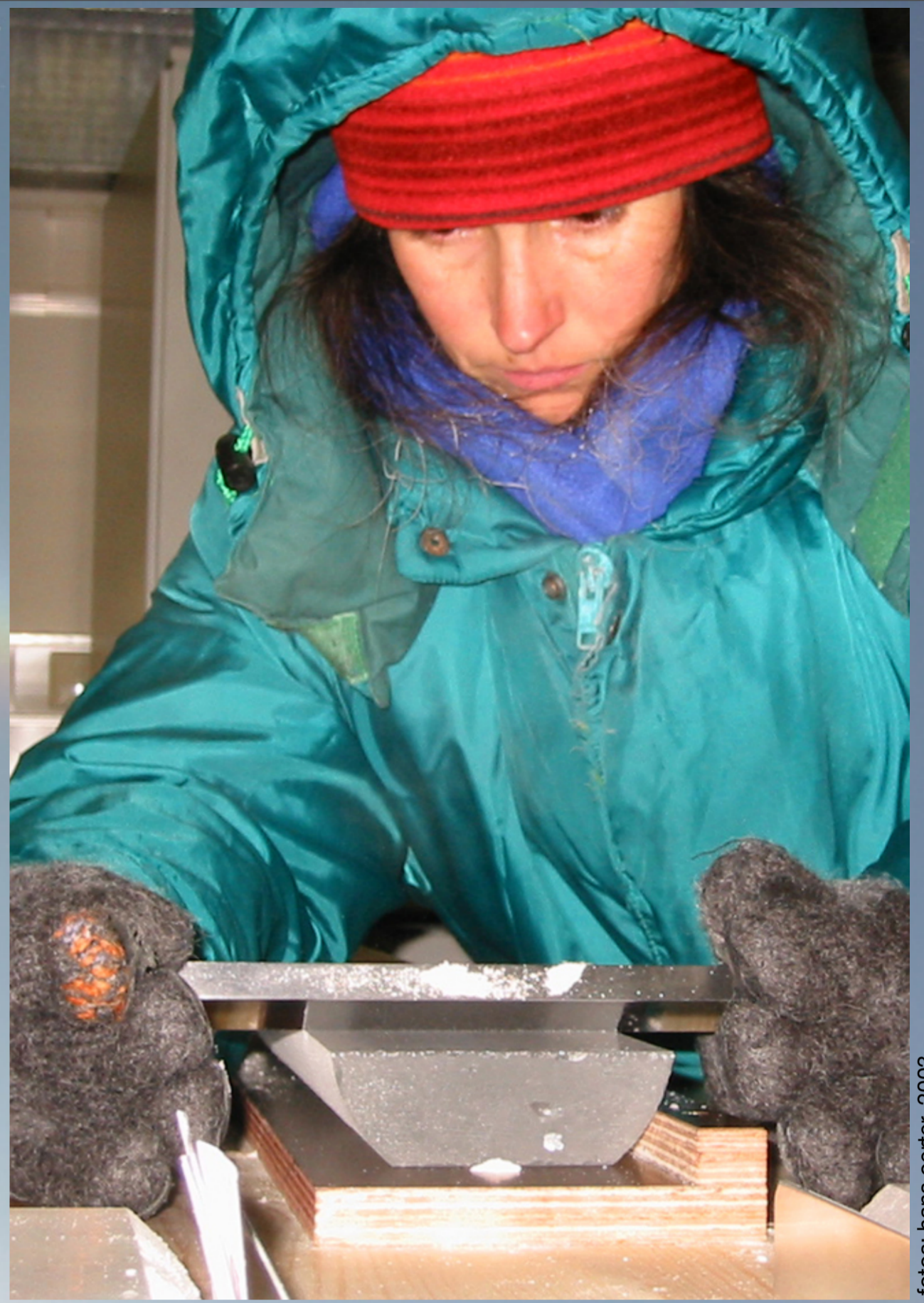
foto: hans oerter, 2002

Auspacken des Kerns



Vorbereitung
für Line-Scan

Blick in das große Eislabor des AWI in Bremerhaven, in dem der EDML-Eiskern – bei einer Raumtemperatur von etwa $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ – prozessiert wurde. Der Arbeitszyklus beginnt auf der linken Seite, wo die Kerne zuerst mit einer Horizontalsäge der Länge nach geteilt werden. Für die weiteren Schnitte, senkrecht zur Kernachse, stehen weitere Sägen zur Verfügung, die z.B. auf der rechten Seite zu sehen sind. In der Mitte des Raumes werden die Kerne mit einer Line-Scan-Kamera, die auf einem Schlitten über den Kern fährt, abgelichtet.



fotos: hans oerter, 2003

Arbeiten mit Eis im Kalten

Burg zu Hagen im Bremischen e.V., Hagen, 28. April 2009

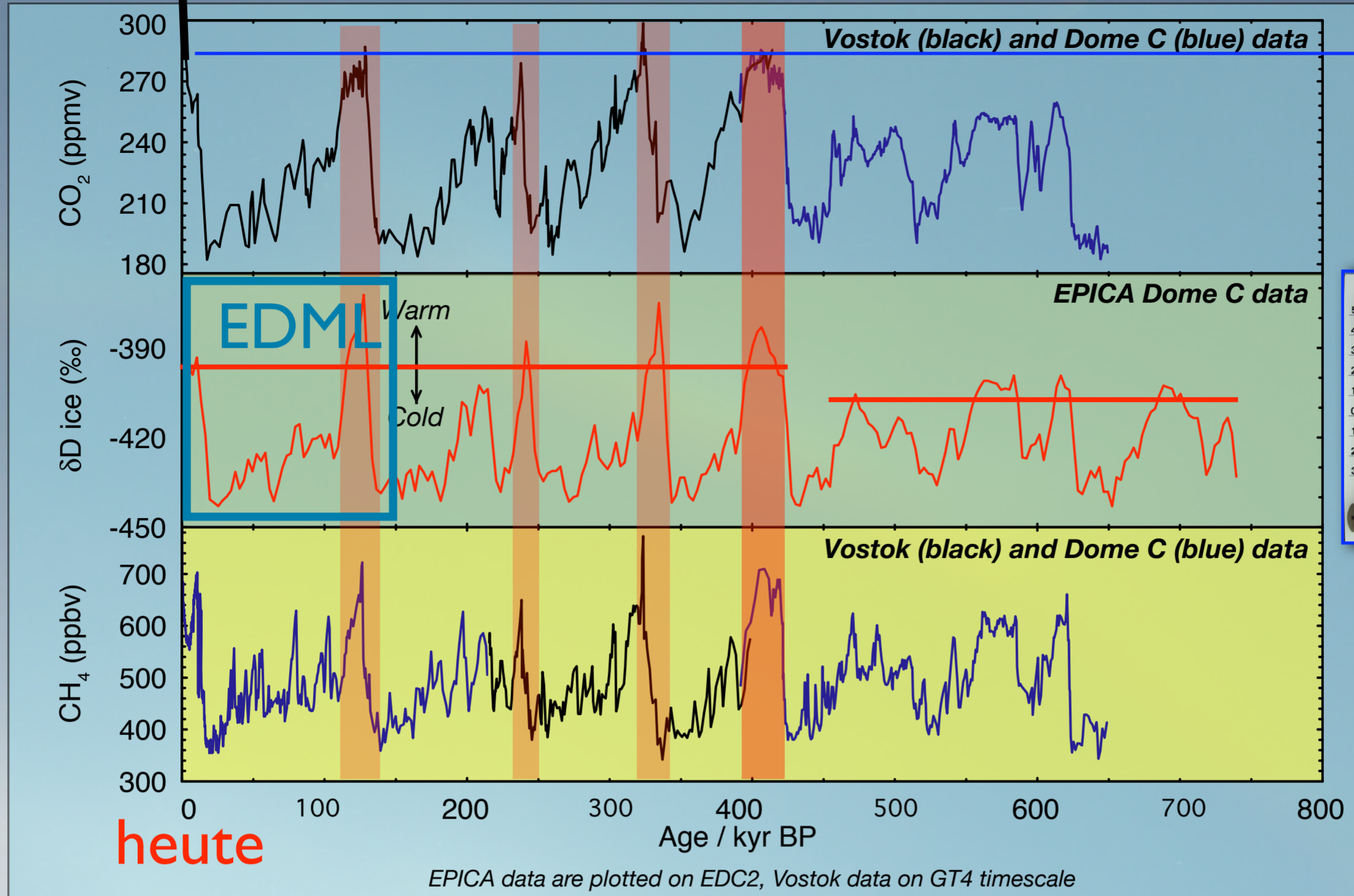
Arbeiten im großen Eislabor des AWI in Bremerhaven. Links: Sägen von Streifen für SC, CFA, stabile Isotope und ^{10}Be (vgl. Schnittplan Folie 43). Rechts: Glätten eines Eisstückes mit einem Mikrotom-Messer für Line-Scan-Aufnahmen.

Was lernen wir aus den Eisbohrkernen über das Klima in der Vergangenheit ?

Antarctic ice core records: Vostok and EPICA CO₂, CH₄ and δD

heute 385

vor 1850 AD



EPICA data are plotted on EDC2, Vostok data on GT4 timescale



Petit et al., 1999 (Vostok), Siegenthaler et al., 2005 (Dome C - CO₂), Spahni et al., 2005 (Dome C - CH₄), EPICA community members, 2004 (δD)



Burg zu Hagen im Bremischen e.V., Hagen, 28. April 2009



47

Antarctic Ice Core Records: Vostok and EPICA.

Original-Abbildungunterschrift: The record of CO₂ and CH₄ over the last 650,000 years from Antarctic ice cores. The figure shows data both from the Vostok and the EPICA Dome C cores, and is shown in comparison to the deuterium (temperature proxy) record from Dome C.

Credits:

Petit, J.R. et al.: Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. Nature 399: 429-436 (1999)
 Siegenthaler et al. Stable Carbon Cycle–Climate Relationship During the Late Pleistocene. Science 310, 1313-1317 (2005);
 Spahni et al.: Atmospheric Methane and Nitrous Oxide of the Late Pleistocene from Antarctic Ice Cores. Science 310, 1317-1321 (2005);
 EPICA community members: Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. Nature, 429, 623-628 (2004).

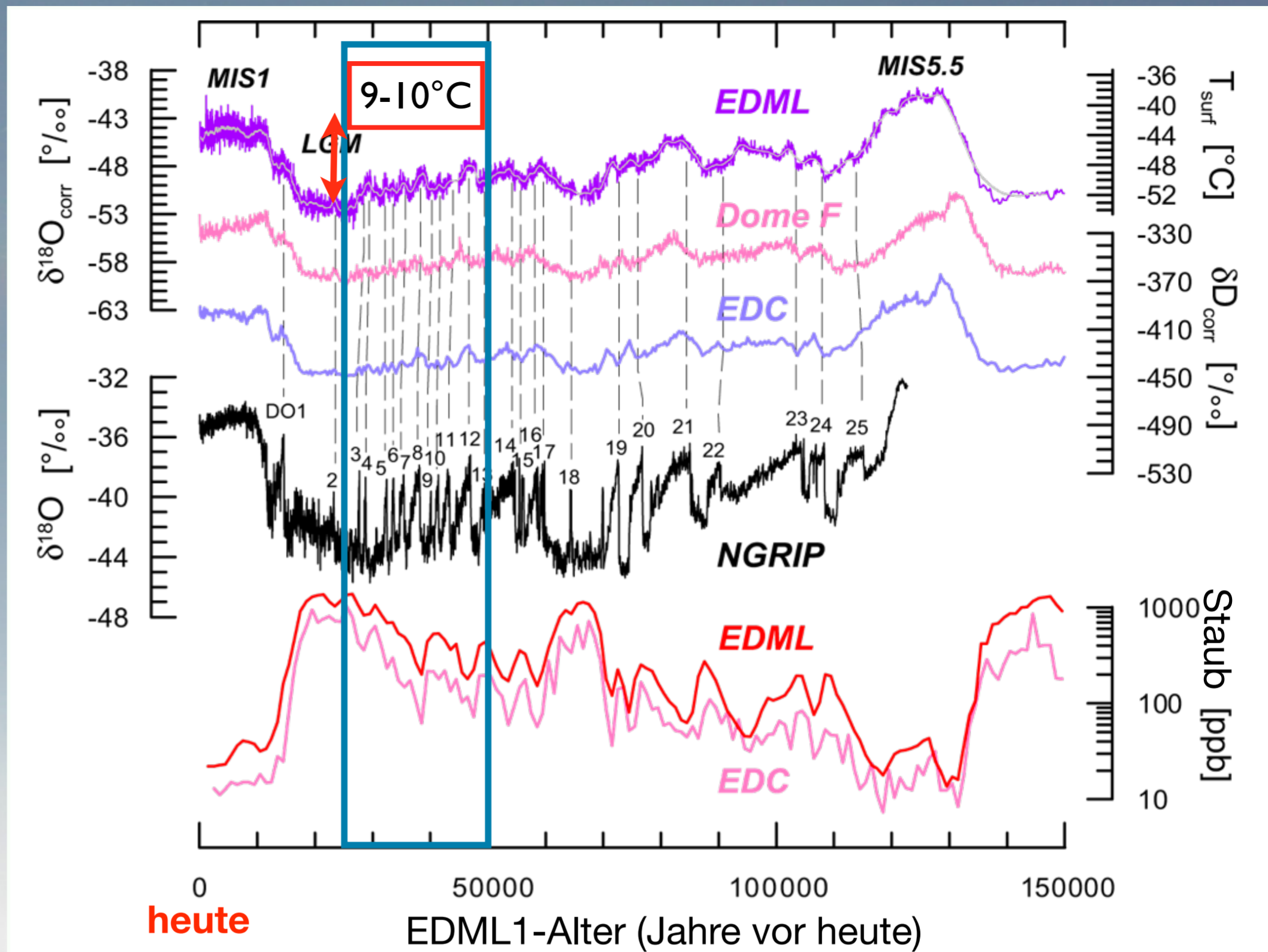
Die δD-Kurve (äquivalent zu δ¹⁸O) stellt den Temperatur-Proxy dar. In der Zeit von Heute bis ca. 400 ka ist die Zeitreihe durch 5 (einschl. des Holozäns) deutlich erkennbare, vergleichsweise kurze Warmzeiten (Interglaziale) gekennzeichnet, die im Abstand von ca. 100 ka auftreten. Dies entspricht der Zyklizität der Exzentrizität der Erdumlaufbahn (Milankovich-Zyklus). In der Zeit davor sind die Warmzeiten weniger warm, länger und die Kaltzeiten (Glaziale) entsprechend kürzer aber vergleichbar kalt wie die späteren Glaziale. Vergleicht man das holozäne Temperaturmittel mit den 4 vorhergehenden Interglazialen, erkennt man, dass die Temperaturen früher offensichtlich höher gewesen sind als heute. Die Zeitreihen von CO₂ (oben) und Methan (CH₄, unten) sind gut korreliert und zeigen einen nahezu synchronen Verlauf. Es kann jedoch festgestellt werden, mit den Unsicherheiten der bisherigen Datierung, dass der Temperaturanstieg jeweils vor dem Anstieg von CO₂ oder CH₄ begann. Beim Vergleich der CO₂-Gehalte der zurückliegenden 4 Interglaziale mit dem holozänen Wert vor der industriellen Revolution (ca. 1850) stellt man fest, dass sich die Maximalwerte nur unwesentlich unterscheiden. Vergleichbares gilt für Methan. Die heutigen hohen CO₂-Konzentration von 385 ppmv wurden in den Eiskernen zu keiner Zeit nachgewiesen.

Quelle der Abb.: www.pages.unibe.ch

Der neue Kern aus der Antarktis: EDML

Antarktiskerne
verlaufen
gleichsinnig

Im neuen EDML-
Kern sind mehr
Details erkennbar:
Für Vergleich mit
Grönland am
besten geeignet



Quelle: EPICA Community members: *Nature* 444, 195-198 (2006)



Burg zu Hagen im Bremischen e.V., Hagen, 28. April 2009



48

Isotopenprofile für die Antarktischen Eiskerne EDML, Dome F und EDC im Vergleich zu dem grönländischen Kern NGRIP

Originalabb.-Unterschrift:

Figure 1: Antarctic stable isotope records show synchronous millennial variations during the last glacial, whereas rapid variations are encountered in Greenland.

a) EDML $\delta^{18}\text{O}$ record (purple, 0.5-m resolution; grey, 15-m running mean) after sea level and upstream correction (see Supplementary Information) over the past 150 kyr. The record shows features similar to those of the EDC (blue) and the Dome F (pink) isotope records but with more fine structure during MIS3 and MIS4. We note that EDML and EDC are plotted on the new common EDC3 timescale (see Supplementary Information) while Dome F is plotted on its individual timescale. The temperature axis on the right side indicates approximate surface temperatures at EDML as derived from the spatial $\delta^{18}\text{O}$ /temperature gradient (see Supplementary Information).

b) $\delta^{18}\text{O}$ record of the NGRIP ice core (grey).

c) Mineral dust records of the EDML (red) and EDC (pink) ice cores at 1,000-yr resolution; these dust records were used for synchronization of the cores.

Die Eiskerne EDC und EDML wurden anhand des gemessenen Staubgehaltes synchronisiert und auf einer gemeinsamen Zeitskala (EDC3) dargestellt. Man erkennt, dass die Schwankungen des Isotopengehalts und damit der Lufttemperatur innerhalb der Ostantarktis sehr ähnlich verlaufen sind. Am Bohransatzpunkt des EDML-Kerns findet man die höchsten Akkumulationsraten. Dementsprechend zeigt dieser Kern auch besser aufgelöste Feinstrukturen, zumindest bis 80.000 Jahre vor Heute (Tiefe ca. 1970 m bzw. 71% Gesamttiefe). Darunter macht sich dann die in größerer Tiefe stärkere Ausdünnung gegenteilig bemerkbar.

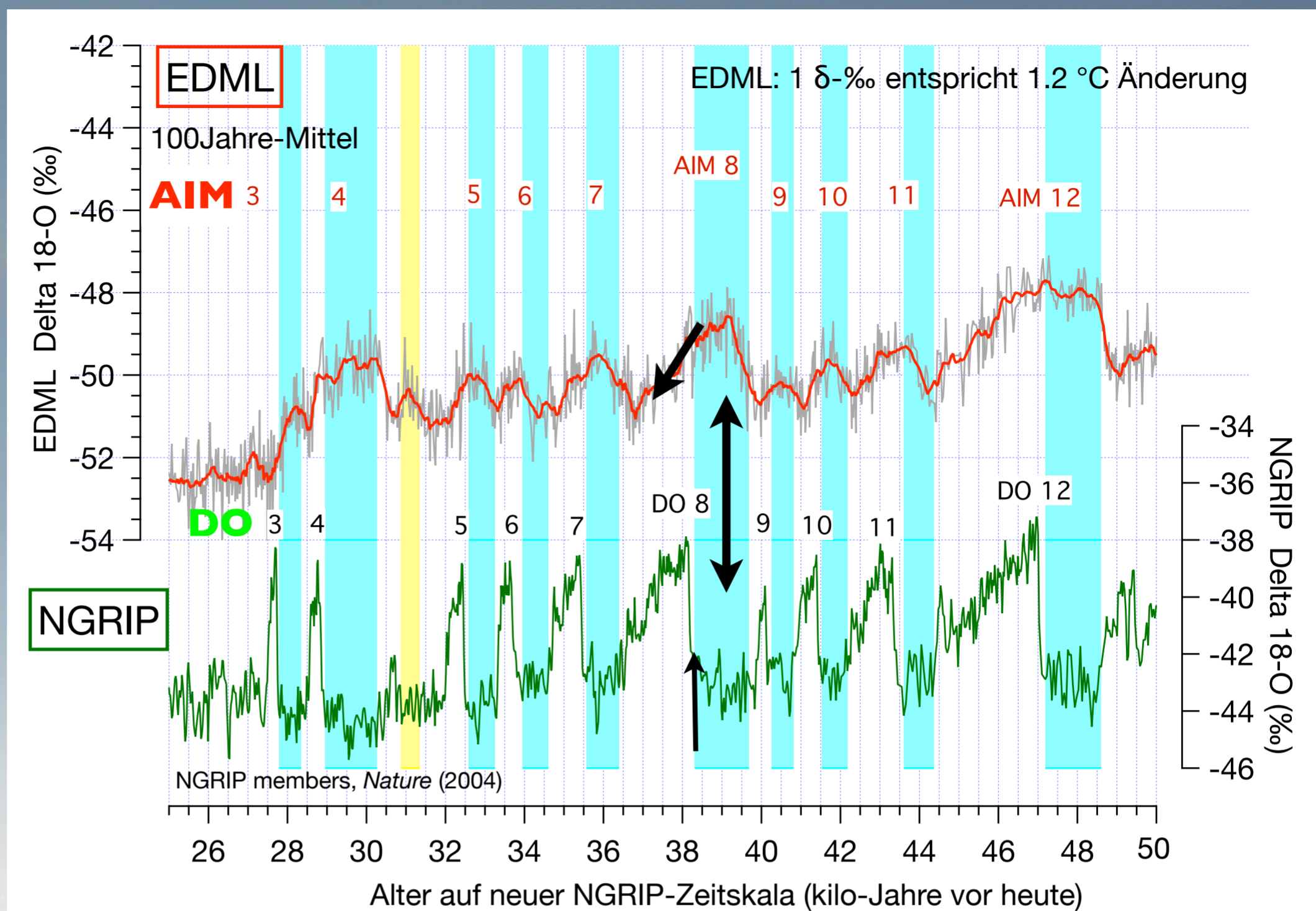
Im Vergleich mit der NGRIP-Kurve (gestrichelte Linien) sieht man, dass offensichtlich die schnellen klimatischen Schankungen im letzten Glazial (Dansgaard-Oeschger Events) auch in der Antarktis ihre Gegenstücke haben. Dies wird in einer späteren Folien noch näherer diskutiert.

Quelle: EPICA Community Members: One-to-one coupling of glacial climate variability in Greenland and Antarctica. *Nature* 444, 195-198 (2006)

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

Vergleich Antarktis (EDML) - Grönland (NGRIP)

Die Erwärmung im Süden beginnt während eines Stadials (kalte Phase) im Norden und führt zu einem sog. Antarktischen Isotopenmaximum (AIM). Mit einsetzender Abkühlung im Süden kommt es zu einem sprunghaften Temperaturanstieg im Norden, den sog. schnellen klimatischen Schwankungen oder Dansgaard-Oeschger-Ereignissen (D/O). Allen DO-Ereignissen im Norden sind AIMs im Süden zugeordnet.

Dieses Wechselspiel wird als „Bipolar Seesaw“ (bipolare Wippe) bezeichnet. Es hängt mit einem Wärmestau im Süden (wahrscheinlich Erwärmung des südlichen Ozeans) und einem plötzlichen Wärmetransport nach Norden und damit einer Abkühlung im Süden und einer sprunghaften Erwärmung im Norden zusammen. Der Wärmetransport erfolgt über die Atlantische meridionale Ozeanzirkulation (AMOC), die in nördlichen Stadialen reduziert ist (Erwärmung im Süden) und in Interstadialen voll wirksam wird (Abkühlung im Süden).

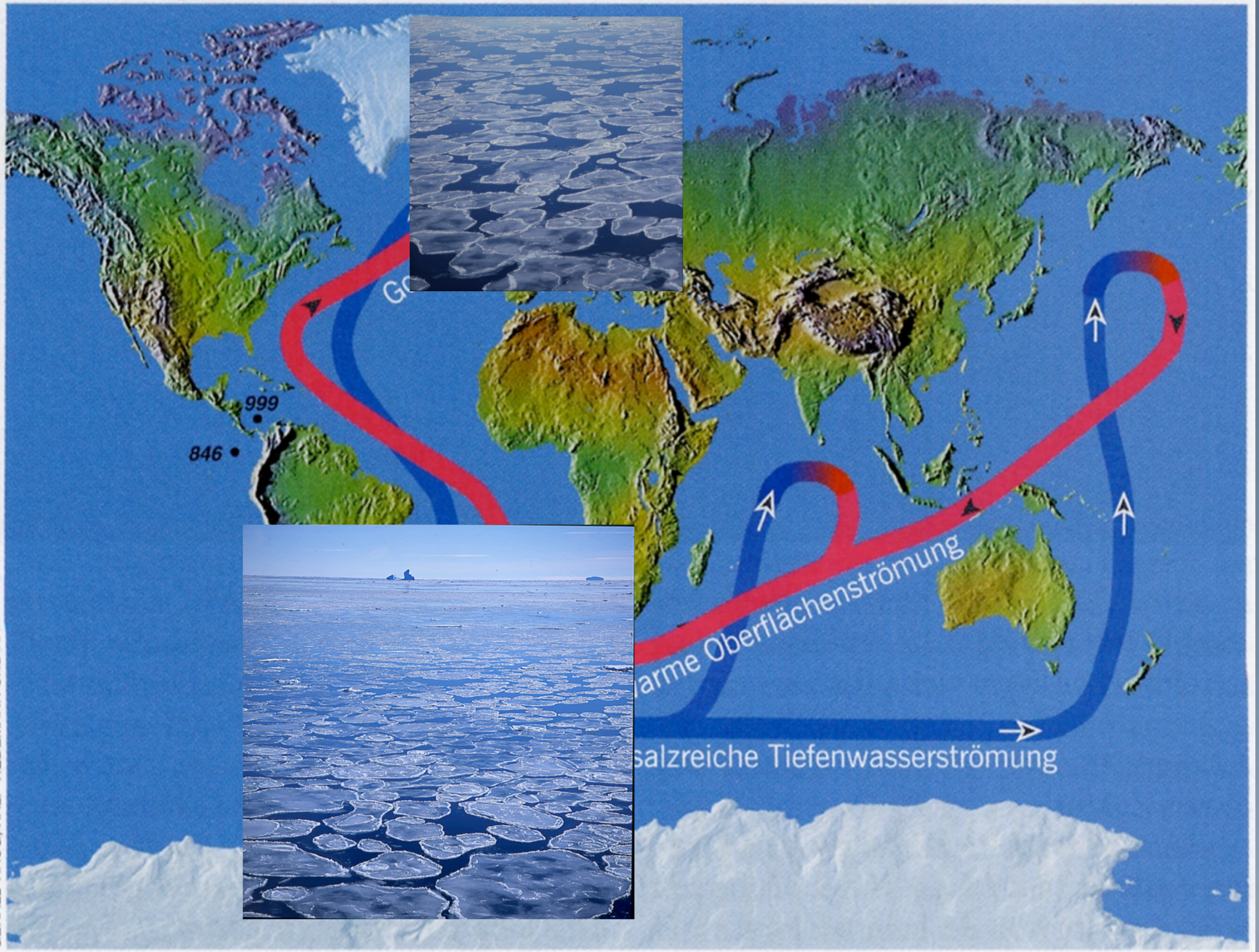
Im EDC-Kern, der 8 Glazialzyklen umfasst, treten AIMs auch in früheren Glazialen auf. Deshalb wird vermutet, dass auch im Norden D/O-Ereignisse in früheren Glazialen existierten (Jouzel et al. 2007).

EPICA Community Members: One-to-one coupling of glacial climate variability in Greenland and Antarctica. *Nature* 444, 195-198 (2006)

Jouzel et al.: Orbital and Millennial Antarctic Climate Variability over the Past 800,000 Years. *Science* 317, 793-796 (2007)

Dansgaard-Oeschger-Ereignisse

Dansgaard-Oeschger-Ereignisse (D/O-Ereignisse) sind klimatische Schwankungen in der Nordhemisphäre während des letzten Glazials (Weichsel-Eiszeit), mit schneller Erwärmung und langsamer Abkühlung. Sie sind benannt nach dem Dänen Prof. Dr. Willi Dansgaard (*1922), Professor am Niels-Bohr-Institut der Universität Kopenhagen und dem Schweizer Prof. Dr. Hans Oeschger (1927-1998), Professor am Physikalischen Institut der Universität Bern. 24 D/O-Ereignisse wurden erstmals bei der Analyse des Eisbohrkerns GRIP (1990-1992) entdeckt und in den nachfolgenden Eisbohrkernen GISP2 und NGRIP bestätigt. In den Eisbohrkernen wurden schnelle Anstiege des Gehalts an dem stabilen Isotope ^{18}O nachgewiesen, die auf einen Temperaturanstieg von bis zu 15°C innerhalb von wenigen Jahrzehnten hinweisen. Amplitude und Dauer der D/O-Ereignisse sind unterschiedlich, der Anstieg aber jeweils etwa gleich schnell. Während des letzten Interglazials (Eem-Warmzeit) wurden D/O-Ereignisse nicht nachgewiesen.

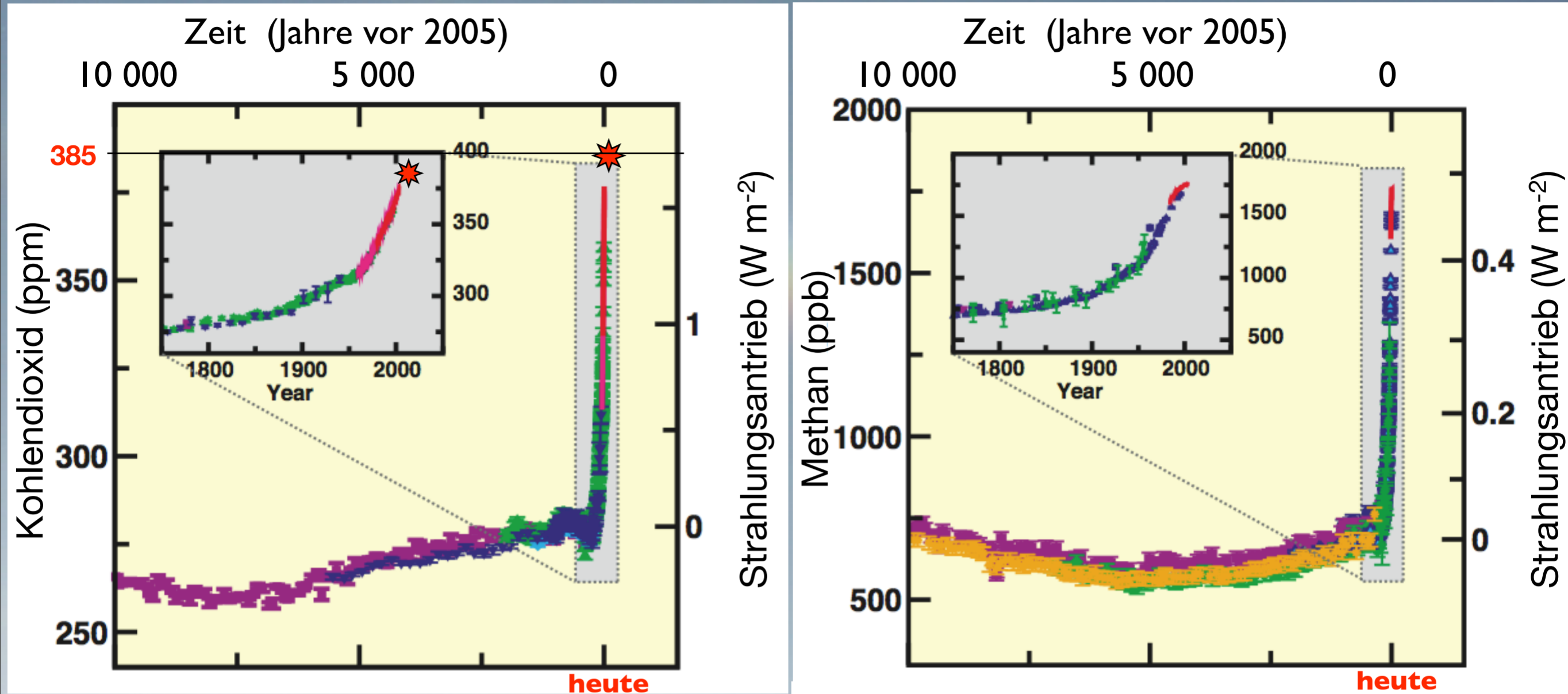


Die Hauptströmungssysteme in den Weltmeeren mit der warmen Oberflächenströmung und kalten, salzreichen Tiefenwasserströmung. Ein Antrieb für die globalen Meeresströmungen aufgrund der so genannten thermo-halinen Zirkulation ist die Bildung von Meereis. Damit ist die Freisetzung von Salz verbunden. Das schwere, weil abgekühlte und salzreiche Wasser unter dem neuen Meereis sinkt in die Tiefe, bildet das Tiefenwasser und schafft so an der Oberfläche Platz für nachströmendes wärmeres Wasser, z. B. Golfstrom im Norden. Das Weddelmeer im Süden und das Meeresgebiet zwischen Grönland und Spitzbergen, die Framstraße, sind hier von besonderer Bedeutung.

Der Blick in die Zukunft



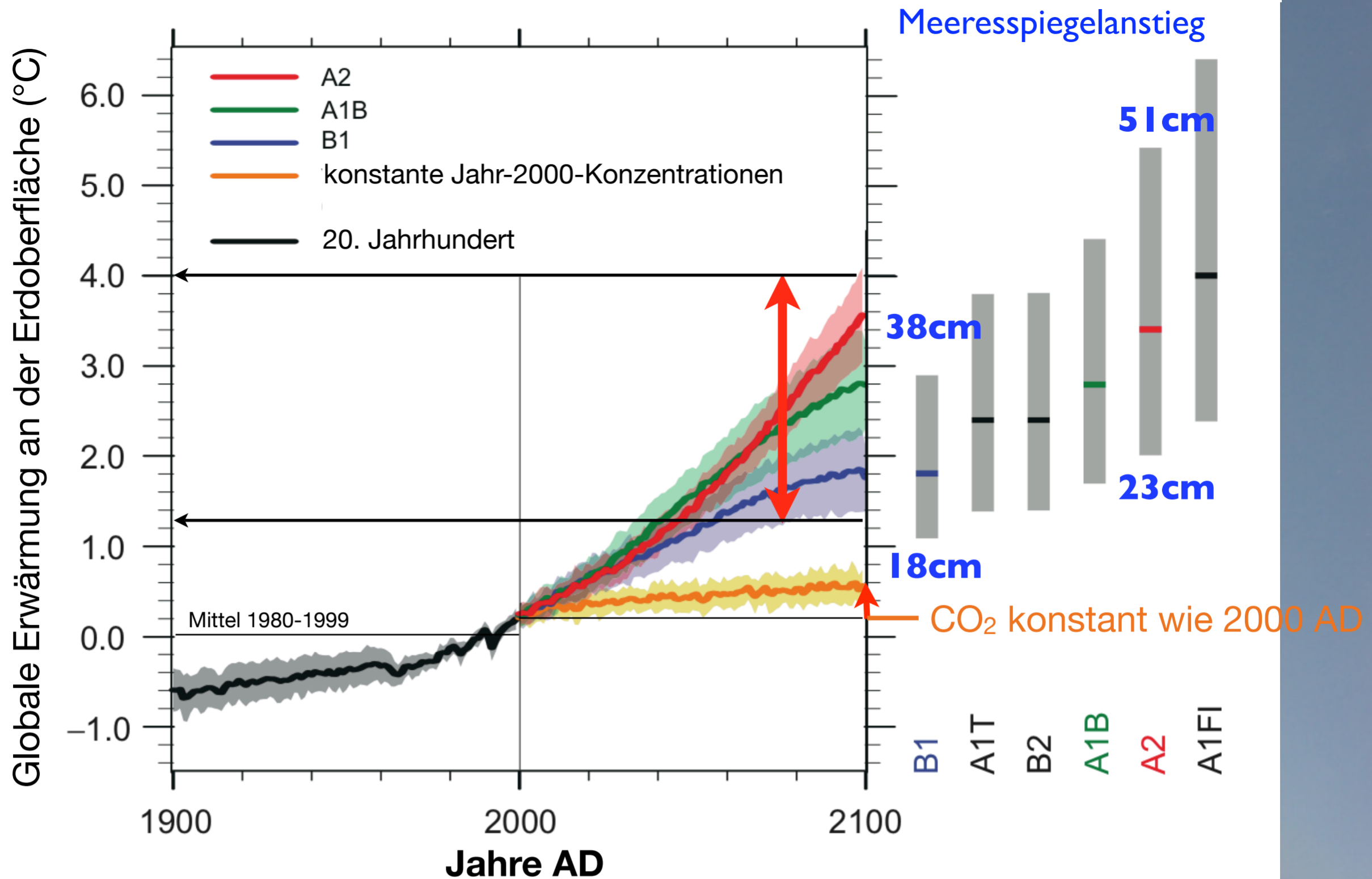
Informationen aus dem IPCC- Report 2007: Treibhausgase



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

Informationen aus dem IPCC-Report 2007: Der Anstieg des Kohlendioxidgehaltes und des Methangehaltes. Beide Gase sind zusammen mit dem Wasserdampf die am stärksten klimawirksamen Treibhausgase. Der mit dem Anstieg der Treibhausgase verbundene Strahlungsantrieb (rechte Achsen) führt u.a. zu einer Erhöhung der Lufttemperatur. Mit verschiedenen Wirtschaftsszenarien wird der Anstieg der Treibhausgase für die Zukunft simuliert.

Informationen aus dem IPCC- Report 2007: Erhöhung der mittleren globalen Lufttemperatur



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

Informationen aus dem IPCC-Report 2007: Mit **verschiedenen Szenarien**, die jeweils eine unterschiedliche Entwicklung der Treibhausgase ergeben, können verschiedene Temperaturszenarien für die Zukunft berechnet werden. Der heute gemessene Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre liegt bereits über den höchsten Modellannahmen!

Die schwarze Kurve links ist die gemessene/rekonstruierte Temperaturkurve für das 20. Jahrhundert. Die graue Fläche zeigt die Ergebnisse der Modelle, die für die späteren Simulationen verwendet wurden.

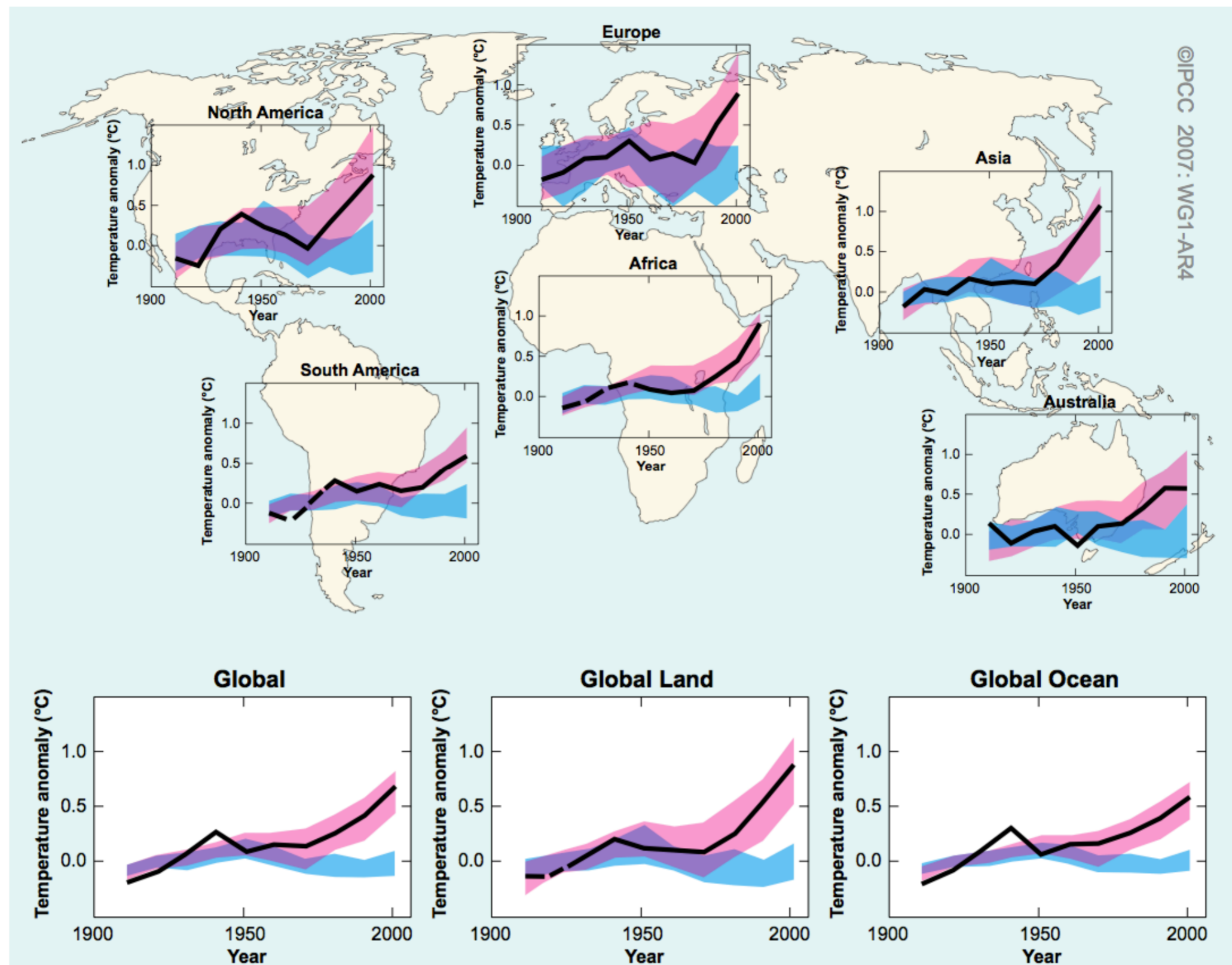
Die orangefarbene Kurve steht für eine Simulation, bei der die Treibhausgaskonzentrationen konstant auf dem Wert von 2000 gehalten werden. Selbst dann würde die Temperatur bis zum Jahr 2100 global um etwa 0.4 °C steigen.

Die Kurven für den Zeitraum 200-2100 verdeutlichen den Schwankungsbereich der einzelnen Modelle. Der wahrscheinlichste Anstieg des globalen Temperaturmittels an der Erdoberfläche liegt zwischen 1,3 und 4,0 °C.

Mit der blauen Schrift rechts ist der daraus resultierende Meeresspiegelanstieg angedeutet.

Globale und kontinentale Temperaturänderungen

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



©IPCC 2007: WG1-AR4

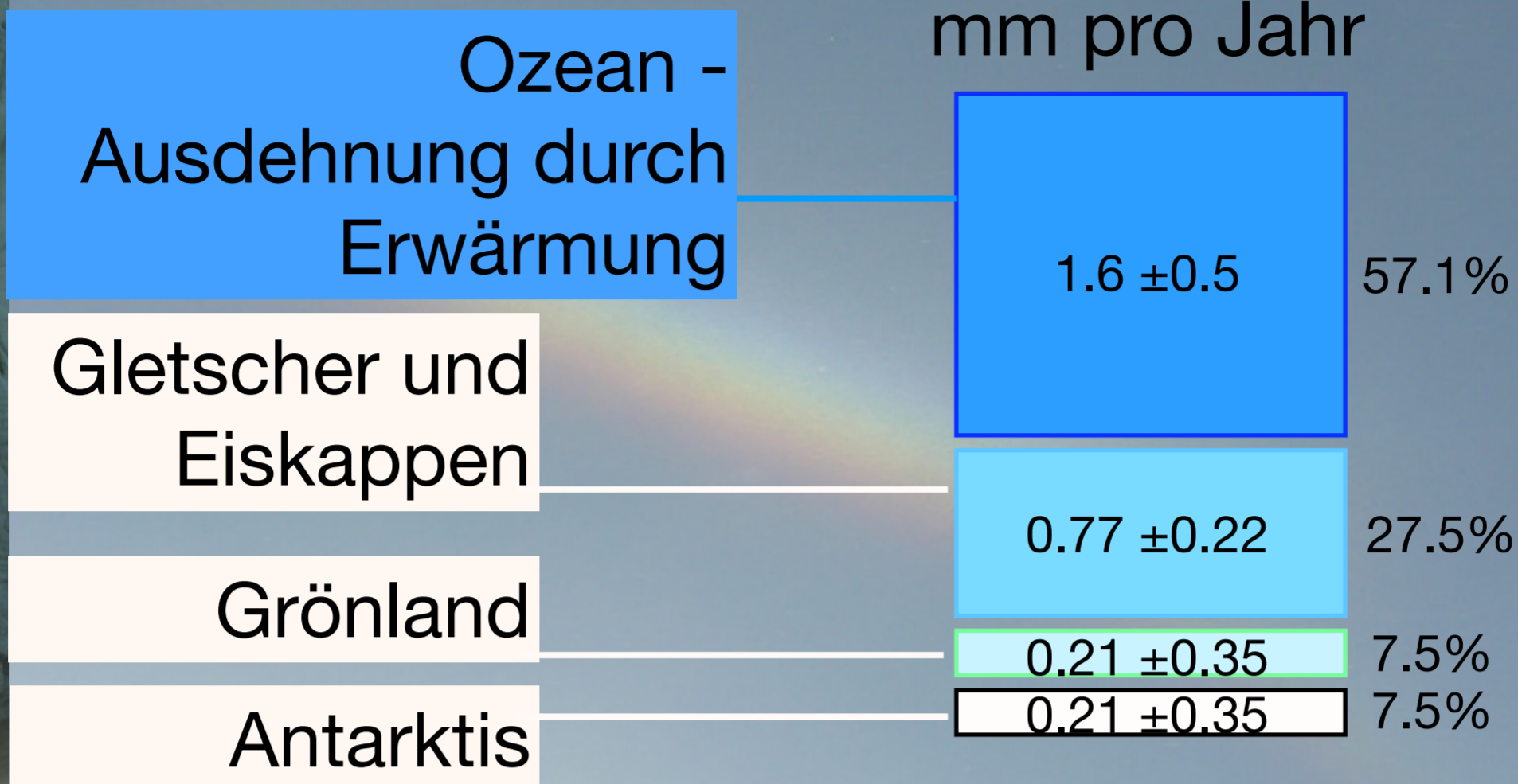
Treibhausgase oder Änderung Erdumlaufbahn?

Vergleich der beobachteten Änderungen der Erdoberflächentemperatur auf kontinentaler und globaler Skala mit den von Klimamodellen auf Grund entweder natürlicher oder sowohl natürlicher als auch anthropogener Antriebe berechneten Resultaten. Die 10-Jahres-Mittel der Beobachtungen sind für den Zeitraum 1906-2005 (schwarze Linien) im Zentrum des Jahrzehnts und relativ zum entsprechenden Mittel von 1901-1950 eingezeichnet. Die Linien sind gestrichelt, wenn die räumliche Abdeckung weniger als 50% beträgt. Blau schattierte Bänder zeigen die 5-95%-Bandbreite für 19 Simulationen von 5 Klimamodellen, welche nur die natürlichen Antriebe durch Sonnenaktivität und Vulkane berücksichtigen. Rot schattierte Bänder zeigen die 5-95%-Bandbreite für 58 Simulationen von 14 Klimamodellen unter Verwendung sowohl der natürlichen als auch der anthropogenen Antriebe.

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

Informationen aus dem IPCC- Report 2007: Was verursacht Meeresspiegelanstieg?

1993-2003
mm pro Jahr



Summe: 2.8 mm pro Jahr



28 mm
in 10 Jahren

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

Burg zu Hagen im Bremischen e.V., Hagen, 28. April 2009

Was verursacht Meeresspiegelanstieg? Der Bericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) enthält dazu einige Zahlen für den Zeitraum 1993-2003. Demnach lässt sich der globale Meeresspiegelanstieg zu etwa 57 Prozent auf die thermische Ausdehnung des Meerwassers zurückführen, zu etwa 28 Prozent auf das Schmelzen von den so genannten kleinen Gletschern und Eiskappen. Grönland trug mit etwa 0,21 Millimetern pro Jahr, entsprechend 7,5 Prozent zum Meeresspiegelanstieg. Beachten Sie den angegebenen Schwankungsbereich von plus/minus 0,35 Millimetern pro Jahr. Er trägt den Unsicherheiten, die diesen Berechnungen immer noch anhaften, Rechnung. Die Antarktis trug etwa gleich viel bei, aber nicht auf Grund erhöhter Abschmelzung sondern weil auch hier die Fließgeschwindigkeit einiger Eisströme deutlich zugenommen hat.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

