

Grünland? –

Über den Stand der Wissenschaft zu den Abschmelzprozessen auf Grönland und den möglichen Folgen.

Hans Oerter

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

Hans.Oerter@awi.de

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



4. ExtremWetterKongress, Bremerhaven, 19.-21. Februar 2009



foto: hans oerter, 2001

Meine Damen und Herren,

das Thema meines heutigen Vortrages, das mir vom Veranstalter so vorgeschlagen wurde, lautet:

Grünland? – Über den Stand der Wissenschaft zu den Abschmelzprozessen auf Grönland und den möglichen Folgen.

Ich möchte das Thema etwas weiter fassen und über die Massenbilanz des grönländischen Eisschildes sprechen.

Wie stelle ich mir Grönland vor ?



Was ist die Massenbilanz eines Eisschildes ?



Schmilzt Grönland dahin ?



Drei Fragen sollen diesen Vortrag leiten:

Wie stelle ich mir Grönland vor ?

Was versteht man unter der Massenbilanz eines Eisschildes ?

Und als Drittes die Hauptfrage: Schmilzt Grönland dahin ?



Grönland/ Kalaallit Nunaat

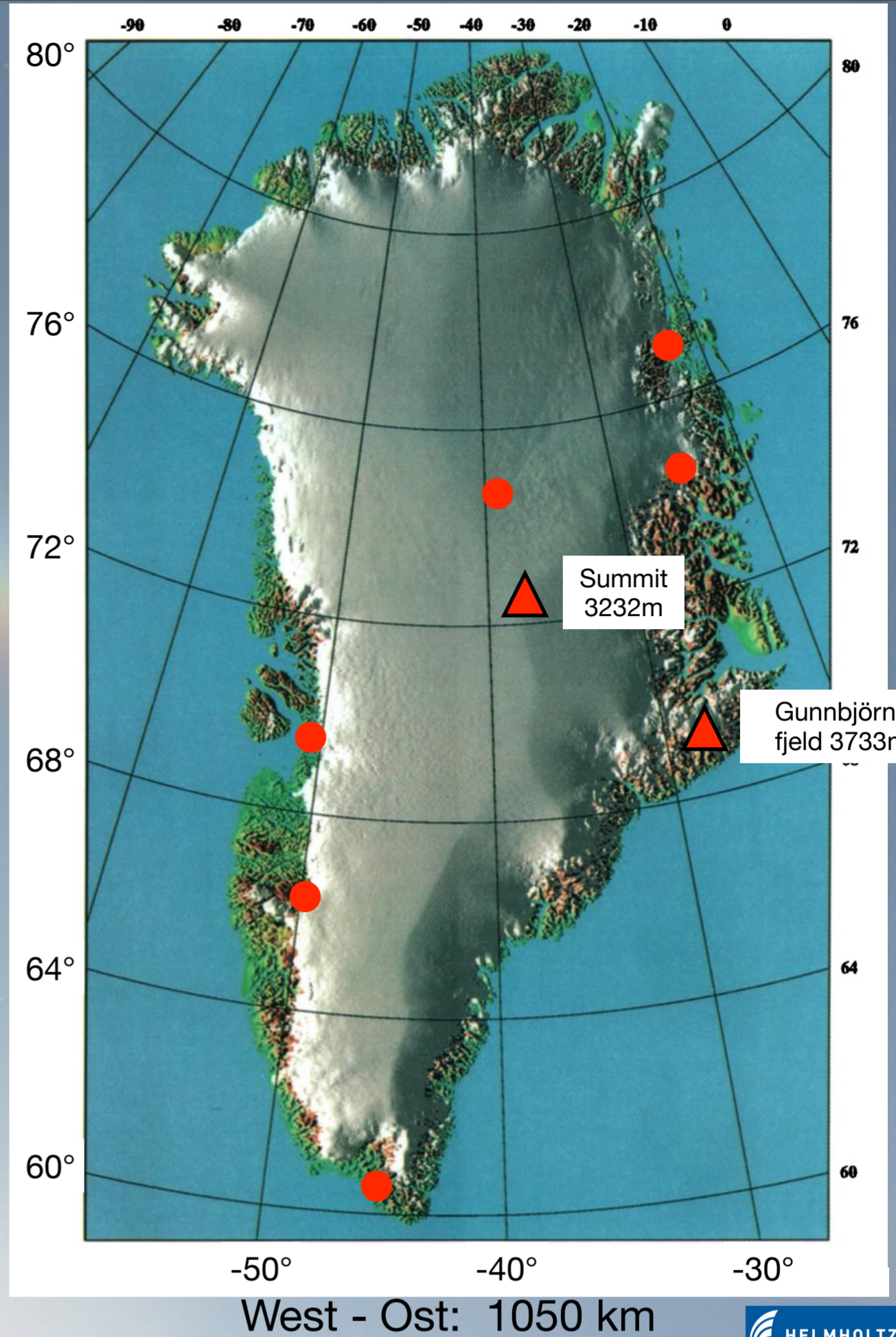
Fläche: 2,166 Mill. km²
 eisfrei: 0,410 Mill. km²
 (BRD: 0,357 Mill. km²)
 eisbedeckt: 1,756 Mill. km²
 Vergletscherung: 81,1 %

Quelle: Der Fischer Weltatmanach 2009

Mittlere Eismächtigkeit 1670 m

Grönländisches Inlandeis entspricht
7,3 m Meeresspiegeländerung

Süd - Nord: 2670 km



West - Ost: 1050 km



4. ExtremWetterKongress, Bremerhaven, 19.-21. Februar 2009



Zur ersten Frage:

Wie stelle ich mir Grönland vor?

Der heutige offizielle Name von Grönland ist Kalaallit Nunaat, was soviel bedeutet wie „bewohntes Land“ oder „Land der Menschen“, auch ein etwas trügerischer Name, wenn man bedenkt, dass nur etwa 56.000 Menschen auf dieser Insel wohnen.

Die Karte zeigt Ihnen Grönland. Sie basiert auf einem digitalen Geländemodell von Ekholm (1996). Eisbedecktes Land ist mit grauen Farben belegt, die durch den Schattenwurf einen räumlichen Eindruck erzeugen. Achten Sie auf die steile Flanke des Inlandeises im Südosten. Ihr werden wir bei der Betrachtung der Niederschlagsverhältnisse noch einmal begegnen. Die grünen und braunen Farbtöne markieren das eisfreie Land.

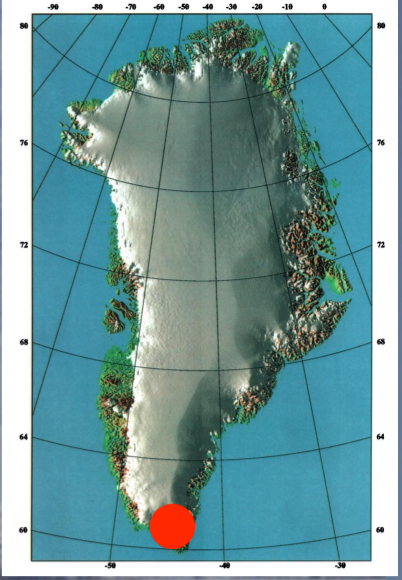
Grönland erstreckt sich von Süd nach Nord über gut 2670 Kilometer, in seiner Ausdehnung von Westen nach Osten misst es etwa 1050 Kilometer.

Die Gesamtfläche beträgt 2,166 Millionen Quadratkilometer, davon sind 410.449 Quadratkilometer oder knapp 19 Prozent eisfrei. Zum Vergleich: Die Fläche der Bundesrepublik Deutschland beträgt 357.114 Quadratkilometer. Deutschland ist also kleiner als die eisfreien Flächen auf Grönland! Uns geht es in dem Vortrag aber um die 1,756 Millionen Quadratkilometer oder 81 Prozent der Fläche, die mit Eis bedeckt sind.

Der höchste Punkt auf dem Inlandeis, der so genannte Summit, liegt 3232 Meter über dem Meer.

Im Mittel ist das grönländische Inlandeis 1670 Meter mächtig. Würde man die auf Grönland liegende Eismasse gleichmäßig auf die heutige Meeresoberfläche verteilen, so entspräche dies einer Änderung des Meeresspiegels von 7,3 Metern.

Ich will Ihnen kurz einige optische Eindrücke von Grönland vermitteln und Sie von Südgrönland, über die Westküste, dann quer über das Inlandeis nach Nordostgrönland führen.



aus: S. Ekholm, J. Geophyys. Res. 101, B10 (1996)



foto: hans oerter, 2008



Igaliku

4. ExtremWetterKongress, Bremerhaven, 19.-21. Februar 2009



4

Beginnen wir unseren Kurztrip mit einer grünen Landschaft im Süden Grönlands, bei der Siedlung Igaliku, etwa in der Gegend, in der auch Erik der Rote im Jahr 982, als Verbannter von Island kommend, an Land gegangen sein mag. Einige Gerätschaften auf dem Bild weisen darauf hin, dass hier tatsächlich Landwirtschaft möglich ist. Dieses Bild beschreibt aber mit Sicherheit nicht das Erscheinungsbild von ganz Grönland, weder zur Zeit Erik des Roten noch in den nächsten hundert Jahren! Soviel zum Mythos „Grönland“.



aus: S. Ekholm, J. Geophys. Res. 101, B10 (1996)

foto: hans oerter, 2001



Eisrand bei Kangerlussuaq

4. ExtremWetterKongress, Bremerhaven, 19.-21. Februar 2009



5

Nahe am Polarkreis, im Hinterland von Kangerlussuaq, dem internationalen Flughafen von Grönland, kann man den Rand des grönländischen Inlandeises relativ leicht erreichen. Es ist beeindruckend, wie sich die Eismassen auf einen zu bewegen.



aus: S. Ekholm, J. Geophys. Res. 101, B10 (1996)

foto: hans oerter, 12.8.2006



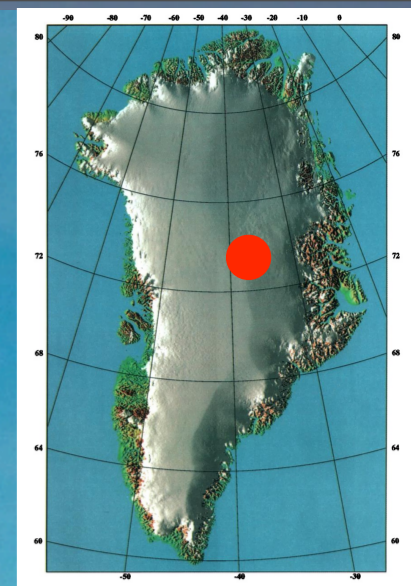
Ilulissat: Sermermiut und Eisfjord (Kangia)

4. ExtremWetterKongress, Bremerhaven, 19.-21. Februar 2009



6

Weiter nördlich, in der Diskobucht, kommen die Eisberge durch den fünfzig Kilometer langen Jakobshavn-Eisfjord (von den Grönländern Kangia genannt) bis zum offenen Wasser der Bucht geschwommen. Das Kalben von Eisbergen ist neben dem Abschmelzen des Eises ein wichtiger Prozess, der die Eismasse des Inlandeises vermindert, wie ich später noch erläutern werde.



aus: S. Ekholm, J. Geophys. Res. 101, B10 (1996)

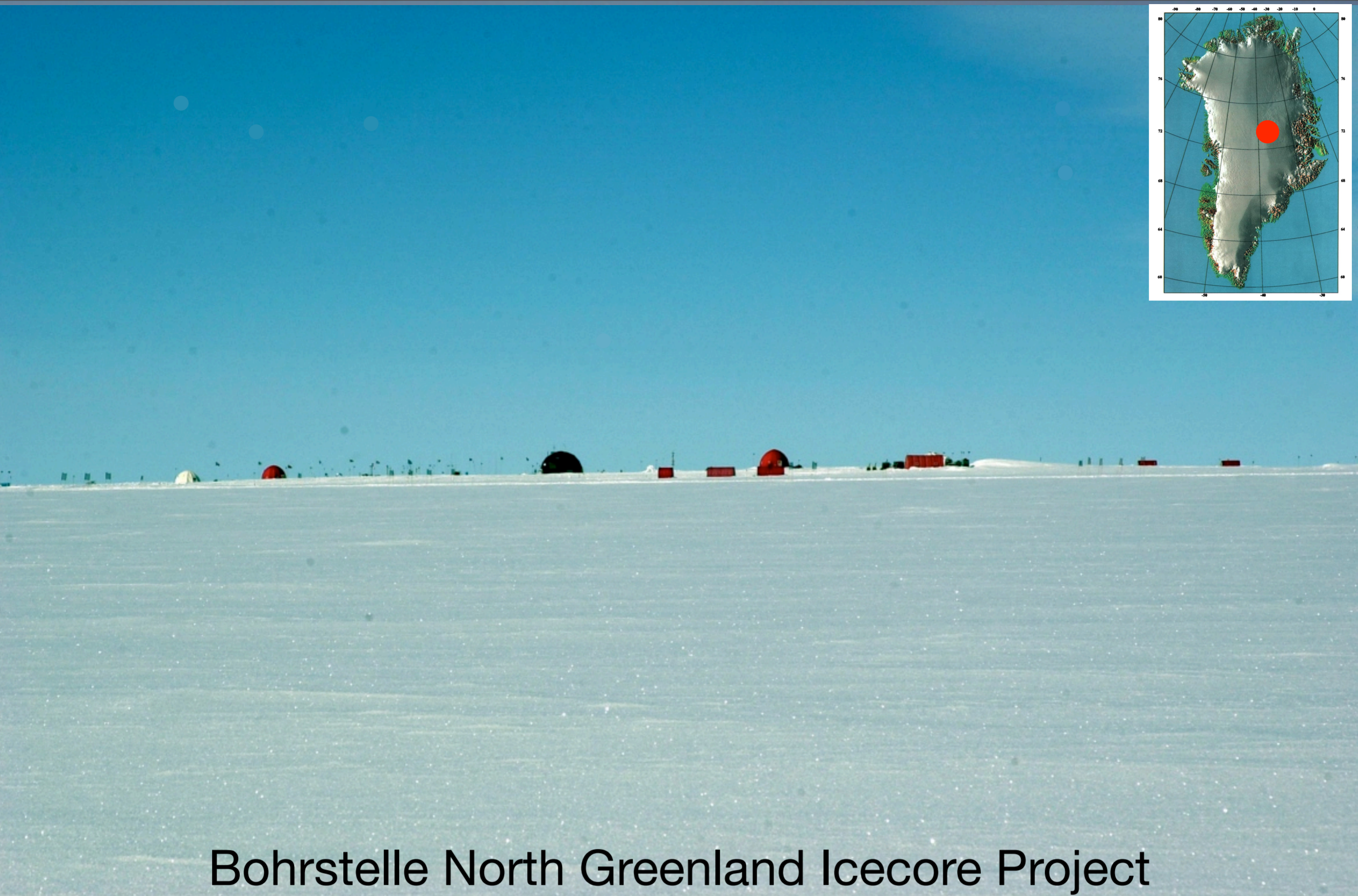


foto: Sepp Kipfstuhl, AWI

Bohrstelle North Greenland Icecore Project 1999-2003



4. ExtremWetterKongress, Bremerhaven, 19.-21. Februar 2009



Von der Diskobucht aus überfliegen wir das weite, weisse Inlandeis in Richtung Nordosten. In der Mitte des Inlandeises lag die Bohrstelle des North Greenland Ice Core Projects in den Jahren 1999 bis 2003 (75,1° N, 42,32° W, 2917 m). (Foto: Sepp Kipfstuhl, AWI)



aus: S. Ekholm, J. Geophys. Res. 101, B10 (1996)

foto: hans oerter, 1989



Heinkelgletscher, Ostgrönland

4. ExtremWetterKongress, Bremerhaven, 19.-21. Februar 2009



8

Die Ostküste ist kälter als die Süd-Westküste, gekühlt durch den kalten Ostgrönlandstrom. Die Gebirge sind kahler und schroffer und das Eis fließt an vielen Stellen in gewaltigen Eisströmen vom Inlandeis zur Küste. Unter uns sehen wir den Heinkelgletscher mit seiner schönen Mittelmoräne.



aus: S. Ekholm, J. Geophys. Res. 101, B10 (1996)

foto: hans oerter, 1993



Storstrømmen, Nordostgrönland

4. ExtremWetterKongress, Bremerhaven, 19.-21. Februar 2009



9

Im Sommer werden wir in den Randzonen des Inlandeises überall mit Schmelzwasser konfrontiert. Es sammelt sich in Vertiefungen auf der Eisoberfläche, wie hier auf dem Storstrømmen. Bei sonnigem Wetter strahlen diese Schmelzwasserseen in herrlichem Blau.

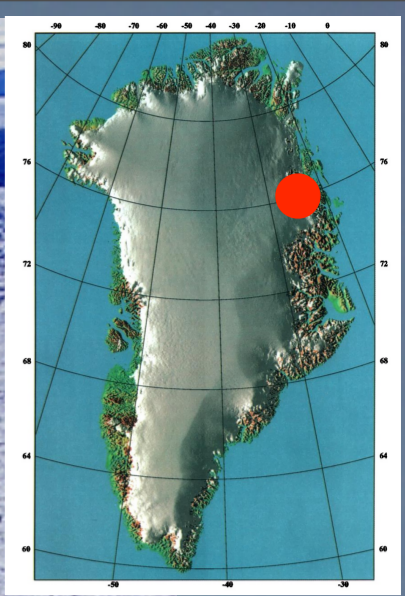


foto: hans oerter, 1994



Storstrømmen, Nordostgrönland

4. ExtremWetterKongress, Bremerhaven, 19.-21. Februar 2009



Weiter unten speist das Eisschmelzwasser ein weit verzweigtes Flusssystem auf der Gletscheroberfläche, in dem das Schmelzwasser dem Meer zugeführt wird.



foto: hans oerter, 1993



Storstrømmen, Nordostgrönland

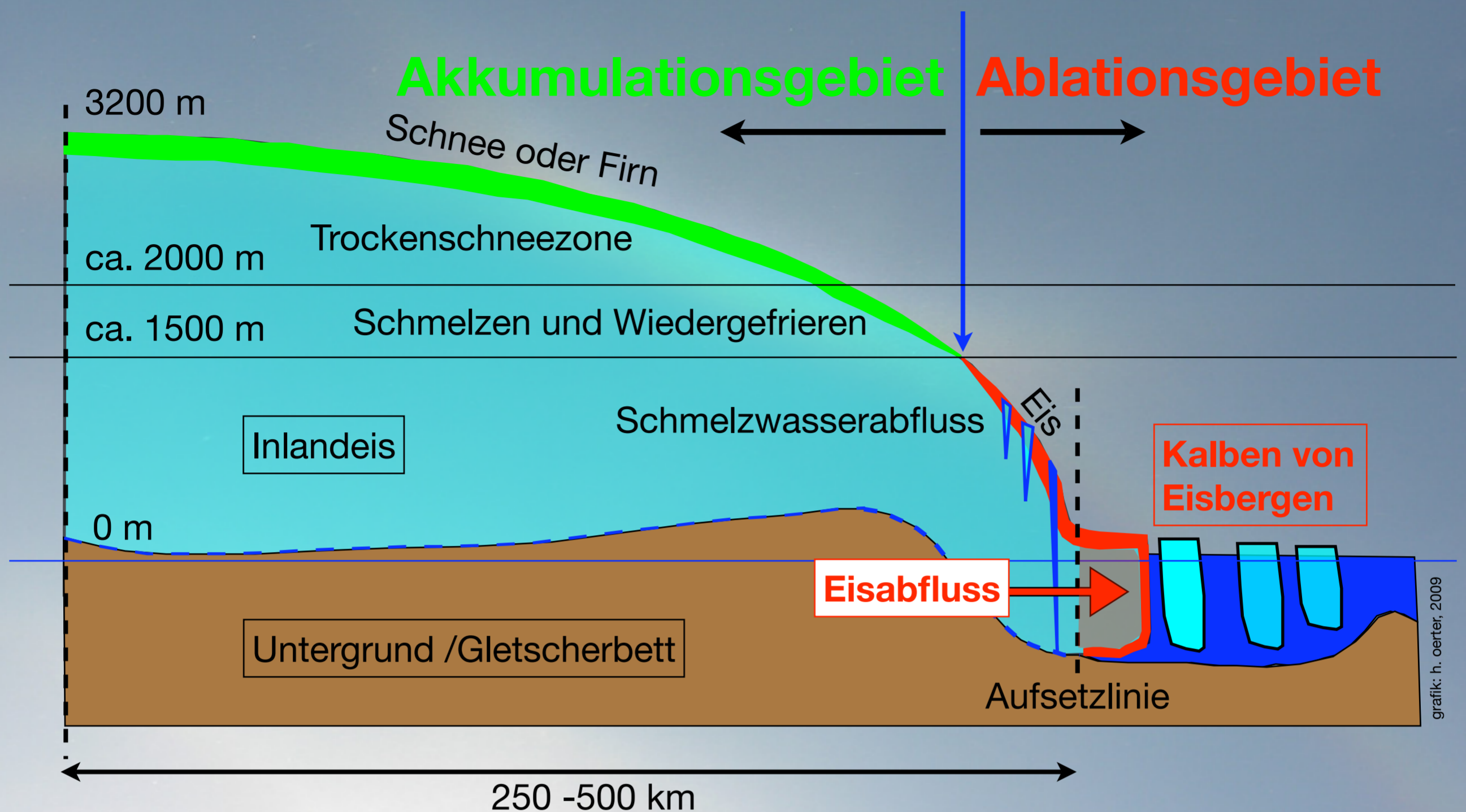
4. ExtremWetterKongress, Bremerhaven, 19.-21. Februar 2009



Dort, wo die Eisströme beziehungsweise Gletscher bis direkt ins Meer vorstoßen, beginnen die Gletscherzungen zu schwimmen. Diese schwimmenden Eismassen sind die Ursprungsgebiete für Eisberge.

Schema zur Massenbilanz von Grönland

Gleichgewichtslinie



grafik: h. oerter, 2009

Zur zweiten Frage:

Was versteht man unter der Massenbilanz eines Gletschers?

Meine Damen und Herren, was gerade wie im Flug an Ihnen vorbei glitt, hier noch einmal zusammengefasst in einer schematischen Darstellung. Wenn wir der Frage der Massenbilanz des Grönländischen Inlandeises, und damit der Frage nach dem Abschmelzen des Inlandeises, nachgehen wollen, müssen wir einige Zusammenhänge und Begriffe verstehen lernen.

Man unterscheidet bei einem Gletscher und bei den Inlandeisen beziehungsweise Eisschilden das Akkumulationsgebiet (grüne Schicht) und das Ablationsgebiet (rote Schicht).

Das Akkumulationsgebiet ist durch eine positive Massenbilanz an der Oberfläche gekennzeichnet, das heißt der Schneeniederschlag, der dort fällt, bleibt ganz oder zumindest teilweise erhalten.

Die Trennlinie zwischen Ablations- und Akkumulationsgebiet wird als Gleichgewichtslinie bezeichnet.

Im Ablationsgebiet, wo im Allgemeinen kompaktes Eis an der Oberfläche ansteht, wird im Jahresmittel der jährliche Schneeniederschlag und zusätzlich alte Eismasse abgeschmolzen. Dort ist die Massenbilanz negativ.

Wichtig zu wissen ist, ob das Schmelzwasser von geschmolzenem Schnee auch wirklich zum Abfluss gelangt oder aber in tieferen Schichten des Firns wieder gefriert und so als Masse dem Eisschild erhalten bleibt. Derartige läuft in der Zone oberhalb der Gleichgewichtslinie ab. Die Größe der Schneefläche auf der Abschmelzen auftritt, ist also nicht ohne weiteres ein Maß für den tatsächlichen Schmelzwasserabfluss.

In der so genannten Trockenschnee-Zone tritt kein nennenswertes Schmelzen mehr auf.

Zusätzlich kommt es an der Unterseite der schwimmenden Eismassen (Gletscherzungen bzw. Schelfeise) zum Abschmelzen von Eis. In geringem Maße kann auch gegründetes Inlandeis an seiner Unterseite schmelzen. Wasser im Gletscher und am Gletscheruntergrund erleichtert das Fließen des Eises. Es wirkt als Schmiermittel. Der hydrostatische Druck, der sich durch Schmelzwasser oder eindringendes Meerwasser aufbauen kann, kann das Eis etwas anheben und damit das Fließen beschleunigen.

Entscheidend für Zunahme oder Abnahme der Eismasse sind nicht nur die Prozesse an der Oberfläche, also die Oberflächenmassenbilanz, sondern auch der direkte Abfluss von Eis ins Meer, über die so genannte Aufsetzlinie. Aus diesen, dann schwimmenden, Gletscherzungen entstehen die Eisberge.

Wie groß sind die Komponenten der Massenbilanz,

die Akkumulation beziehungsweise der Schneezutrag,

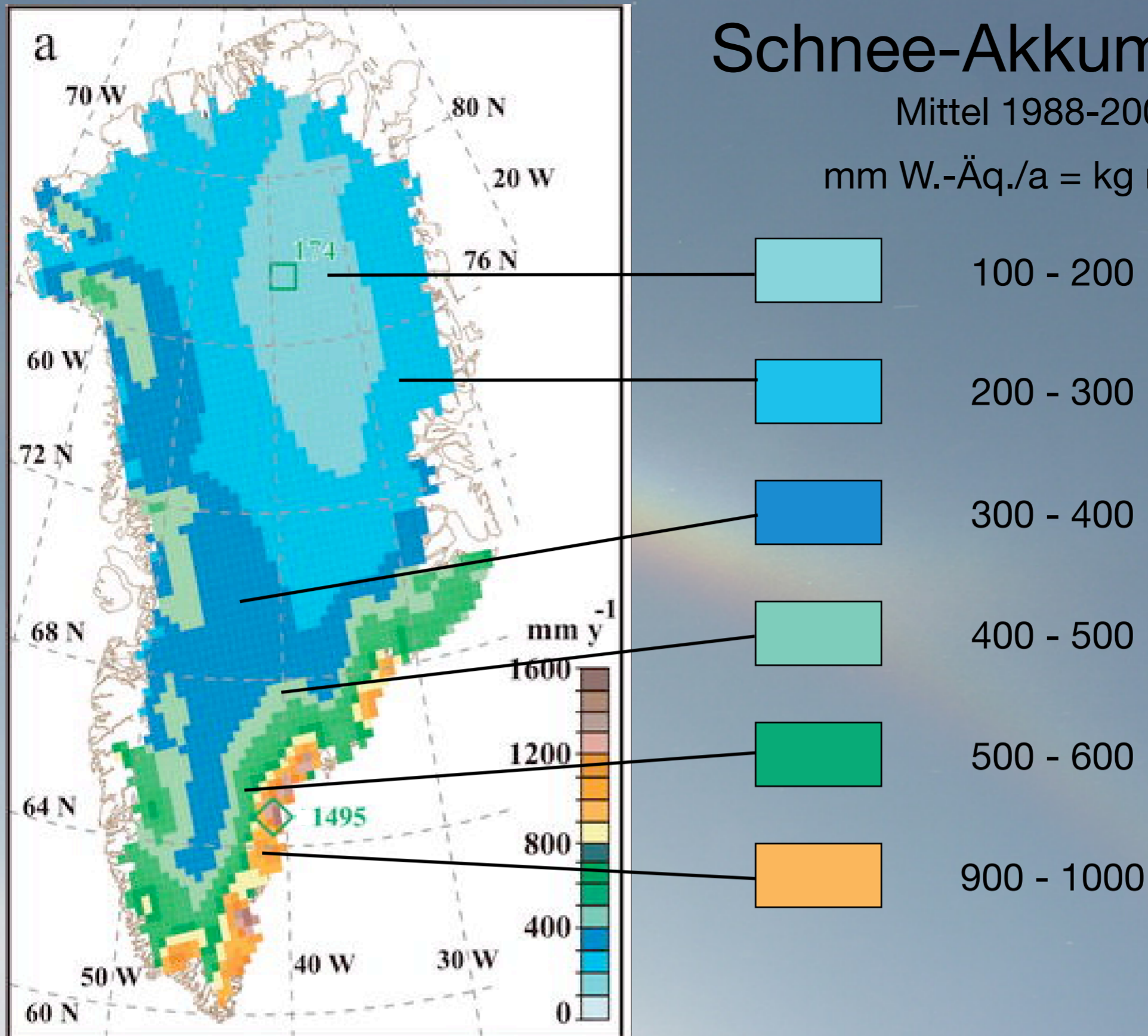
die Ablation beziehungsweise Abschmelzung und der daraus resultierende Schmelzwasserabfluss

sowie der direkte Eisabfluss ins Meer?

Schnee-Akkumulation

Mittel 1988-2004

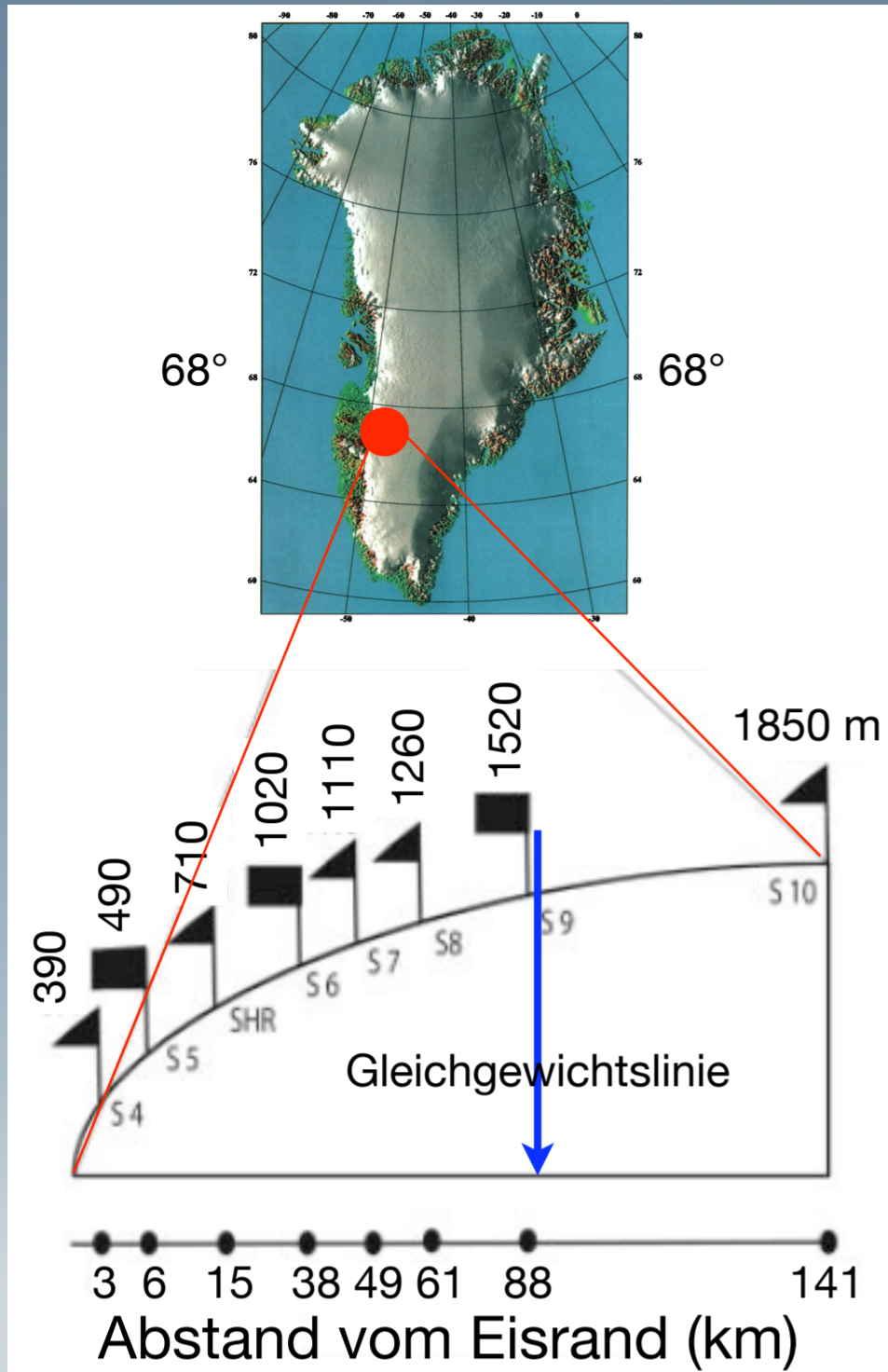
mm W.-Äq./a = $\text{kg m}^{-2} \text{a}^{-1}$



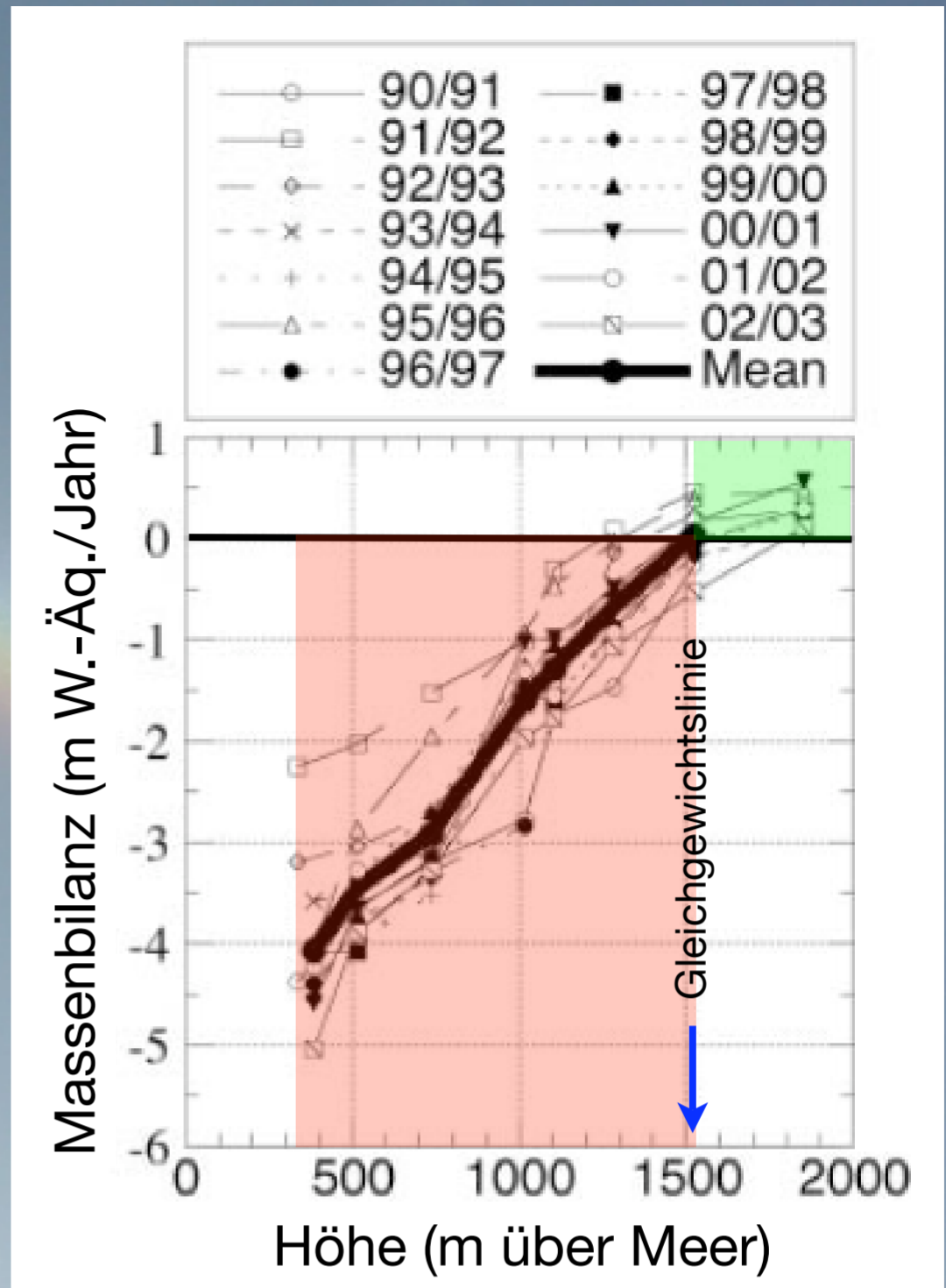
Box, J. E. et al. (2006): Greenland ice sheet surface mass balance variability (1988-2004) from calibrated polar MM5 output. *J. Climate* 19, 2783-2800

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. 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.

Beispiel der Massenbilanzbestimmung



Das K-Profil. Die Dreiecke kennzeichnen Punkte mit Massenbilanzmessungen, die Rechtecke Autom.Wetterstationen im August 2004. Die Höhen sind Mittelwerte für den Zeitraum 1996–2002 (GPS-Messungen).



Oberflächen-Massenbilanz-Messungen als Funktion der Höhe, im Zeitraum 1990–2003. Die dicke Linie ist der Mittelwert für den ganzen Zeitraum.

Quelle: Messungen der Universität Utrecht. Van de Wal et al. (2005): Surface mass-balance observations and automatic weather station data along a transect near Kangerlussuaq, west Greenland. Annals Glaciology 42, 311–316

Als Beispiel für die Bestimmung der Massenbilanzkomponente Ablation durch Feldmessungen habe ich ein Profil am Eisrand im Hinterland von Kangerlussuaq, Westgrönland, gewählt. Die Messungen wurden von der Universität Utrecht in den Jahren 1990-2003 durchgeführt.

Das so genannte K-Profil erstreckt sich über 140 Kilometer vom Eisrand auf das Inlandeis hinauf und erreicht eine Höhe von 1850 Metern. Die dreieckigen Wimpel kennzeichnen Stellen, an denen nur die Massenbilanz bestimmt wurde. Die rechteckigen Flaggen sind die Stellen an denen auch automatische Wetterstationen in Betrieb waren.

In der rechten Abbildung zeigt die dicke Linie den Mittelwert der Oberflächenmassenbilanz der gesamten Messreihe. Man erkennt, dass bis zu einer Höhe von etwa 1500 Metern die Massenbilanz negativ ist, das heißt, dort ging Eismasse verloren. In den höheren Gletschergebieten ist die Bilanz positiv, das heißt, dort blieb Schneeniederschlag erhalten. Für dieses Profil liegt die Gleichgewichtslinie auf etwa 1500 Metern Höhe und sie ist etwa neunzig Kilometer vom Eisrand entfernt! Die Abschmelzbeträge (nur Eis, Winterschnee nicht eingeschlossen) erreichen am äußersten Eisrand Werte von über vier Metern Eis!

Oberflächen-Massenbilanz des Inlandeises

Akkumulation
ansteigend

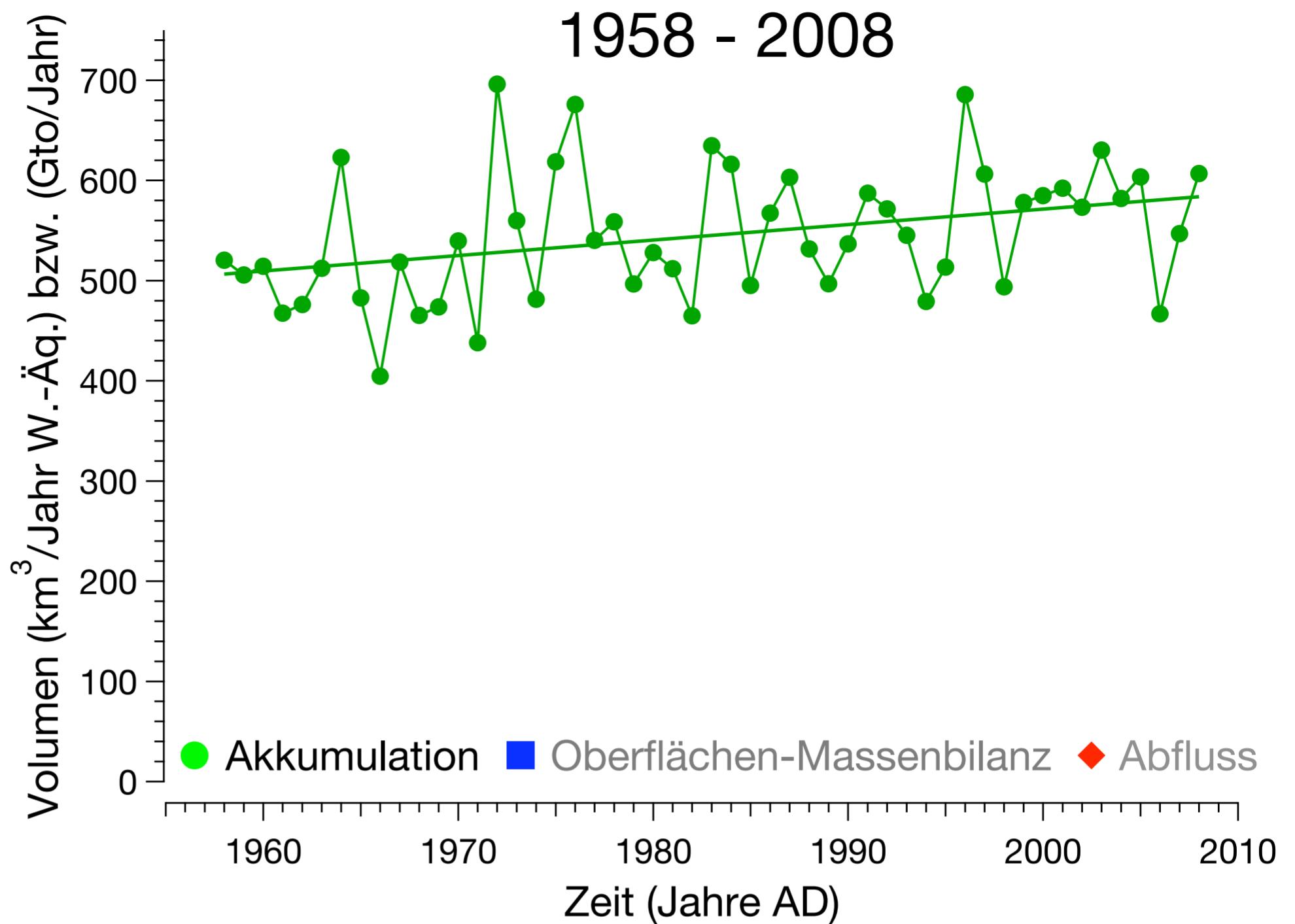


Abbildung nach Hanna et al. (2008); Daten für 2008 von Hanna (pers. Mitt.)

E. Hanna et al. (2008): Increased Runoff from Melt from the Greenland Ice Sheet:
A Response to Global Warming. *J. Climate* **21**, 331-341



4. ExtremWetterKongress, Bremerhaven, 19.-21. Februar 2009



15

Das Autorenteam Edward Hanna et al. hat versucht, eine Zeitreihe der Oberflächenmassenbilanz für das ganze Inlandeis zu berechnen und diese Ergebnisse 2008 im Journal of Climate veröffentlicht. Die Zeitreihe umfasst die Jahre 1958-2007, also die zurückliegenden fünfzig Jahre zwischen Internationalem Geophysikalischem Jahr (IGY) 1957/58 (beziehungsweise dem 3. Internationalen Polarjahr) und dem jetzt zu Ende gehenden vierten Internationalen Polarjahr 2007/2009. Für diesen Vortrag bekam ich zusätzlich noch die Werte für 2008.

Betrachten wir zuerst die berechneten Akkumulationswerte. Man erkennt, dass die Akkumulationswerte in diesen fünfzig Jahren deutlich angestiegen sind und dass große Schwankungen zwischen den einzelnen Jahren die Zeitreihe charakterisieren.

Oberflächen-Massenbilanz des Inlandeises

Akkumulation
ansteigend

Schmelz-
wasserabfluss
ansteigend

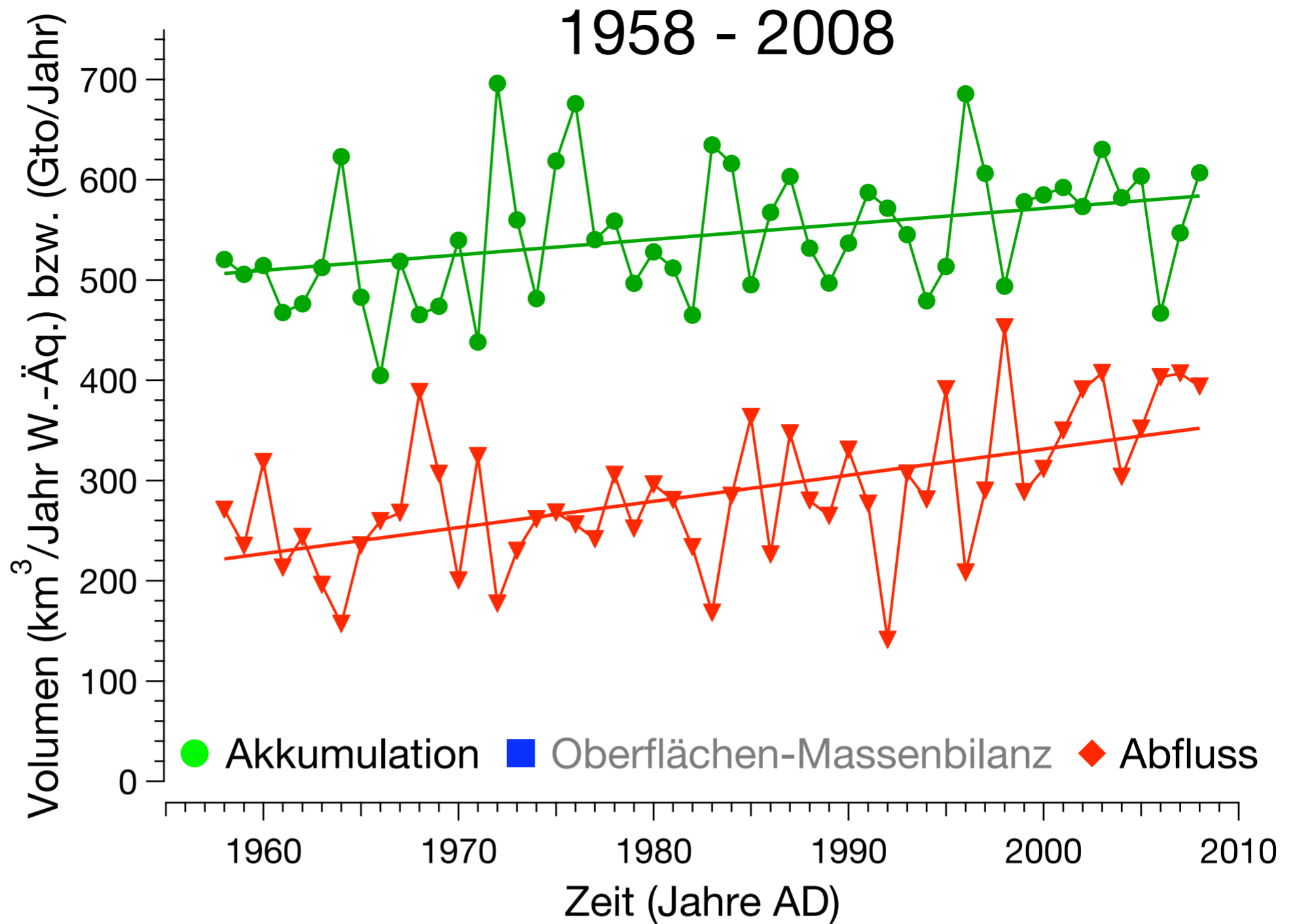


Abbildung nach Hanna et al. (2008); Daten für 2008 von Hanna (pers. Mitt.)

E. Hanna et al. (2008): Increased Runoff from Melt from the Greenland Ice Sheet:
A Response to Global Warming. *J. Climate* **21**, 331-341

Einen vergleichbaren Trend, jedoch mit etwas höherer Steigung zeigen auch die Werte für den Schmelzwasserabfluss. Hier spiegelt sich der Temperaturanstieg in der nördlichen Hemisphäre wieder.

Oberflächen-Massenbilanz des Inlandeises

Akkumulation
ansteigend

Oberflächen-
Massenbilanz
leicht
abnehmend

Schmelz-
wasserabfluss
ansteigend

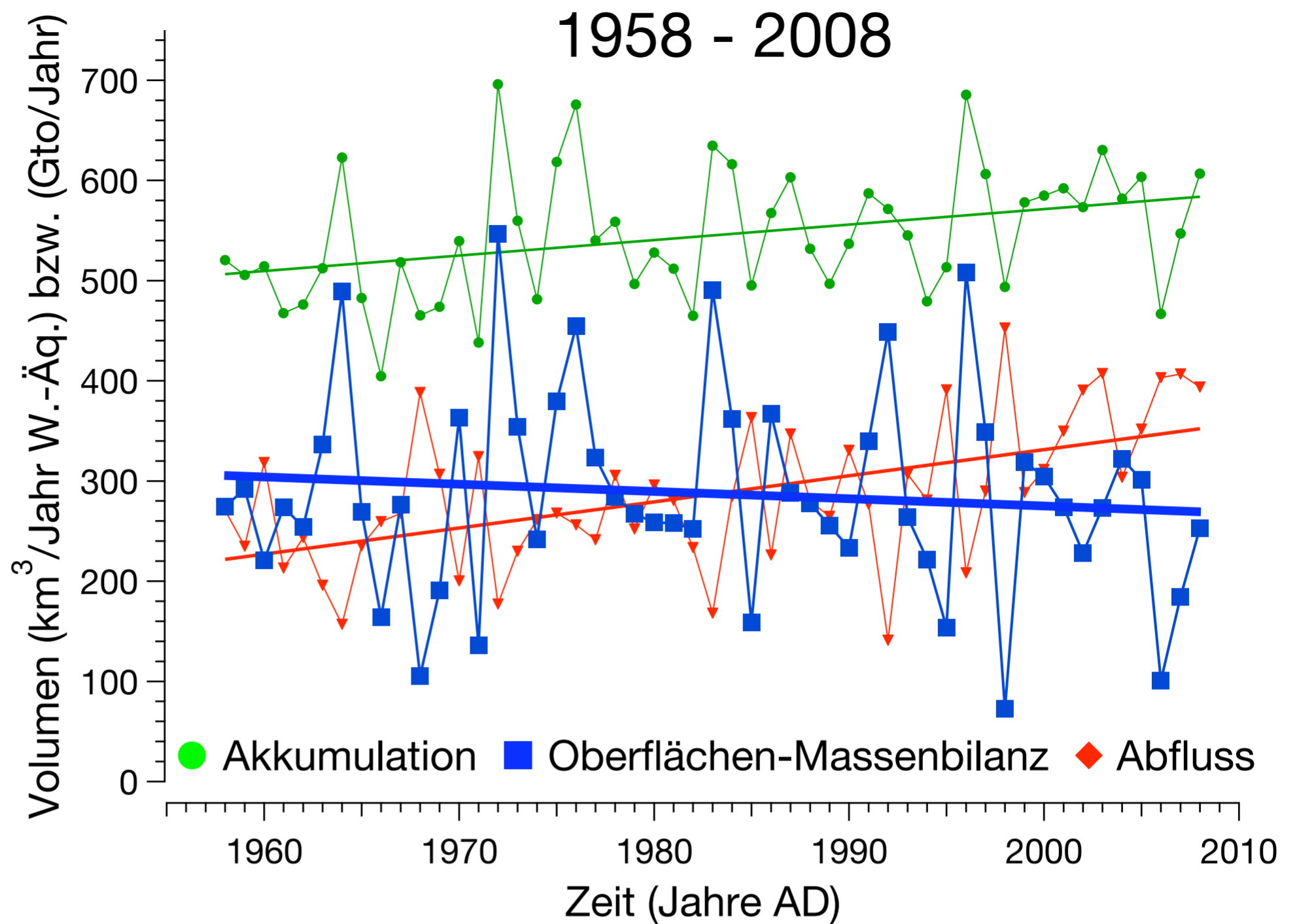
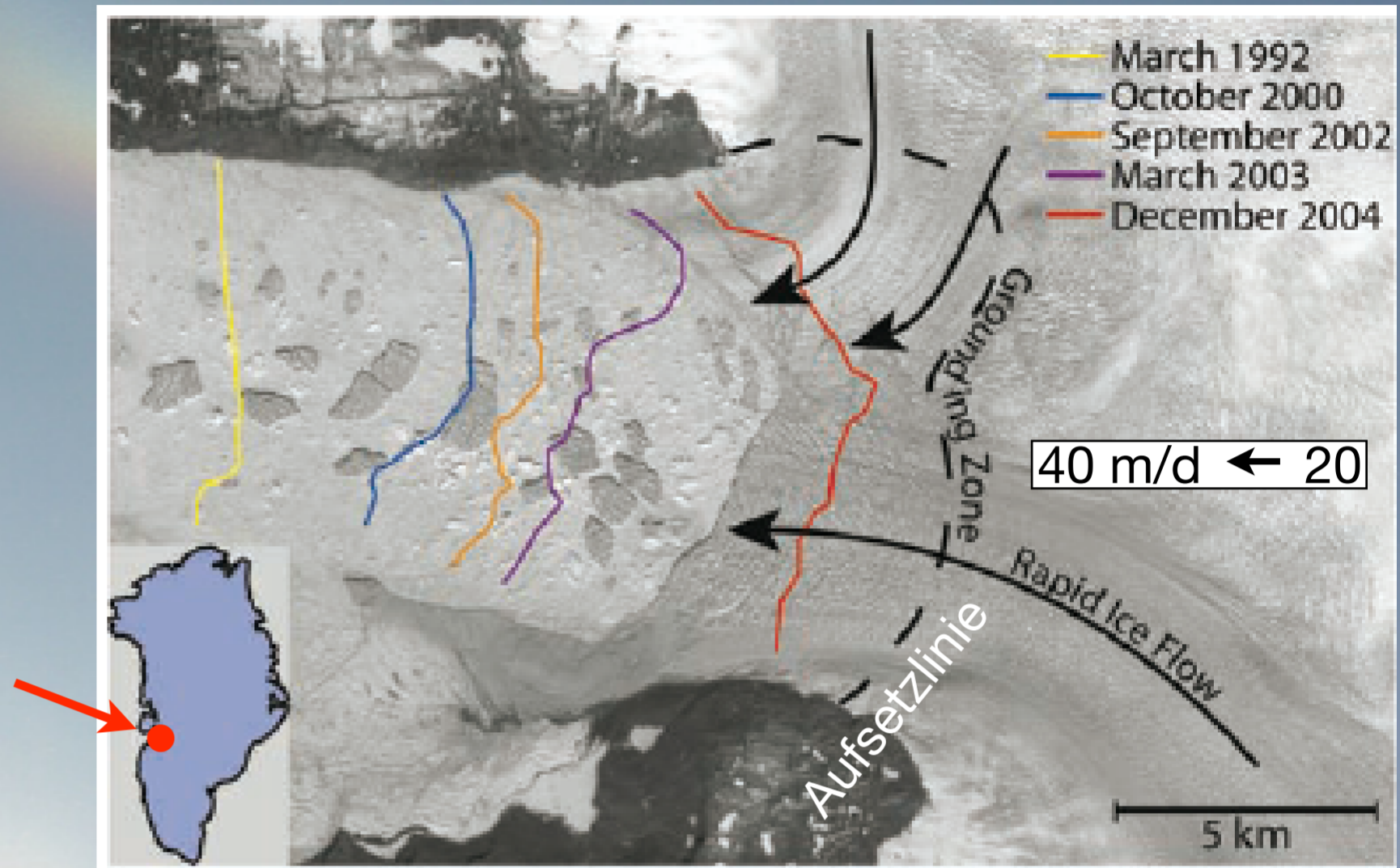


Abbildung nach Hanna et al. (2008); Daten für 2008 von Hanna (pers. Mitt.)

E. Hanna et al. (2008): Increased Runoff from Melt from the Greenland Ice Sheet:
A Response to Global Warming. *J. Climate* **21**, 331-341

Die resultierende Massenbilanz weist eine geringe Abnahme auf. Das heisst, ein Teil der gestiegenen Schmelzbeträge wurde durch zunehmende Schneeniederschläge kompensiert. Wie wir später sehen werden, sind die steigenden Abschmelzraten nicht die entscheidende Komponente für die deutlich negative Gesamtmassenbilanz des Eisschildes. Diese lässt sich erst erklären, wenn wir auch den direkten Eisabfluss ins Meer mit berücksichtigen.

Abfluss über Grounding Line oder einen anderen definierten Querschnitt aus Eismächtigkeit und Fließgeschwindigkeit

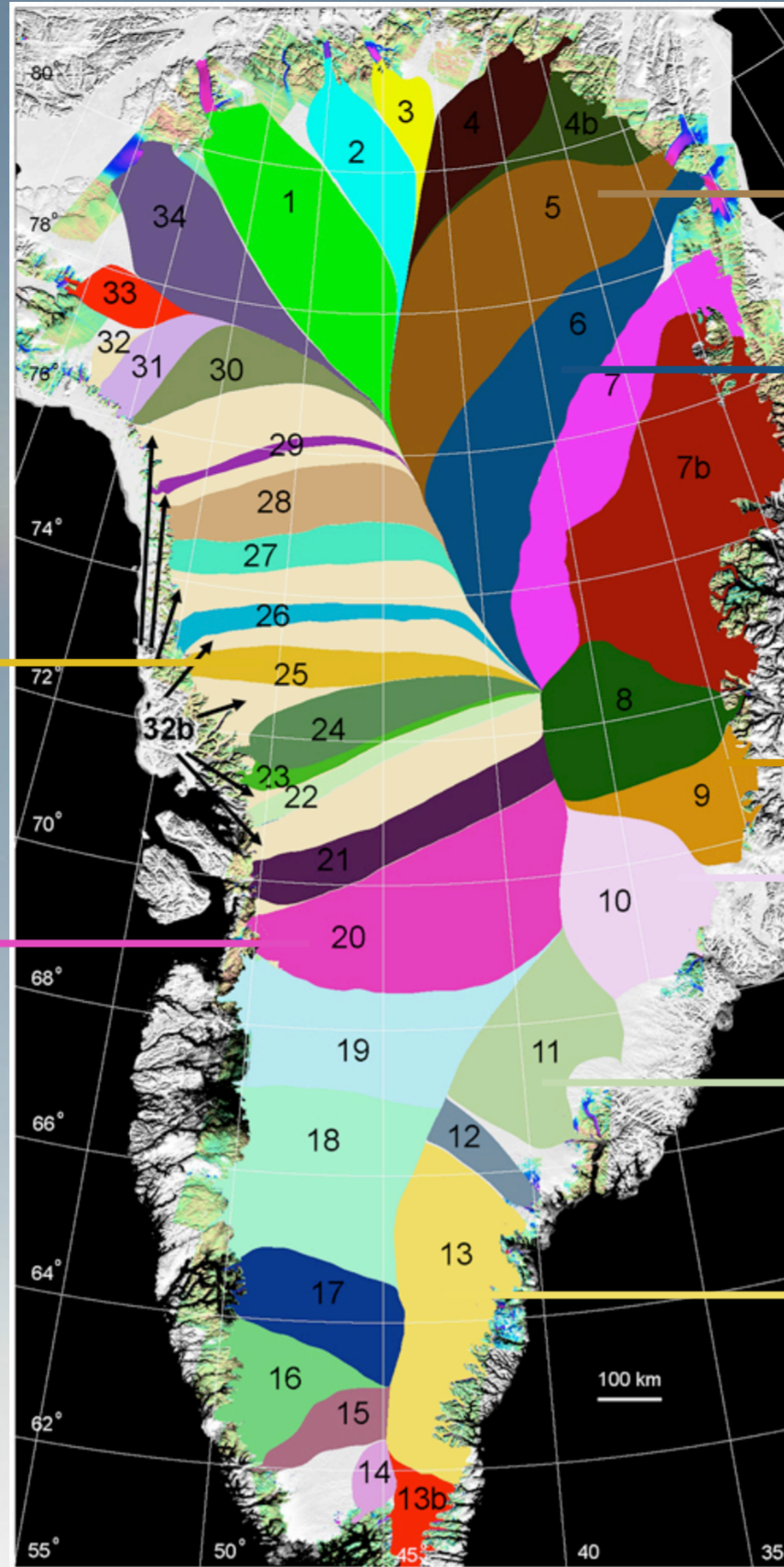


Jakobshavn Gletscher (Sermeq Kujallek)

Kommen wir jetzt also zum Verlust an Eismasse durch Abfluss von Eis über die Aufsetzlinie. In der letzten Dekade ist zu beobachten, dass einige der großen Eisströme deutlich an Geschwindigkeit zugelegt haben. Ein schönes Beispiel ist der Jakobshavn-Gletscher in Westgrönland, der seit 2002 sein Geschwindigkeit von 20 Metern pro Tag auf 40 Meter pro Tag verdoppelt hat. Entsprechend mehr Eismasse wird ins Meer abgeführt. Gleichzeitig hat sich die Kalbungsfront in dieser Zeit, durch verstärkte Produktion von Eisbergen, deutlich in Richtung Aufsetzlinie zurück verlagert.

Auch eine hochrangige deutsche Regierungsdelegation wollte sich vor zwei Jahren selbst davon überzeugen! Aber aufhalten, konnten auch sie diesen Prozess nicht.

Eisabfluss & Oberflächenmassenbilanz



79-Grad Gl.

konstant

Zachariae Isstrom

beschleunigt 1996-2007

Daugaard-Jensen Gl.

konstant

Kangerdlugssuag Gl.

beschleunigt 2002-2003, 2007

Helheim Gl.

beschleunigt 2002-2003

beschleunigt 1996-2006

Upernavik Isstrom

beschleunigt 2006-2007

Jakobshavn Gl.

beschleunigt seit 2002

Quelle: Rignot et al. (2008):
Geophys. Res. Letters, Vol. 35

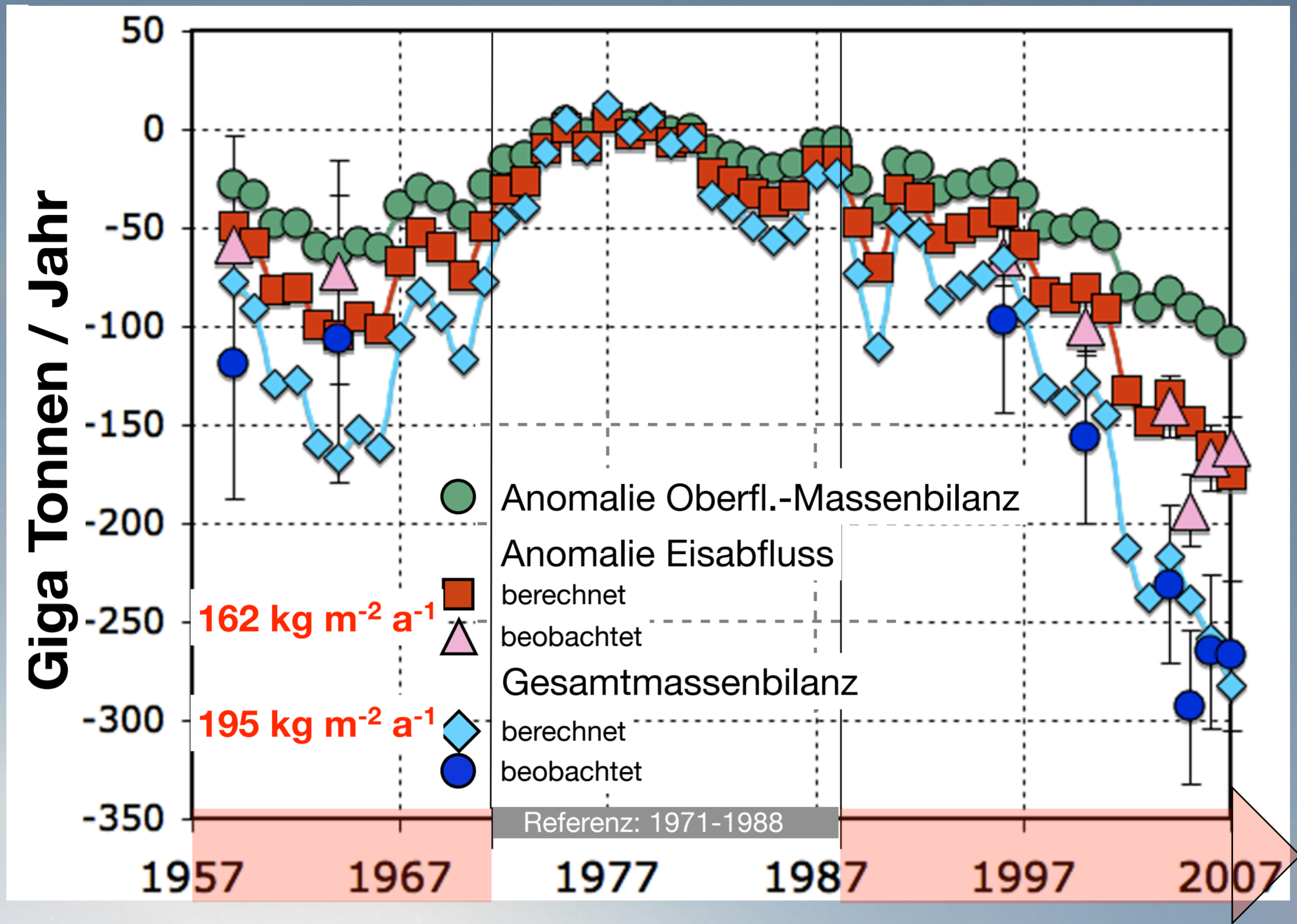
Zur dritten und letzten Frage: Schmilzt Grönland dahin?

Diese Frage lässt sich nur beantworten, wenn wir die drei einzelnen Komponenten der Massenbilanz, die ich Ihnen im bisher Gesagten vorzustellen versucht habe, nämlich Schneezutrag, Schmelzwasserabfluss und Eisabfluss gemeinsam betrachten.

Eine solche Studie haben Eric Rignot et al. im letzten Jahr 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 Kangerdlugssuag-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.

Eisabfluss & Oberflächenmassenbilanz



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

Die Ergebnisse für die gesamte Massenbilanz Grönlands sind in dieser Abbildung zusammengefasst.

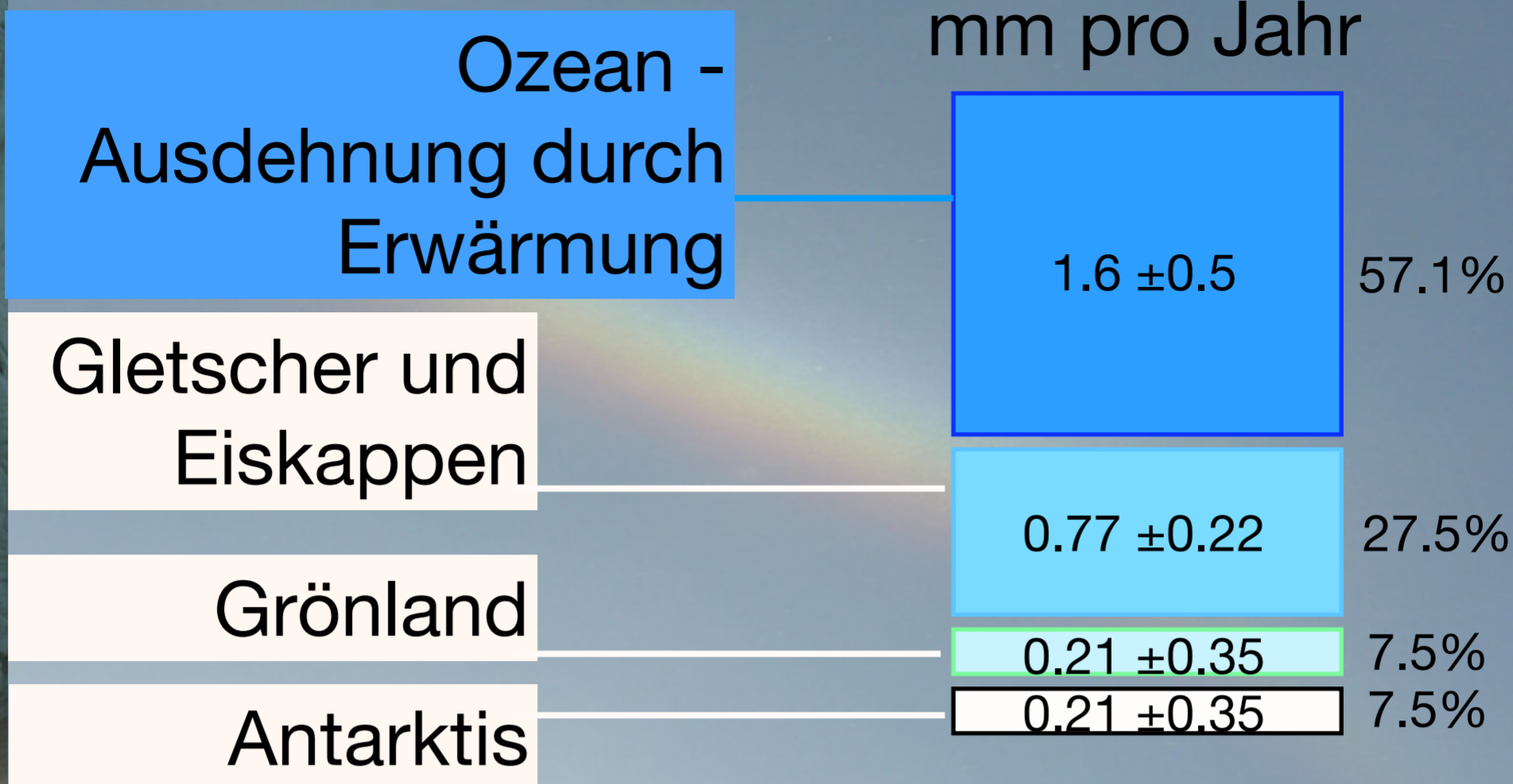
Die Oberflächenmassenbilanz, grüne Signatur, die ich bereits früher vorgestellt hatte, wird hier als Abweichung von einem Mittelwert angegeben. Für dieses Mittel wurde als Referenzzeitraum die Periode 1971-1988, in der die geringsten Schwankungen bestimmt worden waren, gewählt. Entsprechend ist der Eisabfluss 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.

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

1993-2003
mm pro Jahr



Summe: 2.8 mm pro Jahr

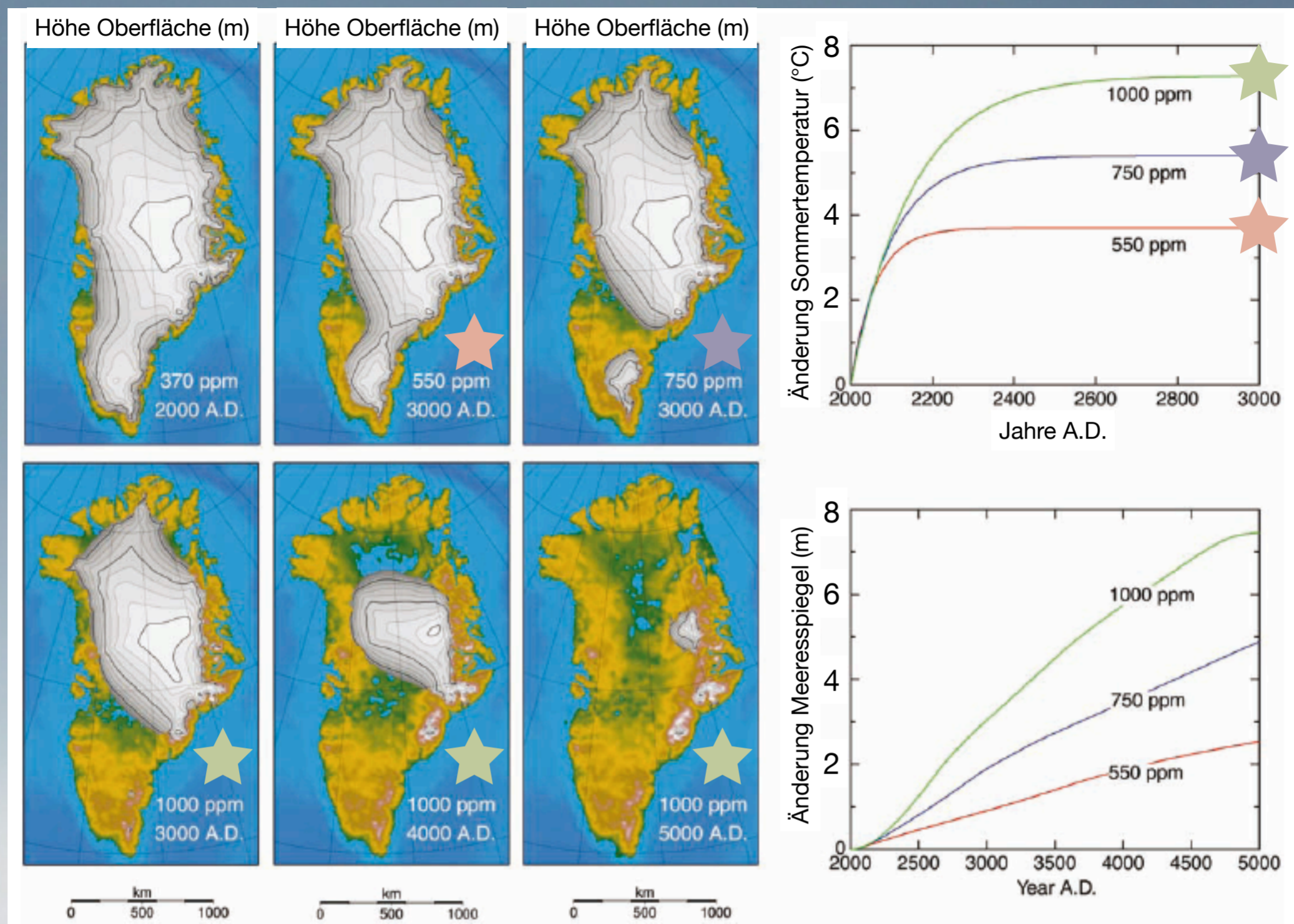


28 mm
in 10 Jahren

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

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.

Die Zukunft des Grönländischen Inlandeises



Quelle: R.B. Alley et al.: Ice-Sheet and Sea-Level Changes. Science 310, 456-460 (2006)

Wie sieht die Zukunft des Grönländischen Inlandeises aus, wenn die Lufttemperatur in der Nordhemisphäre weiter steigt? Richard Alley et al. haben dazu 2006 eine Studie im amerikanischen Wissenschaftsmagazin Science veröffentlicht. Sie verwendeten dazu verschiedene Klimaszenarien aus dem IPCC-Bericht. Die folgenden sechs Bilder zeigen die Ausdehnung des grönländischen Eisschildes unter sich ändernden Kohlendioxidgehalten in der Atmosphäre.

Zuerst der heutige Zustand. Als nächstes der Blick ins Jahr 3000 AD, unter der Annahme, dass sich der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre gegenüber dem vorindustriellen Wert von 275 ppm auf 550 ppm verdoppelt hat. Und wieder im Jahr 3000 AD, wenn er sich gegenüber heute (375 ppm) auf 750 ppm verdoppelt hätte. Wir sehen, dass jetzt der Süden über weite Flächen eisfrei wird. Dramatisch würde es, wenn der Kohlendioxidgehalt noch weiter und zwar bis auf 1000 ppm anstiege. Dann wäre im Süden bis zum Jahr 3000 AD noch mehr Eis weggeschmolzen und bis 4000 AD wäre nur noch ein kleiner Rest in Zentralgrönland vorhanden. Unter diesem Szenario, bei einer Temperaturerhöhung von über 7 Grad Celsius gegenüber heute, wäre Grönland im Jahre 5000 AD, also in 3000 Jahren eisfrei!

Der Meeresspiegel würde entsprechend steigen. Die eingangs erwähnten 7,3 Meter Meeresspiegelanstieg (resultierend aus dem grönländischen Eis) würden aber, auch unter dem widrigsten Klima-Szenario erst bis in 3000 Jahren erreicht werden. Diese Rechnungen sollen Ihnen die Zeitskalen verdeutlichen, auf denen das grönländische Inlandeis dahin schmelzen könnte.

Die Massenbilanz des grönländischen Inlandeises ist negativ, d.h. die Eismasse nimmt ab.

Die Fläche auf der Abschmelzen auftritt und der Betrag des Abschmelzens haben zugenommen, aber auch der Schneezutrag (Akkumulation).

Viele Eisströme (Gletscher) sind schneller geworden und führen deshalb mehr Eismasse ins Meer ab.

Die Zeitskala für das gesamte Abschmelzen des grönländischen Inlandeises unter den wärmsten Klimaszenarien liegt im Bereich von Jahrtausenden.

Eisrand Kronprins Christian Land, NO-Grönland

Meine Damen und Herren,

lassen Sie mich zum Schluss die vorgestellten Ergebnisse zusammenfassen:

Die derzeitige Massenbilanz des grönländischen Inlandeises ist negativ, d.h. die Eismasse nimmt ab.

Die Fläche auf der Abschmelzen auftritt und der Betrag des Abschmelzens haben zugenommen, aber auch der Schneezutrag (Akkumulation).

Viele Eisströme (Gletscher) sind schneller geworden und führen deshalb mehr Eismasse ins Meer ab.

Die Zeitskala für das gesamte Abschmelzen des grönländischen Inlandeises unter den wärmsten Klimaszenarien liegt im Bereich von Jahrtausenden.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



foto: hans oerter, 1993

Eisrand Kronprins Christian Land, NO-Grönland



4. ExtremWetterKongress, Bremerhaven, 19.-21. Februar 2009



24

Meine Damen und Herren,
ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit.