

Lieber Ossi,

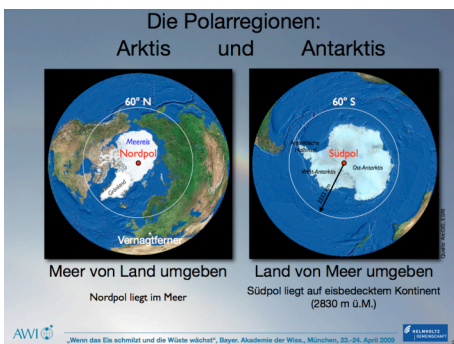
meine Damen und Herren,



Folie 1

Glaziologische Polarforschung seit dem Internationalen Geophysikalischen Jahr 1957/58, ein anspruchsvolles Thema für 45 Minuten Vortrag. In dieser Zeit 50 Jahre Forschung Revue passieren lassen, bedeutet weniger als eine Minute pro Jahr! Es können also nur ausgewählte Schlaglichter sein, die heute aufleuchten. Schon vorweg herzlichen Dank an alle, die mir Bildmaterial zur Verfügung gestellt haben, allen voran unser heutiger Jubilar Oskar Reinwarth.

Mein Vortrag soll in der Zeit des 3. Internationalen Polarjahres beziehungsweise des Internationalen Geophysikalischen Jahres (IGY) 1957/58 beginnen. Er soll enden mit dem 4. Internationalen Polarjahr (IPY) 2007/2008, das vor kurzem, Ende Februar 2009, seinen Abschluss fand.



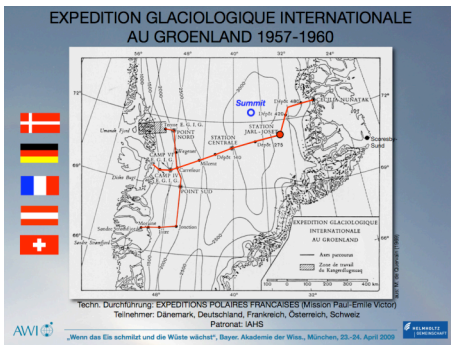
Folie 2

Diese Zeitreise wird uns geographisch aus der Arktis, genauer gesagt Grönland, über die mitteleuropäischen Alpen, sprich Vernagtferner im Ötztal, in die Antarktis führen. Beginnen möchte ich mit den Aktivitäten von E.G.I.G. I im Sommer 1959, also mit Arbeiten, an denen Oskar Reinwarth selbst beteiligt gewesen ist. Zum Ende kommen werde ich am 20. Februar 2009, als Frau Bundesministerin Schavan in Berlin, per Fernseh-Live-Schaltung, durch einen symbolischen Knopfdruck die neue deutsche Antarktisstation, Neumayer III, eingeweiht hat. Sie mögen schon jetzt erkennen, dass zwischen IGY und 4. IPY Welten liegen!



Folie 3

Noch eine Vorbemerkung vorweg. Auch wenn sich IGY und E.G.I.G. I zeitlich überlappen, so waren es doch getrennte Programme und, was die Finanzierung der deutschen Beiträge betrifft, bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft auch unterschiedliche Konten.



Folie 4

Die **EXPEDITION GLACIOLOGIQUE INTERNATIONALE AU GROENLAND 1957-1960** hatte unterschiedliche Aufgaben, die hier nicht alle im Detail erläutert werden sollen. Es sollte das Inlandeis gequert und dabei nach Höhe und Lage vermessen werden, um einen konsistenten Datensatz zu besitzen, der als Referenz für spätere Veränderungen des Eisschildes dienen könnte. Wichtiger Bestandteil der Expedition war auch der Bau einer Überwinterungsstation auf dem Inlandeis, um über ein ganzes Jahr hinweg meteorologische und glaziologische Messungen durchführen zu können. Die Station trug den Namen Jarl-Joset. Mit diesem Namen sollte zweier Männer gedacht werden, die am 4. August 1951 während der „Expéditions Polaires Françaises“ (EPF, 1948-951) den Tod fanden, als ihr „Weasel“ nahe Mt. Forel in eine Spalte stürzte. Es waren der dänische Bevollmächtigte Jens Jarl (*27.5.1900) und der französische Geophysiker Alain Joset (*26.01.1903). Die Station Jarl-Joset wurde auf der Ostabdachung des Inlandeis bei 33° 28,0' W und 71° 21.3' N auf einer Höhe von 2867 Metern errichtet (*De Quervain, M., 1969*).

E.G.I.G. war eine internationale Expedition, an der sich Dänemark, Deutschland, Frankreich, Österreich und die Schweiz beteiligten. Diesen Ländern werden wir im Verlauf der zu beschreibenden 50 Jahre glaziologischer Forschung noch dann und wann begegnen, da sie auch in späteren Jahren bipolar zusammen gearbeitet haben.



Folie 5

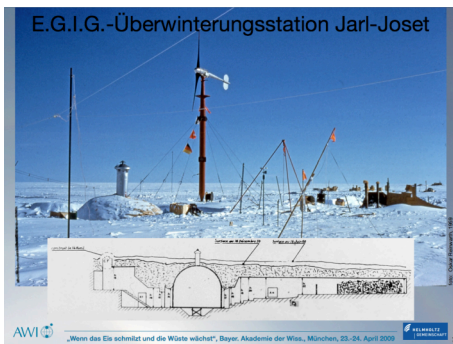
Glaziologische Fragestellungen während E.G.I.G I waren: Schnee-Akkumulation, Schnee-Metamorphose, Temperaturregime, Ablation, Rheologie, Oberflächenhöhen, Fließbewegung.

Mit Ausnahme der Ablation war Oskar Reinwarth in der ein oder anderen Weise an all diesen Fragen beteiligt. Und es waren auch die Fragen, die dann später von ihm im Ötztal untersucht wurden und die auch Eingang in das deutsche Antarktis-Forschungsprogramm nach 1980 fanden. Die Schneemetamorphose, gekoppelt mit der Frage wie die atmosphärischen Gase in das Eis eingeschlossen werden, ist auch heute wieder eine zentrale Forschungsaufgabe, der sich ein Ex-Münchener in Bremerhaven, nämlich Sepp Kipfstuhl, mit Enthusiasmus widmet.



Folie 6

Werfen wir einen Blick zurück in das Jahr 1959. Die beiden Namensgeber für die Überwinterungsstation, Jens Jarl und Alain Joset, wurden bereits genannt. **Wie wurde damals eine Überwinterungsstation für sechs Personen gebaut?** Der Plan sah vor, einen Igloo mit sechs Metern Durchmesser zu erstellen, der dann im Schnee vergraben, die Behausung für die sechs Männer bieten sollte. Das Baumaterial wurde mit Fallschirmen abgeworfen. Die Baugrube für den Igloo wurde ausgefräst und gleichzeitig ein Graben, der später für die Wasserver- und -entsorgung dienen würde. Die untere Hälfte der Schale wird zusammengefügt und langsam schließt das kuppelförmige obere Stockwerk das Gebäude ab.



Folie 7

Die Station wird rechtzeitig fertig, so dass ihre Bewohner nach der Sommerkampagne am 10. August 1959 dort ihr Winterquartier beziehen können. Bis zum 28. Juli 1960 bot sie der Überwinterungsgruppe Unterkunft.

Man beachte, dass bereits damals erneuerbare Energie in Form von Windenergie eingeplant wurde. Leider war der Wind nicht immer stark genug, um den Generator zum Anlaufen zu bringen. Dies war besonders kritisch als im April 1960 der Stromgenerator ausfällt (*De Quervain, M., 1969*).

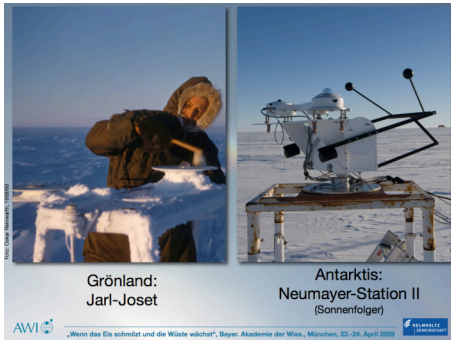


Folie 8

Fotos können vielleicht täuschen. Das Foto, das Marcel de'Quervain in seinem Expeditionsband „Nivologie“ zur Illustration der Lebensverhältnisse auf Jarl-Joset verwendet, bringt nicht unbedingt die drangvolle Enge, die dort herrschte, zum Ausdruck. (Man beachte, es steht kein Läu-top auf dem Tisch! Wie die damals nur überleben konnten?)



Folie 9



Folie 10



Folie 11

Einen etwas anderen Eindruck vermittelt da schon das Lichtbild aus dem Archiv des Jubilars. Und nur er selbst könnte von dem Leben dort eindrucksvoll und lebensnah erzählen.

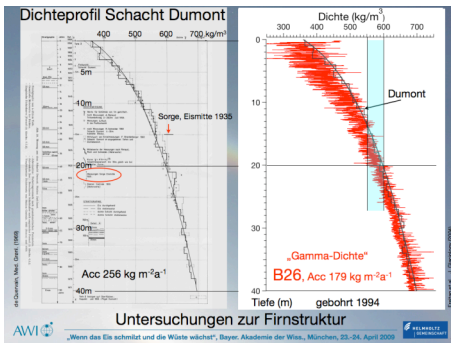
Doch zurück zur Wissenschaft. Ganzjährige **Beobachtung der Strahlung** gehörte zum Messprogramm des Meteorologen Oskar Reinwarth während seiner Überwinterung auf Grönland.

Strahlungsmessung ist auch heute eine zentrale Aufgabe des meteorologischen Observatoriums an der Neumayer-Station in der Antarktis. Das Strahlungsmessprogramm des meteorologischen Observatoriums an der Neumayer-Station (*König-Langlo & Loose, 2007*) wird nach dem Standard des Baseline Surface Radiation Networks (BSRN) betrieben. Die Betreuung der Messungen liegt in den Händen von Dr. Gert König-Langlo, einem Ex-Überwinterer der ersten Stunde auf der Georg-von-Neumayer-Station. König-Langlo leitet heute auch das World Radiation Monitoring Centre (WRMC), das 1992 von Azumo Ohmura an der ETH Zürich gegründet worden war und 2008 vom AWI in Bremerhaven übernommen wurde. Azumo Ohmura hat meines Wissens auch einmal die Registrierungen von Oskar Reinwarth während der Überwinterung auf Jarl-Joset durchforstet.

Eine weitere glaziologische Aufgabe waren die **Setzungsmessungen im Firn**, in dem eigens dafür ausgestatteten Eislabor unter Tage (*Haefeli & Brandenberger, 1968*); Hauptakteur vor Ort der Schweizer Geodät Fritz Brandenberger. Diese Thematik wurde Ende der 1970er Jahre wieder aktuell, als es darum ging eine Überwinterungsstation in der Antarktis zu bauen!

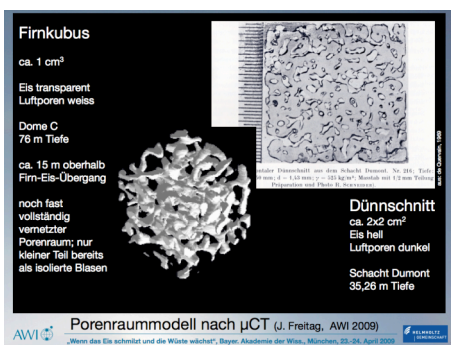
Von der Verformung des Schnees auf Grönland konnte sich Oskar Reinwarth etwa eine Jahrzehnt nach seiner Überwinterung selbst überzeugen, als er anlässlich von E.G.I.G II die verlassene Station Jarl-Joset noch einmal besuchen konnte. Ich denke, die Schrägstellung des Regals verdeutlicht eindringlich die Aufwölbung des Fußbodens infolge des hydrostatischen Eisdruckes, ein Phänomen, das gerne übersehen wird, aber auch bei den Röhrenkonstruktionen

der Antarktisstationen Georg-von-Neumayer und Neumayer II zu erheblichen baulichen Belastungen führte.



Folie 12

Eine weitere glaziologische Fragestellung aus jener Zeit war die **Firnstruktur und Verdichtung des Schnees**, Arbeitsgebiet des Französischen Wissenschaftlers René Schneider. Es gab dazu eine für die damalige Zeit einmalige Versuchsanordnung, nämlich den 40 Meter tiefen „Dumont-Schacht“, der 1956/57 von der Expedition Dumont während deren Überwinterung händisch, schräg in den Firn gegraben worden war. Von Sorge war bei Eismitte ein Dichteprofil bis 15 Meter bestimmt und 1935 veröffentlicht worden. Das Profil bei Jarl-Joset war nun mehr als doppelt so lang. Dichteprofile können heute kontinuierlich an Eiskernen gemessen werden, zum Beispiel mithilfe der Absorption von Gamma-Strahlung. Hierbei wird der hohe Schwankungsbereich infolge jahreszeitlicher Dichteänderungen im oberen Firnbereich besonders deutlich erkennbar. Freitag et al. (2004) beschreiben in ihrer Arbeit die Beobachtung, dass die Schwankungsbreite im Dichtebereich 550-600 kg/m³ aufgrund des unterschiedlichen Verdichtungsprozesses von großen (Sommer) und kleinen (Winter) Eiskörnern ein Minimum erreicht. Vergleicht man die modernen Messungen mit den Messungen von René Schneider, so ist, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Akkumulationsraten die Übereinstimmung sehr gut. Die Diskussion, welches Verdichtungsmodell die Realität polaren Firns am besten beschreibt, ist auch heute noch nicht abgeschlossen. Diese Frage besitzt im Hinblick auf den Gaseinschluss ins Eis hohe Aktualität. Bei der Bestimmung der Gesamtmassenbilanz der großen Eisschilde kommt nach wie vor durch die Dichtewerte eine große Unsicherheit in die Bilanzwerte.



Folie 13

Aus dem Dumont-Schacht, im Tiefenbereich 4-39,6 Meter hat René Schneider 234 Firnproben herauspräpariert, also im Mittel etwa alle 15 Zentimeter eine Probe, und zu **horizontalen Dünnschnitten** verarbeitet und fotografiert. Diese Fotografien wurden später am Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung in Davos ausgewertet. Bestimmt wurden längs eines orthogonalen Rasters die Durchstichlängen in Eis und daraus Parameter für die Korngröße sowie die Dichte des Firns abgeleitet. Das Beispiel zeigt eine Probe aus 35,26 Metern Tiefe und einer Firndichte von 525 kg/m³.

Johannes Freitag arbeitet heute am AWI mit einem Röntgen-Mikro-Computertomographen, um damit virtuelle Schnitte durch einen Firnkubus herzustellen, die dann zu einem räumlichen Bild zusammengesetzt werden können (Freitag et al., 2008). Der Porenraum ist dabei weiß dargestellt und das Eis bleibt quasi ausgespart, erscheint auf dem Bild also schwarz. Auf diese Weise lässt sich die Dichte des Firns in sehr feiner Tiefenauflösung aus einem dreidimensionalen Modell ableiten.

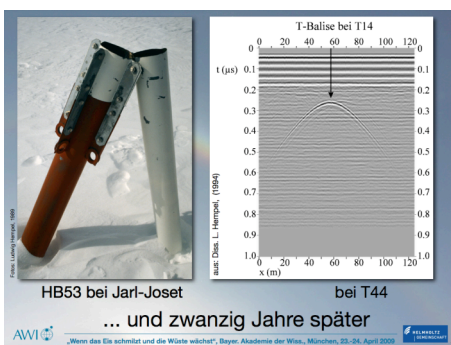
Die folgende Filmsequenz, von einer Probe aus dem EPICA-Dome-C-Eiskern in der Antarktis, gewährt einen Einblick in den Porenraum im Firn, der in einer Tiefe von 76 Metern, also etwa 15 Meter oberhalb des Firn-Eis-Übergangs immer noch fast vollständig vernetzt ist.

Folie 14 Filmsequenz von Folie 13



Wächst der Grönländische Eisschild oder schmilzt er dahin? Diese Frage ist heute aktueller denn je. Ein Baustein, um verlässliche Messungen zur Schneeakkumulation im zentralen Bereich des grönländischen Eisschildes zu bekommen, waren sicher die Groß-Balisen, die während E.G.I.G. II im Sommer 1967 aufgestellt wurden. Auch wenn dieses Bild (Folie 15) den Eindruck erweckt, die Balisen seien für die Ewigkeit gedacht,

Folie 15



so führt ein Besuch zwanzig Jahre später zur Ernüchterung. Wo sind die Groß-Balisen, diese bange Frage stellte man sich Ende der 1980er Jahre. Einige waren abgeknickt. In diesen Fällen war zumindest die Position noch eindeutig bestimmbar. Von anderen konnten die Geodäten um Dietrich Möller aus Braunschweig zwar die ungefähre Position vorhersagen (Homann et al., 1996), aber wie tief sie tatsächlich mit Schnee bedeckt waren, musste vor Ort erkundet werden. Die Arbeitsgruppe um den in diesem Jahr verstorbenen Franz Thyssen in Münster, mit Norbert Blindow und seinem Doktoranden Ludwig Hempel, glaubte ein probates Mittel an der Hand zu haben: Das elektromagnetische Reflexionsverfahren. Und tatsächlich, auf wenige Dezimeter genau ließen sich die Position dieser Metallkörper im Firn bestimmen und wie hier, als Beispiel gezeigt der Punkt T44, im Schnee auch wieder finden (Hempel, 1994)!



Folie 16



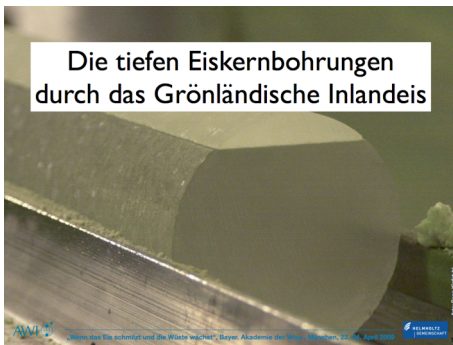
Folie 17

Die Frage der **Schneeakkumulation auf Grönland und ihrer zeitlichen Veränderung** seit Entstehung des Eisschildes, beschäftigte Glaziologen unterschiedlicher Provenienz in den letzten fünfzig Jahren. So unternahm das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) Mitte der 1990er Jahre die so genannte Nordgrönlandtraverse. Es war der Ex-Münchener Sepp Kipfstuhl, ausgebildet am Meteorologischen Institut der hiesigen Universität, der seinen Weg ans AWI gefunden hatte und unter Prof. Heinz Miller an der Universität Bremen promoviert worden war, dem die Planung und Leitung dieser Traverse übertragen wurde. Über drei Polarsommer zog die international besetzte Gruppe ca. 1600 Kilometer über das Eis von Nordgrönland. Alle 50 Kilometer stoppte die Gruppe, um einen zwei Meter tiefen Firnschacht zu graben und entweder einen 10-15 Meter tiefen Firnkern oder einen 70-175 Meter tiefen Eiskern zu ziehen. Ausgangspunkt war die Stelle der Tiefbohrung GRIP auf dem höchsten Punkt des Inlandeises. Endpunkt die Stelle der späteren Tiefbohrung NGRIP, die zwischenzeitlich geplant worden war. Doch dazu später Genaueres



Folie 18

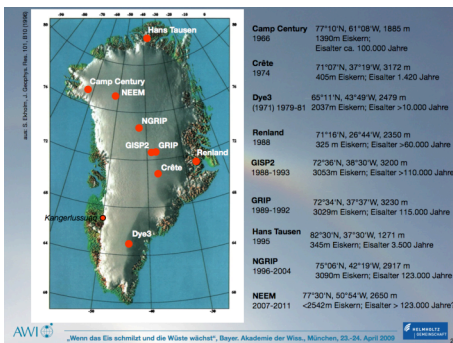
Werfen wir einen Blick auf den **Traversenalltag**, der eindrucksvoll von *Fischer & Kipfstuhl (2002)* in dem Buch *Eiskalte Entdeckungen* beschrieben wird. Als Zugfahrzeuge wurden Kaessbohrer-Flexmobile verwendet. Als Unterkünfte dienten die so genannten roten „Tomaten“, die huckepack mitgeführt wurden. Von Anfang an waren die weißen Polypropylen-Kisten dabei, in denen die einen Meter langen Eiskernstücke verpackt und dann auf den langen Weg nach Bremerhaven geschickt wurden. Gebohrt wurde mit dem Bohrer des AWI im Schatten des mit Eiskernkisten hoch beladenen Schlittens. Die Eisernernte war beachtlich: 13 Eiskerne zwischen 70 und 175 Metern Länge sowie 33 Firnkern von 10 bis 15 Metern Länge, dazu noch die Proben von etwa hundert Metern Schneeschachtprofilen, summa summarum fast 2000 Meter Probenmaterial. Die ältesten erbohrten Schichten dieser Kampagne wurden um das Jahr 871 AD abgelagert (*Schwager 2000*), also noch gut hundert Jahre bevor Erik der Rote einst (982 AD) Grönland betreten hatte. Die wissenschaftliche Ernte ist noch nicht komplett eingefahren.



Folie 19

Aber der Grönländische Eisschild hat die **Klimageschichte** wenigstens der letzten 123 000 Jahre archiviert. Vielleicht sogar das ganze letzte Interglazial, das so genannte Eem.

Ich möchte deshalb mit den nächsten Folien Ihren Blick auf die Tiefbohrungen durch den Grönländischen Eisschild lenken.



Folie 20

Die **tiefen Eiskernbohrungen auf Grönland** begannen im Jahr 1966 als nahe der US-amerikanischen Militärbasis Camp Century ein 1390 Meter langer Eiskern gezogen wurde, der in seinen untersten Schichten, nach der damaligen Datierung, ein Eisalter von 100.000 Jahren erreichte.

Die Serie der Eiskernbohrungen setzte sich dann fort in den Jahren 1974 mit der Bohrung bei Crête,

bei der amerikanischen Radarstation Dye 3, einer Station innerhalb der Distant Early Warning (DEW) Kette, ab 1971 mit verschiedenen kleineren Bohrungen und dann

1979-1981 mit der 2037 Meter tiefen Eiskernbohrung,

1988 im östlichen Randgebirge auf der Eiskappe von Renland

1988-1993 auf dem grönländischen Summit mit GISP2 und 1989-1992 mit GRIP,

1995 eine Bohrung auf der Hans Tausen Eiskappe in Peary Land und

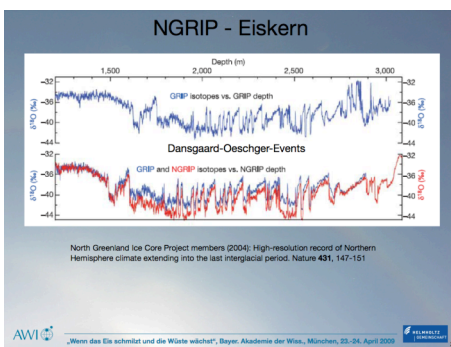
1996-2004 die Bohrung N(orth)GRIP.

NGRIP erreichte den Untergrund des Eisschildes bei einer Bohrtiefe von 3090 Metern. Hier sind erstmals die ältesten Schichten in ungestörter Schichtung angetroffen worden. Sie wurden mit 123 000 Jahren datiert und dokumentieren somit das Ende des Eem-Interglazials, nicht jedoch dessen Beginn. Die Suche nach dem Beginn des Eem-Interglazials geht weiter und man hofft, dass das Bohrprojekt NEEM, mit der in diesem Jahr beginnenden Tiefbohrung, fündig wird.



Folie 21

Legen wir einen kurzen Stopp ein beim **North Greenland Ice Core Project (NGRIP)**. Es war ein Internationales Tiefbohrprojekt unter dänischer Federführung (*NorthGRIP community members, 2004*). Logistische Unterstützung kam von der US-amerikanischen Luftwaffe, die mit Hercules C-130 Flugzeugen Einrichtung und Versorgung des Bohrcamps unterstützte. Eine kuppelförmige Holzkonstruktion war das zentrale Gebäude des Bohrcamps. Gebohrt wurde unter Tage in einem tiefen Graben. Der Bohrer basiert auf den dänischen ISTUK- und Hans-Tausen-Bohrern. Er war im Verlaufe verschiedener europäischer Bohrprojekte, nicht zuletzt dem European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA), auf das ich später noch zu sprechen komme, ständig weiter entwickelt worden. Es ist ein elektromechanischer Bohrer, der am Kabel gefahren wird und einen Eiskern mit knapp hundert Millimetern Durchmesser und jeweils 3-3,5 Meter Länge zu Tage fördert.



Folie 22

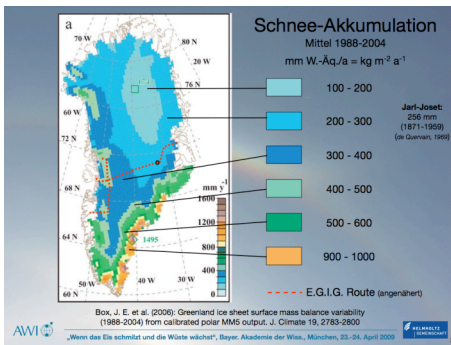
Welche klimatische Information hatte man aus dem Grönländischen Inlandeis mit GRIP und GISP2 bereits gewonnen und was war das Neue bei NGRIP?

Betrachten wir die Ergebnisse, die von den *North Greenland Ice Core Project Members (2004)* in der Zeitschrift Nature publiziert wurden. GRIP hatte die bereits früher entdeckten schnellen Schwankungen während des Glazials, die so genannten Dansgaard-Oeschger-Ereignisse bestätigt. Diese wurden auch bei NGRIP nachgewiesen. Durch NGRIP nicht bestätigt wurden jedoch die schnellen Schwankungen während des Eem-Interglazials, die in der ersten GRIP-Euphorie vorschnell in Nature veröffentlicht worden waren (*GRIP members, 1993*).

Ähnlich wie beim Vergleich zwischen GISP2 und GRIP war eine Übereinstimmung bei den Isotopenkurven nur bis zu einem Alter von 115 000 Jahren gegeben. Darunter ist und bleibt GRIP gestört.

An der Bohrstelle NGRIP tritt offensichtlich und etwas unerwartet, subglaziales Schmelzen auf. Dies ist zwar für das maximal erreichbare Alter nachteilig, aber es führt zu einer ungestörten Schichtabfolge nahe am Felsbett. Auch die Jahresschichtdicken waren mächtiger, als ursprünglich berechnet.

Soviel zur Klimageschichte aus dem Grönländischen Inlandeis.

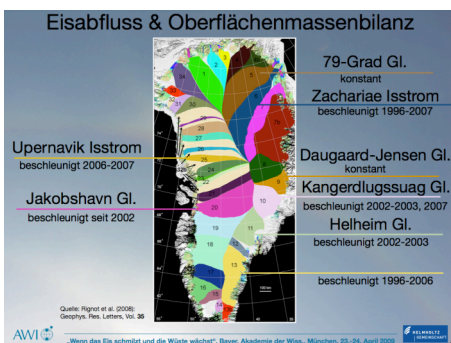


Folie 23

Was wissen wir heute über die Akkumulationsverhältnisse auf Grönland?

Ich möchte Ihnen die Akkumulationsverhältnisse auf Grönland mit einer Abbildung aus der Arbeit von *Box et al.*, die im *Journal of Climate* 2006 veröffentlicht wurde, vorstellen. Die Daten wurden mit einem Regionalen Klimamodell der Pennsylvania State University (National Center for Atmospheric Research), dem so genannten „Polar MM5“-Modell berechnet. Dieses Modell war vorher mit meteorologischen und glaziologischen Messdaten von Grönland kalibriert worden.

Die Karte zeigt die berechneten Schnee-Akkumulationsraten jeweils in Klassen von 100 Millimetern Wasseräquivalent. Auf dem Inlandeis in Nordostgrönland erscheint eine große Fläche mit Werten zwischen 100 und 200 Millimetern. Nach Osten zum Eisrand hin und nach Westen zum Landesinneren erhöht sich die Akkumulation auf Werte zwischen 200 und 300 Millimeter. Das ist auch das Niederschlagsintervall, in dem Jarl-Joset liegt. Werte zwischen 300 und 400 Millimeter findet man vorwiegend im westlichen Teil des Inlandeises. Darüber hinausgehende Beträge treten nur in den näher an den Küsten gelegenen Gebieten auf.



Folie 24

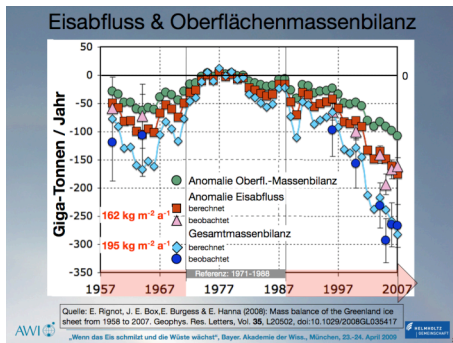
Schmilzt Grönland dahin?

Diese Frage lässt sich nur beantworten, wenn wir die drei einzelnen Komponenten der Massenbilanz, nämlich Schneezutrag, Schmelzwasserabfluss und Eisabfluss gemeinsam betrachten.

Eine solche Studie haben *Eric Rignot et al. (2008)* in der Zeitschrift *Geophysical Research Letters* veröffentlicht. Die Autoren haben dazu Grönland in 34 Einzugsgebiete des Eisabflusses aufgeteilt und die drei genannten Komponenten für jedes Gebiet bestimmt.

Die Studie zeigt, dass das Beschleunigen von Eisströmen im Randbereich für mehrere Eisströme beobachtet wurde. So hat in Westgrönland nicht nur der Jakobshavn-Gletscher Fahrt aufgenommen, sondern auch der weiter nördlich gelegene Upernavik Isstrom ist 2006/07 schneller geworden. An der Ostküste wurden in der Dekade 1996-2006 erhöhte Fließgeschwindigkeiten für fast alle Gletscher des Einzugsgebietes Nummer dreizehn festgestellt. Besonders auffällig ist auch die Geschwindigkeitszunahme des Helheim-Gletschers, die 2002-03 einsetzte und noch nicht wieder völlig abgeklungen ist. Der Kangerdlussuag-Gletscher (nicht zu verwechseln mit dem Flughafen Kangerlussuag in Westgrönland!) machte 2002-03 und 2007

einen Sprung nach vorne. Auch der Zachariae Isstrom beschleunigte sich in der Dekade 1996-2007, nicht zuletzt weil ihm die stützende Kraft der vorgelagerten, schwimmenden Schelfeisfläche wegbrach. Offensichtlich konstante Geschwindigkeitsfelder werden vom Daugaard-Jensen-Gletscher und dem 79-Grad-Gletscher berichtet.



Folie 25

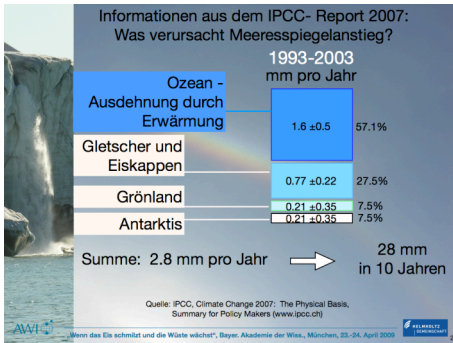
Wie verhält sich heute die Gesamtmassenbilanz von Grönland?

Die Ergebnisse für die gesamte Massenbilanz Grönlands nach Rignot et al. (2008) sind in der gezeigten Abbildung (Folie 25) zusammengefasst.

Die Oberflächenmassenbilanz, grüne Signatur, wird hier als Abweichung von einem Mittelwert angegeben. Für dieses Mittel wurde als Referenzzeitraum die Periode 1971-1988, in der die geringsten Schwankungen bestimmt worden waren, gewählt. Entsprechend ist der Eisabfluss in rötlicher Signatur dargestellt. Für beide Komponenten nehmen seit 1997 die Abweichungen vom Mittelwert kräftig zu, das heißt, zunehmend negativere Bilanzen an der Oberfläche und höherer Eisabfluss ins Meer.

Die blauen Signaturen zeigen die resultierende Gesamtmassenbilanz in absoluten Werten, angegeben in Gigatonnen pro Jahr. Zur Erinnerung, eine Gigatonne entspricht einem Kubikkilometer Wasser.

Die blaue Zeitreihe macht deutlich, dass das Grönländische Inlandeis bereits von 1957 bis 1970 an Masse verloren hat. In den Jahren 1971 bis 1988 war der Massenhaushalt dann annähernd ausgeglichen oder nur leicht negativ. Daran anschließend aber haben die Verluste von Jahr zu Jahr stetig zugenommen. In den letzten Jahren lag der Verlust an Eismasse in der Größenordnung von 250 bis 300 Gigatonnen pro Jahr. Dies entspricht, umgerechnet auf die eisbedeckte Fläche Grönlands, einem Wert von 162 bis 195 Kilogramm beziehungsweise Millimeter Wasseräquivalent pro Quadratmeter und Jahr. Dem Inlandeis ging also pro Jahr, auf seine ganze Fläche verteilt, eine etwa zwanzig Zentimeter dicke Eisschicht verloren.



Folie 26

Wie wirken sich diese Eisverluste auf den globalen Meeresspiegel aus?

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.

Wenn wir hier den Beitrag der Gletscher und Eiskappen zum Meeresspiegelanstieg im 20ten Jahrhundert erwähnt sehen,



Folie 27

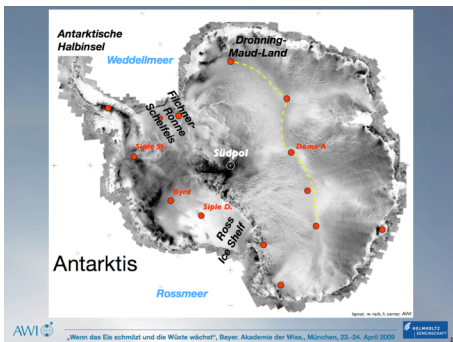
dann liegt es nahe, auf dem Weg in die Antarktis noch einen Zwischenstopp in den europäischen Alpen und zwar am Vernagtferner einzulegen. Dem IGY folgte die Internationale Hydrologische Dekade, während der die Wasservorräte der Erde erfasst und deren Veränderungen beschrieben werden sollten. Eine wichtige Komponente im Wasserhaushalt der Erde und insgesamt das größte Süßwasserreservoir (ca. 77%) überhaupt ist das Eis in den Polargebieten und in den Gebirgsregionen dieser Erde. Einen Katalog der vorhandenen Eismassen aufzustellen erschien als eine vordringliche Aufgabe.

Wie verhält sich die Eismasse des Vernagtferners, war zwar nur eine Detailfrage, aber es wurde die zentrale wissenschaftliche Fragestellung, die Oskar Reinwarth in den 1970er Jahren und danach beschäftigte. Man kann mit unterschiedlichen Methoden Antworten auf diese Frage suchen, eine davon ist die Methode der hydrologischen Massenbilanz, bei der man den gemessenen Schmelzwasserabfluss mit dem winterlichen und sommerlichen Niederschlag im Einzugsgebiet vergleicht.

Für dieses Vorhaben wurde 1973 von der Kommission für Glaziologie an der Bayerischen Akademie der Wissenschaften die Pegelstation Vernagtbach gebaut. Unterstützung bei der Planung erhielt sie dabei vom damaligen Institut für Radiohydrometrie der Gesellschaft für Strahlen und

Umweltforschung mbH, das von Prof. Heribert Moser geleitet wurde. Der leider schon 2008 verstorbene Dr. techn. Heinz Bergmann erstellte die technischen Unterlagen für das hydraulische Gerinne. Als Bergmann 1975 an die Technische Hochschule Graz wechselte, bin ich selbst in seine Fußstapfen getreten und habe die Messstelle betreut und durch das Teilprojekt A1 „Abfluss in und von Gletschern“ des Sonderforschungsbereichs 81 an der TU München den Zugang zur Glaziologie gefunden. Ich fand dabei in Oskar Reinwarth einen verständnisvollen Lehrmeister.

Man bedenke, die Abflussmessstelle wurde zu einer Zeit gebaut, als noch nicht von Global Warming und Meeresspiegelanstieg die Rede war. Im Gegenteil, einige Schlagzeilen der damaligen Zeit sprachen von der bald drohenden nächsten Eiszeit.



Folie 28

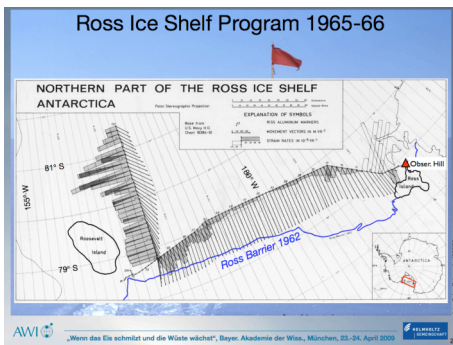
Bevor ich mich in nostalgischen Gedanken an meine frühen Vernagtage verliere, lassen sie uns weiter reisen in die Antarktis.

Im Südsommer 1965/66, also noch vor seiner Vernagtzeit, treffen wir Oskar Reinwarth auf dem Ross Ice Shelf und auch einmal kurz am Südpol selbst. Es war die Zeit als er an dem amerikanischen Projekt Ross Ice Shelf Studies (RISS) II teilgenommen haben. Es gab noch kein deutsches Antarktisforschungsprogramm. Deutsche Forschung in der Antarktis beschränkte sich im Westen, d.h. in der Bundesrepublik Deutschland auf das Engagement einzelner Wissenschaftler in der Antarktis, vorwiegend in amerikanischen Programmen oder in Zusammenarbeit mit Südamerika, und im Osten, d.h. der damaligen Deutschen Demokratischen Republik auf die Teilnahme an den sowjetischen Antarktisexpeditionen (SAE) (Fleischmann, 2005; Miller, 2007).

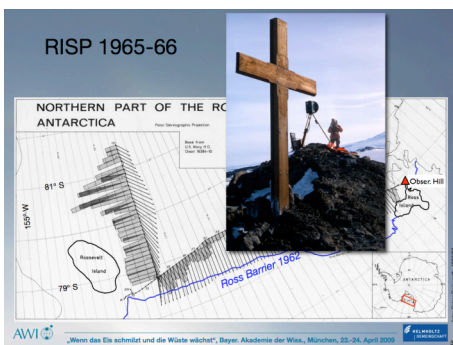
Nach den Ross Ice Shelf Studies I und II Mitte der 1960er Jahre, wurde dann in den 1980er Jahren das Filchner-Ronne-Schelfeis Programm initiiert und in den 1990er Jahren sowie dem ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhundert stand Dronning-Maud-Land im Mittelpunkt der deutschen glaziologischen Antarktisforschung.



Die Fließbewegung des Ross-Schelfeises längs des Dawson Trails stand im Mittelpunkt der Ross Ice Shelf Studies (RISS I und II) 1961/1962 (Leitung Walter Hoffmann) und 1965/66 (Leitung Egon Dorrer) ein Teil des US Antarctic Research Program (USARP), bei dem die Arbeiten in der Antarktis von deutschen Wissenschaftlern geleitet wurden (Fleischmann, 2005). Die Beteiligung an dem Messprogramm auf dem Ross Ice Shelf war mehr als nur eine kurze Episode zwischen Grönland und Vernagtferner. Viel von dem, wie das amerikanische Programm auf dem Ross Ice Shelf angelegt war, wurde später für die Planung des deutschen Anteils am Filchner-Ronne-Schelfeisprogramm übernommen.



Folie 29



Der Ausgangspunkt für das 1000 Kilometer lange Messprofil von RISS II auf dem Schelfeis lag auf dem Observation Hill oberhalb der amerikanischen McMurdo Base. Entfernungen wurden mit dem Tellurometer gemessen, eine Messapparatur, die erstmals bei E.G.I.G. eingesetzt wurde und heutigen, jüngeren bis mittelalterlichen Polarforschern völlig unbekannt geblieben ist.

Folie 30



Ein kurzer Blick auf die Arbeiten auf dem Eis in jenen Jahren.

Oskar Reinwarth war einer von den sechs Teilnehmern (2 aus USA, 4 aus Deutschland) von RISS II 1965/66 unter der Leitung von Egon Dorrer.

Folie 31



Folie 32

Ende der 1970er Jahre war es dann endlich soweit, dass in der Bundesrepublik Deutschland das **politische Interesse für die Antarktis** geweckt wurde. Damals war das Motivierende noch nicht das Eis, sondern politisch wollte die **BRD Mitglied im Antarktisvertrag** werden und wissenschaftlich stand die Krillforschung mit der Hoffnung auf eine unbegrenzte Nahrungsquelle im Vordergrund. Aber auch die Aussicht auf Bodenschätze spielte bei der Argumentation eine wichtige Rolle (*Fleischmann, 2005*). Im Mai 1978 wurde die DFG als Mitglied bei SCAR aufgenommen. Im Februar 1979 ist die BRD dem Antarktisvertrag beigetreten (die DDR übrigens bereits 1974). Jetzt machte es sich äußerst positiv bemerkbar, dass einige deutsche Geowissenschaftler bereits Erfahrung in den Polargebieten, speziell in der Antarktis hatten, und dies nicht nur zur See sondern auch auf dem Eis! Denn Voraussetzung für den Beitritt zum Antarktisvertrag war damals der Betrieb einer permanenten Station in der Antarktis.

Mit dem kleinen norwegischen Forschungseisbrecher MS „Polarsirkel“ machte sich ein Häuflein Mutiger im Dezember 1979 auf den Weg, um einen geeigneten Platz für eine Überwinterungsstation zu suchen. Das Filchner-Ronne-Schelfeis war international noch nicht vergeben und das Schelfeis schien ein lohnendes Forschungsterrain abzugeben. Also ging man an Land bzw. auf das Schelfeis, dort wo die Eiskante am niedrigsten war (*Kohnen, 1982*).



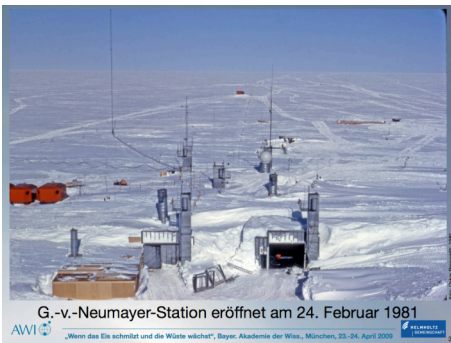
Folie 33

Mit Unterstützung durch das Schiff markierte man die Anlegestelle unübersehbar mit einem großen „F“, F wie Filchner, der ja bereits 1912 so etwa in dieser Gegend gewesen ist und ein Teil des Filchner-Ronne-Schelfeises trägt auch seinen Namen.



Folie 34

Ein Jahr später wollte man wieder kommen und eine Überwinterungsstation bauen. Gebaut wurde die Station (Kohlberg & Janneck, 2007), aber, wie wir alle wissen nicht auf dem Filchner-Ronne-Schelfeis, sondern in der Atka-Bucht auf dem Ekströmsen auf Position 70°37' Süd und 8°22' West, also wesentlich weiter nördlich und östlicher als geplant. Mit Inbetriebnahme der Georg-von-Neumayer-Station am 24. Februar 1981 waren die Bedingungen für den Konsultativstatus erfüllt, der dann auch während des gleichzeitig in Buenos Aires tagenden Antarctic Treaty Meetings zuerkannt wurde (die DDR erreichte den Konsultativstatus 1987). Die Georg-von-Neumayer-Station und die 1992 errichtete Nachfolgestation Neumayer II (Kohlberg & Janneck, 2007) waren seither das Tor für den Zugang in das Dronning-Maud-Land.



Folie 35

Elf Jahre war die Georg-von Neumayer-Station in Betrieb, bis sie 1992 von der Station Neumayer II abgelöst wurde. Neumayer-II war nach dem gleichen Konstruktionsprinzip gebaut worden, nur in den Dimensionen etwa doppelt so groß.



Folie 36

Zurück auf das **Filchner-Ronne-Schelfeis**. Ein Jahr nach dem Bau der Georg-von-Neumayer-Station in der Saison 1981/82 wurden die als Baucamp benutzten Container auf das Filchner-Ronne-Schelfeis transportiert (Gravenhorst, 1982). Die Container wurden auf eine Stelzenkonstruktion gesetzt und so entstand eine deutsche Sommerstation, die Filchner-Station getauft wurde (77°08,5'S, 50°37,25'W). Offensichtlich hatte man entweder den Schneezutrag unterschätzt oder die Station mit 1,5 Metern Freiraum unter der Plattform nicht hoch genug gesetzt; denn als man im Januar 1984 wieder auf das Filchner-Ronne-Schelfeis fuhr, um dort eine ausgedehnte geodätisch-glaziologische Messkampagne im Rahmen des internationalen Filchner-Ronne-Schelfeis-Programmes (Filchner II) durchzuführen, steckte die Station bis Oberkante Container im Schnee (Kohnen, 1984).



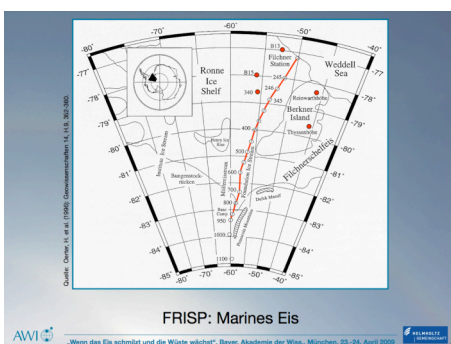
Folie 37

Mit „All hands“ wurde die Station freigelegt und die Filchner-II-Kampagne konnte beginnen. Unterstützung fanden die Arbeiten durch die beiden **deutschen Polarflugzeuge Polar 1 und Polar 2**. Polar 1 war nur eine Saison im Einsatz, bevor sie durch die größere **Polar 3** ersetzt wurde. Der Polar 3 war tragischerweise keine lange Lebensdauer beschieden. Deshalb flogen bald Polar 2 und **Polar 4** in den polaren Breiten. Inzwischen ist auch Polar 4, bedingt durch eine harte Landung bei Rothera, nicht mehr einsatzfähig und Polar 2 wurde in den einstweiligen Ruhestand versetzt. Die AWI-Flugzeugflotte besteht nur noch aus der **Polar 5**, eine umgerüstete DC-3 aus den 1940er Jahren, die unter der Modellbezeichnung Basler-BT67 fliegt. Dass nur noch ein einzelnes deutsches Flugzeug bei den Antarktiskampagnen eingesetzt wird, hängt mit dem Dronning-Maud-Land-Air-Network (DROMLAN) zusammen (Gernandt et al., 2007). Im Rahmen von DROMLAN können bei Unfällen Rettungseinsätze von anderen Maschinen geflogen werden.



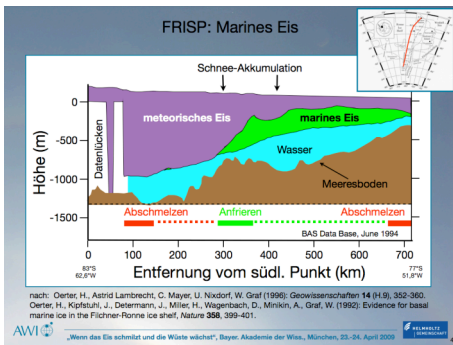
Folie 38

Mit **Traversen-Logistik** wurde in der Saison 1983/84 beim Punkt T340 der erste **100-Meter-Eiskern** (B8) auf dem Filchner-Ronne-Schelfeis gebohrt (Graf et al., 1990). Im folgten bis heute noch weitere 31 „B-Kerne“ (B9-B39), auf Grönland und in der Antarktis. Mit dem Kern bei T340 begann die Geschichte des Eiskernbohrns in Hinblick auf klimatische Untersuchungen am AWI, die im European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA) ihren bisherigen Höhepunkt gefunden hat, wie ich später zeigen werde.



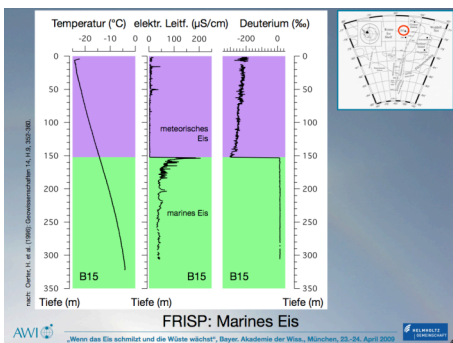
Folie 39

Auch wenn die für 1986/87 geplante Filchner-III-Kampagne wegen widriger Eisverhältnisse im Weddellmeer ausfiel und stattdessen Ekströmsen und Ritscherhochland beackert wurden (Miller & Oerter, 1990), so gab es doch noch sehr erfolgreiche Arbeiten auf dem Filchner-Ronne-Schelfeis und auf Berkner-Insel, mit mehreren Eiskernbohrungen (Mulvaney et al., 2002) und einer 800 Kilometer langen Traverse zur Grounding Line (Lambrecht et al., 1999). Im Laufe der Arbeiten trat jedoch ein Aspekt in den Vordergrund, der ursprünglich nicht vorgesehen war, nämlich die Untersuchungen zum so genannten „Marinen Eis“, das mit den Bohrungen B13 und B15 erstmals erbohrt wurde (Oerter et al., 1992). Franz Thyssen hatte aufgrund seiner EMR-Messungen schon früher die Existenz dieses etwas anderen Eiskörpers postuliert (Thyssen, 1988).



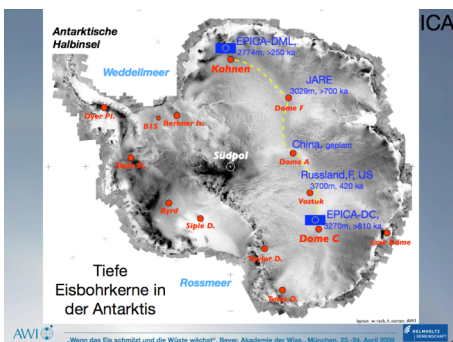
Folie 40

Durch Abschmelzprozesse im Bereich der Grounding Line und die Meeresbodentopographie bedingt, kommt es zur Bildung von so genannten Eisplättchen, die unter Auftrieb geraten, sich an die Unterseite des Schelfeises anlagern und so das marine Eis bilden (Oerter et al., 1996).



Folie 41

Eindrucksvoll ließ sich die scharfe Grenze zwischen den beiden Eiskörpern, bestehend aus meteorischem Eis und marinem Eis mit Hilfe der elektrolytischen Leitfähigkeit und des Deuteriumgehaltes nachweisen. Hier als Beispiel gezeigt die Messergebnisse am Eisbohrkern B15 (Oerter et al., 1996).



Folie 42

In den Jahren seit 1995/96 stand das **European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA)** im Mittelpunkt der deutschen glaziologischen Forschungsarbeiten, speziell am AWI. Es war nicht nur die Analyse des Kernmaterials sondern vor allem die glaziologisch-geophysikalischen Untersuchungen, die nötig waren um einen geeigneten Bohransatzpunkt in Dronning-Maud-Land zu finden, die über mehrere Jahre die Forschungsarbeiten fokussierten. Im Zuge dieser Arbeiten gab es gemeinsame DFG-Anträge zwischen der Münchener Glaziologie und dem AWI. In EPICA erfüllte sich eine Vision, die bereits in einem Bericht über eine Arbeitsgruppentreffen (Working Party on European Polar Research) beim Europarat in Brüssel von Walther Hoffman vom 17. Mai 1971 an die DFG auftaucht: „Als Arbeitsgebiet einer selbständigen europäischen Expedition wurde der Eis-Dom von Queen Maud-Land in Aussicht genommen. Ein wesentlicher Programmpunkt sollte dabei die einmalige oder mehrfache Durchbohrung des Eis-Domes bis auf den Felsuntergrund sein.“ (nach Fleischmann, 2005, S. 161)

EPICA war ein transnationales, europäisches Forschungsprojekt unter dem Schirm der European Science Foundation (ESF) mit Förderung durch die EU und aus nationalen Beiträgen in den Jahren 1995-2006. Im Rahmen dieses Projektes wurden zwei Eisbohrkerne (3260 und 2774m) in der Antarktis erbohrt, um daraus die klimati-

schen 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) (Oerter *et al.*, 2009) 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 (EPICA Community Members, 2004, Jouzel *et al.* 2007). Das Alter des 2774 Meter 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 (EPICA Community Members, 2006). 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.

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 Eisdickenmessungen mit Flug- und Bodenradar (Steinhage *et al.*, 1999), flache Eisbohrkerne (10-150 m Tiefe) zur Bestimmung des Schneezutrats in dem Gebiet (die Ablagerungen des Vulkans Tambora nach dem Ausbruch von 1815 dienten dabei vorzugsweise als Zeitmarken) sowie Messungen zur Fließgeschwindigkeit des Eises (Göktas *et al.*, 2002), begleitet von Berechnungen mit numerischen Eisschildmodellen zur Bestimmung der Fließdynamik des Inlandeises (Huybrechts *et al.*, 2007).



Folie 43

Den Containern der Filchner-Station, die im Februar 1999 von einem Eisberg ab geborgen worden waren (Fahrbach & El Naggar, 2001), begegnen wir seit 1999/2000 wieder in Dronning-Maud-Land in Form der am 11. Januar 2001 eingeweihten Kohnen-Station (Oerter et al., 2009). Erreichbar ist die Kohnen-Station nicht nur über den 750 Kilometer langen Landweg. Sie wird im Rahmen von DROMLAN auch mit Flugzeugen angefliegen, wie das Bild vom 8. Januar 2008 demonstrieren soll. Zum Glück hat sich bisher das Malheur mit der Filchner-Station von 1983/84 nicht wiederholt!



Folie 44

Der **Bau des Drill- und Science Trenches 2000/01** lädt ein zu einem Vergleich mit dem Bau der Eislabore von Jarl-Joset im Jahre 1959. Das Werkzeug, eine Schneefräse hatte etwa die gleiche Dimension, nur der Aushub und das entstehende Bauwerk unter Tage war in der Antarktis um ein vielfaches größer, nach Breite, Tiefe und Länge. Die Maße bei Kohnen lagen bei 65 Meter Länge, 6 Meter Tiefe und 4,7 Meter Breite.

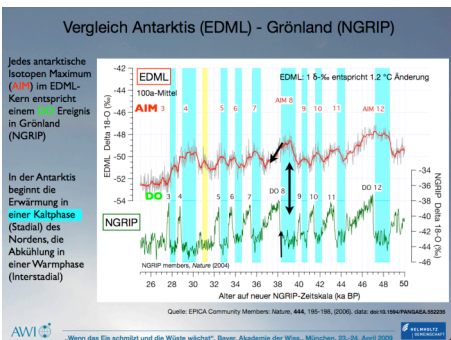
Klimageschichte aus dem Eiskern „EDML“

Kohlen Station
 75°00'09"S, 00°04'06"E,
 2892 m (WGS84)
 Bohrzeitraum:
 2001-2006
 Mittlere Jahrestemperatur: -45 °C
 Akkumulationsrate:
 64 kg m⁻²a⁻¹
 Eis-Fließgeschwindigkeit:
 0,756 m/a
 Eisdicke:
 2782 ±10m
 Länge Eiskern:
 2774,1 m

Im Drill Trench: der Bohrturm

Folie 45

1999/2000 begann das AWI mit dem Aufbau der Kohnen-Station, **2000/01 wurde die Bohrstelle eingerichtet**. 2001/02 begannen die Arbeiten an der Tiefbohrung, mit demselben Eiskernbohrer, der bei NGRIP eingesetzt worden war. Bis Februar 2002 war eine Tiefe von 450 m erreicht, bis Februar 2003 eine Tiefe von 1551 m und bis Februar 2004 eine Tiefe von 2565 m. In der Saison 2005/06 wurde die Bohrung auf die Endtiefe von 2774 m gebracht (EPICA Community Members 2006).



Folie 46

Die wissenschaftliche Auswertung von EPICA ergab ein einzigartiges Archiv für 800,000 Jahre Klimageschichte.

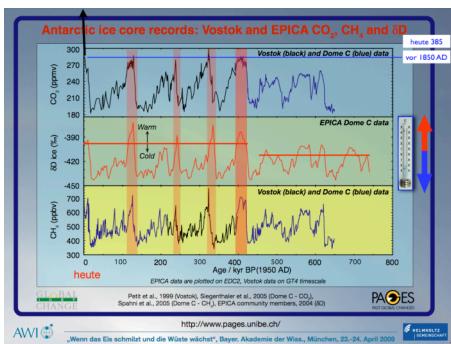
Ein bemerkenswertes Ergebnis von EPICA und speziell für das letzte Glazial sehr gut in dem EDML-Bohrkern nachweisbar, ist die strenge Kopplung der schnellen Dansgaard-Oeschger-Ereignisse, die prägend für das Klima der letzten Eiszeit in der Nordhemisphäre waren, mit dem klimatischen Verlauf in der Antarktis. Jedes Dansgaard-Oeschger-Ereignis hat als einen Gegenspieler ein so genanntes Antarktisches Isotopen Maximum (AIM).

Die Erwärmung im Süden beginnt während eines Stadials (kalte Phase) im Norden und führt zu einem sog. Antarktischen Isotopenmaximum (AIM). Mit einsetzender Abkühlung

lung im Süden kommt es zu einem sprunghaften Temperaturanstieg im Norden, den sog. schnellen klimatischen Schwankungen oder Dansgaard-Oeschger-Ereignissen (D/O). Allen D/O-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).



Folie 47

Die δD -Kurve (äquivalent zu $\delta^{18}O$) 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.

Die Schwankungen der Treibhausgase CO₂, CH₄ und N₂O in der Vergangenheit, zeigen, dass nie zuvor solch hohe Konzentrationen wie heute in der Atmosphäre auftraten.

Es wurde nachgewiesen, dass die Konzentrationen von CO₂ und das antarktische Klima in der Vergangenheit immer streng miteinander gekoppelt waren.



Folie 48

Meine Damen und Herren, lassen sie mich zum Schluss kommen und einen Blick in die Zukunft werfen, die am 20. Februar dieses Jahres in Berlin begonnen hat. Ich denke, dass mit dem zu Ende gehenden 4. Internationalen Polarjahr tatsächlich ein neues Zeitalter in der Polarforschung begonnen hat. Man braucht keine Morsetasten, keine Kurzwelle, mit alle den damit verbundenen missverständlichen Botschaften, um die Daheimgebliebenen über Geschehnisse in den Polarregionen zu informieren. Die Eröffnung der Neumayer-III-Station (*Gernandt et al., 2007*) wurde live aus der Antarktis übertragen. Die Überwinterer in der Antarktis werden in Zukunft nicht mehr unter Tage leben, sondern meterhoch über dem Eis residieren. Die neue deutsche Überwinterungsstation soll auch für die nächsten dreißig Jahre für die deutsche Forschung ein Tor zur Antarktis sein. Es werden neue glaziologische Projekte angestoßen werden, im nationalen und vermehrt im internationalen Rahmen. Das Projekt International Partnership in Ice Core Science (IPICS) sucht sowohl nach dem ältesten Eis in der Antarktis als auch nach detaillierter, zeitlich hochaufgelöster klimatischer Information in den Randgebieten der Antarktis. Das Hinterland von Neumayer, Halvfarryggen und Søråsen, mit Akkumulationsraten von über 1000 Kilogramm pro Quadratmeter und Jahr sind verheißungsvolle Untersuchungsgebiete. In Grönland wird hoffentlich in den nächsten 2-3 Jahren das Eem-Glazial bei NEEM komplett durchbohrt! Ab Juni lässt sich der Fortschritt täglich im Internet verfolgen!



Folie 47

Lieber Ossi, meine Damen und Herren, ich hoffe, ich konnte Ihnen zeigen, dass sich der Geist und die Ideen von Jarl-Joset wie ein roter Faden durch die letzten fünfzig Jahre glaziologischer Forschung gezogen haben, die glaziologische Forschung in den Polargebieten seit dem IGY vorangekommen ist und mit durchaus respektablen Ergebnissen aufweisen kann.

Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit.

Dir lieber Ossi, wünsche ich

ad multos annos in Gesundheit und Zufriedenheit im Kreis Deiner Familie.

Zitierte Literatur

- Box, J.E., D.H. Bromwich, B.A. Veenhuis, Le-Sheng Bai, J.C. Stroeve, J.C. Rogers, K. Steffen, T. Haran & Sheng-Hung Wang (2006): Greenland ice sheet surface mass balance variability (1988-2004) from calibrated polar MM5 output. *Journal of Climate* **19**, 2783-2800.
- de Quervain, M. (1969): Expedition Glaciologique Internationale au Groenland E.G.I.G. 1957-1960, Vol. 5 No. 1. Schneekundliche Arbeiten der Internationalen Glaziologischen Grönlandexpedition (Nivologie). Mit Beiträgen von F. Brandenberger, O. Reinwarth, A. Renaud, A. Roch und R. Schneider. *Meddelelser om Grønland* Bd. **177**, Nr.4
- EPICA Community Members (2004): Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. *Nature* **429**, 623-628.
- EPICA Community Members (2006): One-to-one coupling of glacial climate variability in Greenland and Antarctica. *Nature* **444**, 195-198.
- Fahrbach, E. & S.E.D. El Naggar, (Hrsgb.) (2001): Die Expeditionen ANTARKTIS XVI/1-2 des Forschungsschiffes POLARSTERN 1998/1999. *Ber. Polar- und Meeresforschung* **380**, 177 S.
- Fischer, H. & J. Kipfstuhl (2002). Eine Zeitreise durchs Eis. in: G. Lange (Hrsgb.) Eiskalte Entdeckungen: Forschungsreisen zwischen Nord- und Südpol. Mit fünf künstlerischen Fotogr. von Britta Lauer. Bielefeld: Delius Klasing, 2. Aufl., 310-320.
- Fleischmann, Klaus (2005): Zu den Kältepolen der Erde. 50 Jahre deutsche Polarforschung. Bielefeld: Delius Klasing, 344 S.
- Freitag, J. (2009): persönliche Mitteilung
- Freitag, J., F. Wilhelms & S. Kipfstuhl (2004): Microstructure dependent densification of polar firn derived from X-ray microtomography. *Journal of Glaciology* **50** (169), 243-250.
- Freitag, J., S. Kipfstuhl & S.H. Faria (2008): The connectivity of crystallite agglomerates in low-density firn at Kohonen station, Dronning Maud Land, Antarctica. *Annals of Glaciology* **49**, 114-120.
- Gernandt, H., S. El Naggar, J. Janneck, T. Matz & C. Drücker (2007): From Georg Forster Station to Neumayer Station III - a Sustainable Replacement at Atka Bay for Future. *Polarforschung* **76** (1/2): 59-85.
- Göktas, F., H. Fischer, H. Oerter, R. Weller, S. Sommer & H. Miller (2002): A glacio-chemical characterisation of the new EPICA deep-drilling site on Amundsenisen, Dronning Maud Land, Antarctica. *Annals of Glaciology* **35**, 347-354.
- Graf, W., O. Reinwarth & H. Moser (1990): The 520-year temperature record of a 100m core from the Ronne Ice Shelf, Antarctica. *Annals of Glaciology* **14**, 90-93.
- Greenland Ice-core Project (GRIP) Members (1993). Climatic instability during the last interglacial revealed in the Greenland Summit ice-core, *Nature* **364**,203-207.
- Gravenhorst, G. (Hrsgb.) (1982): Antarktisexpedition 1981/1982 (Unternehmen „Eiswarte“). *Ber. Polarforschung* **6**, Bremerhaven, 80 S.
- Haefeli, R. & F. Brandenberger (1968): Expedition Glaciologique Internationale au Groenland E.G.I.G. 1957-1960, Vol. 5 No. 2. Rheologisch-Glaziologische Untersuchungen im Firngebiet des Grönländischen Inlandeises. Mit einem Beitrag von P. Gfeller. *Meddelelser om Grønland* Bd. **177**, Nr. 1
- Hempel, L. (1994): Der Zentralteil des grönländischen Inlandeises: Ergebnisse aus hochauflösenden elektromagnetischen Reflexionsmessungen. Dissertation Westfälische Wilhelms-Universität Münster, 108 S.
- Homann, C., D. Möller, H. Salbach & R. Stengele (1996): Die Weiterführung der geodätischen Arbeiten der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition (EGIG) durch das Institut für Vermessungskunde der TU Braunschweig. Reihe B Angewandte Geodäsie Heft Nr. 303, Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München.
- Huybrechts, P., O. Rybak, F. Pattyn, U., Ruth & D. Steinhage, D. (2007): Ice thinning, upstream advection, and non-climatic biases for the upper 89% of the EDML ice core from a nested model of the Antarctic ice sheet. *Climate of the Past* **3**, 577-589. www.clim-past.net/3/577/2007/
- IPCC (2007): Climate Change 2007-The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK.

(www.ipcc.ch)

Kohnen, H. (Hrsgb.) (1982): Die Filchner-Schelfeis-Expedition 1980/1981. *Ber. Polarforschung* **1**, Bremerhaven, 50 S.

Kohnen, H. (Hrsgb.) (1984): Die Expedition ANTARKTIS-II mit FS "POLARSTERN" 1983/1984. Bericht vom Fahrtabschnitt 4 Punta Arenas—Kapstadt (ANT-II/4). *Ber. Polarforschung* **19**, Bremerhaven, 185 S.

Jouzel, J., V. Masson-Delmotte, O. Cattani, G. Dreyfus, S. Falourd, G. Hoffmann, B. Minster, J. Nouet, J.-M. Barnola, J. Chappellaz, H. Fischer, J.C. Gallet, S. Johnsen, M. Leuenberger, L. Loulergue, D. Luethi, H. Oerter, F. Parrenin, G. Raisbeck, D. Raynaud, J. Schwander, R. Spahni, R. Souchez, E. Selmo, A. Schilt, J.P. Steffensen, B. Stenni, B. Stauffer, T.F. Stocker, J. L. Tison, M. Werner & E. Wolff (2007). Orbital and millennial Antarctic climate variability over the past 800 000 years. *Science* **317** (5839), 793-796.

Kohlberg, E. & Janneck, J. (2007): Georg von Neumayer Station (GvN) and Neumayer Station II (NM-II) German Research Stations on Ekström Ice Shelf, Antarctica. *Polarforschung* **76** (1-2), 47-57.

König-Langlo, G. & Loose, B. (2007): The Meteorological Observatory at Neumayer Stations (GvN and NM-II) Antarctica. *Polarforschung* **76** (1/2), 25-38.

Lambrecht, A., C. Mayer, H. Oerter & U. Nixdorf, (1999): Investigations of the mass balance of the southeastern Ronne Ice Shelf, Antarctica, *Annals of Glaciology* **29**, 250-254.

Miller, H. (2007): Germany's Scientific Presence post IGY in Antarctica (Atlantic Sector). *Polarforschung* **76** (1/2), 1-2.

Miller, H. & H. Oerter (Hrsgb.) (1990): Die Expedition ANTARKTIS-V mit FS „Polarstern“ 1986/87. Bericht von den Fahrtabschnitten ANT-V/4-5. *Berichte zur Polarforschung* **57**, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, 207 S.

Mulvaney, R., H. Oerter, D.A. Peel, W. Graf, C. Arrowsmith, E.C. Pasteur, B. Knight, G.C. Littot, W.D. Miners (2002): 1000-year ice core records from Berkner Island, Antarctic. *Annals of Glaciology* **35**, 45-51.

North Greenland Ice Core Project members (2004): High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. *Nature* **431**, 147-151.

Oerter, H., C. Drücker, S. Kipfstuhl & F. Wilhelms (2009). Kohnen station, the drilling camp for the EPICA deep ice core in Dronning Maud Land. *Polarforschung* **78** (1-2), 1-23

Oerter, H. (2002). Sternmarsch der Wissenschaften auf das Eisplateau. Die Erschließung des Bohrpunktes. in: G. Lange (Hrsgb.) *Eiskalte Entdeckungen: Forschungsreisen zwischen Nord- und Südpol. Mit fünf künstlerischen Fotogr. von Britta Lauer*. Bielefeld: Delius Klasing, 2. Aufl., 198-211.

Oerter, H., A. Lambrecht, A. Mayer, U. Nixdorf & W. Graf, (1996): Das Filchner-Ronne-Schelfeis-Projekt, *Geowissenschaften* **14** (9), 352-360.

Oerter, H., J. Kipfstuhl, J. Determann, H. Miller, D. Wagenbach, A. Minikin & W. Graf, (1992): Evidence for basal marine ice in the Filchner-Ronne ice shelf. *Nature* **358**, 399-401.

Reinwarth, O. (2009): persönliche Mitteilung

Rignot, R., J. E. Box, E. Burgess & E. Hanna (2008): Mass balance of the Greenland ice sheet from 1958 to 2007. *Geophys. Res. Letters* **35**, L20502, 5 p. doi:10.1029/2008GL035417

Schwager, M. (2000): Eisbohrkernuntersuchungen zur räumlichen und zeitlichen Variabilität von Temperatur und Niederschlagsrate im Spätholozän in Nordgrönland. *Berichte zur Polarforschung*, 362, Bremerhaven.

Steinhage, D., Nixdorf, U., Meyer, U. & H. Miller (1999): New maps of the ice thickness and subglacial topography in Dronning Maud Land, Antarctica, determined by means of airborne radio echo sounding. *Annals of Glaciology* **29**, 267-272.

Thyssen, F. (1988): Special aspects of the central part of Filchner-Ronne Ice Shelf, Antarctica. *Annals of Glaciology* **11**, 173-179.

B. M. Vinther, B.M., et al. (2008): Synchronizing ice cores from the Renland and Agassiz ice caps to the Greenland Ice Core Chronology. *JGR* 113 D08115, doi:10.1029/2007JD009143

Bildnachweis:

AWI/David Ausserhofer (Folie 48)

AWI/Ude Cieluch (Folie 49)

Ludwig Hempel (Folie 16)

Sepp Kipfstuhl (Folien 17, 18, 19, 21)

Hans Oerter (Folien 1, 10, 26, 27, 37, 43, 44, 45)

Oskar Reinwarth (Folien 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 15, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 44)

Photo 5 aus de Quervain (1968) (Folie 8)