

# Einblicke in die eisige Welt der Klimaforscher und Ausblicke auf das Klima von morgen.

Dr.-Ing. Hans Oerter



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

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



FGN Informationsveranstaltung, Kloster Banz, 24. September 2009



foto: günter stoof, 2008

1

Meine Damen und Herren,

vielen Dank für die Einladung zu Ihrer Informationsveranstaltung. Ich bin gerne nach Kloster Banz gekommen. Ich möchte Ihnen heute Abend einen (kleinen) Einblick in die eisige Welt der Klimaforscher, in der ich zusammengerechnet insgesamt fast vier Jahre zugebracht habe, und einen Ausblick auf das Klima von morgen geben.

|



Einführung



Die Arktis

Das Meereis der Arktis



Die Antarktis

Eiskernbohrungen



Blick in die Zukunft



Was erwartet Sie in der nächsten Stunde?

Eine kurze Einführung soll Sie zuerst dem Thema näher bringen. Dabei werde ich Ihnen auch das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven, meinen Arbeitgeber, vorstellen. Dann möchte ich Sie mit einigen Bildern und Erklärungen in die Arktis führen. Dabei wird das Meereis der Arktis, das zur Zeit rapiden Veränderungen unterworfen ist, eine besondere Rolle spielen. Als nächstes gehen wir in die Antarktis. Dort werden Eiskernbohrungen, diese wichtigen Zeugen klimatischer Veränderungen in den letzten 800,000 Jahren, im Mittelpunkt stehen. Zum Schluss der Blick in die Zukunft und die Frage, wie kann sich unser Klima in den nächsten hundert Jahren verändern.





foto: hans oerter, 2009

Gehen wir zuerst nach Bremerhaven. Dort begegnen wir dem Schiff Grönland, mit dem im Jahre 1868 die erste deutsche Nordpolar-Expedition von Bremerhaven aus in die Arktis aufbrach. Heute wird die Grönland, die immer noch voll seetauglich ist, verschieden genutzt. Unter anderem ist sie als Botschafterin für den sparsamen Umgang mit Energie unterwegs, um auf die Klimaproblematik aufmerksam zu machen. Dann trägt sie das CO<sub>2</sub>-Segel am Mast. Kohlendioxid steht auch in der Öffentlichkeit im Mittelpunkt vieler Diskussionen und die dunklen Wolken, die hier hinter dem Kohlendioxid-Symbol aufziehen, werden in unterschiedlich schwarzen Farben geschildert. Ich hoffe, dass ich Ihnen heute Abend noch einige neue Informationen geben und Hintergründe zu diesem Thema erklären kann. Mit jedem Atemzug produzieren wir Kohlendioxid, eine Kohlendioxidfreie Welt gibt es nicht.



mein Büro



Bleiben wir in Bremerhaven, und gehen vom so genannten Neuen Hafen zum Alten Hafen. Hier steht das im Jahr 1985 errichtete Gebäude D des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung, abgekürzt AWI. Im Mai 1988 wechselte ich von der damaligen GSF, dem heutigen Helmholtz-Zentrum München an das AWI nach Bremerhaven. Wenn Sie mich einmal in Bremerhaven besuchen möchten, finden sie mein Büro im 3. Stock des Institutsgebäudes „Am Alten Hafen 26“.



# Die wichtigsten Daten

1980: Gründung des Instituts in Bremerhaven als Stiftung des öffentlichen Rechts

Stand 2007:

- Etat: 103 Mio. Euro
- 788 Mitarbeiter/innen

Finanzierung:

- 90% Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
- 8% Land Bremen
- je 1% Länder Brandenburg und Schleswig-Holstein
- Drittmittel

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren



www.awi.de



FGN Informationsveranstaltung, Kloster Banz, 24. September 2009



5

Lassen Sie mich Ihnen das **Alfred-Wegener-Institut (AWI)** kurz vorstellen.

Das Institut wurde 1980 als Stiftung des öffentlichen Rechts gegründet und nach dem Geophysiker und Polarforscher Alfred-Wegener (1880-1930) benannt. Das Institut ist Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft deutscher Forschungszentren (HGF). Die Finanzierung wird zu 90% vom Bundesministerium für Forschung und Technologie getragen, zu 8% vom Land Bremen und zu je 1% von den Ländern Brandenburg und Schleswig-Holstein. Der Jahresetat liegt bei 103 Millionen Euro. 2007 beschäftigte das Institut 788 Mitarbeiter.



# Standorte



www.awi.de



FGN Informationsveranstaltung, Kloster Banz, 24. September 2009



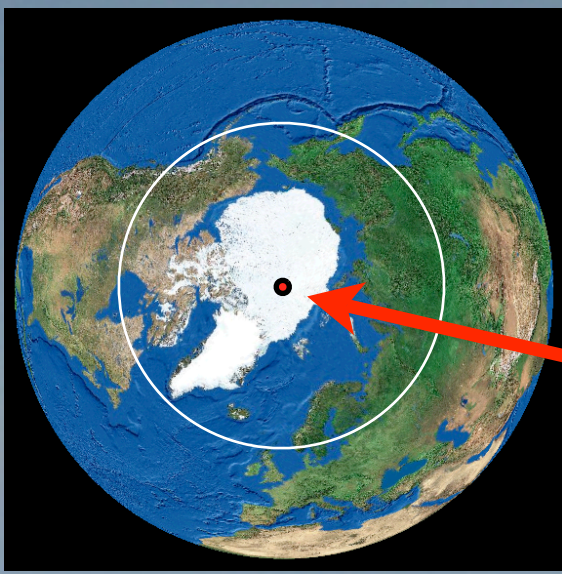
Innerhalb Deutschlands sind die Mitarbeiter des AWI verteilt auf vier Standorte: Bremerhaven, Potsdam, Helgoland und Sylt und damit auf die Bundesländer Bremen, Brandenburg und Schleswig-Holstein.





An Forschungsplattformen stehen dem AWI zur Verfügung: Der Forschungseisbrecher Polarstern, drei kleinere Schiffe zum Einsatz im Bereich der Nordsee, ein Flugzeug mit Skiausrüstung zum Einsatz in den Polargebieten. Das AWI unterhält eine Überwinterungsstation in der Antarktis, die Neumayer-Station, eine Sommerstation auf dem Plateau des Inlandeises, die Kohnen-Station und im Bereich der Antarktischen Halbinsel das sog. Dallmann-Labor, das gemeinsam mit Argentinien und den Niederlanden betrieben wird und im Bereich der argentinischen Station Jubany liegt. Im Bereich der Arktis wird gemeinsam mit Frankreich auf Spitzbergen die Station AWIPEV betrieben sowie in Sibirien die kleine Station Samoylow.

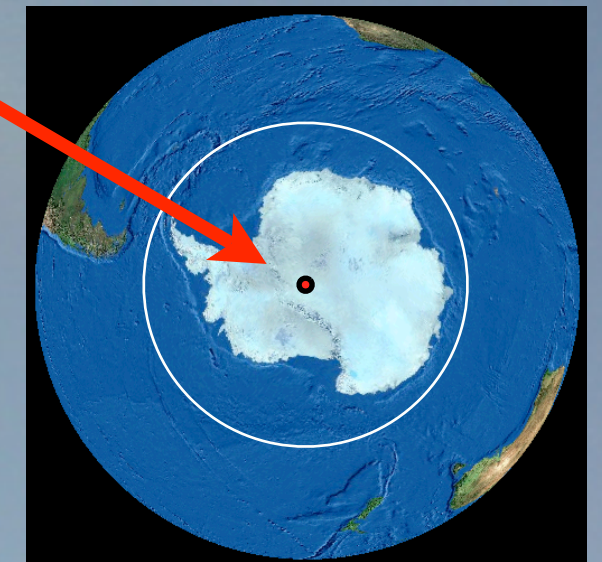




Arktis/  
Grönland



Antarktis



Quelle: Google Earth



FGN Informationsveranstaltung, Kloster Banz, 24. September 2009



Vom Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven führten mich 10 Expeditionen nach Grönland, jeweils in den Randbereich des grönländischen Inlandeises und 11 Expeditionen (die Münchener Ausfahrt mit eingerechnet) in die Antarktis. Darüber hinaus blieb mir noch soviel Freizeit, dass ich siebenmal ein Kreuzfahrtschiff in das Gebiet der Antarktischen Halbinsel und achtmal in arktische Gewässer begleiten konnte. Dadurch sah ich auch Gegenden, die nicht direkt mit meinen Forschungsarbeiten zu tun hatten. Summa summarum verbrachte ich vier Jahre in den Polargebieten. Eine lange, aber sehr schöne Zeit.

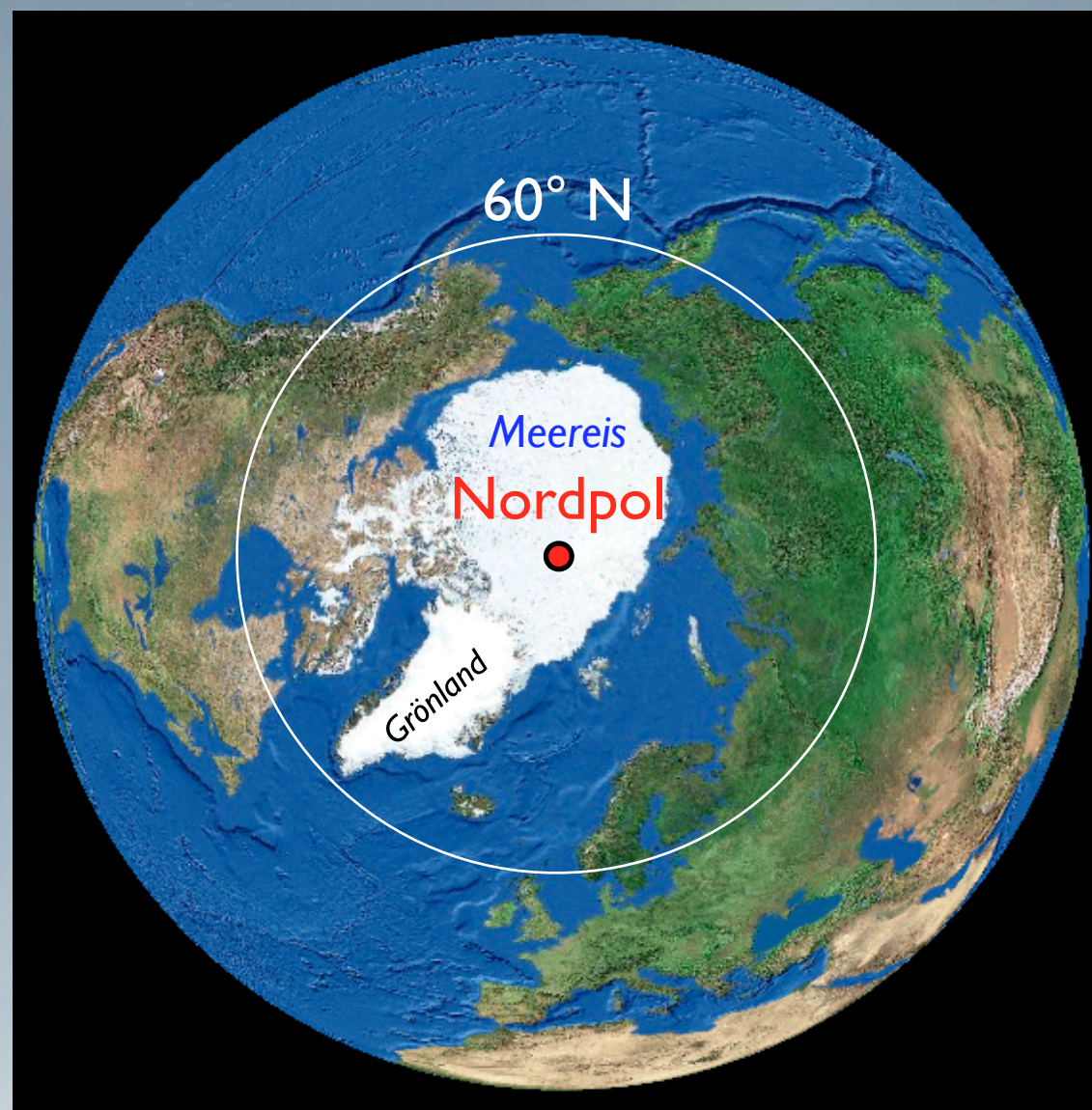


# Die Polarregionen:

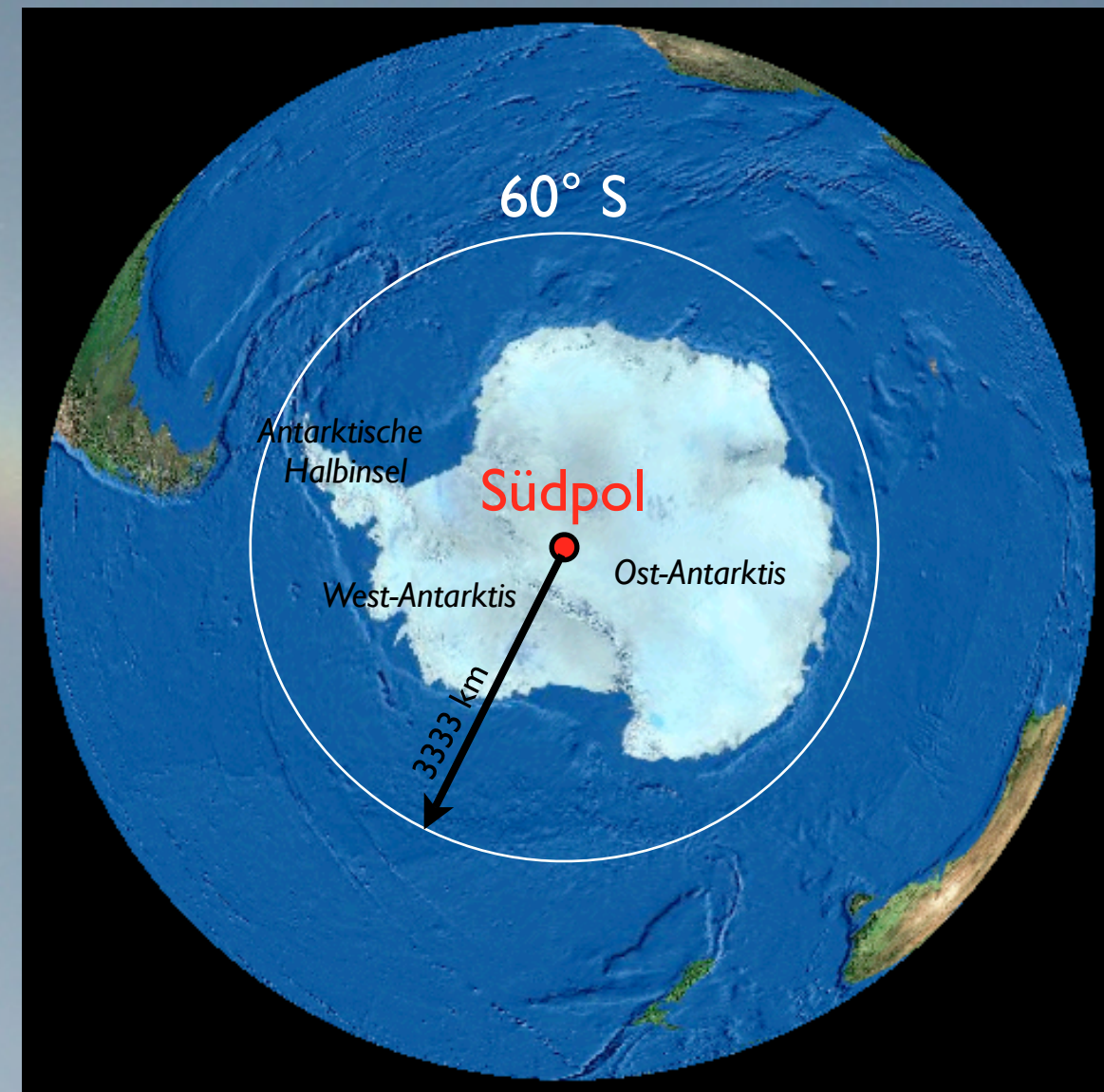
## Arktis

und

## Antarktis



Meer von Land umgeben  
Nordpol liegt im Meer



Land von Meer umgeben  
Südpol liegt auf eisbedecktem  
Kontinent (ca. 2830 m ü.M.)

### Die Polarregionen: Unterschiede und Gemeinsamkeiten

Die Arktis liegt im Norden, es ist die nördliche Polarregion. Ihre geografische Grenze ist nicht eindeutig definiert. Wichtig ist zu wissen, die Arktis ist ein Meer, das Nordpolarmeer, umgeben von einer Landmasse. Der Nordpol liegt im Meer. Auf vielen Karten ist die Gegend um den Nordpol weiß dargestellt, um zu zeigen, dass das Meer dort meist ganzjährig mit Eis bedeckt ist. Aber, es handelt sich um Meereis, also gefrorenes Meerwasser, im Mittel 2-4 Meter dick und nicht um einen ewigen, auf dem Meeresgrund aufliegenden Eispanzer!

Bis zu 3000 Meter dickes Eis finden wir in der Arktis nur auf Grönland.

Im Gegensatz dazu ist die Antarktis ein Kontinent, vom Meer umgeben. Der Südpol liegt im Zentrum von Antarktika, dem antarktischen Festland, das mit einem im Mittel mehr als 2000 Meter dicken Eispanzer bedeckt ist. Der Südpol selbst liegt auf einer Höhe von 2830 Meter über dem Meer.

Die Antarktis gliedert sich in drei große Gebiete: Ostantarktis, Westantarktis und die Antarktische Halbinsel. Beachten sie den enormen Radius von über 3000 Kilometern, der den Abstand vom 60ten südlichen Breitengrad bis zum Südpol beschreibt.

Schon der Höhenunterschied zwischen Nordpol und Südpol gibt eine erste Erklärung, warum es am Südpol wesentlich kälter ist als am Nordpol. Denn, es ist zum Beispiel auch auf der Zugspitze viel kälter als in Hamburg.



# Die Polarregionen:

Arktis

und

Antarktis

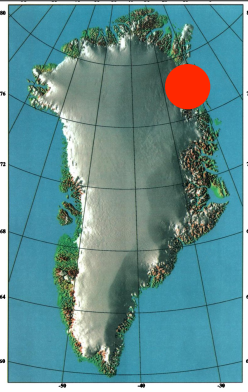


Meer von Land umgeben  
Nordpol liegt im Meer



Land von Meer umgeben  
Südpol liegt auf eisbedecktem  
Kontinent (ca. 2830 m ü.M.)





Beginnen wir mit einer **Beschreibung der Arktis**. Einige Bilder werden Ihnen im Folgenden kurz zeigen, wie ein Besucher den grönländischen Eisschild sieht.

Die kleine Karte von Grönland mit dem roten Punkt oben rechts hilft Ihnen, die gezeigten Bilder geografisch einzuordnen.

Hier schauen wir aus dem Hubschrauber auf das Grönländische Inlandeis, mit den tiefblau strahlenden Schmelzwasserseen an der Oberfläche. Im Sommer schmilzt das Eis an der Oberfläche, in einem breiten Streifen, der 100-150 Kilometer vom Eisrand auf das Inlandeis hinauf reicht. Das Schmelzwasser sammelt sich in Mulden auf dem Inlandeis und bildet diese Seen. Diese Seen gefrieren im Winter, wenn sie nicht vorher trocken gefallen sind.

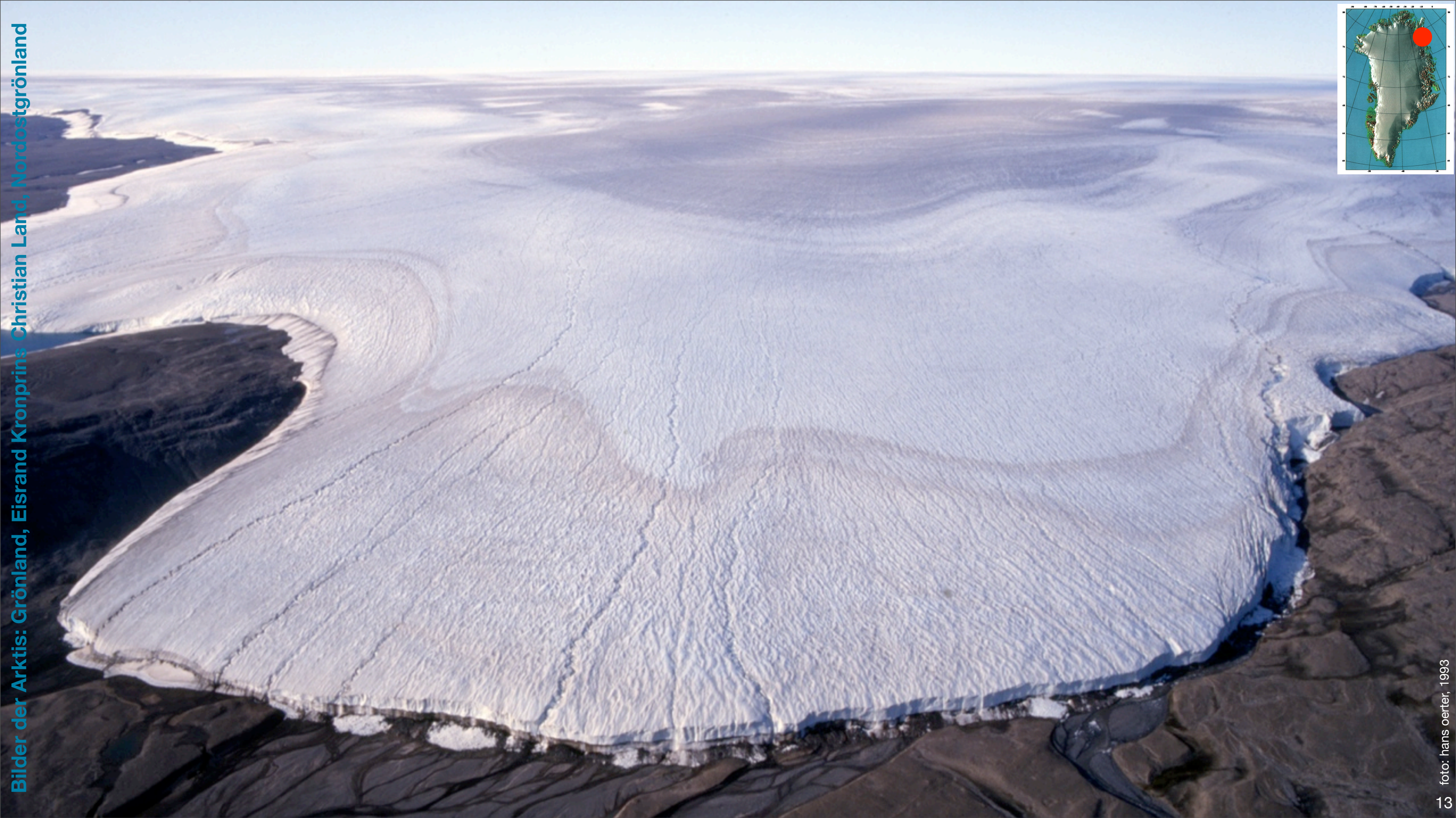




Dort, wo das Eis bis ins Meer fließt, schwimmen die Gletscherzungen meist auf. Von diesen Gletscherzungen brechen die Eisberge ab. Man spricht vom Kalben eines Gletschers. Hier als Beispiel die Kalbungsfrent des Storstrømmen, des großen Eisstroms, in Nordostgrönland.

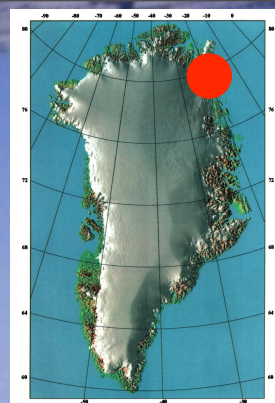
Das Inlandeis verliert also auch Eismasse, ohne dass es vorher geschmolzen sein muss. Der Eisabfluss ist etwa für die Hälfte des jährlichen Massenverlustes des Grönländischen Inlandeises verantwortlich.





Etwas weiter nördlich, in Kronprins Christian Land, fließt das Inlandeis nicht mehr bis ins Meer. Der Rand des grönländischen Inlandeises liegt im Landesinneren.



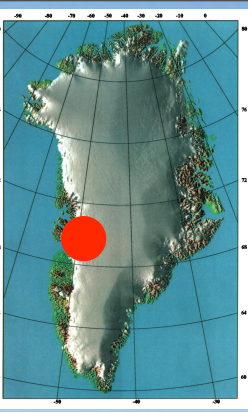


Akkumulations-  
oder  
Nährgebiet

Ablations- oder  
Zehrgebiet

Nicht alle Gletscher Grönlands hängen mit dem Inlandeis zusammen. Hier ein Beispiel aus dem östlichen Randgebirge. Der Elefantenußgletscher liegt in Kronprins Christian Land, Nordostgrönland, bei ca. 80 grad 53 min N, 19 grad 25min W. Das Eis fließt aus der Plateauvergletscherung des Gebirgszuges nach Westen, zum Landesinneren hin ab. Der Gletscher gehört zum Typ des Piedmont- oder Vorlandgletschers. Die dunkler gefärbte Oberfläche im unteren Teil des Gletschers ist das Ablations- oder Zehrgebiet. Dort schmilzt im Sommer der winterliche Schnee vollständig ab und das kompakte Gletschereis steht an der Oberfläche an. Das Akkumulations- oder Nährgebiet des Gletschers liegt fast vollständig im Bereich der hochgelegenen Plateauvergletscherung. Der See vor dem Gletscher ist Romer Sø. Der maximale Durchmesser des Elefantenußes bzw. der Gletscherzunge beträgt etwa fünf Kilometer. Die Aufnahme entstand am 14. Juli 1993 beim Flug von Station Nord zu einem Feldcamp bei Centrum Sø.





Bilder der Arktis: Grönland, Jakobshavn Isfjord, Westgrönland



foto: hans oerter, 2006

15

Gehen wir an die Westküste Grönlands in die Diskobucht, in die Nähe der Stadt Jakobshavn oder mit neuem, grönländischem Namen Ilulissat. Hier werfen wir einen Blick auf den Jakobshavn Isfjord und seine wunderbaren Eisberge.

Der Gletscher oder Eisstrom, der diese Eisberge produziert, der Jakobshavn Isstrom, liegt am Ende des 50 Kilometer langen Fjords. 40 Meter pro Tag schiebt sich die Kalbungsfront ins Meer vor. Entsprechend viel Eis wird so ins Meer abgeführt.

So viel an Beispielen vom Grönländischen Inlandeis.





Werfen wir jetzt einen **Blick auf das Meereis**.

Ein reichhaltiges Nahrungsangebot bietet, zumindest bisher, nur das Meer. Wer sich aus dem Meer ernähren kann, wird in der Arktis überleben. Wichtig im marinen Nahrungskreislauf ist das Meereis, da an seiner Unterseite große Mengen an Algen wachsen. Steigen die Lufttemperaturen über dem Nordpolarmeer, gerät das Meereis in seiner sommerlichen Ausdehnung durch diese klimatischen Veränderungen zunehmend in Gefahr.





An der Spitze der Nahrungskette steht der König der Arktis, der Eisbär. Er ist davon abhängig, auf dem Meereis Robben jagen zu können und sich im Sommer genügend Reserven für den Winter anzufressen, besonders gilt dies für die Muttertiere. Der Eisbär entwickelte sich in den letzten Jahren zur Symbolfigur für die Veränderungen in der Arktis, um nicht zu sagen zur Kultfigur.





foto: Archiv AWI/H.Eicken, 1991



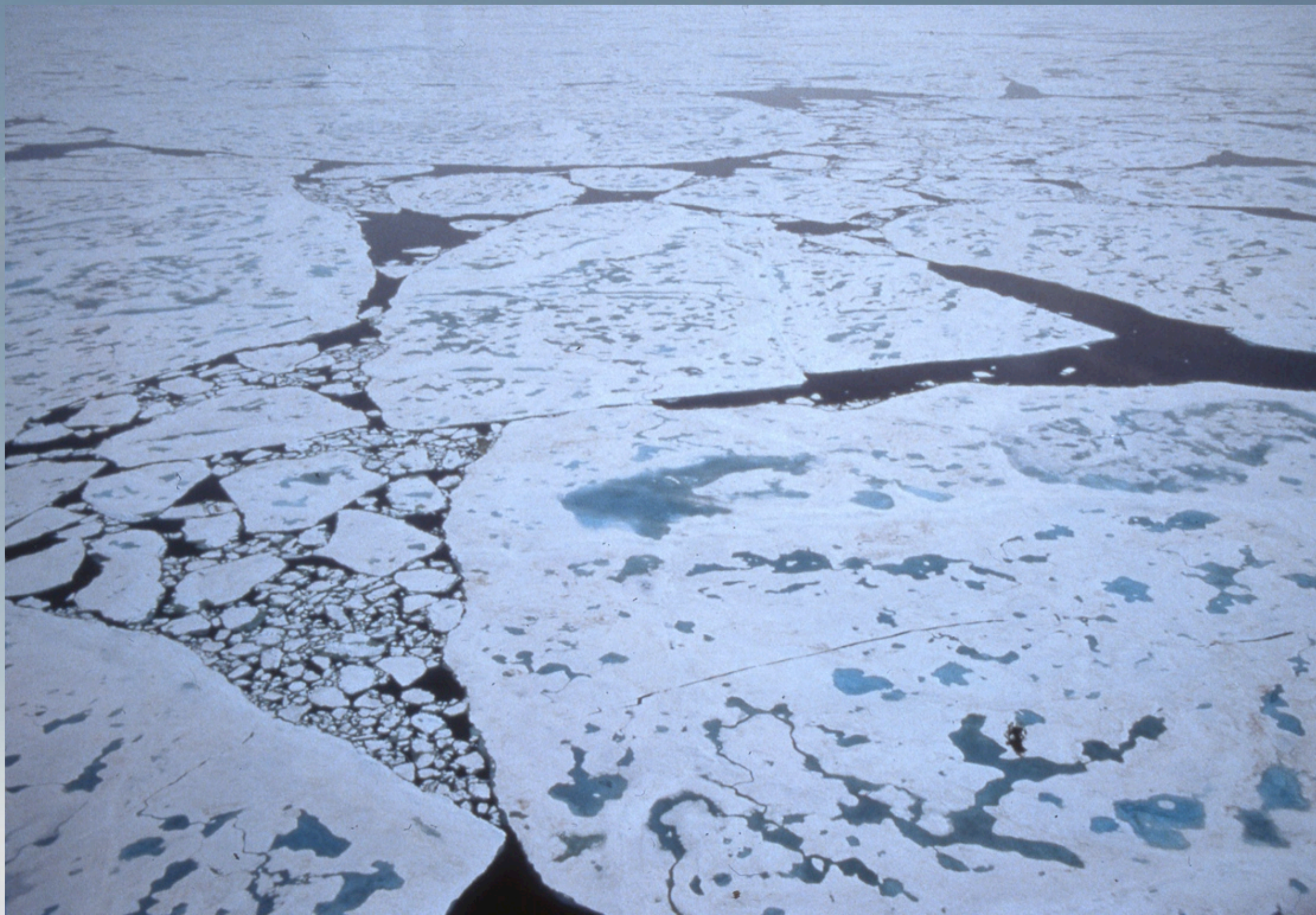


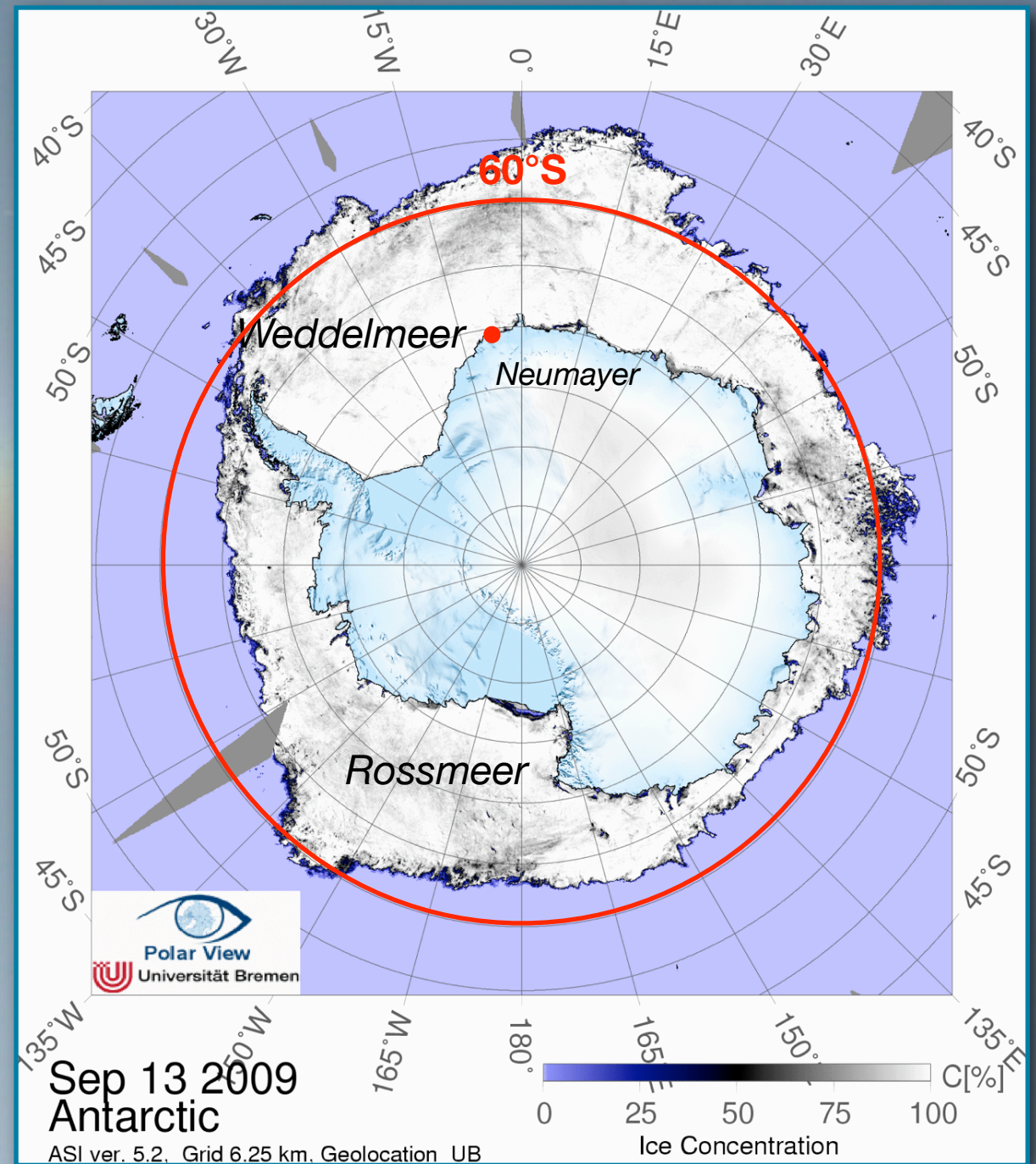
foto: Hajo Eicken/AWI, 1991



# Meereisdehnung Arktis



# Meereisdehnung Antarktis



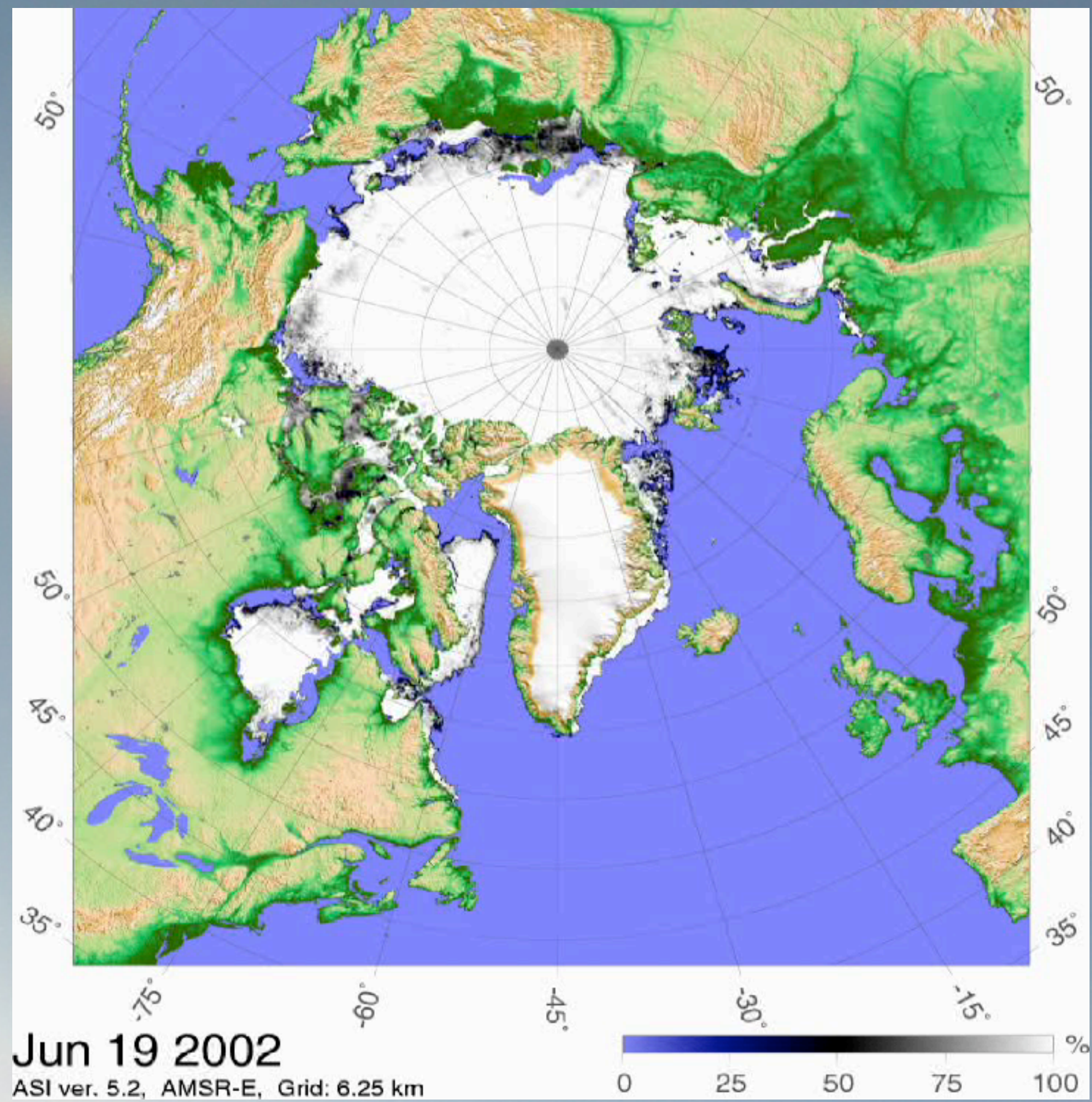
Wie schaut es heute im Nordpolarmeer aus? Dazu zeige ich Ihnen hier die aktuelle Karte der Meereisdehnung vom 13. September, die vom Institut für Umweltphysik der Universität Bremen veröffentlicht wurde und in etwa das Minimum der diesjährigen Meereisdehnung zeigt.

Ein Blick ins Südpolarmeer, zur Antarktis zeigt, dass dort der Winter zu Ende geht und das Maximum der Meereisdehnung erreicht wird. Der rote Breitenkreis in beiden Abbildungen markiert jeweils den 60. Breitengrad.

Ein kleiner Film zeigt Ihnen auf der nächsten Folie die **Veränderung der Meereisdehnung** von Sommer 2002 bis Sommer 2005. Achten Sie dabei besonders auf die Küsten um Grönland und die kanadische Arktis um zu sehen, wie stark sich in diesen Gebieten die eisbedeckte Fläche im Lauf eines Jahres verändert.

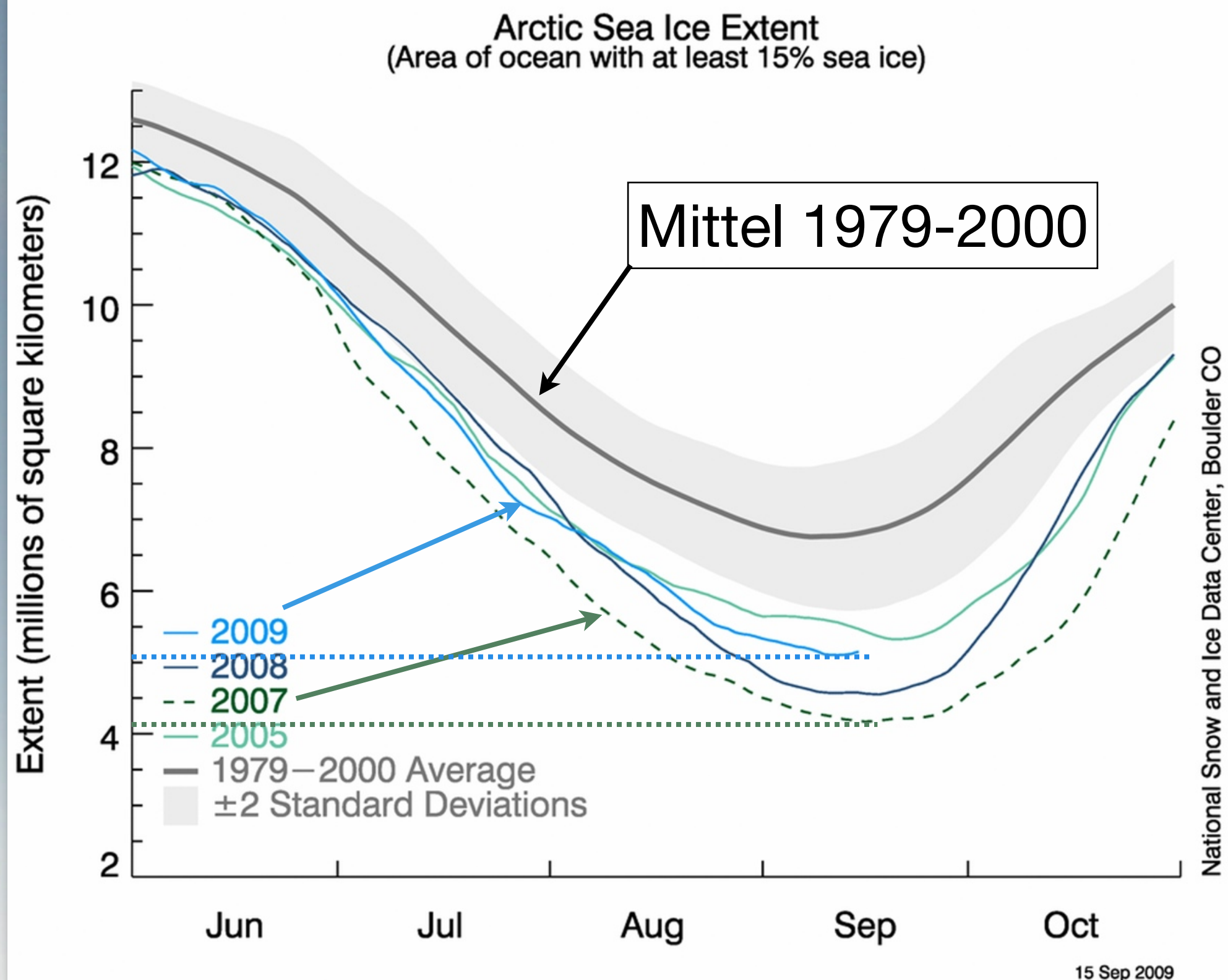


# Veränderung der Meereisausdehnung von Sommer 2002 bis Sommer 2005





# Ausdehnung arktisches Meereis in Mill. Quadratkilometer



Der Film zeigte uns, wie sich die mit Meereis bedeckte Fläche in den Jahren 2002 bis 2005 geändert hat. Diese Abbildung zeigt, wie sich mit Meereis bedeckte Fläche in den Sommermonaten Juni bis Oktober verändert. Die obere Kurve gibt die mittlere sommerliche Eisbedeckung in den Jahren 1979-2000 wieder. Dies ist der relativ kurze Zeitraum für den Satellitenbilder vorliegen. Der grau gezeichnete Saum der Kurve zeigt die Schwankungsbreite, innerhalb der die Meereisbedeckung geschwankt hat. Darunter sind die entsprechenden Werte für die Jahre 2005-2009 dargestellt. Keine der Kurven liegt im Schwankungsbereich der Jahre 1979-2000. Die eisbedeckte Fläche hat deutlich abgenommen. Das Minimum wurde im Jahr 2007 mit etwa 4 Mill. qkm beobachtet. In diesem Jahr waren am Ende des arktischen Sommers noch etwa 5 Mill. qkm eisbedeckt, das ist zwar mehr als 2007, aber immer noch wesentlich weniger als das Mittel von 1979-2000, das bei etwa 7 Mill. qkm liegt.

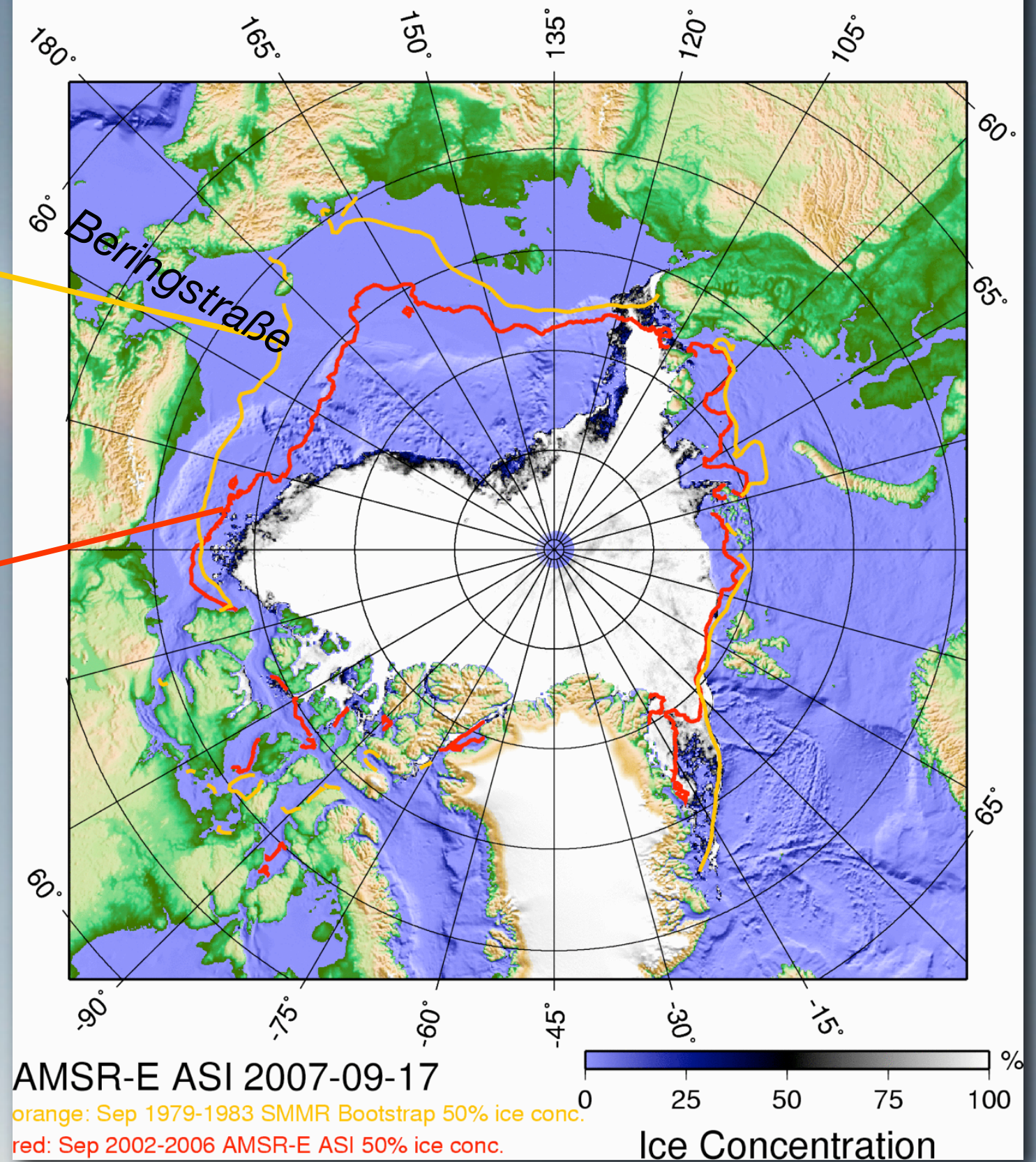


# minimale Ausdehnung Meereis 2007

Mittel Meereisausdehnung  
Ende September 1979-1983  
(50% Bedeckung)

Mittel Meereisausdehnung  
Ende September 2002-2006  
(50% Bedeckung)

Veränderung der  
Meereisausdehnung  
von Sommer 2002 bis  
Sommer 2005

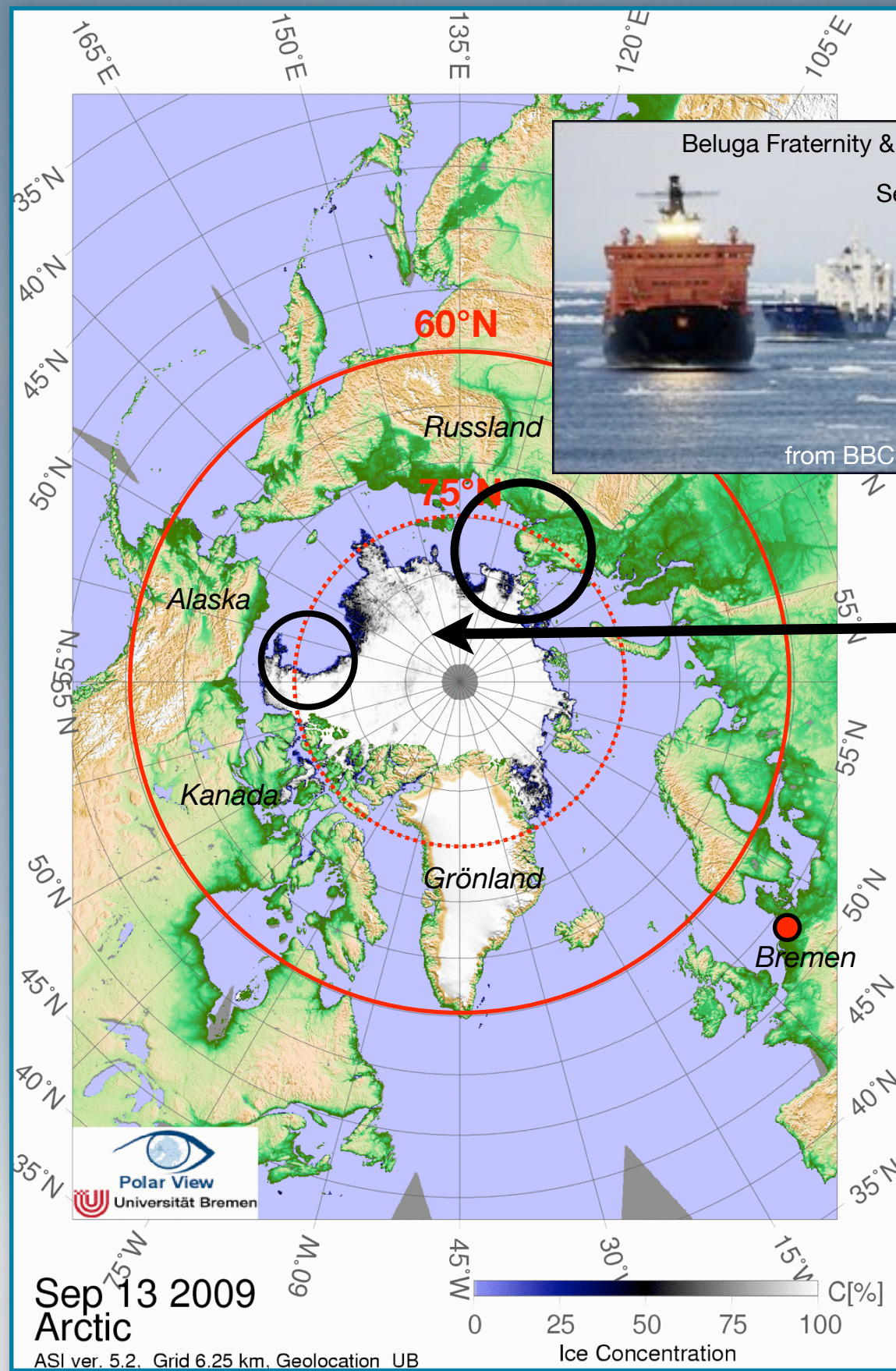


Kehren wir zurück zur kartenhaften Darstellung. Wie viel **Meereisbedeckung** in den letzten 25 Jahren verloren ging, wird deutlich, wenn man die mittlere Grenze des Meereises für die Jahre 1979-1983 (orange Linie) und 2002-2006 (rote Linie) in die Karte einzeichnet und mit der minimalen Ausdehnung von 2007 vergleicht. Ältere Daten sind kaum erhältlich, da die Beobachtung unserer Erde mit Satelliten aus dem Weltraum erst Ende der 1970er Jahre begann.

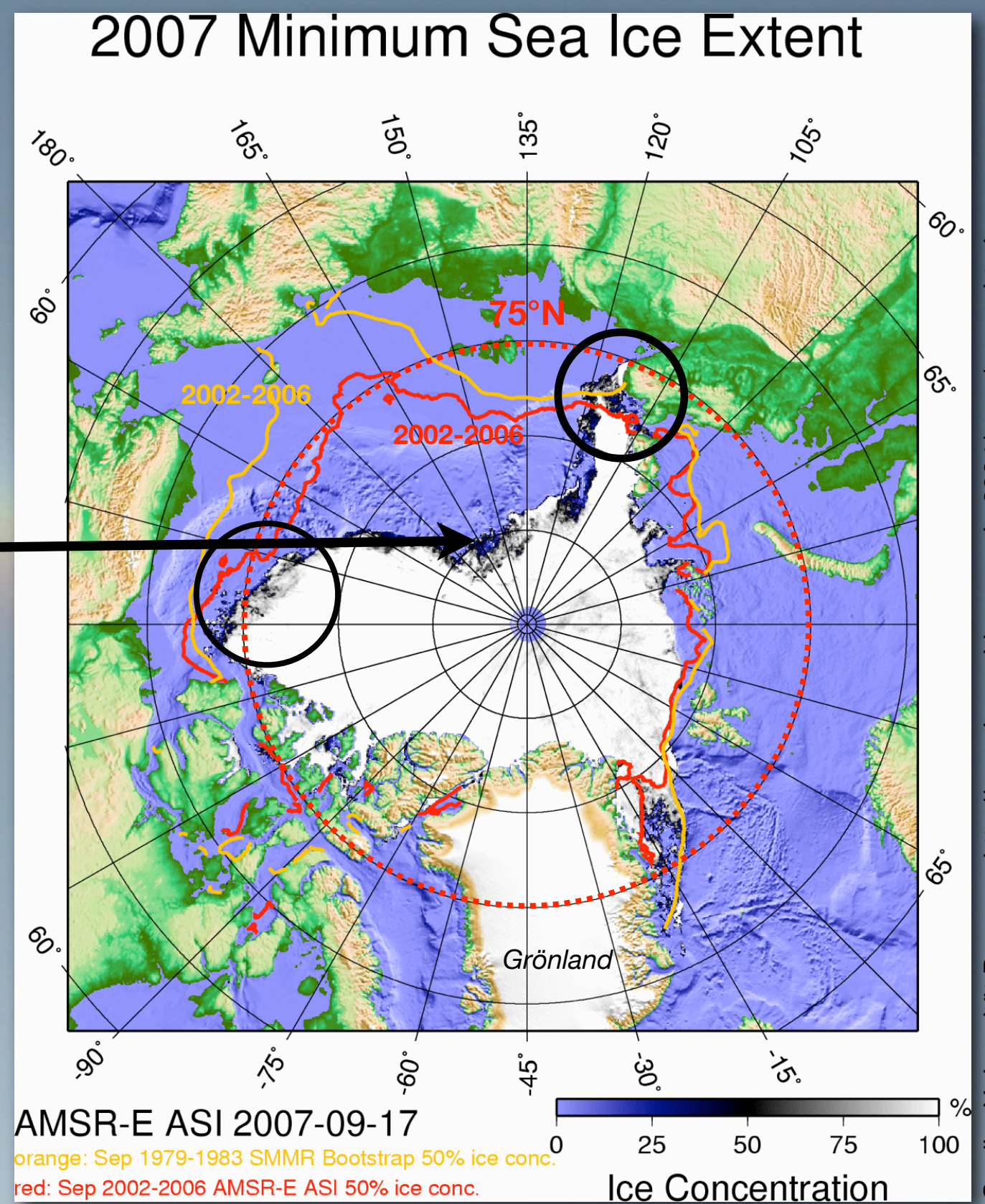
Wie schaut der Vergleich dieser Karte mit dem Jahr 2009 aus? Dazu die nächste Folie.



# Meereisdehnung Arktis



# Meereisdehnung Arktis 2007



Quelle: Universität Bremen; <http://www.iup.uni-bremen.de:8084/amsr/amsr.html>

Für drei Gebiete sehen wir Unterschiede:

Erstens, im Bereich der Neusibirischen Inseln war 2007 die Nordost-Passage noch durch Meereis blockiert. Heute schaut es so aus, als ob die Passage frei durchfahrbar sei.

Zweitens, im Bereich zwischen 75 und 85 Grad nördlicher Breite sowie 150 und 180 Grad östlicher Länge war das Nordpolarmeer eisfrei gewesen. In diesem Jahr findet man dort, zumindest bislang, noch eine ausgedehnte Eisbedeckung.

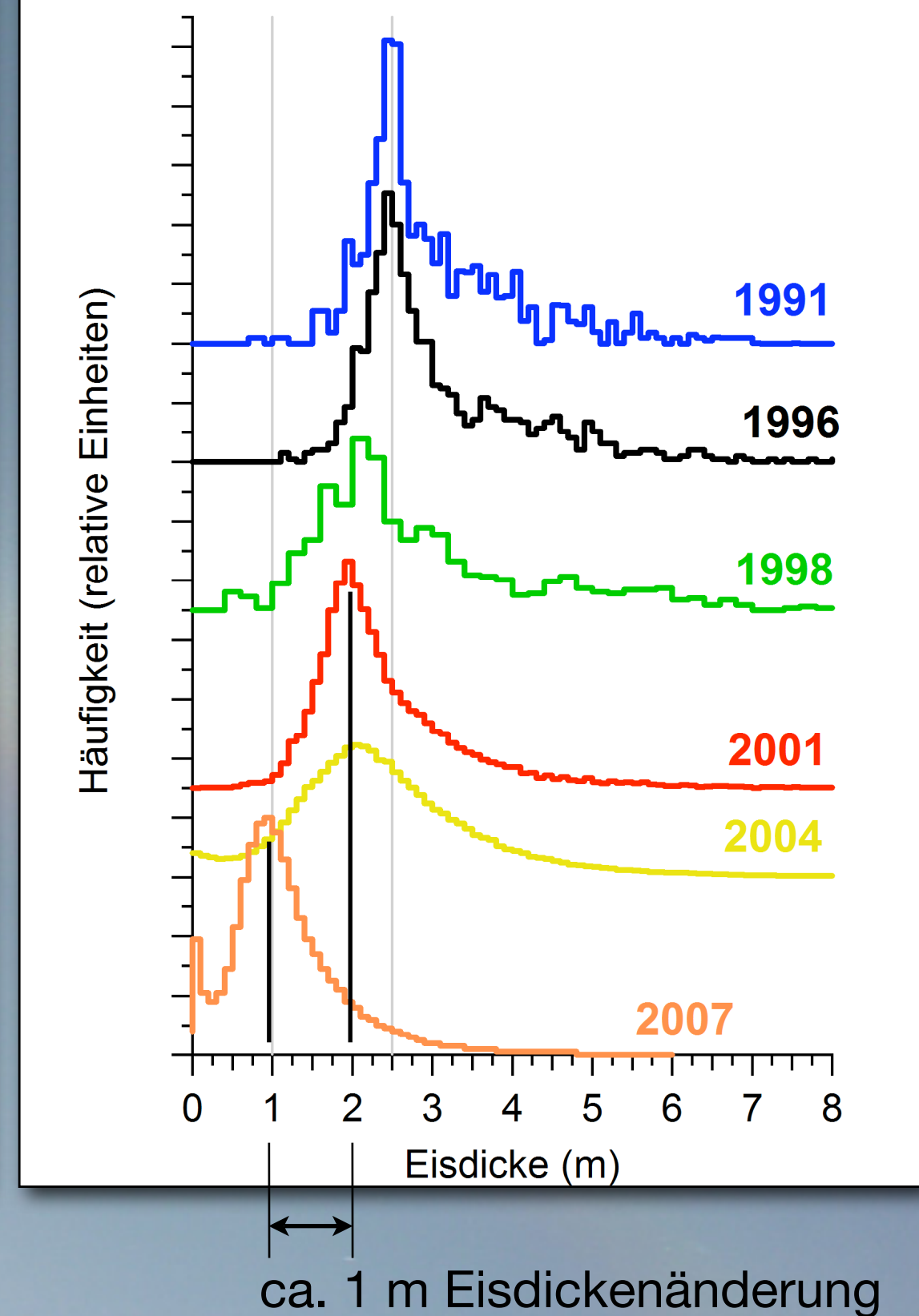
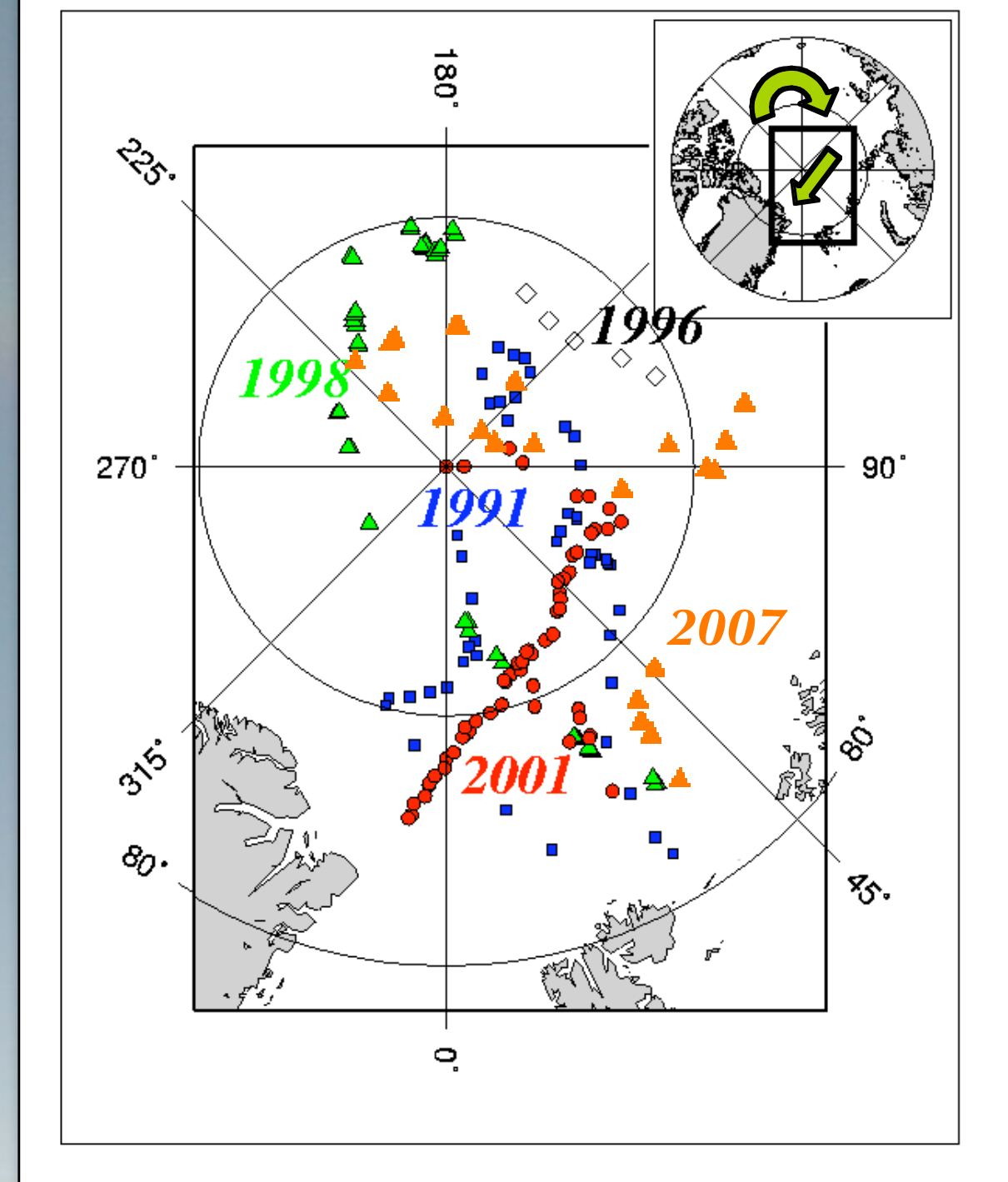
Drittens, zwischen 70 und 80 Grad nördlicher Breite sowie 135 und 150 Grad westlicher Länge ist die Verteilung der eisbedeckten Flächen in den Jahren 2007 und 2009 unterschiedlich, aber annähernd gleich groß.

Diese Karten lassen nur Aussagen über die eisbedeckte Fläche zu. Sie enthalten keine Information über die Eismächtigkeit. Deshalb kann man daraus keine Aussage über das Eisvolumen ableiten. Aus Untersuchungen, die sich mit der Messung der Eisdicke beschäftigen, wissen wir, dass auch die Eisdicke in den letzten Jahren abgenommen hat, das heißt die Masse des Meereises nimmt seit einigen Jahren drastisch ab. Dies steht im Zusammenhang mit wärmeren Temperaturen. Das Meereis ist für uns ein deutliches, weil wirklich sichtbares Warnsignal, das auf klimatische Änderungen im nordpolaren Raum hinweist.



# Eisdickenmessungen des AWI, Bremerhaven mit FS Polarstern 1991-2007

Änderung des Eisregimes  
von mehrjährigem zu  
einjährigem Eis



Quelle: C. Haas, S. Hendricks, L. Rabenstein, AWI (pers. Mitt.)

Die in den Jahren 1996-2007 gemessenen Daten können miteinander verglichen werden. Auch wenn die Messprofile der verschiedenen Jahre nicht an identischen Positionen lagen, so scheint es doch eindeutig zu sein, dass sich die Verteilung der Eismächtigkeit geändert hat. Die horizontale Achse zeigt die Eisdicke, die vertikale Achse wie häufig eine bestimmte Eisdicke in den einzelnen Jahren auftrat. Lag in den 1990er Jahren die häufigste Eisdicke im Bereich zwischen 2 und 2,5 Metern, so zeigen die Messungen von 2007, dass die Eisdicken abgenommen haben. 2007 betrug die häufigste gemessene Eisdicke nur noch 1 Meter. Bei allen Unsicherheiten dieser Messungen wird doch deutlich, dass nicht nur Eisfläche sondern auch Eismasse verloren ging. Die Menge an mehrjährigem und damit dickerem Eis hat drastisch abgenommen. Der Anteil an einjährigem Eis hat dagegen deutlich zugenommen.

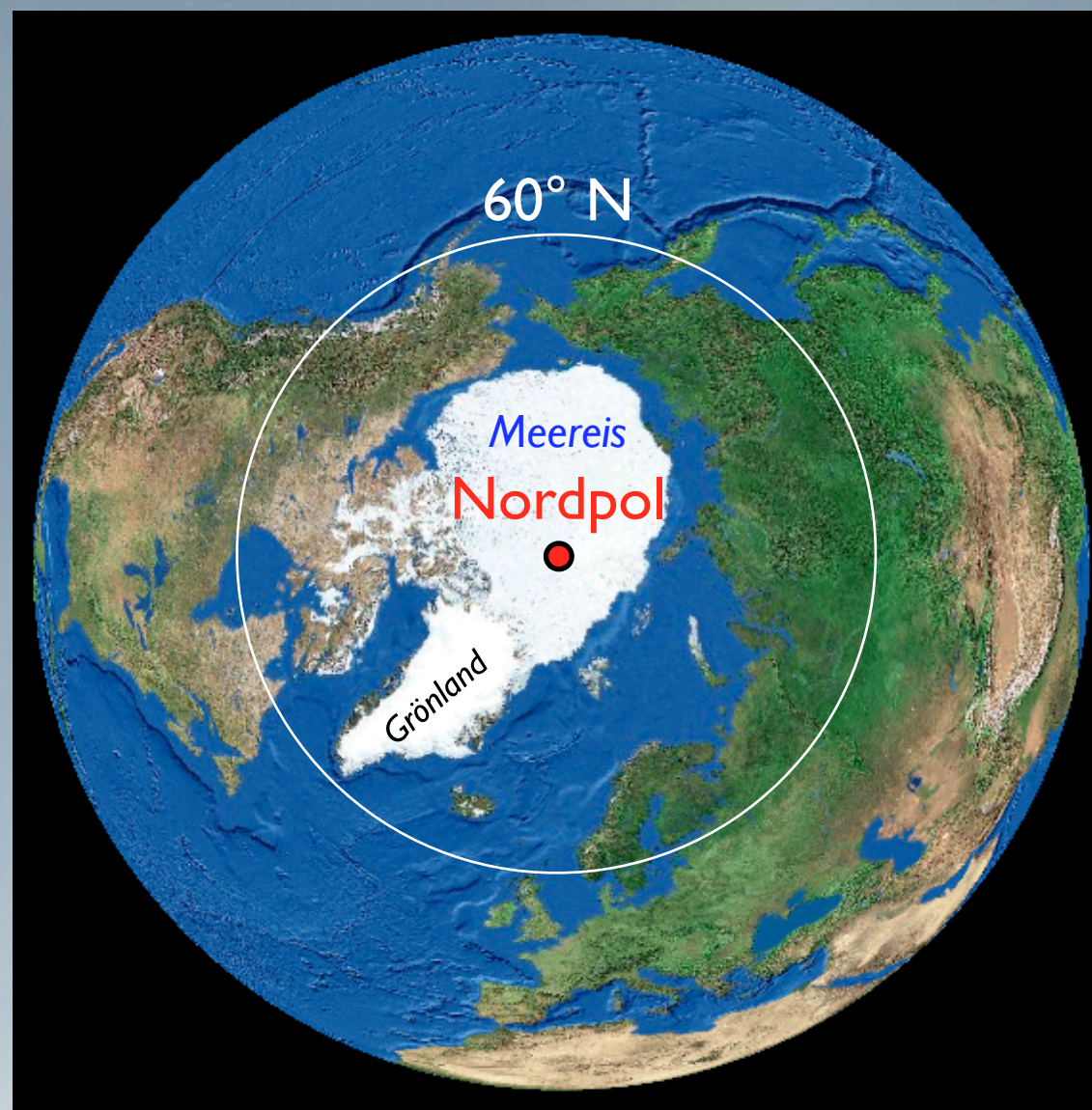


# Die Polarregionen:

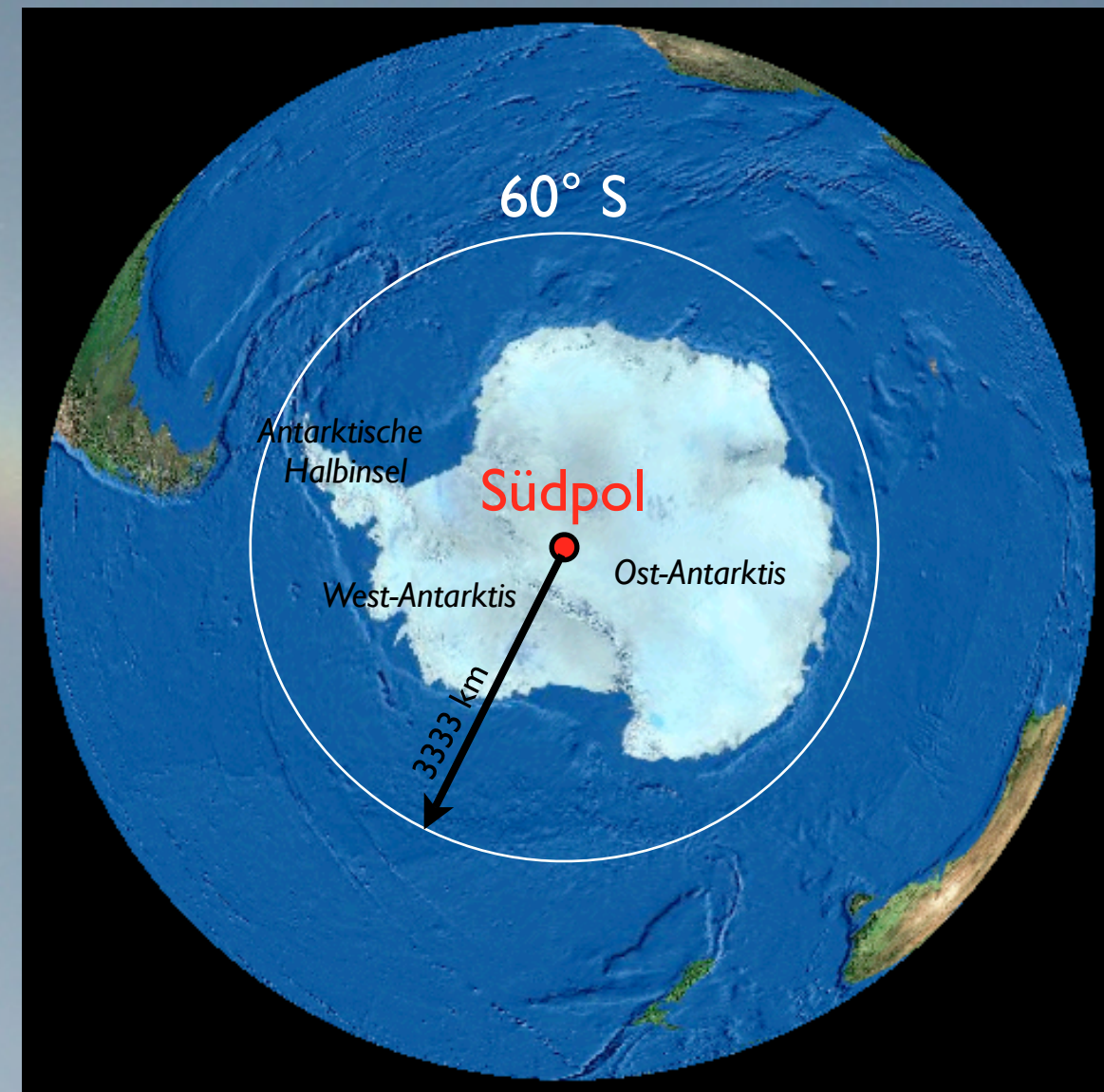
## Arktis

und

## Antarktis



Meer von Land umgeben  
Nordpol liegt im Meer

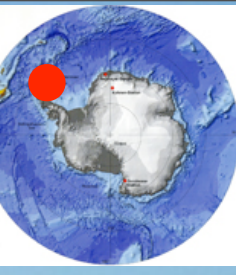


Land von Meer umgeben  
Südpol liegt auf eisbedecktem  
Kontinent (ca. 2830 m ü.M.)

Verlassen wir die Arktis und gehen in die Antarktis. Dort möchte ich Ihnen das Inlandeis vorstellen und zeigen, dass der riesige Eisschild ein einzigartiges Klimaarchiv ist, das Klimainformationen aus den vergangenen 800.000 Jahren enthält. Vorweg zwei Bilder, die Ihnen zwei unterschiedliche Landschaftsformen der Antarktis zeigen sollen. Das Bild hier zeigt eine Szene aus dem Bereich der Antarktischen Halbinsel. Hier werden zwar seit 50 Jahren die größten klimatischen Änderungen gemessen, aber als Klimaarchiv sind die vergleichsweise kleinen Eismassen, die sich dort befinden, nicht geeignet.

Auf die Antarktische Halbinsel möchte ich nicht weiter eingehen, obwohl es der Teil der Antarktis ist, in dem zurzeit die stärksten klimatischen Veränderungen ablaufen. An der britischen Station Faraday, die seit einigen Jahren unter dem Namen Vernadsky von der Ukraine weitergeführt wird, betrug der Temperaturanstieg 2,5 °C in 50 Jahren. Die Antarktische Halbinsel ist am besten mit einer Hochgebirgslandschaft zu vergleichen, in der die Gletscher bis auf das Meeresniveau herabreichen.

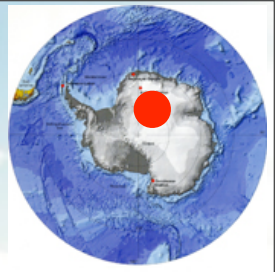




Das Bild hier zeigt eine Szene aus dem Bereich der Antarktischen Halbinsel. Hier werden zwar seit 50 Jahren die größten klimatischen Änderungen gemessen, aber als Klimaarchiv sind die vergleichsweise kleinen Eismassen, die sich dort befinden, nicht geeignet.

Auf die Antarktische Halbinsel möchte ich aber nicht weiter eingehen, obwohl es der Teil der Antarktis ist, in dem zurzeit die stärksten klimatischen Veränderungen ablaufen. An der britischen Station Faraday, die seit einigen Jahren unter dem Namen Vernadsky von der Ukraine weitergeführt wird, betrug der Temperaturanstieg  $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  in 50 Jahren. Die Antarktische Halbinsel ist am besten mit einer Hochgebirgslandschaft zu vergleichen, in der die Gletscher bis auf das Meeresniveau herabreichen.





Um das Klima der Vergangenheit zu erforschen müssen wir auf das Plateau des Inlandeises hinaufgehn. Hier ist die Landschaft weit weniger spektakulärer, wie Ihnen dieses Bild veranschaulichen soll.

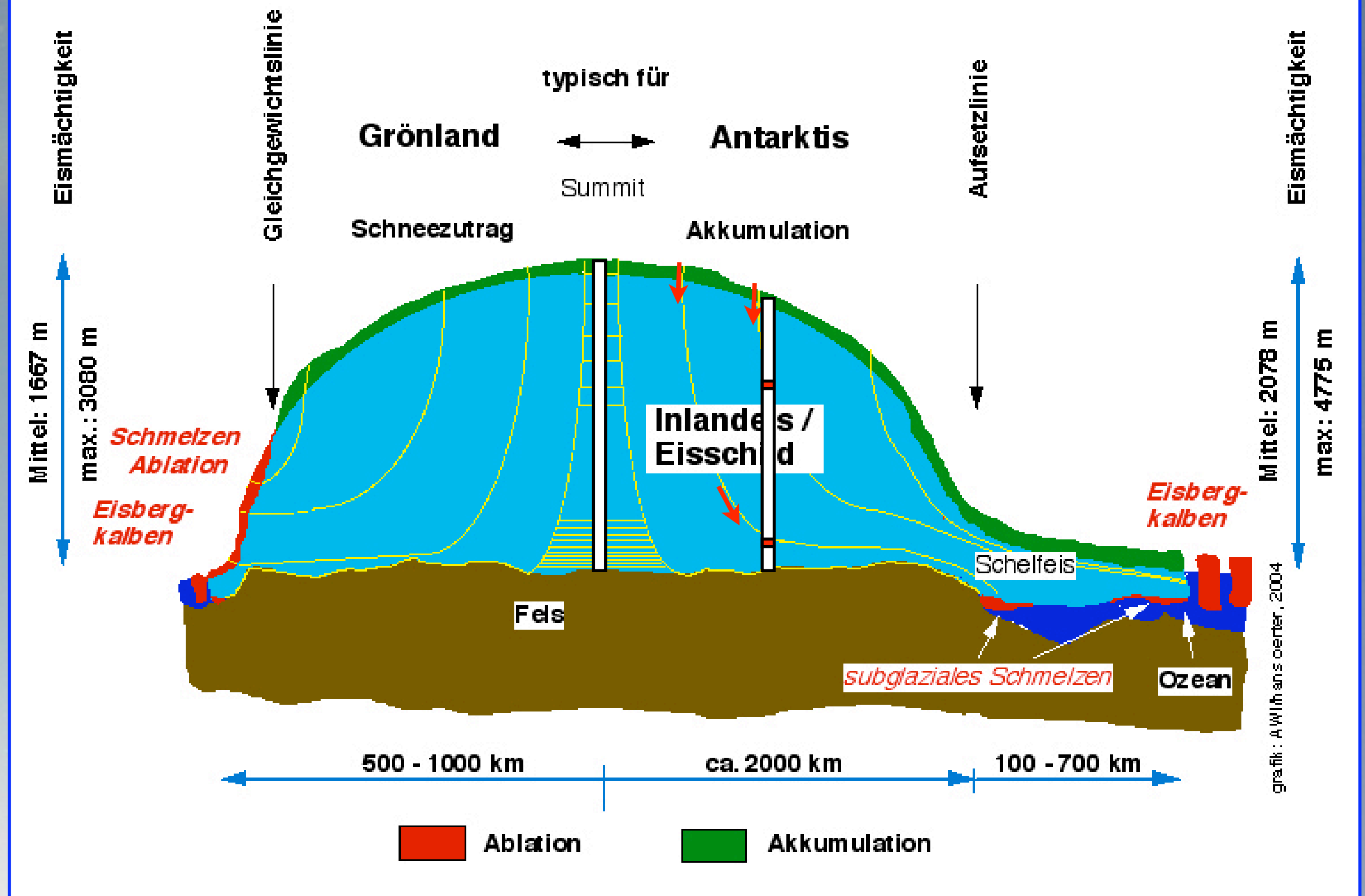


Inlandeis Antarktika  
entspricht 61,1m  
Meeresspiegeländerung

Inlandeis von Grönland  
entspricht 7,2 m  
Meeresspiegeländerung

(IPCC 2001)

## Schematischer Querschnitt durch einen Eisschild



Warum ein Eisschild ein gutes Klimaarchiv sein kann, soll dieser schematische Querschnitt durch einen Eisschild verdeutlichen.

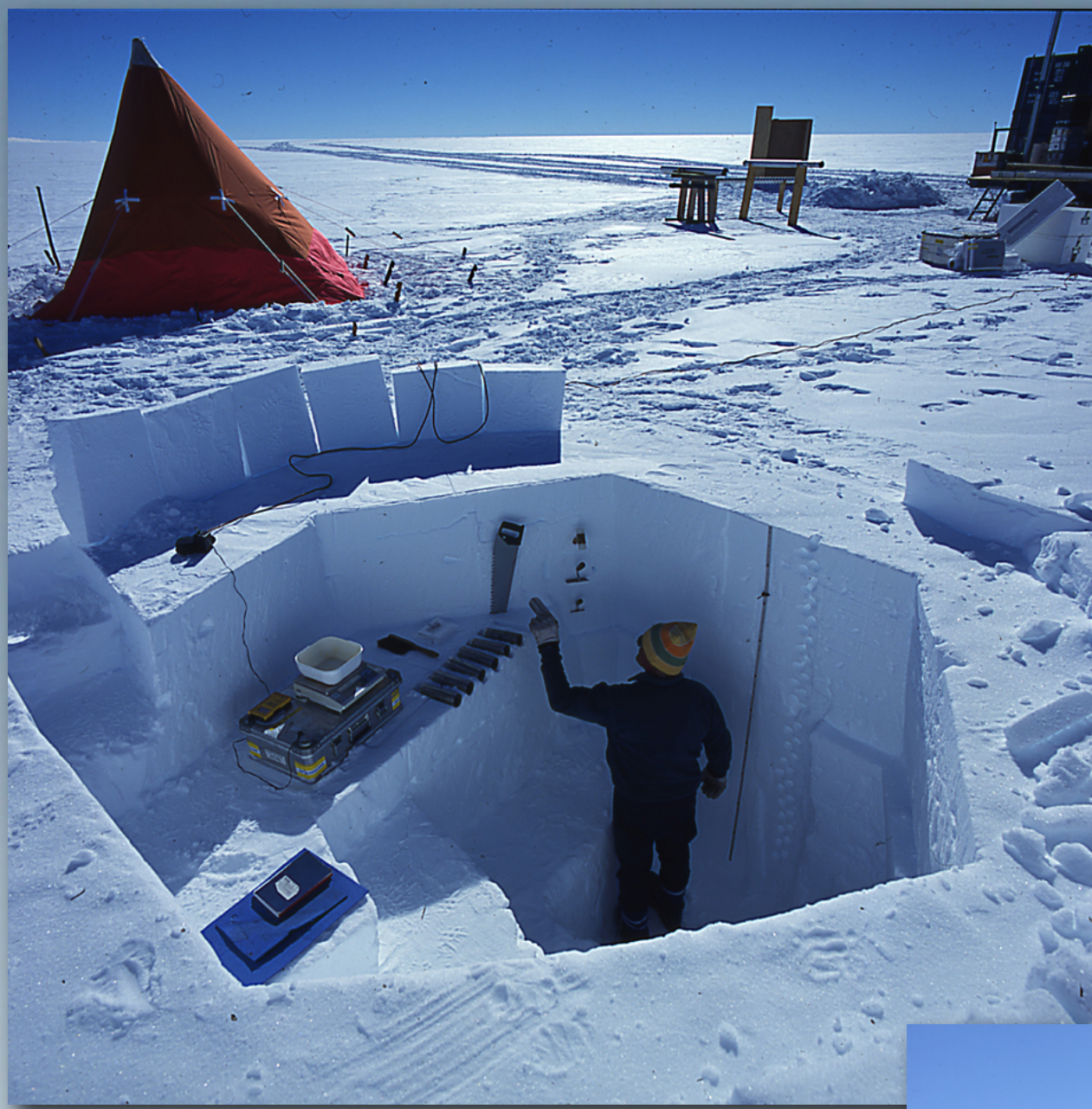
### Aufbau eines Eisschildes oder Gletschers

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.

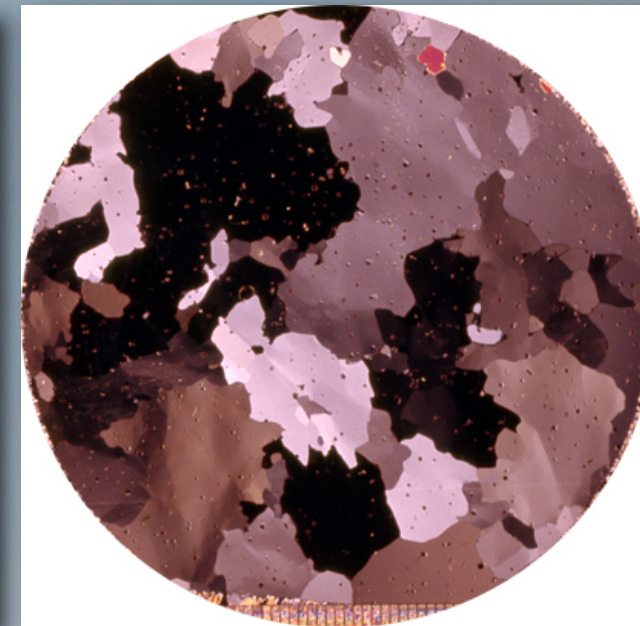
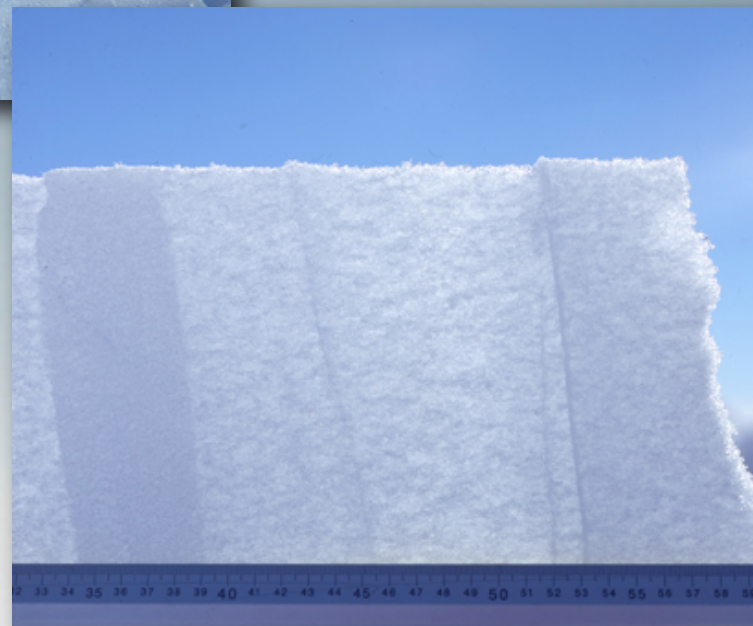
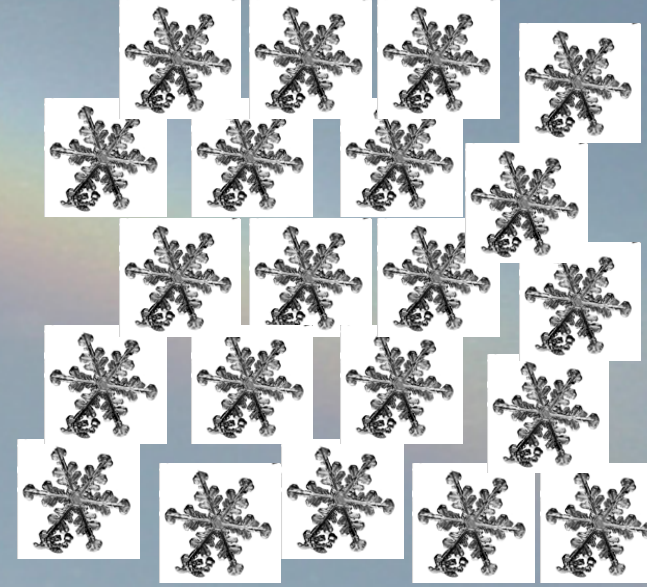
Der Grönländische Eisschild weist eine deutliche Trennung zwischen Ablations- und Akkumulationsgebiet auf. Die Trennlinie wird als Gleichgewichtslinie bezeichnet. Im Ablationsgebiet wird im Jahresmittel der jährliche Schneeniederschlag und zusätzlich alte Eismasse abgeschmolzen. Auch das Kalben von Eisbergen zählt zu den ablativen Prozessen, da dadurch die Eismasse verringert wird. Zusätzlich kommt es an der Unterseite der schwimmenden Eismassen (Gletscherzungen bzw. Schelfeis) 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 der gebohrt wird. 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.



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.

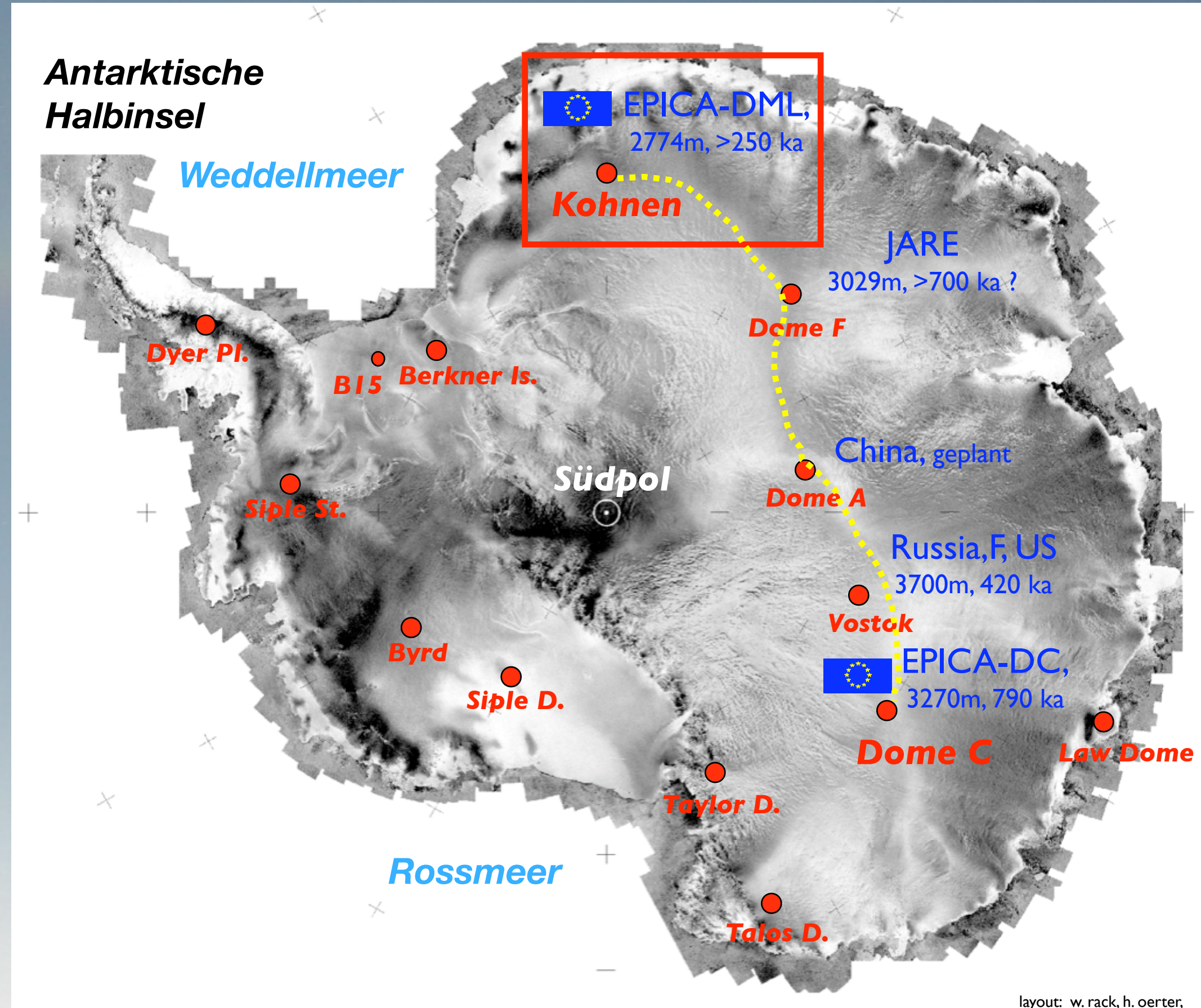


# Tiefe Eisbohrkerne in der Antarktis

European Project for Ice Core Drilling in Antarctica (EPICA)



Haupteisscheide der Ostantarktis



layout: w. rack, h. oerter,



FGN Informationsveranstaltung, Kloster Banz, 24. September 2009



**Aus der Antarktis** nun ein Beispiel aus den Forschungsarbeiten, an denen ich selbst beteiligt gewesen bin, das European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA). Schauen wir aus dem Weltraum auf die Antarktis. Um dieses RADARSAT-Bild zu erhalten, mussten viele Einzelbilder zusammengesetzt werden.

An den unterschiedlichen Grautönen erkennt man in der Mitte der Ostantarktis eine Struktur, die sich gleichsam als Dachfirst quer durch die Ostantarktis zieht. Es ist die Haupteisscheide (ice divide), die hier durch die gelbe, punktierte Linie hervorgehoben wird. So wie bei einer Wasserscheide, das Wasser rechts rechts und links in gegensätzlicher Richtung abfließt, so fließt auch das Eis zu beiden Seiten der Eisscheide in unterschiedlicher Richtung ab.

Die bisher abgeteuften 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 annähernd auf dieser Eisscheide. Auch die nächste, von China geplante Bohrung auf Dome A, wird auf dieser Eisscheide liegen.

**EPICA** (European Project for Ice Coring in Antarctica) war in den Jahren 1995-2006 ein europäisches Forschungsprojekt unter dem Schirm der European Science Foundation (ESF) mit Förderung durch die EU und aus nationalen Beiträgen. An EPICA beteiligten sich Belgien, Dänemark, Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, Niederlande, Norwegen, Schweden und die Schweiz.

Das Ziel von EPICA 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.

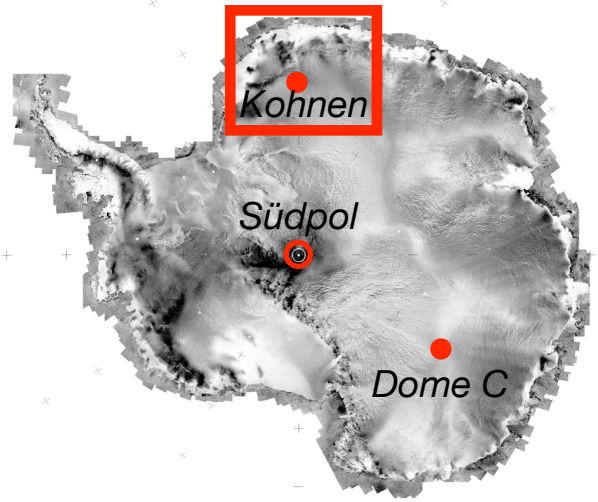
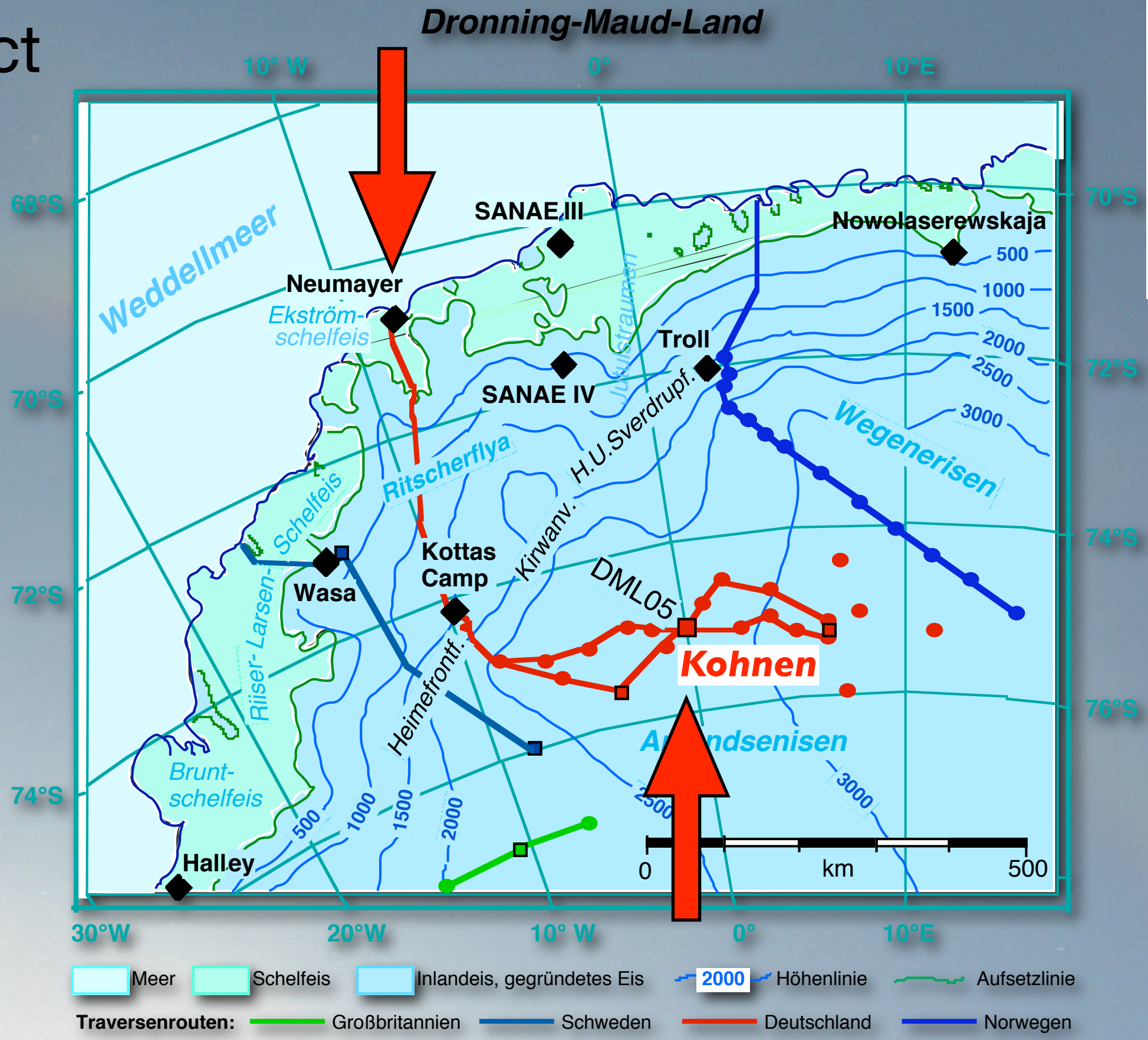
Als Bohransatzpunkte wurden der Dome C und eine Stelle (Kohnen-Station) in Dronning-Maud-Land ausgewählt. Der 3260 m tiefe EDC-Kern ergab mit ca. 800.000 Jahren (in einer Tiefe von ca. 3200m) die bisher längste klimatische Zeitreihe aus einem Eiskern.

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.



# European Project for Ice Core Drilling in Antarctica (EPICA)

Zeugen des Klimawandels der Vergangenheit: Eisbohrkerne



FGN Informationsveranstaltung, Kloster Banz, 24. September 2009



**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.



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

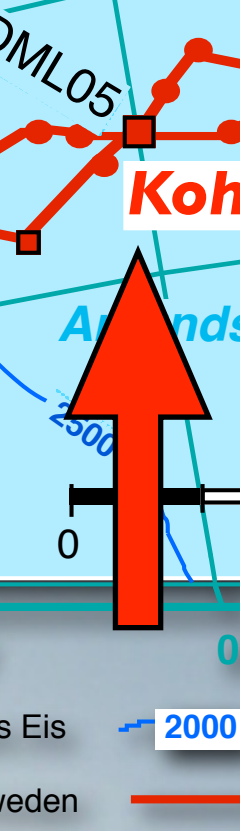
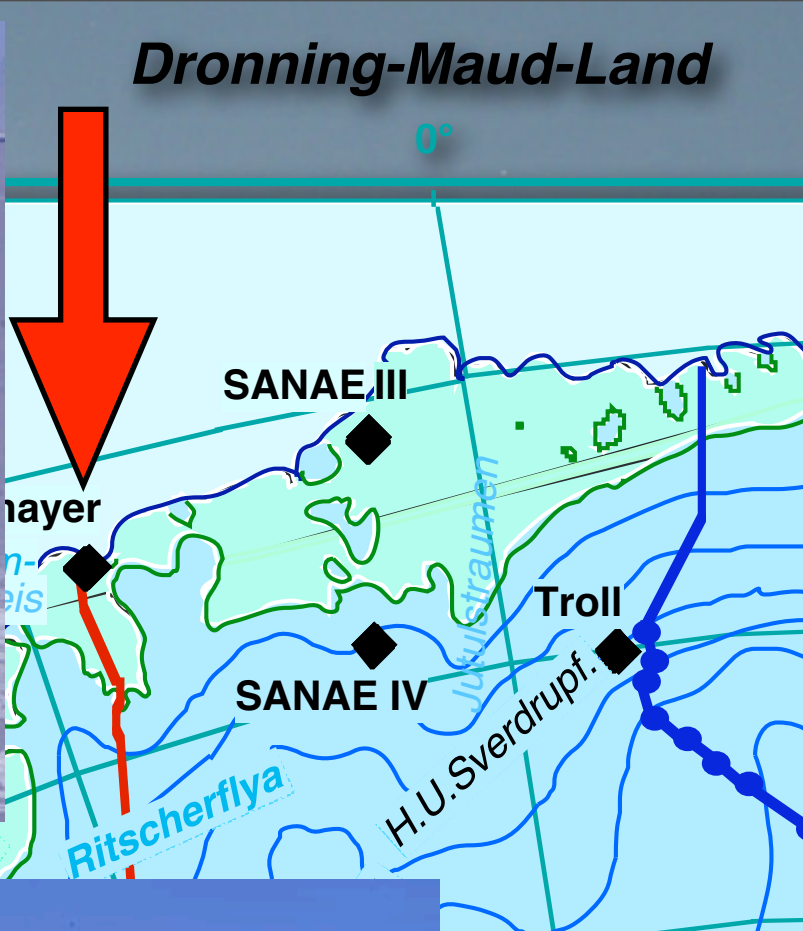


Foto: Ude Cieluch, Alfred-Wegener-Institut, 2009

Am 20. Februar dieses Jahres wurde die Station Neumayer III, die dritte deutsche Überwinterungsstation seit 1981, in Betrieb genommen. Über dieses Ereignis, ein Höhepunkt im 4. Internationalen Polarjahr 2007/08, wurde in den Medien ausführlich berichtet. Hier zeige ich Ihnen eine Luftaufnahme der Neumayer-Station III, im Hintergrund die Atka-Bucht.



### Dronning-Maud-Land



FGN Informationsveranstaltung, Kloster Banz, 24. September 2009



fotos: hans oerter

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.

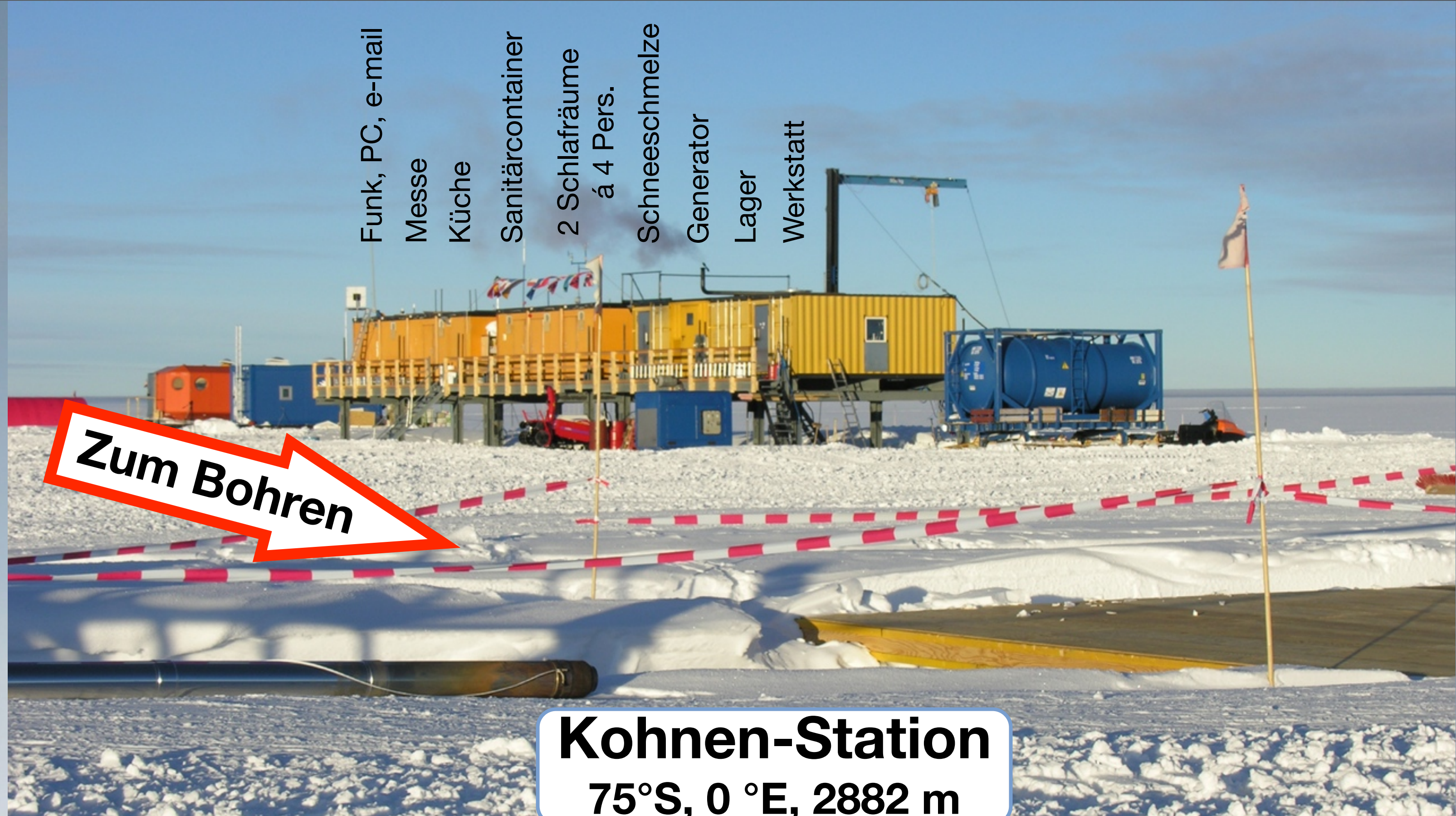
Seit einigen Jahren ist der Zugang ins Dronning-Maud-Land auch über die russische Station Nowolazerewskaja möglich.

Nowolazerewskaja erreicht man 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 oder ein entsprechendes Flugzeug aus der DROMLAN-Flotte eingesetzt.

Das rechte, untere Bild zeigt die Ankunft des ersten Teams der Saison 2007/08, am 8. Januar 2008. Die letzten Schritte geht man zu Fuß!





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



FGN Informationsveranstaltung, Kloster Banz, 24. September 2009



**Kohnen-Station**  
 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 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 und Waschaum, Küche, Messe sowie Telekommunikation. Neben der Station werden weitere Schlafmodule, Nahrungsmittelcontainer und 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 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.

Eine ausführliche Beschreibung der Station und des EPICA-Bohrprogrammes geben 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.





Küche

Sanitärcontainer

2 Schlafräume  
à 4 Pers.

Generator



foto: hans oerter, 2006

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



# 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<sup>-2</sup>a<sup>-1</sup>

Eis-Fließgeschwindigkeit:  
0,756 m/a

Eisdicke:  
2782 ±10m

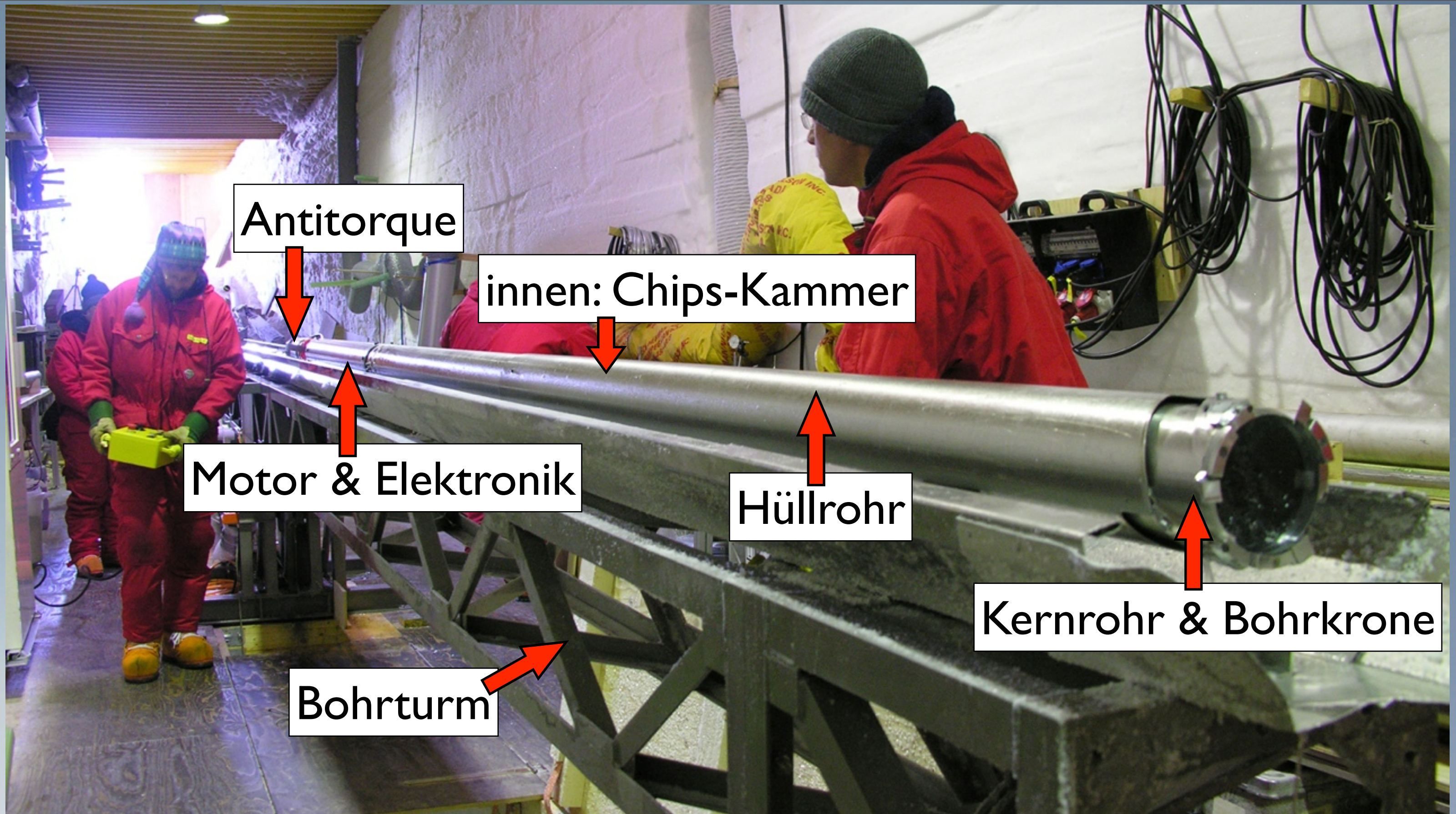
Länge Eiskern:  
2774,1 m



foto: hans oerter, 2006

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 stehen 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





Antitorque

innen: Chips-Kammer

Motor &amp; Elektronik

Hüllrohr

Kernrohr &amp; Bohrkron

Bohrturm

**Bohrtechnik**

Zum Bohren von Eiskernen wird heute hauptsächlich das elektromechanische Bohrverfahren eingesetzt. 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 gefievt 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 Eisdruck zu verhindern. Die Bohrflüssigkeit muss bei Temperaturen bis zu ca.  $-60^{\circ}\text{C}$  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. Bei der EDML-Bohrung wurde EXXOL®D40 mit Solkane®141 eingesetzt (darf ab 2010 weltweit nicht mehr vertrieben werden).



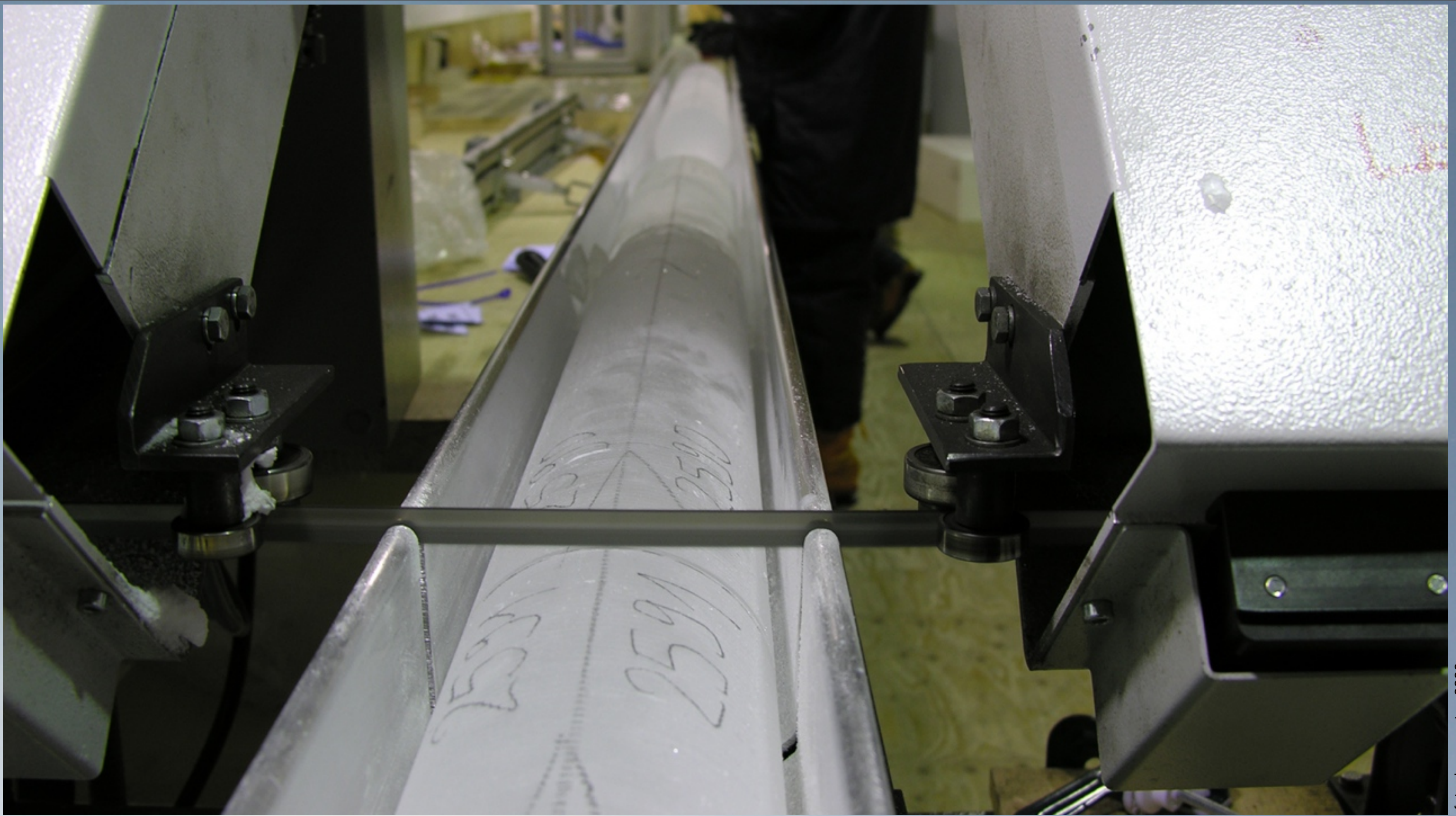


foto: hans oerter, 2006

Die in Längen von 3-3,5 Metern zu Tage geförderten Bohrkern werden auf jeweils einen Meter geschnitten. An diesen Meterstücken werden dann sofort die elektrischen Eigenschaften des Eises gemessen.

Anschließend werden Ein-Meter-Stücke in Polypropylenkisten verpackt. In diesen Kisten wurden die Eiskerne vom Bohrcamp bis nach Bremerhaven transportiert und dann dort in ein Kühlhaus eingelagert.





foto: hans oerter, 2006

## Twin-Otter von British Antarctic Survey (BAS)

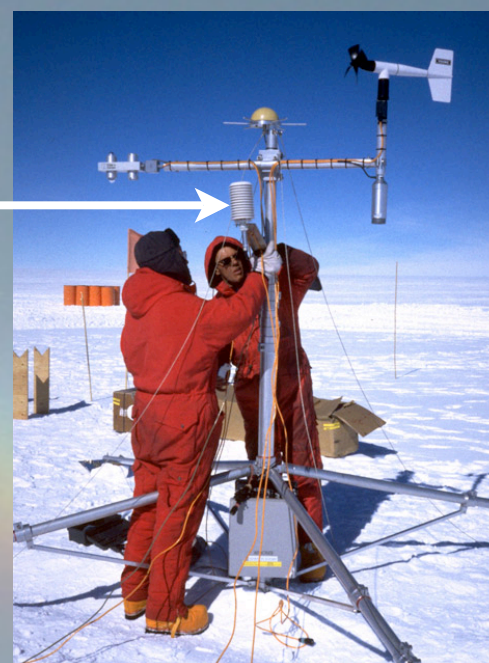
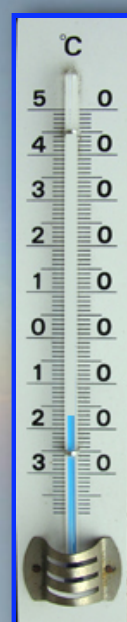
Der sanfteste Transport der Eiskerne vom Bohrcamp bis zur Neumayer-Station an der Küste geschieht mit dem Flugzeug. Hier sehen wir den Start einer Twin-Otter, die der British Antarctic Survey für diese Aufgabe zur Verfügung gestellt hatte.

Die weitere Bearbeitung des wertvollen Materials erfolgt dann, nach wochenlanger Schiffsreise der Eiskerne, Eislabors des AWI in Bremerhaven.



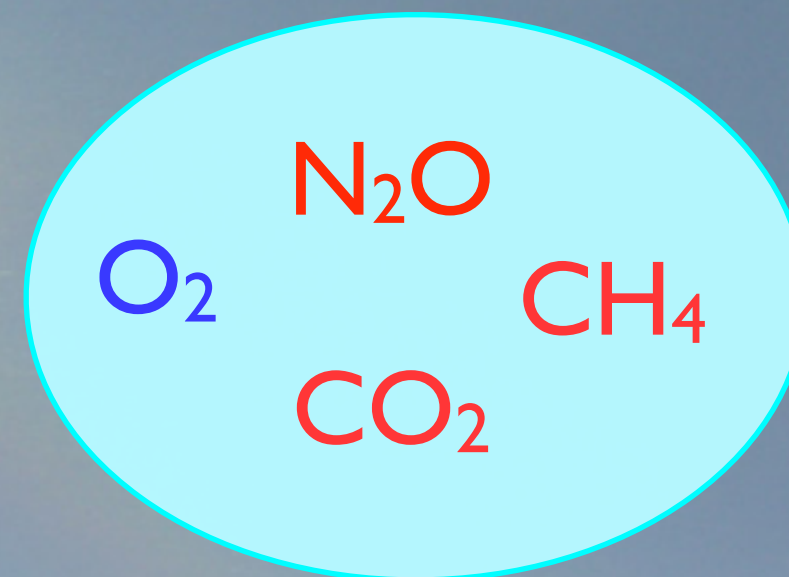
# Das Klima-Archiv Eis speichert Informationen zu:

## Lufttemperatur



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

## 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  $^{18}\text{O}$  und Deuterium ( $^2\text{H}$ ) 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 Eislabor am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven

Horizontalsäge

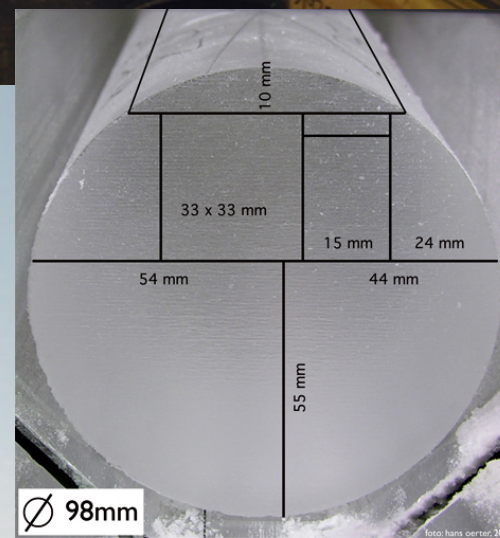
Line-Scan

Längs- und Querschnitte



foto: hans oerter, 2002

Auspacken des Kerns



Vorbereitung für Line-Scan

Im großen Eislabor des AWI wurden die Eiskerne nach einem genau vorgegebenen Schnittmuster zersägt, so dass jedes beteiligte Labor seinen Anteil bekam. Zu diesen „Schneidewochen“ im Kalten kamen Wissenschaftler von allen zehn beteiligten Ländern zusammen. Der erste Schritt ist das Auspacken der Eiskerne. Dann werden die Eiskerne durch eine so genannte Horizontalsäge gefahren und der Länge nach geteilt. Ein Teil wird anschließend für Line-Scan-Messungen, ein fotografisches Verfahren zur Dokumentation der Kerne, vorbereitet und dann mit einer Line-Scan-Kamera, eine Art Videokamera mit schlitzförmiger Blendenöffnung, abgescannt. Ein anderer Teil wird den im Raum verteilten Bandsägen in kleinere Probenstücke zersägt.

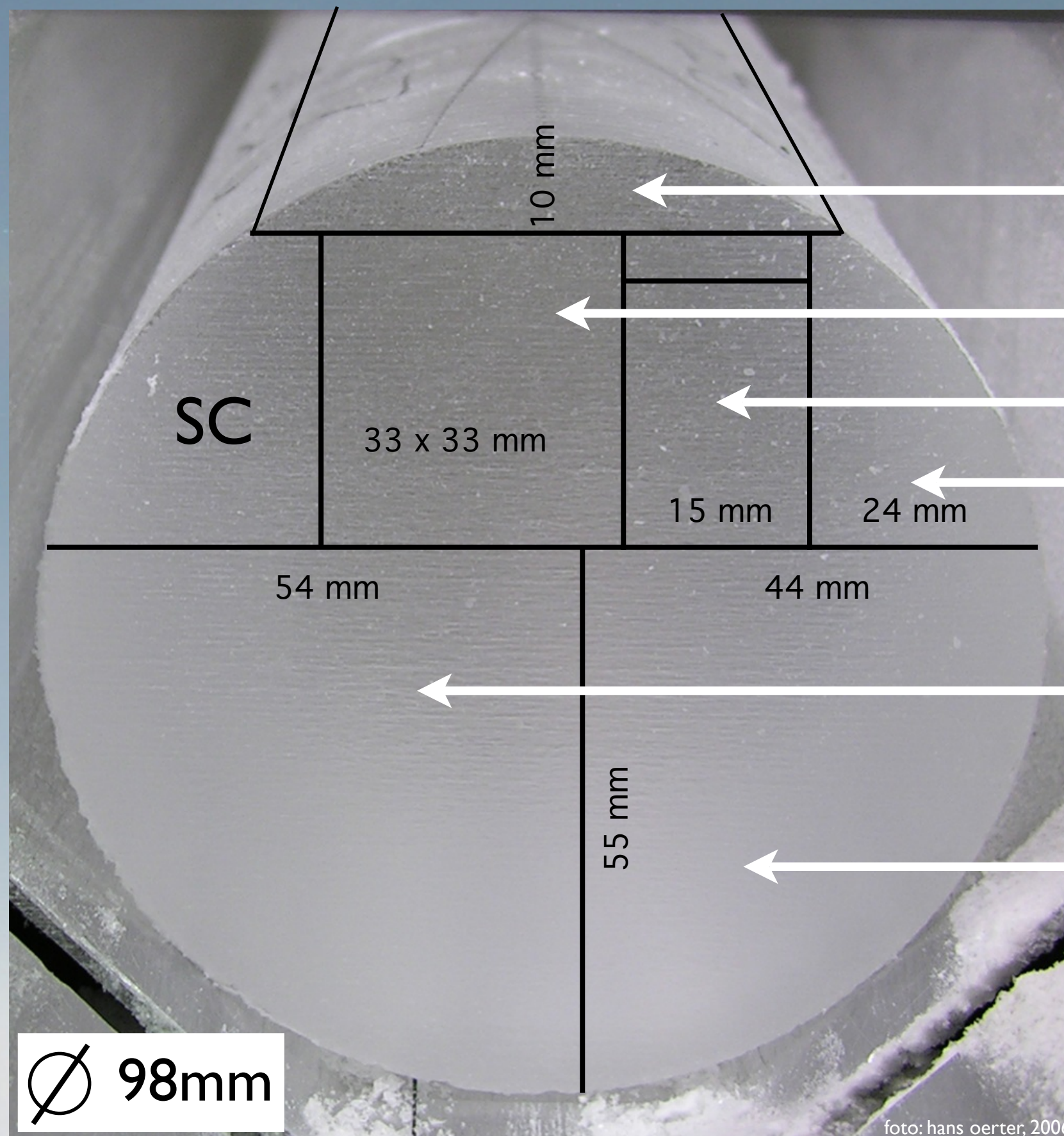


# im Eislabor



Manchmal bedarf es großer Sorgfalt gebrochene Stücke wieder richtig zusammensetzen.





Ø 98mm

foto: hans oerter, 2006

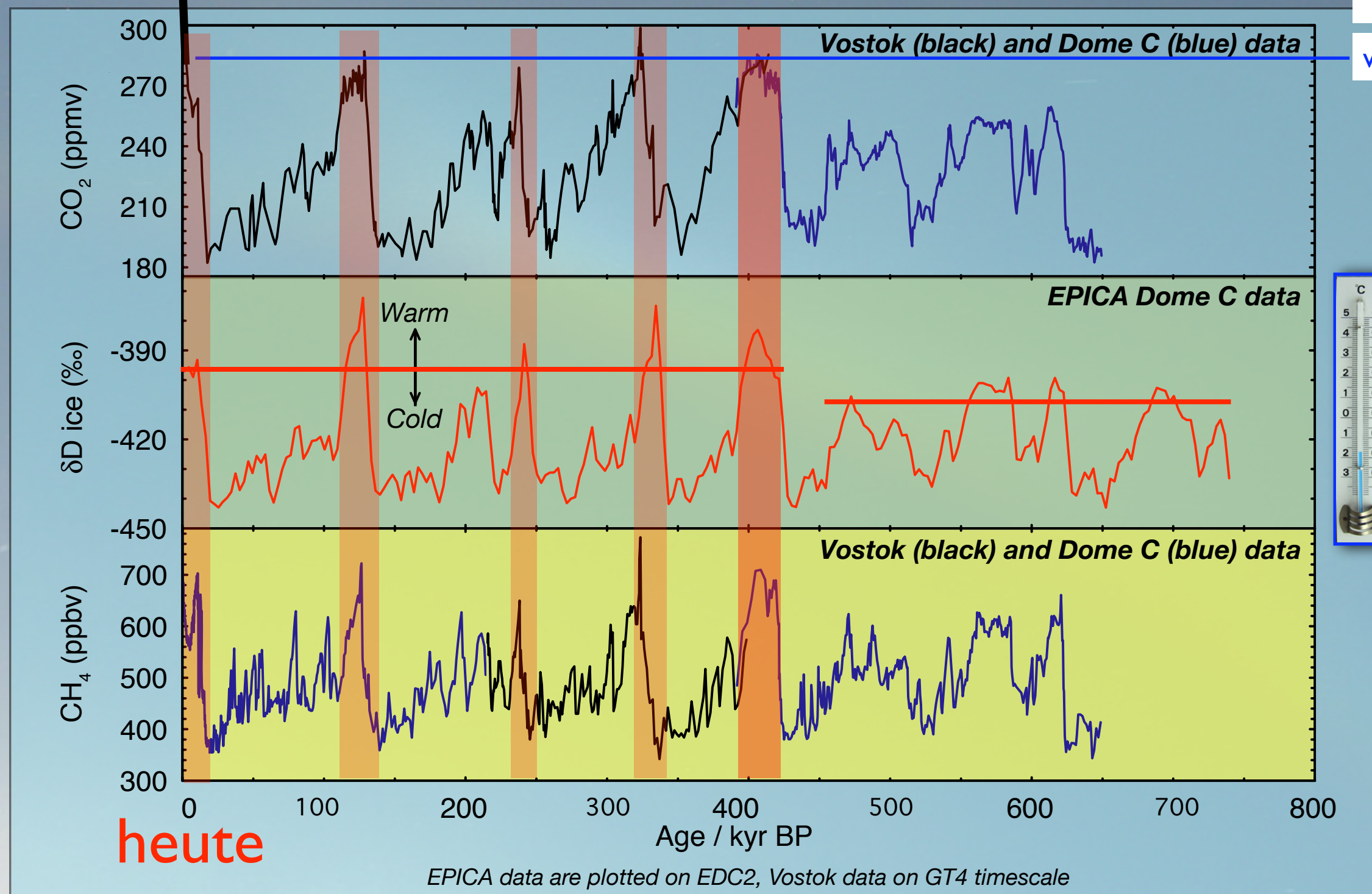
#### Schnittplan für den EDML-Eiskern.

Der Kerndurchmesser beträgt 98 mm. Die Standardbreite für die  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  (Temperatur-Proxy) und  $^{10}\text{Be}$  Proben war 15 und 24 mm. Über das SC-Stück, konnte das EPICA-Steering-Committee gesondert verfügen. Für kontinuierliche Durchflussmessung (Continuous Flow Analysis oder CFA) wurde ein Quadratstab mit 32 Millimeter Kantenlänge geschnitten. An einem einen Zentimeter dicken Streifen, aus dem anschließend noch Dünnschnitte präpariert wurden, physikalische Eigenschaften des eises (phys.-prop.) bestimmt. = An Proben, die nicht kontinuierlich über die ganze Kernlänge, sondern in festgelegten Abständen geschnitten wurden (Discont. samples) wurden Gasgehalte und isotopische Zusammensetzung der Gase sowie Staub gemessen.



# Antarctic ice core records: Vostok and EPICA CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and δD

Zeugen des Klimawandels der Vergangenheit: Eisbohrkerne:



GLOBAL  
I G B P  
CHANGE

Petit et al., 1999 (Vostok), Siegenthaler et al., 2005 (Dome C - CO<sub>2</sub>),  
Spahni et al., 2005 (Dome C - CH<sub>4</sub>), EPICA community members, 2004 (δD)

PAGES  
PAST GLOBAL CHANGES



FGN Informationsveranstaltung, Kloster Banz, 24. September 2009



## Antarctic Ice Core Records: Vostok and EPICA.

Die δD-Kurve (äquivalent zu δ<sup>18</sup>O) stellt den Temperatur-Proxy dar. In der Zeit von Heute bis vor ca. 400.000 Jahren ist die Zeitreihe durch fünf (einschl. des Holozäns) deutlich erkennbare, vergleichsweise kurze Warmzeiten (Interglaziale) gekennzeichnet, die im Abstand von ca. 100.000 Jahren 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 vier vorhergehenden Interglazialen, erkennt man, dass die Temperaturen früher offensichtlich höher gewesen sind als heute. Die Zeitreihen von CO<sub>2</sub> (oben) und Methan (CH<sub>4</sub>, 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 CO<sub>2</sub> oder CH<sub>4</sub> begann. Beim Vergleich der CO<sub>2</sub>-Gehalte der zurückliegenden 4 Interglaziale mit dem holozänen Wert vor der industriellen Revolution (ca. 1850 AD) stellt man fest, dass sich die Maximalwerte nur unwesentlich unterscheiden. Vergleichbares gilt für Methan. Die heutigen hohen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen von 385 ppmv wurden in den Eiskernen zu keiner Zeit nachgewiesen.

Quelle der Abb.: [www.pages.unibe.ch](http://www.pages.unibe.ch)



# Der Blick in die Zukunft

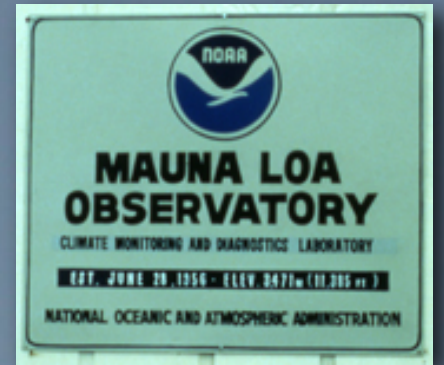
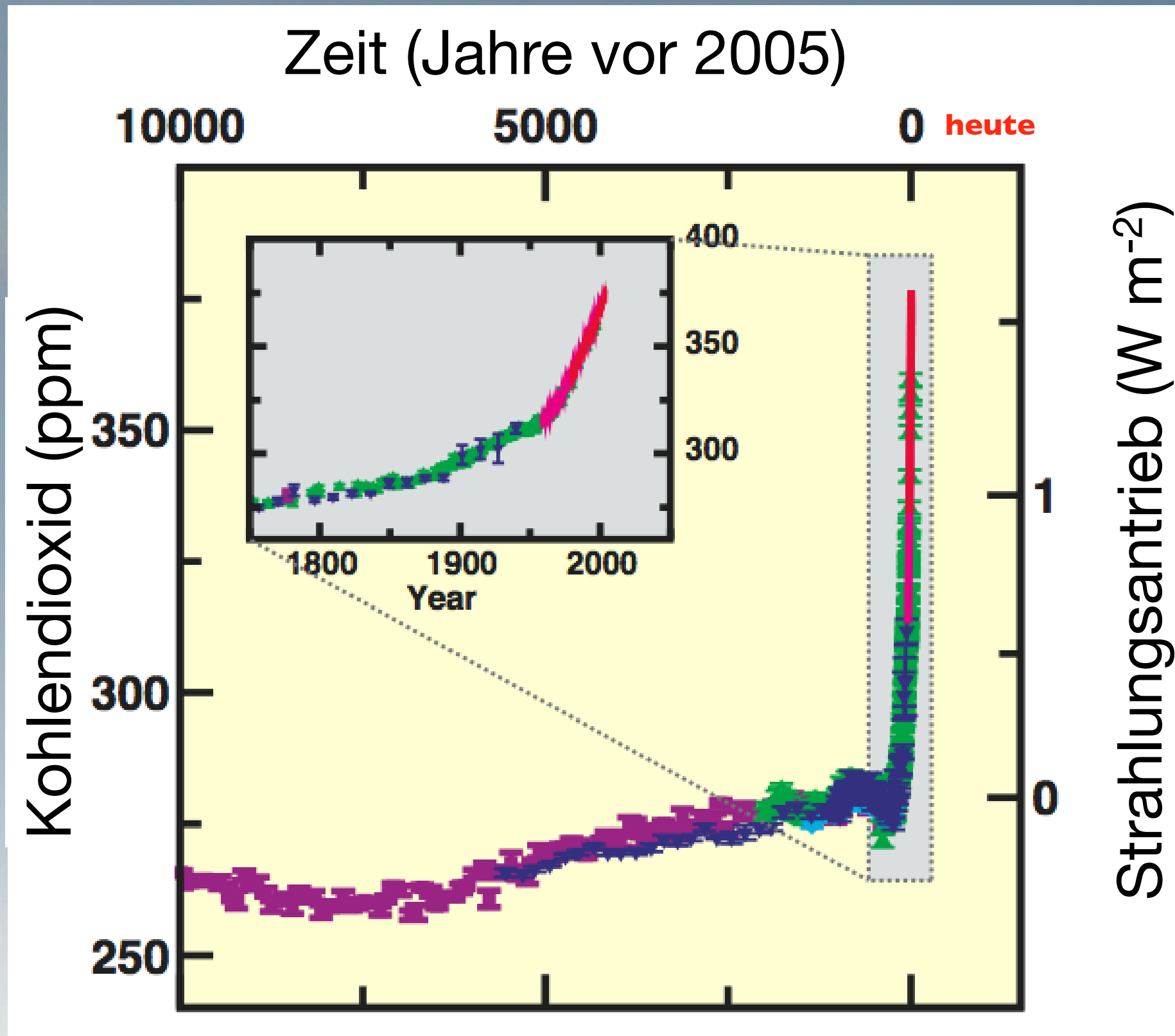


Kommen wir zum dritten Abschnitt: der Blick in die Zukunft. Wir kehren von den Polargebieten zurück in unsere Lebenswelt. Die Veränderungen des Meeresspiegel spielen dabei eine wichtige Rolle, als ein Teil des hydrologischen Systems unserer Erde. Für sie hier im Fränkischen sicher eine Frage, die Ihnen nicht so auf den Nägeln brennt, wie jenen Menschen, die an den Küsten wohnen. Aber, wenn wir über Klima reden, müssen wir global denken. Was erwartet den kleinen Jungen im Laufe seines Lebens, der hier heute noch am Ufer der Weser ins Wasser schaut?



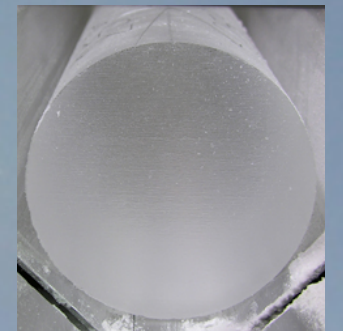
# Kohlendioxid-Gehalt der Atmosphäre

Zeugen des Klimawandels der Vergangenheit: Eisbohrkerne:



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))

## Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre.

Eine Zusammenstellung der Entwicklung des Kohlendioxidgehalts in der Atmosphäre finden wir in dem 2007 veröffentlichten Bericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, abgekürzt IPCC). Sie erinnern sich vielleicht, dass jener Ausschuss im Jahr 2007 gemeinsam mit dem Amerikaner Al Gore den Friedensnobelpreis zugesprochen bekam.

Wir sehen eine Kurve, beginnend etwa am Ende der letzten Eiszeit vor gut 10.000 Jahren, die seit 5.000 Jahren vor heute langsam ansteigt. Ab 1850 wird der Anstieg stärker und ab 1950 geht die Kurve dann steil nach oben.

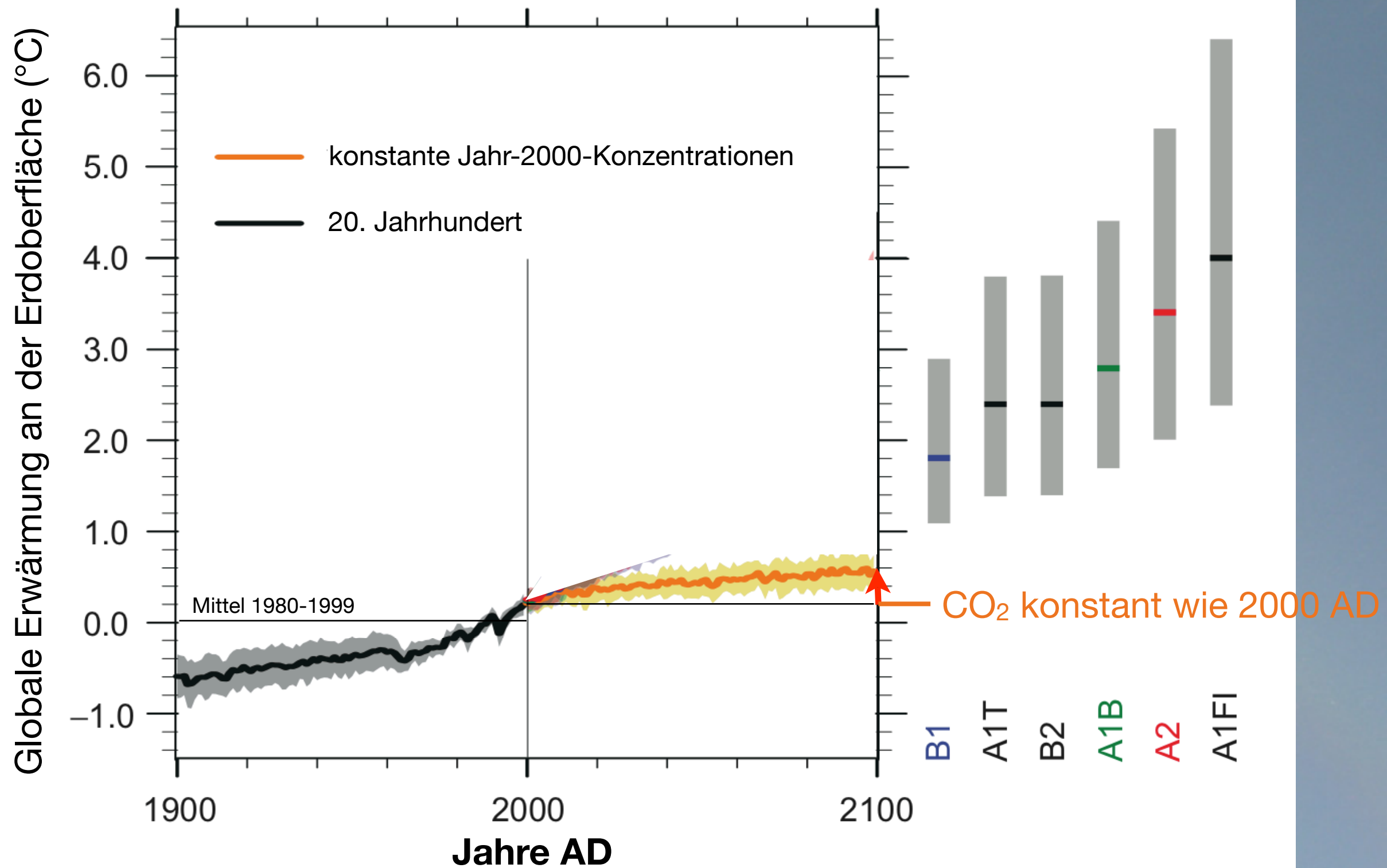
Die unterschiedliche Farbgebung bei der Darstellung der Kurve verweist auf den unterschiedlichen Ursprung der Messdaten. Nur die rote Kurve zeigt Messwerte an atmosphärischen Luftproben, gemessen an der Station Mauna Loa auf Hawaii. Diese Station wird seit 1956 von der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) der USA betrieben. Die kontinuierliche Messreihe für Kohlendioxid begann erst 1958! Alle anderen Messwerte, die hier aufgetragen sind, 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.

Das Wissen um den Zusammenhang zwischen Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre und der Lufttemperatur ist nicht neu. Bereits 1896 hat der schwedische Physiker und Chemiker Svante August Arrhenius, der 1903 den Nobelpreis für Chemie erhielt, Berechnungen dazu angestellt und veröffentlicht (S. A. Arrhenius, 1896: On the influence of carbonic acid in the air on the temperature of the ground. *Philosophical Magazine* 5, London, 237-276)!



# 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)

Der Blick in die Zukunft

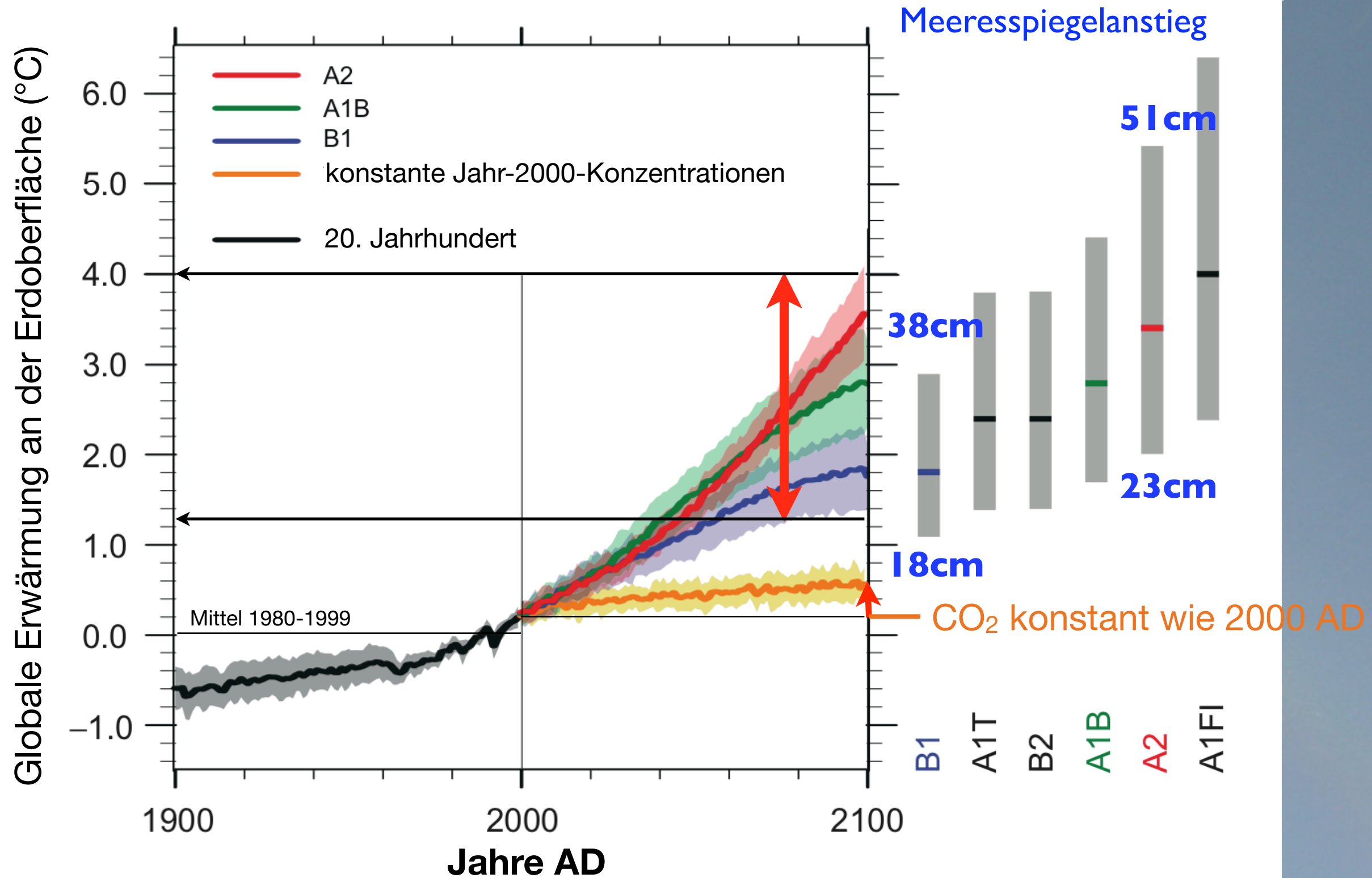
Informationen aus dem IPCC-Report 2007: Mit **verschiedenen Szenarien**, die jeweils eine unterschiedliche Entwicklung der Treibhausgase ergeben, können verschiedene Temperaturszenarien für die Zukunft berechnet werden. Der heute gemessene Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre liegt bereits über den höchsten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



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



Der Blick in die Zukunft

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.

Die EU ist bestrebt, die Temperaturerhöhung bei 2°C zu begrenzen. Um das zu erreichen bedarf es weltweit größter Anstrengungen.

Mit der blauen Schrift rechts ist der daraus resultierende Anstieg des Meeresspiegels angedeutet. Je nach den getroffenen Modellannahmen muss mit Werten zwischen 18 und 51 Zentimeter gerechnet werden. Diese Zahlen sind jedoch keine Vorhersage, sondern Ergebnisse von möglichen Szenarien und werden je nach Wissensstand immer wieder revidiert werden. Aber es sind sicherlich untere Grenzen von dem, was auf uns zukommt!



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

1993-2003  
mm pro Jahr

Ozean - Ausdehnung  
durch Erwärmung

1.6 ±0.5

57.1%

Gletscher und  
Eiskappen

0.77 ±0.22

27.5%

Grönland

0.21 ±0.35

7.5%

Antarktis

0.21 ±0.35

7.5%

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](http://www.ipcc.ch))

## 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, wie in Grönland, die Fließgeschwindigkeit einiger Eisströme deutlich zugenommen hat.



Das Eis unserer Erde, sowohl Landeis wie Meereis, reagiert bereits auf klimatische Änderungen

Die großen Eisschilde der Erde sind ein einzigartiges Klimaarchiv

Klimaveränderungen lassen sich nicht aufhalten, nur verzögern.

Klimaänderung ist ein globales Problem

Reduzierung des Verbrauchs fossiler Brennstoffe nötig.

Meine Damen und Herren, ich hoffe, ich konnte bei Ihnen ein Gefühl wecken für die Prozesse, die in den Polargebieten heute ablaufen.

Lassen Sie mich zum Schluss fünf Punkte heraus stellen:

Ich wollte Ihnen zeigen, dass das Eis auf unserem Globus bereits sichtbar auf die klimatischen Änderungen der letzten hundert Jahre reagiert. Dies betrifft sowohl das Landeis, also Gletscher und Eisschilde, als auch das Meereis, also gefrorenes Meerwasser.

Die großen Eisschilde auf Grönland und in der Antarktis sind ein einzigartiges Archiv für das Klima der letzten 800.000 Jahre. Es enthält insbesondere Information zur Zusammensetzung der Atmosphäre in der Vergangenheit.

Die bereits zu beobachtenden Klimaveränderungen lassen sich nicht aufhalten nur verzögern.

Die Klimaänderung und ihre Auswirkungen auf Natur und Mensch ist ein globales Problem.

Eine Reduzierung des Verbrauchs fossiler Brennstoffe ist dringend nötig.

Meine Damen und Herren, ich hoffe, meine Ausführungen haben Sie nicht erschlagen, sondern waren Stimulanz für lebhaftes Nachfragen.



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

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

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