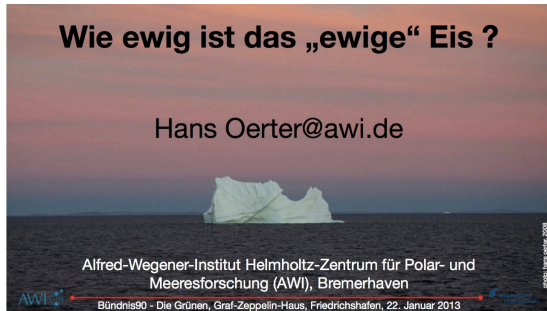


Dr.-Ing. Hans Oerter,
AWI Bremerhaven
Manuskript

Vortrag bei
Bündnis 90/ DIE GRÜNEN
Graf-Zeppelin-Haus, Friedrichshafen,
22. Januar 2013



Einleitung:
Wie ewig ist das „Ewige Eis“? Haben Sie sich diese Frage jemals gestellt, wenn Sie eine Überschrift in den Medien gesehen haben, die vom „Ewigen Eis“ berichtete?

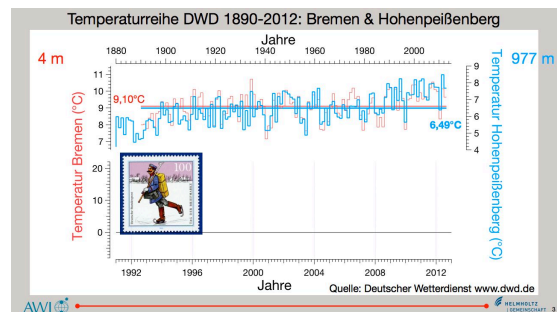
Ewig ist ein dehnbarer Begriff, selbst Minuten können zu einer Ewigkeit werden. Wenn wir ewig so verstehen, dass es etwas Endloses ist, dann ist das Eis, auch an den Polen und nicht nur im Friedrichshafener Winter, nicht „ewig“. Wenn wir unter „ewig“ verstehen, dass es sehr lange dauert und wir uns Anfang und Ende nicht recht vorstellen können, dann ist das polare Eis „ewig“. Es kommt so ein bisschen auf unseren Standpunkt an. Im Laufe des Vortrags möchte ich versuchen Antworten auf folgende Fragen zu geben:

- Wie unterscheiden sich Arktis und Antarktis?
- Was ist der Unterschied zwischen Gletschereis und Meereis?
- Schmilzt das Eis auf dem Grönländischen Eisschild und in der Antarktis?
- Wie verändert sich das Meereis, in der Arktis (und was bedeutet das für die Eisbären)?
- Was zeigt uns das Klimaarchiv Eis über das Klima der vergangenen 800.000 Jahre?



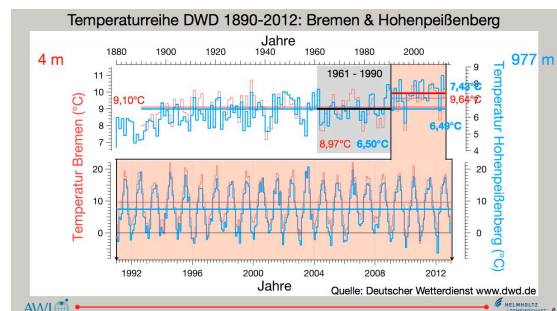
Pressestimmen
Klimawandel und seine Folgen für das Eis der Polargebiete waren vor allem im vergangenen Jahr 2012 häufig Themen in der Presse. Ich habe einige davon kopiert. So schrieb die Süddeutsche Zeitung „Polareis schmilzt so

stark wie nie“, die Neue Züricher Zeitung „Langsames Tauwetter im ewigen Eis“, die Süddeutsche „Eisfrei“ oder „Die Arktis schmilzt im Rekordtempo“. Es gab auch anderslautende Mitteilungen wie etwa in der Süddeutschen mit „Schutzgebiet für Eis – Die Gletscher im Karakorum wachsen trotz Klimawandel. Auch die Antarktis rückte in den Blickpunkt der Presse mit „Antarktis-Schelf in Gefahr“ oder „Die Antarktis auf der Waage – Der Westen verliert Eis, der Osten legt zu“. Und dann gibt es die Lobby der „Klimakrieger“, die in der ZEIT beschrieben wurde. Sie ist vor allem in den USA aktiv und leugnet klimatische Veränderungen unter anthropogenem Einfluss. Auch in Deutschland erschien ein Buch aus dieser Richtung, das ebenfalls von der ZEIT mit der Überschrift „Störenfritz des Klimafriedens“ bedacht wurde. Im Dezember des vergangenen Jahres dann noch ein kleiner Kommentar in der ZEIT „Ja ist denn schon Klimawandel?“ Ich denke dies ist eine Frage die sich jeder von Ihnen auch schon einmal gestellt hat.



Temperaturreihen des DWD von Hohenpeißenberg und Bremen

Als Entscheidungshilfe zur Beantwortung dieser Frage habe ich zwei Temperaturmessreihen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) herausgesucht. Die längste Messreihe in Deutschland ist die Messreihe der Station Hohenpeißenberg. Die Daten sind für die Zeit seit 1880 in hellblauer Farbe dargestellt. Im Hintergrund als rote Linie erscheinen die Daten der DWD-Station Bremen. Sie beginnen 1890. Die beiden horizontalen Linien zeigen das langjährige Mittel an den beiden Stationen: 6,49°C für Hohenpeißenberg (blau) und 9,10°C für Bremen (rot). Schauen wir zuerst auf den Anfang der Messreihen, auf die letzten beiden Jahrzehnte des 19. Jahrhunderts. Wir sehen, dass die Temperaturen in diesen beiden Dekaden deutlich unter dem langjährigen Mittel lagen. Zu dieser Zeit mag die Post im Spreewald von Postboten auf Schlittschuhen ausgetragen worden sein, wie das Motiv dieser Briefmarke vermuten lässt.



In der Meteorologie ist es üblich die 30jährige Periode 1961-1990 als Referenzperiode zu verwenden. 30 Jahre ist die Zeitspanne ab der wir von Klima sprechen. Der Schnee von gestern und heute ist Wetter, das Wetter von

Wochen wird zur Witterung und die Summe des Wetter- und Witterungsverlaufes gemittelt über 30 Jahre ergibt das Klima. Die Mittelwerte für die Periode 1961-1990 sind für beide Stationen nahezu identisch mit dem gezeigten langjährigen Mittelwert.

Betrachten wir aber die letzten 22 Jahre von 1991-2012, so sehen wir, dass diese beiden Dekaden deutlich über dem langjährigen Mittel. Es wurden mittlere Temperaturen von 7,48°C für Hohenpeißenberg und 9,64°C für Bremen gemessen. Das heißt, dass die Temperatur von Hohenpeißenberg 1 Grad, die von Bremen 0,5 Grad Celsius über dem langjährigen Mittel lag. In der dargestellten Zeitreihe seit 1880 gab es keinen Zeitraum von 2 Jahrzehnten der zusammenhängend über dem langjährigen lag. Das Klima war geprägt von einem steten Wechsel zwischen kurzen wärmeren und kälteren Jahren. Im unteren Teil der Abbildung sind die Monatsmittelwerte seit 1991 dargestellt.

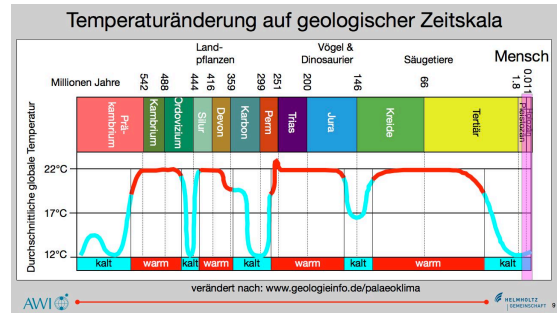


Ich hoffe, dass diese beiden Temperatur-Beispiele, Hohenpeißenberg und Bremen gezeigt habe, dass sich auch in Deutschland klimatische Veränderungen abzeichnen. Folgen wir der letzten Überschrift, die aus der Nordsee-Zeitung Bremerhaven stammt „Forscher brechen auf ins ewige Eis“ und begeben uns auf eine virtuelle Reise in die Polargebiete.



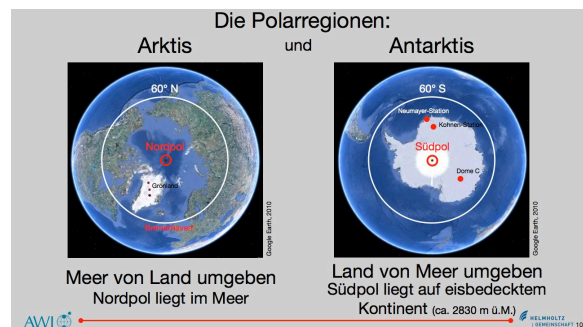
Was zeichnet einen Gletscher aus?

Ein Gletscher ist nichts Stationäres, er bewegt sich und ist steten Veränderungen unterworfen. Hier ein Beispiel vom Rand des Grönländischen Inlandeises in Westgrönland. Das Eis ist, wahrscheinlich in den 1980er Jahren, einer Planieraupe gleich vorgestoßen und hat einen mächtigen Moränenwall aufgeschoben. Der Kamm der Moräne ist bereits wieder eisfrei, da das Eis in den letzten Jahren stark abgeschmolzen ist. Umgangssprachlich sagen wir, der Gletscher zieht sich zurück. Dieser Rückzug ist aber ein Zurück-Schmelzen und nicht etwa eine Umkehrung der Fließrichtung des Eises. Eis fließt immer bergab.



Die geologische Zeitskala

Schauen wir etwa 500 Millionen Jahre in die Erd- und Klimageschichte zurück. Auf der geologischen Zeitskala, die nicht ganz linear aufgetragen ist, erkennen wir im Wandel von Zehnermillionen Jahren kalte und warme Zeiträume. In der Abbildung sind diese Zeiten farbig mit hellblauer und roter Signatur unterschieden. Auf der geologischen Zeitskala leben wir zurzeit in einer eisigen Zeit und nicht in einer warmen Phase. Diese Eiszeiten sind jedoch nicht durchgehend kalt, sondern werden von den sogenannten Interglazialen oder Zwischeneiszeiten unterbrochen, wie ich später noch genauer zeigen werde. Wir leben heute in einer solchen Zwischeneiszeit oder einem Interglazial. Unsere heutige Zwischeneiszeit, das sogenannte Holozän, begann vor circa 10.500 Jahren. Die hier gezeigten Klimavariationen hingen stark von der wechselnden Sonneneinstrahlung und der Verschiebung der Kontinente ab. Nicht immer waren Land- und Wassermassen auf unserem Globus dort wo sie heute liegen. Die letzte große Vereisungsphase, mit wahrscheinlich deutlich mehr Eis als heute, erlebte unser Planet Erde in der Zeit vor etwa 270 bis 350 Millionen Jahren. Bis etwa 2 Millionen Jahre vor heute hatte sich die Erde wieder soweit abgekühlt, dass sich im Norden und im Süden unseres Globus' große Eismassen bilden konnten. In der Zeit des späten Pleistozäns und Holozäns (lila Balken), über die in diesem Vortrag berichtet werden soll, wechselten sich kalte Eiszeiten (Glaziale) mit warmen Zwischeneiszeiten (Interglaziale) im Rhythmus von etwa 40.000 Jahren, seit einer Million Jahre vor heute im Rhythmus von 100.000 Jahren ab, wie ich es Ihnen später noch näher erläutern werde. Wir stehen also am rechten Ende des lilafarbenen Balkens und erleben ein Klima in dem sich der Mensch gut entwickeln konnte und sich, insgesamt gesehen, wohl fühlt. Die Menschen betrachten offensichtlich das heutige Klima als das „normale“ Klima, was natürlich nicht stimmt, wie die Abbildung zeigt, und möchten, dass es so bleibt und sich nicht ändert.



Unterschied Arktis - Antarktis

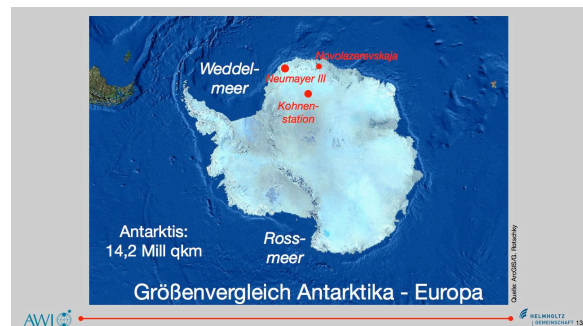
Google Earth stellt uns ein wunderbares Werkzeug zum Blick auf unseren Globus zur Verfügung. Stellen wir einmal nicht Friedrichshafen in den Mittelpunkt unseres

Weltbildes, sondern den Nordpol, und nehmen wir das Meereis weg, so wird deutlich, dass die **Arktis ein von Land umgebenes Meer** ist. Der Nordpol liegt im Meer. Das Nordpolarmeer wirkt als großes Wärmereservoir, Meerwasser kann ja nicht kälter als etwa -2°C werden! Auch die Luft wird im Winter am Nordpol kaum unter -40°C kalt, weil das Meerwasser als „Warmwasserheizung“ wirkt. Die Meereisdecke, die auf dem Nordpolarmeer schwimmt ist im Mittel nicht mehr als zwei Meter dick. Nur wenn sich zwei oder mehrere Eisschollen übereinander schieben werden Eismächtigkeiten von vier, sechs oder mehr Metern erreicht. Die größte Landeis-masse im Norden liegt auf der Insel Grönland. Etwa 81 % dieser Insel, die mit einer Fläche von 2,166 Millionen Quadratkilometern etwa sechsmal so groß ist wie die Bundesrepublik Deutschland, sind mit Eis bedeckt.

Im Gegensatz dazu finden wir im Süden unserer Erde die **Antarktis als einen von Meer umgebenen, eisbedeckten Kontinent**, der im Mittel über 2000 Meter hoch ist. Damit ist die Antarktis der höchste Kontinent der Erde. Der Südpol liegt auf einer Meereshöhe von 2830 Metern, also etwa so hoch wie Deutschlands höchster Berg, die Zugspitze. Am Südpol beträgt das Jahresmittel der Lufttemperatur etwa -50°C . Der gewaltige Eisschild ist ein riesiges Kältereservoir. Die Höhe allein erklärt schon, warum die Antarktis im Mittel wesentlich kälter als die Arktis sein muss. Auch auf der Zugspitze ist es wesentlich kälter als in Hamburg. Die drei roten Punkte auf der Antarktiskarte markieren die Lage der deutschen Überwinterungsstation Neumayer sowie von zwei Bohrloktionen, auf die ich später eingehen werde.



Zwei Tiergruppen sind zu Symbolen für Arktis und Antarktis geworden; denn sie sind jeweils nur im Norden oder im Süden heimisch. In der Arktis sind es die Eisbären, in der Antarktis sind es die Pinguine.



(Foto Südpol: Forest Banks, IceCube project, 2005)

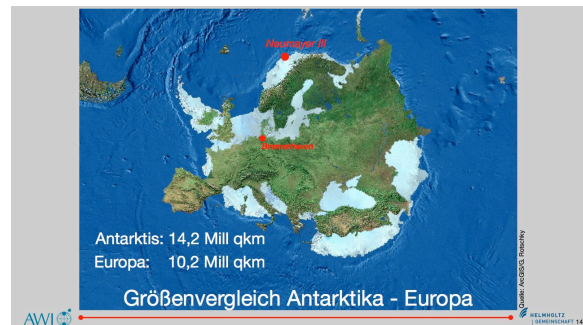
Die Pole der Erde

Wie es am sommerlichen **Nordpol** aussieht zeigt das folgende Bild, das ich im Juli 2010 aufgenommen habe. So weit das Auge reicht sehen wir Meereis. Weil es Sommer ist, gibt es viele kleinere und größere Schmelzwassertümpel auf dem Meereis, die hier im Bild türkisfarben leuchten. Das Meereis im Nordpolarmeer ist ständig in Bewegung. Es wird angetrieben vom Wind und den Meeresströmungen. Was man heute am Nordpol aufs Eis stellt, ist morgen bereits zwei Kilometer weiter geschwommen. Deshalb gibt es auch keine feste Markierung am Nordpol.

Wie anders schaut es am **Südpol** aus! Wenn man mit dem Flugzeug die amerikanische Station „Amundsen-Scott“ anfliegt, bot sich 2005 dieses Bild. Dort wird die Landebahn natürlich nicht vom Schnee geräumt; denn die Flugzeuge haben Skier unter den Rädern! In der Mitte des Bildes sieht man die Spuren auf der Schneepiste, links die neue Station, die seit 2003 in Betrieb ist. Rechts ein großes Camp für das wissenschaftliche Forschungsprogramm „Ice cube“ zur Detektion von Neutrinos. Der Einbau der Messgeräte wurde im Dezember 2010 vollendet.

Größenvergleich Antarktis-Europa

Die Fläche des antarktischen Kontinents, von den Geographen als Antarktika bezeichnet, beträgt 14,2 Millionen Quadratkilometer.



Um diese riesige Fläche etwas anschaulicher zu machen, habe ich eine Darstellung Europas, im selben Maßstab gezeichnet, dem Abbild Antarktikas überlagert. Man sieht, dass Europa mit einer Fläche von 10,2 Millionen Quadratkilometern deutlich kleiner ist als die Antarktis.

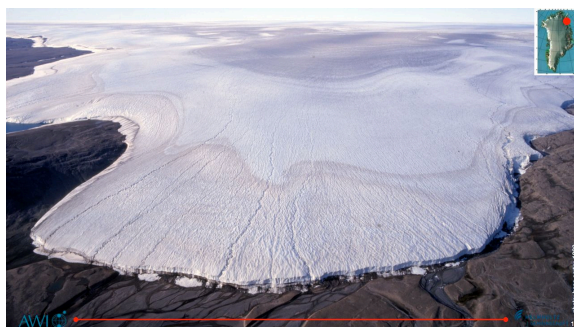


Wie sieht es in der Antarktis aus?

Um Ihnen einen kleinen Eindruck zu vermitteln wie die Eislandschaft der Antarktis aussieht, will ich Sie auf das Plateau dieser Gebirgskette (Kottasberge) führen. Wir lassen unseren Blick gegen den Uhrzeigersinn von Ost nach West schweifen. Es folgt eine kleine Videoszene, die Ihnen die endlos wirkende Weite des antarktischen Inlandeises veranschaulicht.

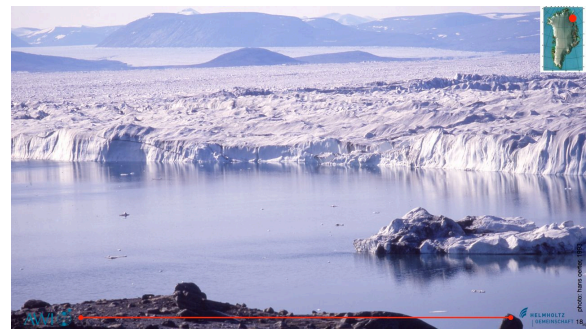


Videoszene Blick von den Kottasbergen nach Norden



Beispiel Rand des grönländischen Inlandeises in Kronprins Christian Land, Nordostgrönland

Ein Beispiel aus Grönland: Wir sind in Nordostgrönland und fliegen über den Eisrand von Kronprins Christian Land. Das Grönländische Inlandeis endet hier auf festem Land und erreicht die Küste nicht. (Aufnahmedatum: 30.7.1993)



Beispiel Storstrømmen, Nordostgrönland

Auch in Nordostgrönland, nur etwas südlicher gelegen, treffen wir in Germanialand auf den Storstrømmen, den großen Eisstrom. Wir blicken auf die schwimmende Gletscherfront des Storstrømmen, ein Ursprungsgebiet für Eisberge, die später entlang der Ostküste Grönlands nach Süden driften werden.



Kalben von Eisbergen

Auf diesem Bild sehen Sie einen tafelförmigen Eisberg, der sich von der Zunge des Storstrømmen gelöst hat. Hinter der Eiskante erkennen wir bereits eine neue sichelförmige Bruchstruktur. Das nächste Kalbungereignis steht kurz bevor.



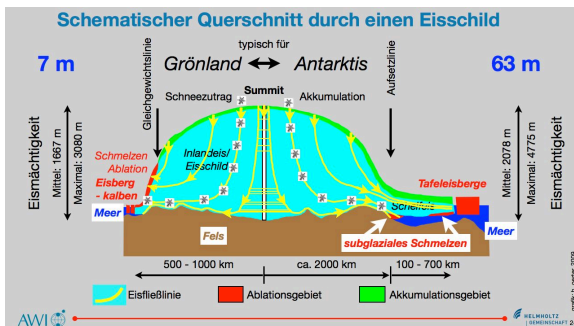
Beispiel Eisberge in der Dovebucht, Nordostgrönland

Hier schwimmen die Eisberge des Storstrømmen noch in der Dovebucht, Nordostgrönland, bevor sie dann später das offene Meer und den Ostgrönlandstrom erreichen



Aufbau eines Eisschildes

Ein Eisschild baut sich aus über einander liegenden Jahresschichten auf. Der jährlich fallende Schnee bildet jeweils eine Jahresschicht, ähnlich wie ein Baum jährlich einen Baumring ansetzt. Die Niederschlagsverhältnisse auf Grönland und, in noch stärkerem Maße, in der Antarktis entsprechen einem ariden Klima. So beträgt z. B. am Südpol der jährliche Schneezutrag nur 80 Kilogramm pro Quadratmeter (beziehungsweise Liter pro Quadratmeter), an der Kohnenstation 64 Kilogramm pro Quadratmeter, an der an der Küste liegenden Neumayerstation etwa 340 Kilogramm pro Quadratmeter. 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 Millimeter) lässt erkennen, dass die einzelnen Eiskristalle mit zunehmender Tiefe wachsen und kleine Luftblasen eingeschlossen werden. Unterschiedliche Färbung der Kristalle zeigt unterschiedliche Orientierung der optischen c-Achsen an.



Schematischer Querschnitt durch einen Eisschild oder Gletscher.

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 so kalt, 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, einschließlich der Schelfeisgebiete. Das Akkumulationsgebiet ist durch eine positive Massenbilanz an der Oberfläche gekennzeichnet, d.h. im Jahresmittel bleibt der Schneeniederschlag erhalten.

Der **Grönländische Eisschild** weist eine deutliche Trennung zwischen Ablations- und Akkumulationsgebiet auf. Die Trennlinie wird als **Gleichgewichtslinie** bezeichnet. Im Ablationsgebiet wird im Jahresmittel der jährliche Schneeniederschlag und zusätzlich alte Eismasse abgeschmolzen. Auch das **Kalben von Eisbergen** zählt zu den ablativen Prozessen, da dadurch die Eismasse

verringert wird. Zusätzlich kommt es an der Unterseite der schwimmenden Eismassen (Gletscherzungen bzw. Schelfeise) zum Abschmelzen von Eis (**subglaziales Schmelzen**). Dieser Prozess wird in der Antarktis unter einigen Schelfeisen durch das Anlagern von in der Wassersäule gebildeten Eiskristallen (marines Eis) teilweise kompensiert. In der Antarktis hat die sogenannte **Aufsetzlinie** (engl. Grounding line) eine besondere Bedeutung. Denn für die Bilanz der Eismasse ist entscheidend, wie viel Eis vom festen Land ins Meer fließt. Die gelben Linien, sogenannte **Eisfließlinien**, zeigen wie sich ein Eisteilchen, das einmal aus vielen Schneeflocken an der Oberfläche entstand, durch das Inlandeis hindurch bewegt.

Dieser schematische Querschnitt verdeutlicht auch die Dimensionen der beiden großen Eisschilde. Das grönländische Inlandeis (links) ist im Mittel 1667 Meter dick. An seiner tiefsten Stelle in der Mitte des Inlandeises 3080 Meter. Die eisbedeckte Fläche Grönlands beträgt 1,757 Millionen Quadratkilometer. Wenn man die gesamte Eismasse auf Grönland gleichmäßig auf die heutige Meeresoberfläche verteilen würde, so ergäbe dies eine etwa 7 Meter dicke Wasserschicht.

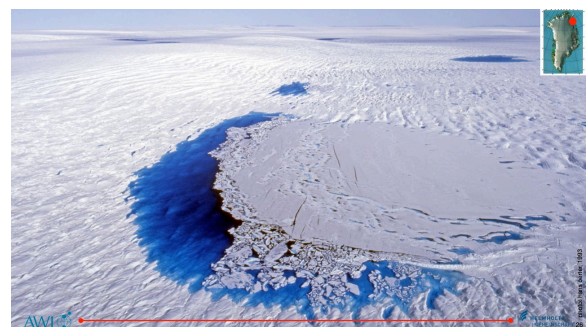
Das Antarktische Inlandeis ist im Mittel 2078 Meter dick. Die maximale, bekannte Eismächtigkeit beträgt 4775 Meter. Wenn man die gesamte Masse des auf Land aufliegenden Antarktischen Inlandeises gleichmäßig auf die heutige Meeresoberfläche verteilen würde, so ergäbe dies eine etwa 63 Meter dicke Wasserschicht.



Schmelzen auf dem Grönländischen Inlandeis

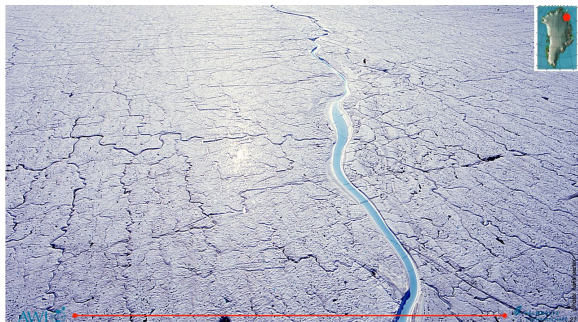
Zurück aufs feste Eis, auf den grönländischen Eisschild. Ich hatte bereits vom Ablationsgebiet und dem Schmelzen von Eis an der Oberfläche des Inlandeises von Grönland gesprochen. Mit einer kurzen Bilderfolge möchte ich Ihnen das schmelzende Eis vorstellen.

Beeindruckend sind die tiefblau wirkenden Schmelzwasserseen auf der Eisoberfläche. In diesen Seen sammelt sich das in vielen kleinen Bächen und Flüssen abfließende Schmelzwasser. Wenn man im Sommer über Grönland fliegt sieht man unter sich diese tiefblauen Flächen auf dem Eis.



Ein weiteres Beispiel für einen solchen See, der offen-

sichtlich einen ganzen Winter überdauert hat. Denn die weiße glatte Oberfläche ist die Eisdecke, die im Winter auf dem See gefroren ist.



Wasserfall am Eisrand

Am Eisrand stürzt das Schmelzwasser häufig als gewaltiger Wasserfall ins Meer.

Flusssysteme auf dem Grönländischen Eisschild

Auf der sommerlichen Eisoberfläche, hier blicken wir wirklich auf kompaktes Eis, bilden sich weit verzweigte Bach- und Flusssysteme aus, in denen sich das Schmelzwasser sammelt und Richtung Meer abfließt.



Glaziologische Arbeiten auf dem Eis: Messung des Schneezutrags

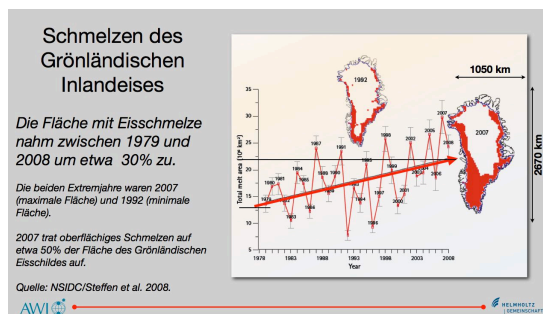
Zu den Arbeiten eines Glaziologen auf dem Eis gehört das Messen des Schneezutrags. Die einfachste Methode ist die, eine Stange ins Eis zu stecken und zu messen wie weit sie aus dem Eis herauschaut und nach einem Jahr diese Messung zu wiederholen. Schaut die Stange weniger weit heraus als im Vorjahr dann ist hier Schnee liegengeblieben. Die Massenbilanz ist positiv. Schaut die Stange allerdings weiter heraus dann ist an dieser Stelle aller Schnee und vielleicht schon Eis abgeschmolzen. Die Massenbilanz ist negativ. Mit diesen sogenannten Pegelmessungen kann man nur punktförmig messen. Beobachtet man die Höhenänderung der Eisoberfläche jedoch von einem Flugzeug oder Satelliten aus, bekommt man großflächige Informationen zur Massenbilanz an der Oberfläche.

Am Ende des Sommers fallen viele der Schmelzwasserflüsse trocken, weil weniger Eis geschmolzen wird. Wie tief solche Flüsse ins Eis einschneiden veranschaulicht dieses Bild. Nehmen Sie die beiden Kollegen als Maßstab!



Schmelzwasserbach auf dem Grönländischen Eisschild

Geht man zu Fuß über das Eis, stellen sich einem häufig Schmelzwasserbäche als unüberwindliches Hindernis in den Weg. Das Bachbett ist aalglatt, vergleichbar mit den Wasserrutschen in hiesigen Schwimmbädern.



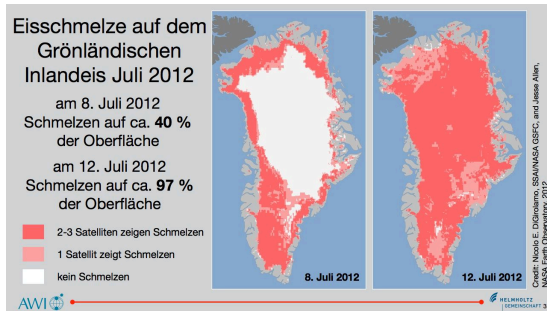
Schmelzen des Grönländischen Inlandeises

Die Abbildung zeigt die Fläche des Grönländischen Eisschildes, auf der Eisschmelze auftrat. Dargestellt ist der Zeitraum von 1979-2008. Die Fläche wurde aus Satellitenbildern abgeleitet. Zwischen 33 und 55% des gesamten Eismassenverlustes des Grönländischen Eisschildes stammt von der Eismenge, die an der Oberfläche schmilzt und abfließt.

Die Fläche mit Eisschmelze nahm zwischen 1979 und 2008 um etwa 30% zu.

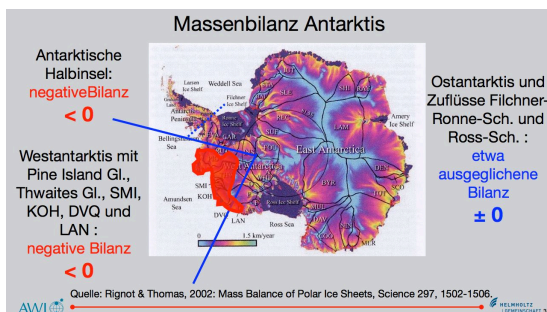
Die beiden Extremjahre waren 2007, mit der maximalen Flächenausdehnung, und 1992, mit der minimalen Ausdehnung.

Aus Modellrechnungen und Satellitenbeobachtungen ergab sich für 2007, dass die Fläche mit oberflächlichem Schmelzen etwa 50% der gesamten Oberfläche des Grönländischen Eisschildes entsprach. (Quelle: NSIDC/Steffen et al. 2008)



Der Sommer 2012

Im Juli 2012 ist eine Hitzewelle über Grönland hinweg gezogen, die die Lufttemperaturen selbst auf dem höchsten Punkt des Inlandeises über Nullgrad steigen ließ. Es hat dort sogar geregnet! Die beiden Abbildungen zeigen den Zustand am 8. Juli und am 12. Juli 2012. Während am 8. Juli auf 40% der Oberfläche Schmelzen herrschte, hatte sich die Lufttemperatur am 12. Juli soweit erwärmt, dass 97% der Oberfläche von Schmelzen betroffen waren. Diese Daten wurden mit vier unterschiedlichen Satelliten ermittelt. Die Sensoren auf diesen Satelliten können zwischen einer trockenen und feuchten Oberfläche (Schmelzen) unterscheiden (Quelle: Nicola E. Di Girolamo, SSAI/NASA GSFC, und Jesse Allen, NASA Earth Observatory, 2012). Dieses Phänomen wurde 2012 zum ersten Mal in-situ beobachtet. Diese Entwicklung liegt ganz im Trend der zuletzt gezeigten Abbildung. Man muss allerdings bedenken, dass nicht alles Schmelzwasser zum Abfluss und letztlich ins Meer gelangte. Die geringen Schmelzwasserbeträge in den höher gelegenen Gebieten versickern im Firn und gefrieren dort wieder zu Eis. So finden wir in den Eiskernen auch einige wenige Lagen mit wieder gefrorenem Schmelzwasser. Summarisch kann man festhalten, dass der Grönländische Eisschild derzeit Eismasse verliert, die Eismassenbilanz also negativ ist.



Der heutige Zustand des Antarktischen Inlandeises

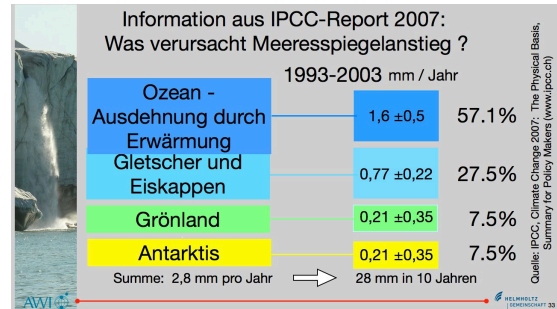
Was ist der heutige Zustand der Antarktis? Wenn wir die heutige Massenbilanz der Antarktis betrachten wollen, können wir uns auf eine Studie von Rignot & Thomas aus dem Jahr 2002 stützen, deren Hauptergebnisse auch heute noch gültig sind. Die Studie unterscheidet drei große Gebiete der Antarktis, die Ant-

arktische Halbinsel, Ostantarktis mit Zuflüssen ins Weddellmeer und Rossmeer sowie die Westantarktis.

Die Eismassenbilanz auf der Antarktischen Halbinsel ist negativ, vergleichbar mit Grönland.

Die Eismassenbilanz der Ostantarktis ist, zumindest im Rahmen der Genauigkeit, mit der wir sie bestimmen können, etwa ausgeglichen.

Die Eismassenbilanz der verbleibenden Westantarktis hingegen ist negativ. Das heißt dort verliert die Antarktis Eismasse. Ursache ist jedoch nicht Abschmelzung an der Oberfläche, sondern schnelleres Fließen einiger Eisströme und damit Massenverlust durch Eistransport ins Meer. Außerdem gewinnen die Schmelzprozesse an der Grenzfläche Ozean-Eisschild immer mehr an Bedeutung.



Was verursacht den Meeresspiegelanstieg?

Der vierte Bericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) von 2007 (www.ipcc.ch) enthält einige Zahlen zur Ursache des Meeresspiegelanstieges, unter anderem 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 bei. 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 hier, wie auch teilweise in Grönland, die Fließgeschwindigkeit einiger Eisströme deutlich zugenommen hat. Die Abschmelzbeträge zeigen zunehmende Tendenz!



Zusammenfassung Kapitel Landeis

Fassen wir das bisher über Landeis Gesagte zusammen: Die Antarktis ist ein Kontinent von Meer umgeben, während die Arktis ein von Land umgebenes Meer ist. Im Sommer hat in der Arktis einschließlich Grönland in den letzten Jahrzehnten das Schmelzen an der Eisoberfläche kräftig zugenommen. Die Massenbilanz des Grönländischen Eisschildes und der anderen arktischen Gletscher ist stark negativ. Die Massenbilanz des antarktischen

Eisschildes ist leicht negativ infolge eines beschleunigten Eisabflusses ins Meer.

Was ist Meereis?


Meereis ist gefrorenes Meerwasser.

Beim Gefrieren von Meerwasser gefriert nur das Wasser, das Salz fällt aus.

Meereis wird vom Wind und den Meeresströmungen bewegt.

Meereis schmilzt im Sommer und gefriert im Winter.

Meereis ist ein Lebensraum.





Fahrrinne im antarktischen Meereis

Dass der Wind die Eisschollen zusammen pressen oder auseinander treiben kann, wird jedes Schiff erfahren, das sich in das Packeis hinein begibt. Und oft heißt es warten auf den richtigen Augenblick, um sich wieder vom Eise zu befreien. Diese Erfahrung konnte ich im Südsommer 1996/97 auf dem englischen Forschungsschiff RRS Bransfield sammeln als das Schiff mehr als zwei Wochen im Eis des Weddellmeeres festsaß.

Was ist Meereis?

Nachdem ich Ihnen bisher die Gletscher vorgestellt habe, fragen wir uns nun, was ist Meereis?

Meereis ist gefrorenes Meerwasser. Der Gefrierpunkt von Meerwasser ist, bedingt durch den Salzgehalt, niedriger als von Süßwasser und liegt bei etwa minus 1,8 °C. Das Gefrieren von Meerwasser ist ein ganz wichtiger Prozess, der zum Antriebsmotor für viele Meeresströmungen wird. Denn wenn Meerwasser gefriert, trennt sich das Salz vom Wasser und sinkt nach unten. Das Meereis ist deshalb deutlich süßer als Meerwasser. Da sich aber die jungen Eisschollen immer wieder über einander schieben und dabei Meerwasser ins Eis kommt, bilden sich Laugentaschen, die das Meereis versalzen. Das Bild zeigt ein frühes Stadium der Meereisbildung, sogenanntes Pfannkucheneis.

Das Meereis bleibt ständig in Bewegung. Es wird vom Wind angetrieben und folgt den großen Meeresströmungen. Es werden dabei Geschwindigkeiten von ein bis vier Kilometer pro Tag erreicht.

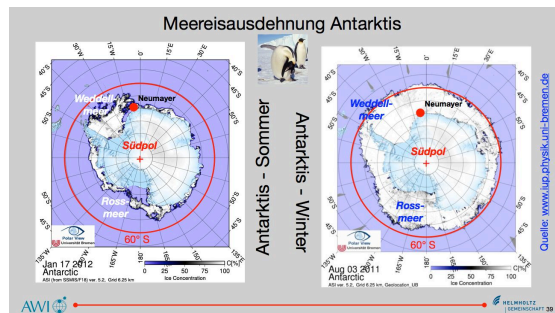
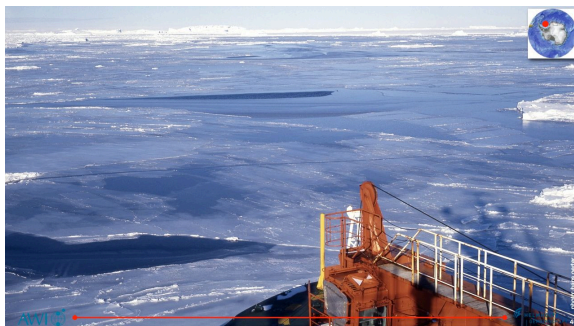
Meereis ist einer starken saisonalen Veränderung unterworfen. Die Fläche des mit Meereis bedeckten Ozeans und die Dicke des Meereises verändern sich stark im Laufe eines Jahres. Im Sommer schmilzt Eis, im Winter gefriert Meerwasser.

Meereis hat noch eine andere, ganz wichtige Eigenschaft, es ist ein Lebensraum für viele Tiere und Pflanzen (Algen). Die Grenzschicht zwischen Wasser und Eis ist nahezu ganzjährig von Leben erfüllt. Auf dem Meereis treffen wir Tiere, wie zum Beispiel den Eisbären. Für den Eisbären ist das Meereis lebensnotwendig, denn nur dort kann er Robben jagen und sich im Sommer für den Winter vollfressen.



Fahrt mit einem Eisbrecher durch Meereis

Ein zweites kurzes Video soll Ihnen einen kleinen Eindruck vermitteln von Kräften die beim Brechen des Eises wirken und den Massen, die dabei bewegt werden. Besondere Beachtung verdient die braune Färbung mancher Eisschollen. Die Verfärbung ist keine Spur von Dreck sondern wird durch Algen hervorgerufen, die an der Grenzfläche Meereis-Meerwasser leben. Diese Algen sind die Grundnahrung aller antarktischen Lebewesen. Die Algen werden vom Krill (kleine Krebse) abgeweidet. Der Krill wiederum wird von Pinguinen und Robben gefressen.



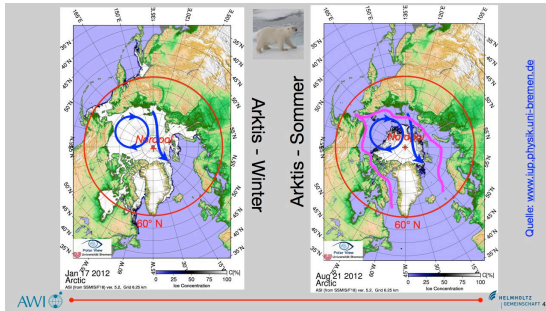
Beispiel Meereis Antarktis

Das Bild zeigt uns ein frühes Stadium der Meereisbildung in der Antarktis. Das Pfannkucheneis hat sich bereits konsolidiert und größere Eistafeln gebildet, die von Wind und Wellen gegeneinander und übereinander geschoben werden.

Ausdehnung des antarktischen Meereises

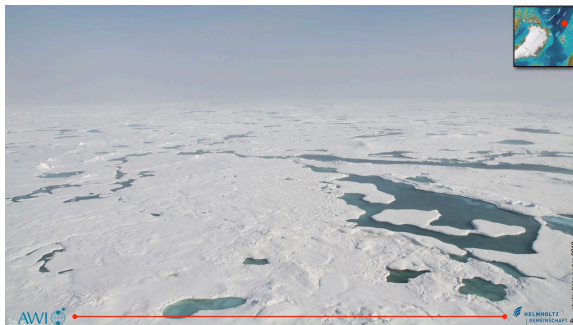
Werfen wir einen kurzen Blick in den Süden, auf die Antarktis. Hier können wir beobachten, dass die Ausdehnung des Meereises im Winter und im Sommer stark unterschiedlich ist. Auch das antarktische Meereis ist ständig in Bewegung. Eine Abnahme des antarktischen Meereises können wir zurzeit jedoch noch nicht beo-

bachten.



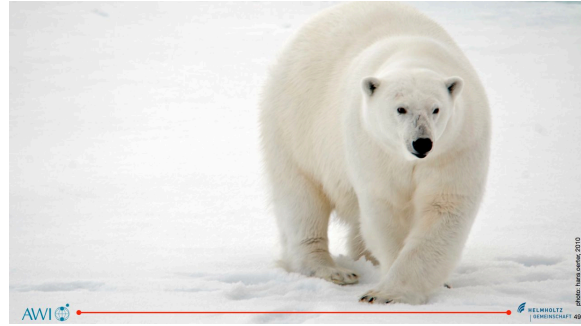
Ausdehnung des arktischen Meereises

Das Meereis in der Arktis unterliegt **großen natürlichen Schwankungen zwischen Winter und Sommer**. Die linke Karte zeigt die winterliche Ausdehnung des arktischen Meereises. Meereis entsteht, wie bereits dargestellt, durch Gefrieren von Meerwasser, sobald im Herbst die Wassertemperaturen unter $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ fallen. Die maximale Ausdehnung wird am Ende des nördlichen Winters gegen Ende März erreicht. Das arktische Meereis wird vom Wind und den Meeresströmungen angetrieben und driftet ganzjährig durch das Nordpolarmeer. Bereits Fridtjof Nansen musste im Sommer 1895 die leidvolle Erfahrung machen, dass das Meereis so stark nach Süden driftete, dass er mit seinem Begleiter Hjalmar Johansen nicht schnell genug nach Norden gehen konnte um den Nordpol in der zur Verfügung stehenden Zeit erreichen zu können. Es sind zwei große Strömungssysteme, die Transpoldrift und der Beaufortwirbel, die das Eis in Bewegung halten. Vor allem zwischen Spitzbergen und Nordostgrönland wird durch die Framstraße viel Meereis aus dem Nordpolarmeer in den Nordatlantik exportiert. Wenn im Sommer die Temperaturen wieder über dem Gefrierpunkt liegen schmilzt das Meereis und die mit Meereis bedeckte Fläche nimmt stark ab.



Beispiel Meereis Nordpolarmeer

Das Bild zeigt uns sommerliches Meereis im Nordpolarmeer. Charakteristisch sind die großen Schmelzwassertümpel, die sich im Sommer auf dem Meereis bilden. Die Aufnahme entstand im Juli 2010 bei einer Fahrt zum Nordpol.

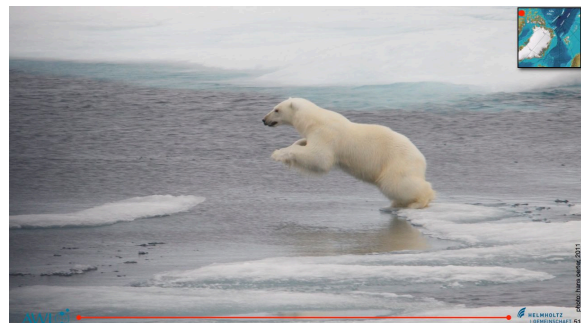


Beispiel Meereis ist Lebensraum: Eisbär

Ein reichhaltiges Nahrungsangebot bietet in der Arktis und auch in der Antarktis, nur das Meer. Wer sich aus dem Meer ernähren kann, wird überleben. Wichtig im marinen Nahrungskreislauf ist das Meereis, da an seiner Unterseite große Mengen von Algen wachsen. Steigen die Lufttemperaturen über dem Nordpolarmeer, gerät das Meereis in seiner sommerlichen Ausdehnung zunehmend in Gefahr. An der Spitze der Nahrungskette steht der König der Arktis, der Eisbär (*ursus maritimus*). Er ist davon abhängig, auf dem Meereis Robben jagen zu können um sich im Sommer genügend Reserven für den Winter anzufressen. Dies gilt besonders für die Muttertiere. Eisbären sind neugierig und nähern sich meistens einem neuen Objekt in ihrer Umgebung. So kann man von einem stehenden Schiff aus die Bären gut fotografieren.



Der Eisbär entwickelte sich in den letzten Jahren zur Symbolfigur für die Veränderungen in der Arktis, um nicht zu sagen zur Kultfigur. Bei dem nassen Fell dieses Tieres ist gut zu erkennen, dass die Haut des Eisbären schwarz ist.

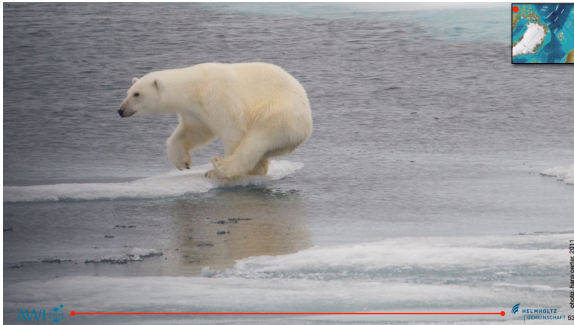


Sprungsequenz Eisbär

Eine Sequenz von drei Bildern zeigt den Sprung eines Eisbären von einer Eisscholle zur nächsten. 1. Bild: Der Bär springt ab.



2. Bild: Der Bär springt über die Wasserrinne.

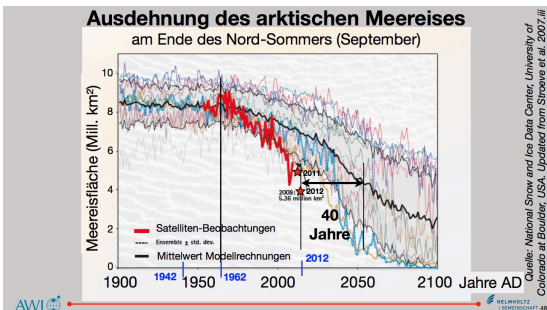


3. Bild: Der Bär landet auf der nächsten Scholle.



Bartrobbe auf Eisscholle

Eine Konsequenz für die Tierwelt im Nordpolarmeer wird sein, dass die Eisschollen, auf denen die Bartrobbe im Sommer ausruhen kann, immer kleiner werden.



Wie verändert sich das Meereis in der Arktis?

Die Abbildung zeigt die Ausdehnung des Meereises in der nördlichen Hemisphäre am Ende des Nord-Sommers (September). Dargestellt sind die Ergebnisse von 15 Modellen, wie sie für unterschiedliche Szenarien im IPCC-Bericht 2007 verwendet wurden (punktierte Linien). Der Mittelwert aus den 15 Modellen ist als schwarze

durchgezogene Linie dargestellt.

Die aus Satellitendaten abgeleiteten Werte entsprechen der dicken roten Kurve.

Die gemessenen Daten zeigen, dass die Eisfläche um 11,2 % pro Dekade abnimmt. Dies ist eine deutliche stärkere Abnahme als sie in allen IPCC-Szenarien berechnet wurde.

Am Ende des Sommers 2009 (und 2010) war die mit Meereis bedeckte Fläche in der Arktis zwar größer als in den Jahren 2007 und 2008 mit der bisher beobachteten minimalen Meereis-Ausdehnung. Man muss aber beachten, dass die meereisbedeckte Fläche noch nicht wieder den Status früherer Jahre erreicht hat. 2012 wurde dann ein weiteres Minimum erreicht. Man beachte, dass die gemessene **Abnahme der Meereisfläche den IPCC-Szenarien um 40 Jahre voraus ist!**

Neuere Modellläufe zeigen, dass ein im Sommer fast eisfreies Nordpolarmeer noch vor der Mitte dieses Jahrhunderts erwartet werden kann. (Quelle: National Snow and Ice Data Center, University of Colorado at Boulder, USA. Updated from Stroeve et al. 2007.iii)

Meereis

- Meereis ist gefrorenes Meerwasser
- Meereis ist immer in Bewegung
- Meereis schmilzt im Sommer und gefriert im Winter
- Meereis im Nordpolarmeer nimmt stark ab
- Meereis im Südpolarmeer zeigt wenig Veränderung
- Meereis ist ein wichtiger Lebensraum

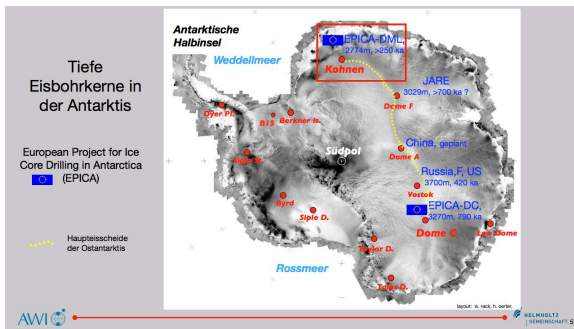
Zusammenfassung Meereis

Fassen wir das über Meereis Gesagte zusammen: Meereis ist gefrorenes Meerwasser. Meereis ist, angetrieben von Wind und Meeresströmungen, immer in Bewegung. Die von Meereis bedeckte Fläche unterliegt starken saisonalen Schwankungen, denn Meereis schmilzt im Sommer und gefriert wieder im Winter. Die noch mit Meereis am Ende des Sommers (September) bedeckte Fläche hat in den letzten Jahrzehnten drastisch abgenommen. Das Meereis im Südpolarmeer rund um die Antarktis hingegen zeigt heute noch wenig Änderung. Das Meereis ist ein wichtiger Lebensraum.



Eine Zeitreise: 800.000 Jahre Klimageschichte

Ich möchte Sie nun noch zu einer Zeitreise in die Klimageschichte einladen und dabei 800.000 Jahre in die Vergangenheit zurückschauen. Dazu müssen wir uns auf das Plateau des Antarktischen Inlandeises begeben. Wie es dort aussieht, mag Ihnen dieses Bild noch einmal verdeutlichen.



Eiskernbohrungen in der Antarktis

Aus der Antarktis ein Beispiel aus den Forschungsarbeiten, an denen ich selbst in den letzten 15 Jahren beteiligt gewesen bin, das European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA). Schauen wir aus dem Weltraum auf die Antarktis. Um das dargestellte 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 Haupteissscheide (ice divide), die hier durch die gelbe, punktierte Linie hervorgehoben wird. So wie bei einer Wasserscheide, das Wasser 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 Kohlenstation (EPICA (EU), EDML), auf Dome Fuji (Japan), bei der Station Wostok (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 (Kohlenstation) in Dronning-Maud-Land ausgewählt. Der 3260 m tiefe EDC-Kern ergab mit ca. 790.000 Jahren (in einer Tiefe von 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.

Wie kommt man zur Bohrstelle Kohlenstation?

Die Bohrstelle an der Kohlenstation liegt im **Dronning-Maud-Land**, in dem Teil der Antarktis, der Südafrika zugewandt ist (roter Ausschnitt in der Übersichtskarte, rechts oben). Der Zugang zur Kohlenstation, vor allem was den Transport von schweren Gütern, einschließlich des Treibstoffes, angeht, erfolgt über die deutsche Überwinterungsstation Neumayer an der Küste.



(Foto: AWI, Febr. 2009)

Die deutsche Überwinterungsstation in der Antarktis: Neumayerstation III

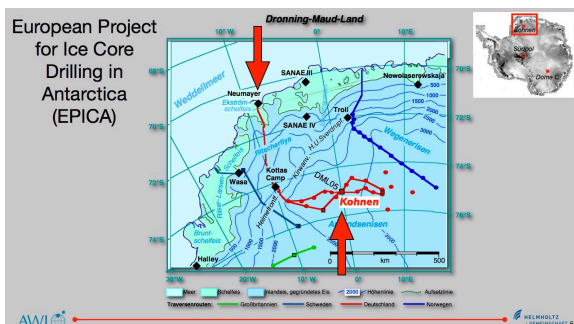
Die Neumayerstation III wurde im Februar 2009 in Betrieb genommen. Der Stationskörper steht auf Stützen, mit denen die Station gehoben werden kann um den jährlichen Schneezutrag von ca. 80 Zentimeter Neuschnee auszugleichen.

Die Vorgängerstation Neumayer II war eine Röhrenkonstruktion im Schnee. Sie war durch die jährlich gestiegene Schneelast nach 17 Jahren soweit verformt, dass sie nicht mehr benutzbar war. Sie wurde inzwischen rückgebaut und außerhalb der Antarktis entsorgt.

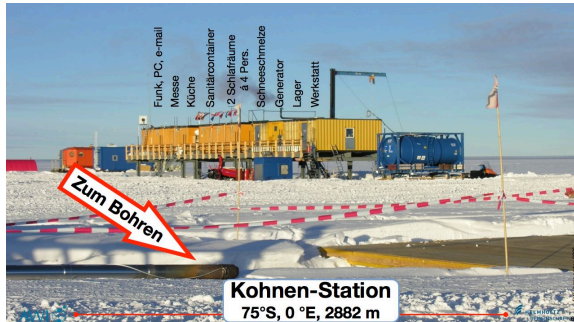


Anreise Kohlenstation

Die **Anreise zur Neumayerstation** erfolgt klassischer Weise mit dem deutschen Forschungseisbrecher **FS Polarstern**, entweder von Kapstadt auslaufend oder von Punta Arenas, Chile, oder Ushuaia, Argentinien, in Südamerika. Das an der Schelfeiskante entladene Transportgut wird dann mit **Schlittenzügen über das Eis** zur Kohlenstation 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 Kohlenstation 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 - Kohlenstation wird mit kleineren Flugzeugen vom Typ



Basler BT67 geflogen. Dafür werden entweder die AWI-eigenen Flugzeuge Polar5 und Polar6 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.**



Die Kohenenstation

Die Kohenenstation liegt bei 75°00' S, 00°04' O auf 2882 Meter Meereshöhe im Dronning-Maud-Land (Neuschwabenland), Antarktis. Sie wurde erbaut in den beiden Südsommern 1999/2000-2000/01. Meteorologische Daten: Jährlicher Schneezutrag 64 Kilogramm pro Quadratmeter, Jahresmitteltemperatur -44.6 Grad Celsius. Mitternachtssonne vom 31. Oktober bis 12. Februar.

Die Kohenenstation wurde benannt nach dem deutschen Geophysiker Dr. Heinz Kohenen (*1938, †1997). Heinz Kohenen war 1982-1997 der erste Leiter der Abteilung Logistik des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung in der Helmholtz-Gemeinschaft (AWI), Bremerhaven.

Die Kohenenstation wurde als Sommerstation für die zweite Eiskerntiefbohrung des European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA) vom AWI errichtet. Die Bohrarbeiten begannen im Januar 2001 und wurden im Januar 2006 abgeschlossen. Die Kohenenstation wird auch nach Abschluss der Bohrarbeiten als Sommerstation vom AWI (www.awi.de) weiter betrieben.

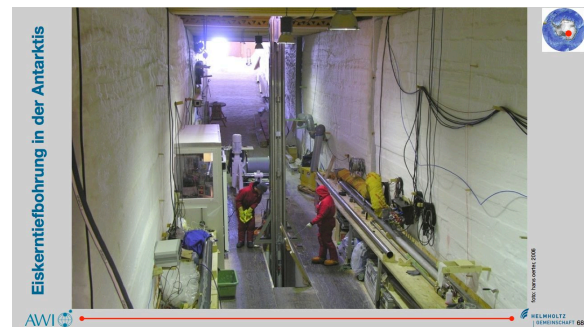
Für das Bohrprojekt EPICA, einschließlich der Errichtung der Kohenenstation, wurde nach den Richtlinien des Umweltschutzprotokolls (1991) zum Antarktisvertrag eine Umweltverträglichkeitsstudie erstellt. Das Projekt wurde am 6.10.2000 vom Umweltbundesamt genehmigt.

Die Station besteht aus elf 20-Fuss-Containern, die auf einer 32 Meter langen, 8 Meter breiten stählernen Plattform stehen. Die Plattform liegt etwa 2 Meter über der Schneeoberfläche und ruht auf 16 im Firn gegründeten, verlängerbaren Stahlstützen. Die Stationsplattform wird alle zwei Jahre um ca. 60 Zentimeter gehoben, um den Schneezutrag auszugleichen. Die Container beherbergen Funktionsräume für Generator, Schneeschmelze, Werkstatt, Lager, Schlafen, Toilette und Waschraum, 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 2001 neben der Station ein 66 Meter langer, 4,8 Meter breiter und 6 Meter 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):

Kohenen Station – the Drilling Camp for the EPICA Deep Ice Core in Dronning Maud Land. *Polarforschung* 78(1-2), 1-23 (über www.polarforschung.de als pdf abrufbar).



Der Drill-Trench

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 Meter tiefer geneigter Graben, um das Bohrgerät (Gesamtlänge ca. 12 Meter) 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 Grad Celsius.

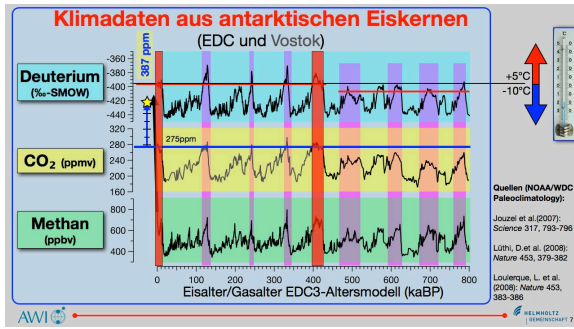


Bohren eines Eiskerns (Videoszene: Archiv AWI/S. Kipfstuhl)

Das Bohren eines Eiskerns zeigt eine kleine Videoszene



Was lernen wir aus einem Eiskern über das Klima der Vergangenheit?



Klimadaten aus antarktischen Eiskernen: Vostok and EPICA.

Die δD -Kurve (äquivalent zu $\delta^{18}O$) 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 CO₂ (oben) und Methan (CH₄ unten) sind gut korreliert und zeigen einen nahezu synchronen Verlauf. Es liegt nahe, 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 vier 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 CO₂-Konzentrationen von 387 ppmv wurden in den Eiskernen zu keiner Zeit nachgewiesen. (Quelle der Abb.: www.pages.unibe.ch).

Climate Change: Past, Present, and Future

Der vierte Bericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) von 2007 enthält Aussagen über die mögliche Änderung der globalen Lufttemperatur bis zum Jahr 2100 AD, sogenannte Klimaszenarien. Wie sich diese Zukunftsprojektionen zu den klimatischen Änderungen während der vergangenen 1000 Jahre verhalten, zeigt diese Abbildung aus der Zeitschrift EOS. Die Abbildung ist zeitlich in drei Perioden unterteilt. Die gemittelten Messdaten für eine globale Temperatur aus der Zeit der Instrumentenbeobachtung (ca. 1850 bis heute) zeigt die dicke schwarze Kurve.

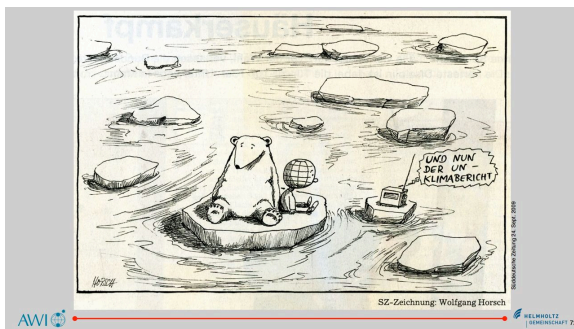
Die aus verschiedenen Archiven und unterschiedlichen Proxydaten rekonstruierte mittlere Temperatur für die nördliche Hemisphäre ist nach verschiedenen Quellen mit den farbigen Linien dargestellt. Je weiter wir zeitlich zurückschauen, desto ungenauer werden die rekonstruierten Daten.

Für die Zeit nach 2000 AD sehen wir die IPCC-Projektionen als farbige Bänder dargestellt.

Betrachten wir als erstes die Projektion C3, das gelbe Band. Für dieses Szenario wurde angenommen, dass sich der Kohlendioxidgehalt aus dem Jahr 2000 nicht weiter erhöht, was natürlich (leider) nicht der Fall ist. Aber man erkennt, dass selbst dann die Lufttemperatur bis zum Jahr 2100 um etwa 0,4 Grad Celsius weiter steigen würde. Der Prozess der einmal angestoßen wurde, lässt sich also kurzfristig nicht mehr aufhalten!

Den anderen Projektionen liegen unterschiedliche Annahmen über die weitere Zunahme des Kohlenstoffdioxidgehaltes zu Grunde. Wichtig ist zu erkennen, dass die Temperaturen in den nächsten 100 Jahren und darüber hinaus ansteigen und weit über den Temperaturen liegen werden, die in den vergangenen 1000 Jahren geherrscht haben.

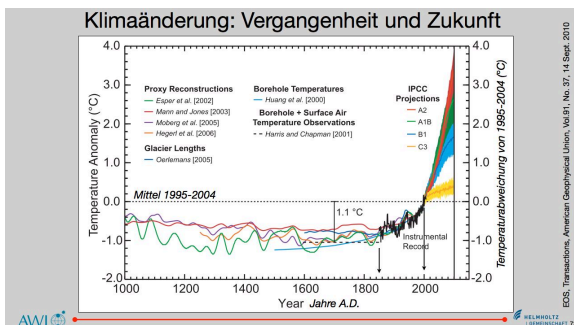
Aus den vergangenen 1000 Jahren können wir jedoch auch erkennen, dass der Temperaturverlauf über Zeiträume von einigen Jahrzehnten große natürliche Schwankungen aufgewiesen hat. Diese natürliche Variabilität wird auch in Zukunft auftreten, so dass wir nicht erwarten können, dass die Temperaturen immer geradlinig steigen werden, vor allem dann nicht, wenn wir nur das regionale Klima betrachten. Aber der Trend wird regional und global nach oben weisen.



Und nun der UN-Klimabericht.



(Foto: Kyra Wörner, 2011)



Meine Damen und Herren, Ein Stück Gletschereis in meiner Hand. Es wird schmelzen. Mehr Informationen zum Thema finden sie auf der Website des Alfred-Wegener-Instituts in Bremerhaven unter www.awi.de. Dort wird auch dieses Manuskript abgelegt werden. Velen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Copyright der Fotos soweit nicht anders angegeben: **Hans Oerter**
Copyright der Abbildungen bei den jeweils angegebenen Quellen.