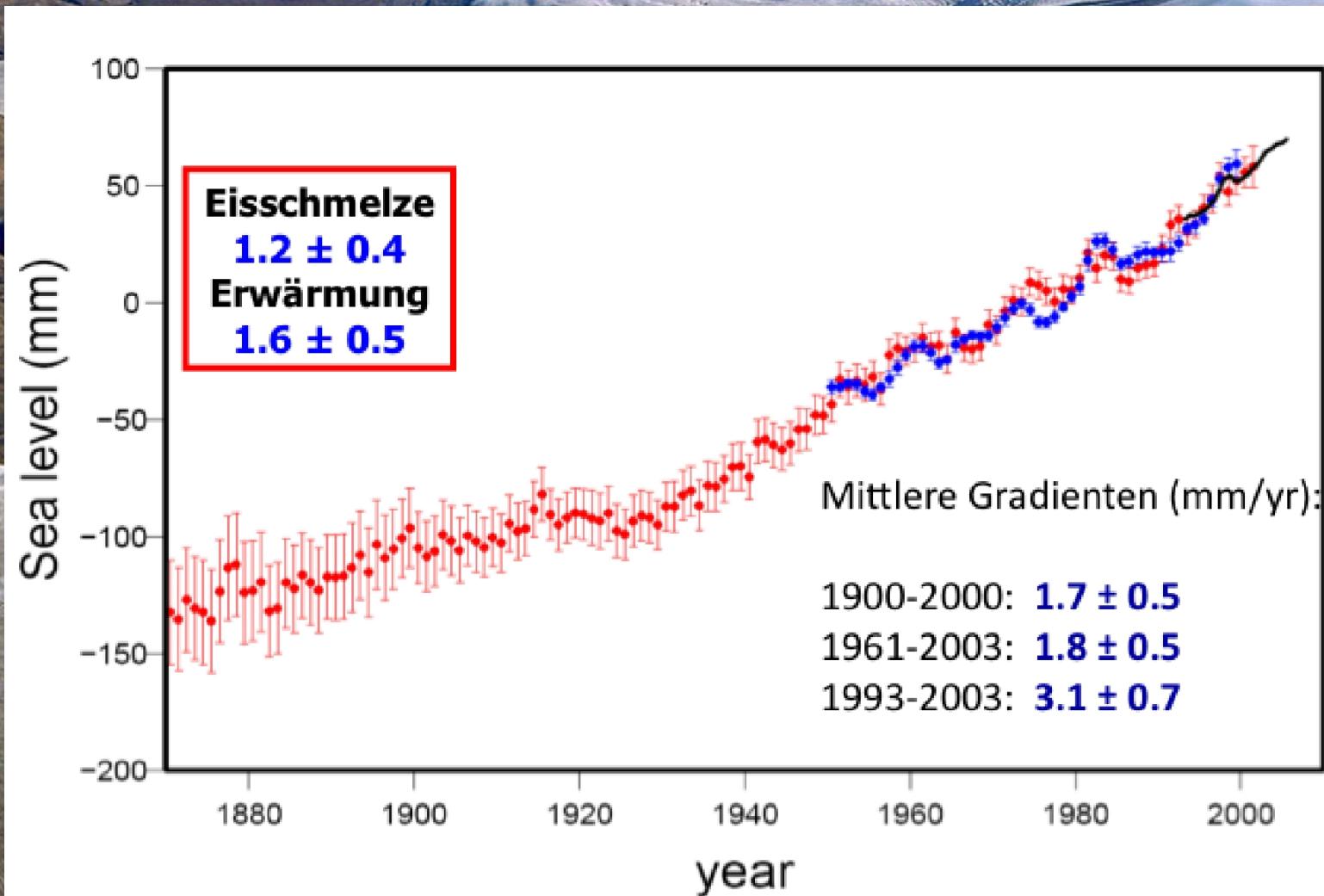
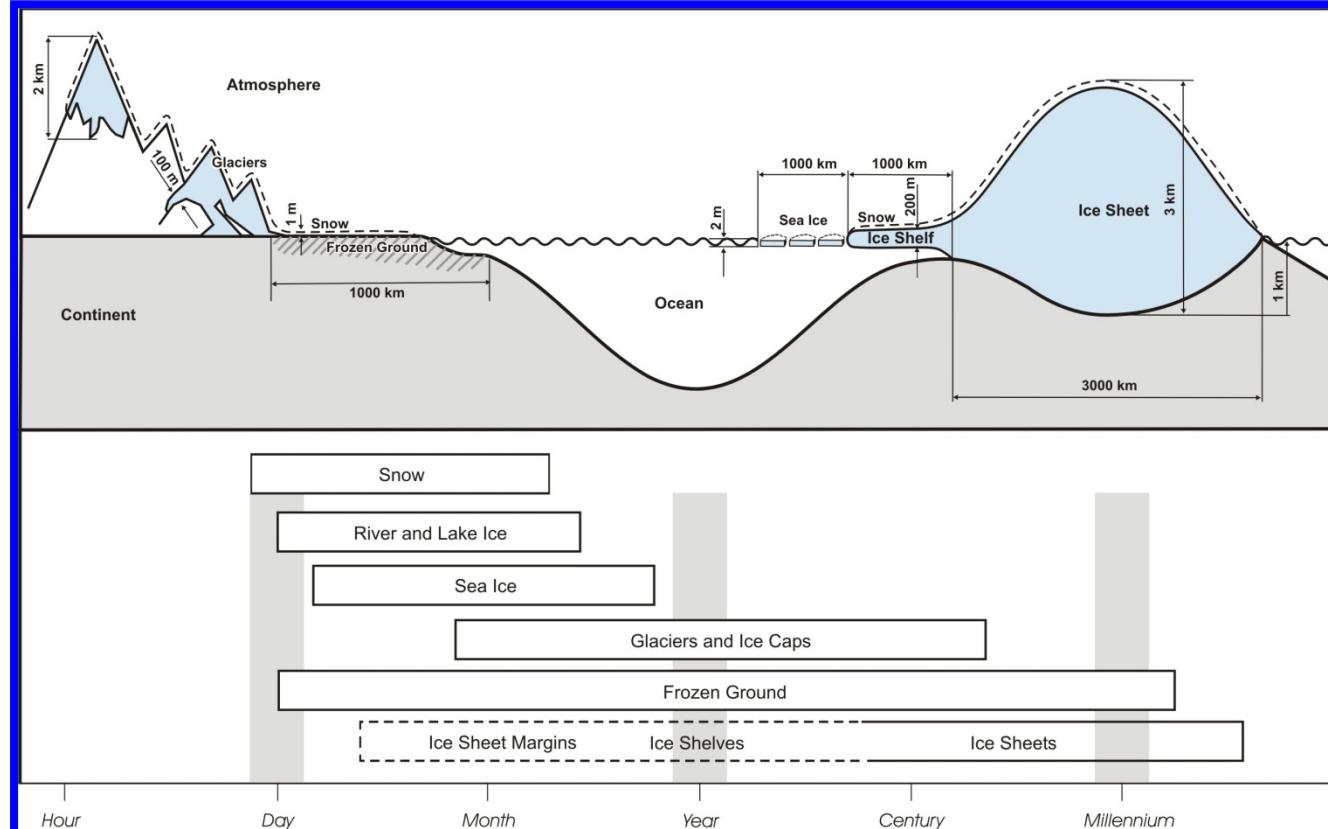


# Eismassenbilanzen und Meeresspiegelanstieg – was erwartet uns im 21. Jahrhundert ?

Heinrich Miller





## Komponenten n der Kryosphäre

Komponenten der Kryosphäre	Fläche (10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup> )	Eisvolumen (10 <sup>6</sup> km <sup>3</sup> )	Meeresspiegel-Äquivalent (SLE) (m)
Schnee auf Kontinenten (NH)	1.9 ~ 45.2	0.0005 ~ 0.005	0.001 ~ 0.01
Meereis	19 ~ 27	0.019 ~ 0.025	~0
Gletscher und Eiskappen	0.51 (0.54)	0.05 (0.13)	0.15 (0.37)
Schelfeis	1.5	0.7	~0
Eisschilde Grönland Antarktis	14.0 1.7 12.3	27.6 2.9 24.7	63.9 7.3 56.6
Saisonaler gefrorener Boden (NH) Permafrost (NH)	5.9 ~ 48.1 22.8	0.006 ~ 0.065 4.5	~0 0.03–0.10

## Ausdehnung Volumen

Lemke et al., 2007;  
IPCC AR4, Ch. 4

# Beitrag des Eises zum Anstieg des Meeresspiegels

**Table SPM-1.** Observed rate of sea level rise and estimated contributions from different sources. {5.5, Table 5.3}

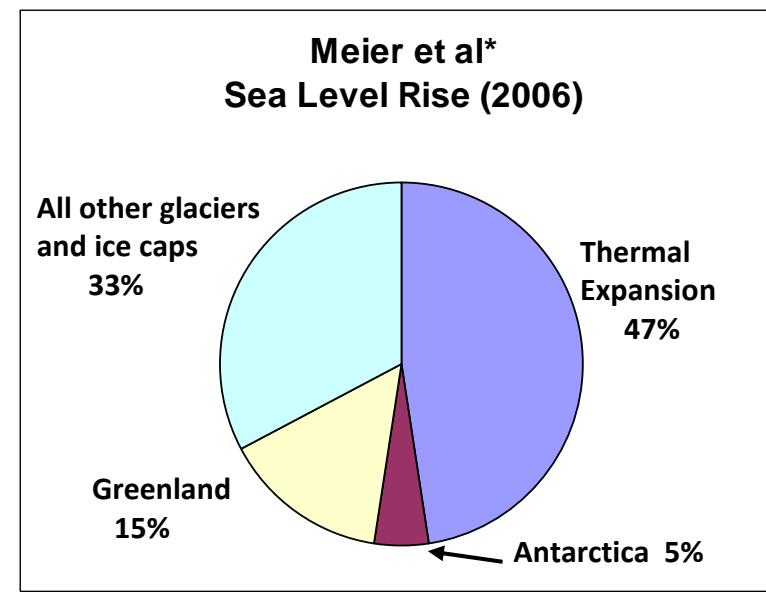
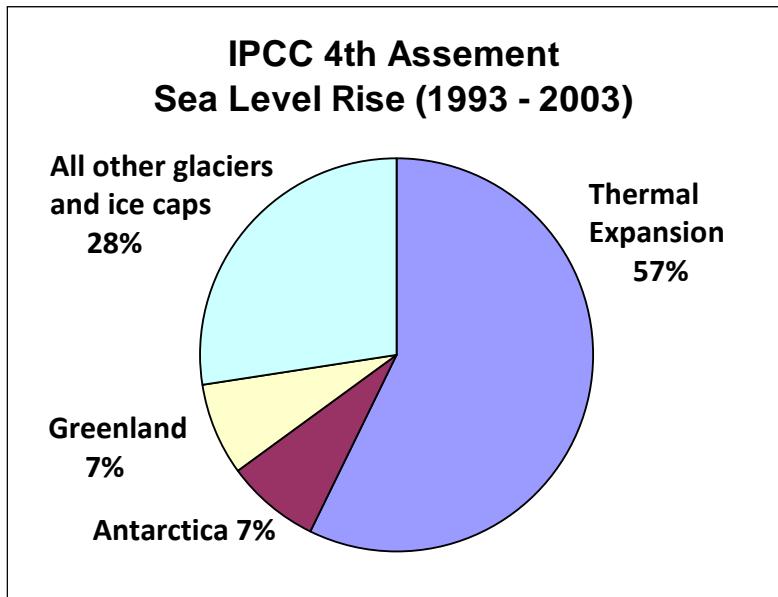
Source of sea level rise	Rate of sea level rise (mm per year)	
	1961 – 2003	1993 – 2003
Thermal expansion	$0.42 \pm 0.12$	$1.6 \pm 0.5$
Glaciers and ice caps	$0.50 \pm 0.18$	$0.77 \pm 0.22$
Greenland ice sheet	$0.05 \pm 0.12$	$0.21 \pm 0.07$
Antarctic ice sheet	$0.14 \pm 0.41$	$0.21 \pm 0.35$
Sum of individual climate contributions to sea level rise	$1.1 \pm 0.5$	$2.8 \pm 0.7$
Observed total sea level rise	$1.8 \pm 0.5^a$	$3.1 \pm 0.7^a$
Difference (Observed minus sum of estimated climate contributions)	$0.7 \pm 0.7$	$0.3 \pm 1.0$

Table note:

<sup>a</sup> Data prior to 1993 are from tide gauges and after 1993 are from satellite altimetry.

31 cm/100 Jahre

## Beitrag des Eises zum Anstieg des Meeresspiegels



Es gibt noch große Unsicherheiten: **Warum ist das so?**

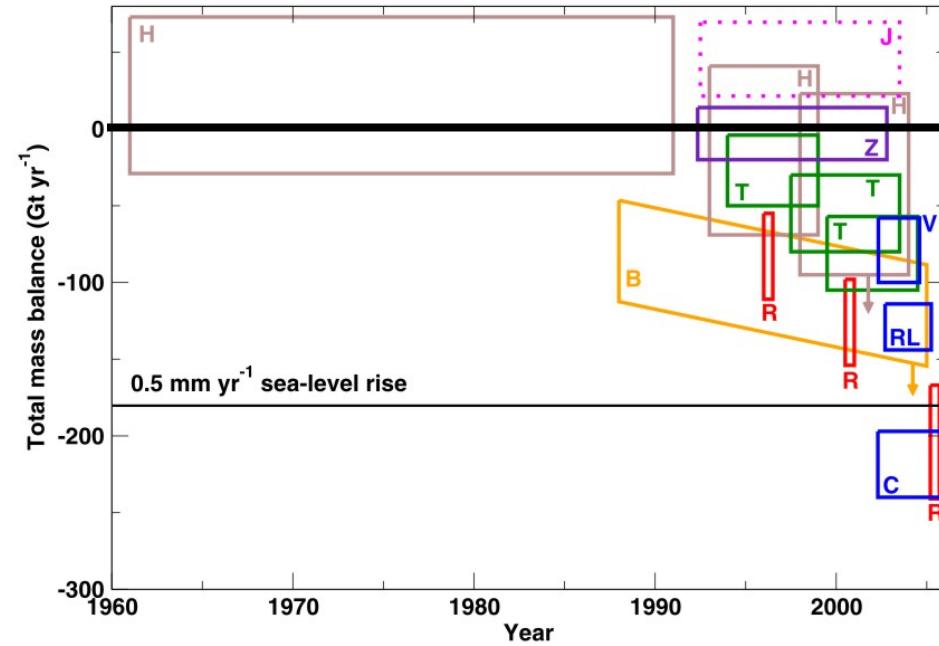
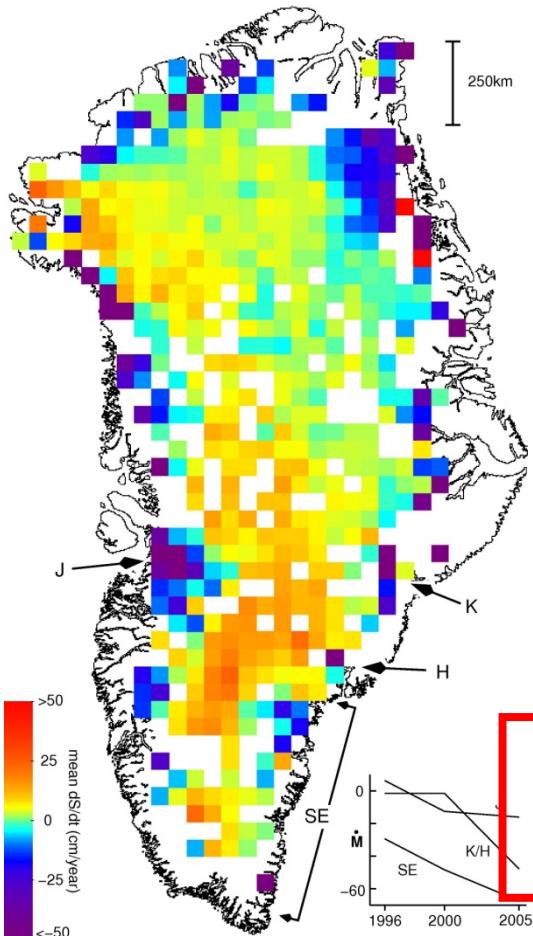
Berechneter SLR, IPCC AR4:  $2.8 \pm .7 \text{ mm/yr}$

Beitrag des Eises, IPCC:  $1.2 \pm .4 \text{ mm/yr}$

Beitrag des Eises, Meier et al:  $1.8 \pm .5 \text{ mm/yr}$

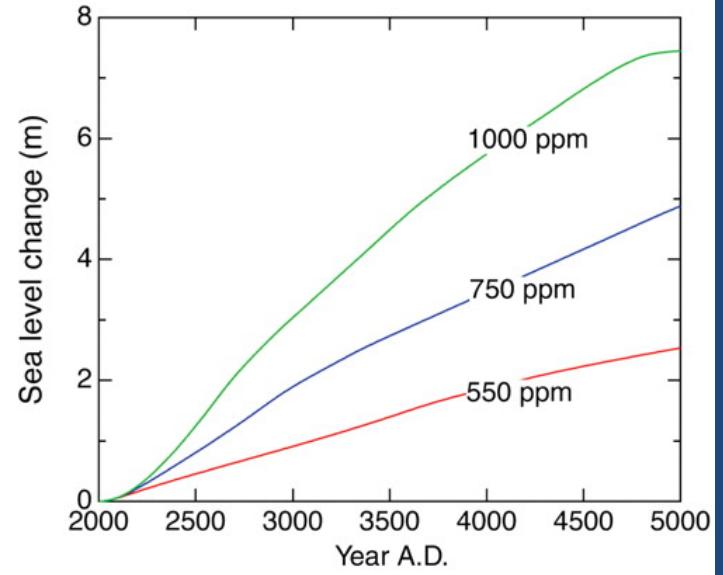
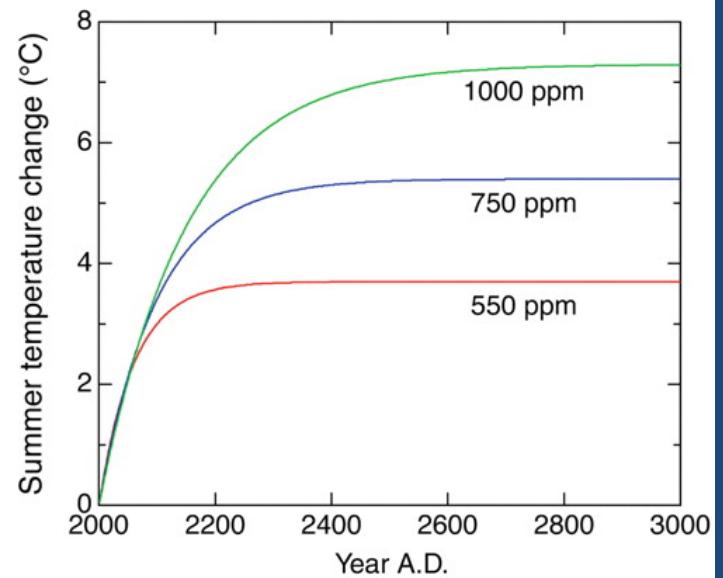
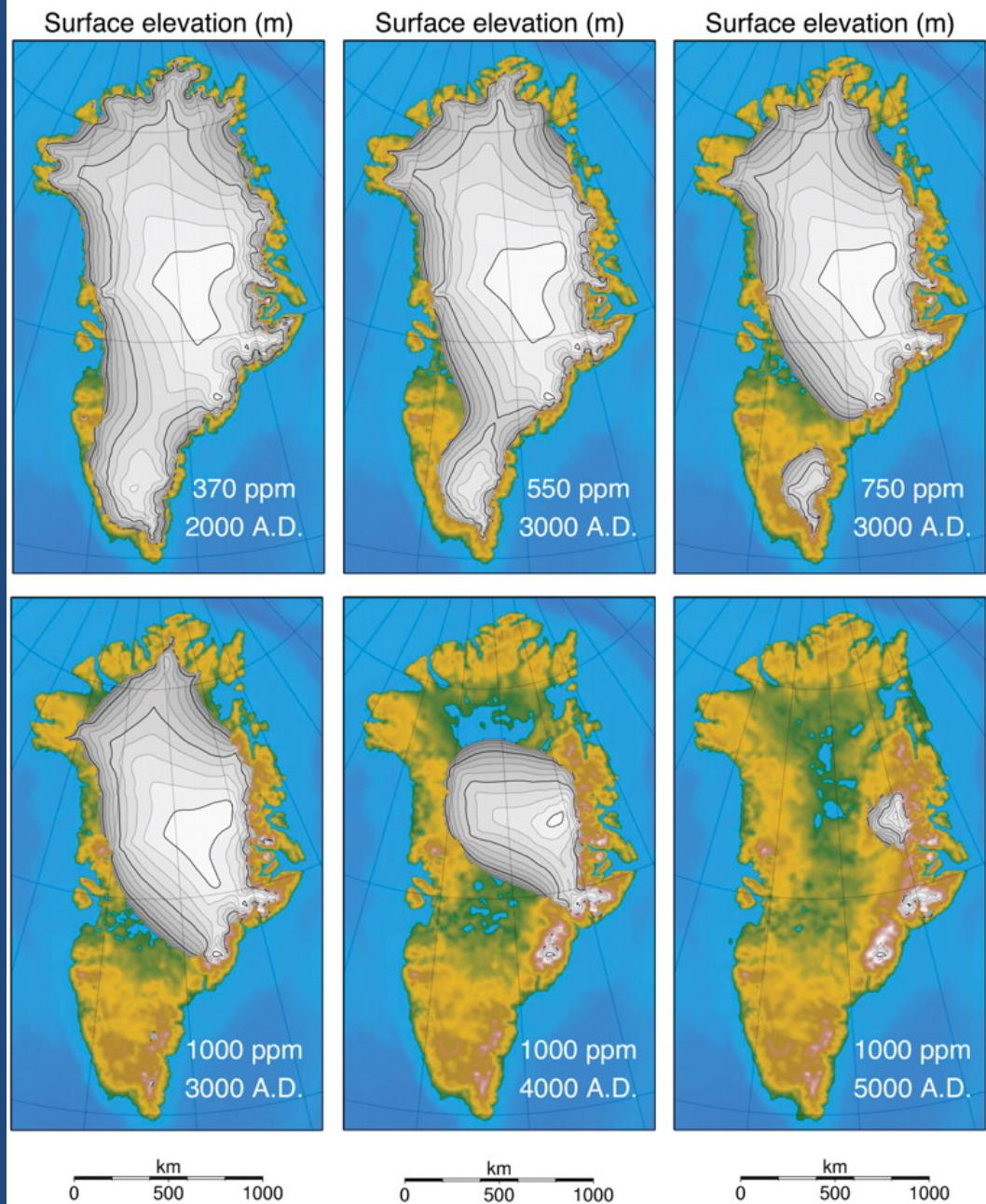
\*Meier et al, *Science*, 21 July, 2007  
Small Glaciers Dominate Sea Level  
Rise in the 21<sup>st</sup> Century

# Grönländischer Eisschild schrumpft



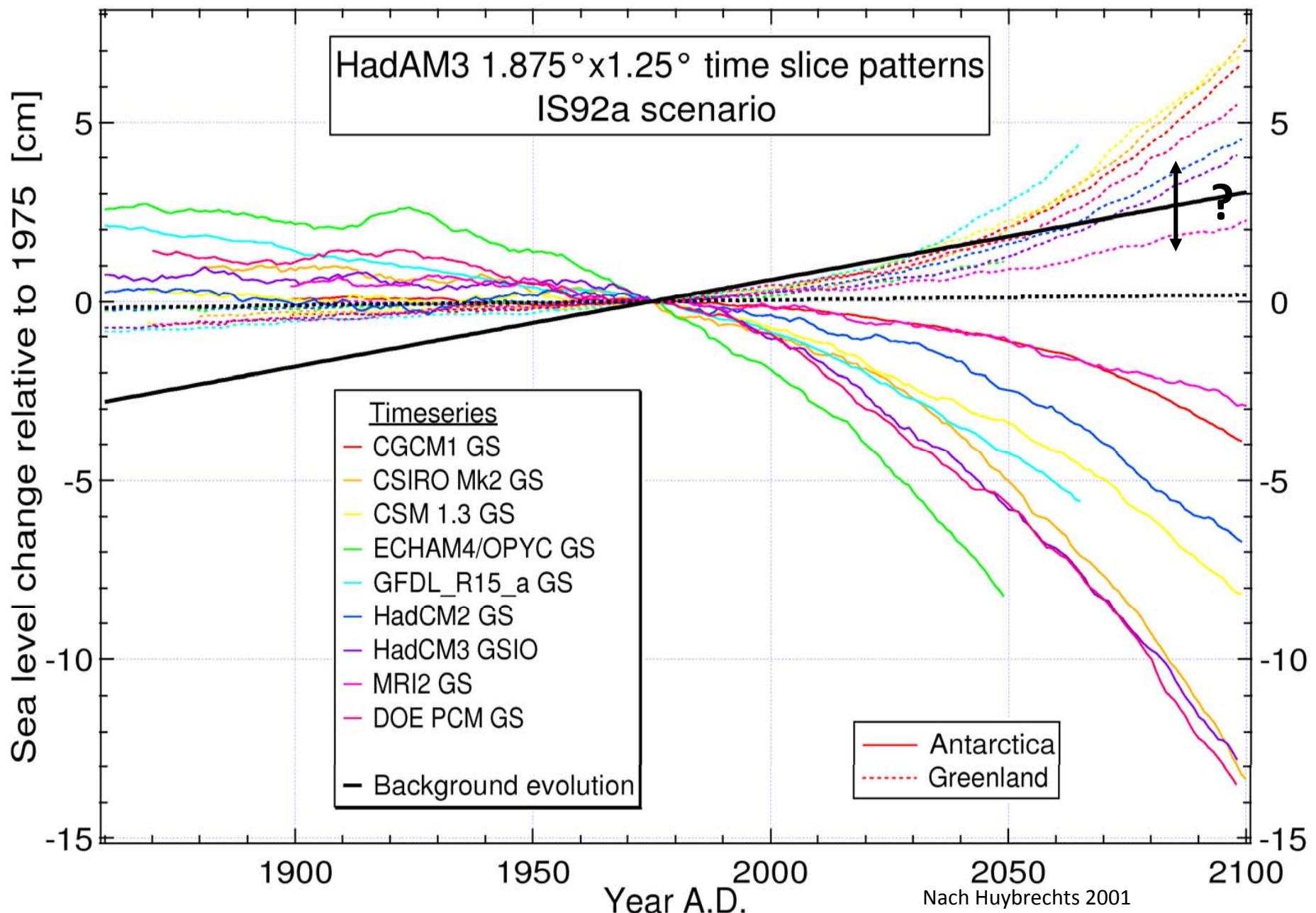
Grönlands Massenverlust steigt durch  
Gletscherabfluss und Schmelzen

Grönland gewinnt Masse im Inneren, aber  
verliert mehr am Rand



From: Alley, Clark, Huybrechts & Joughin, Science, Vol.310, 21. Oct. 2005

# Beitrag der Eisschilde zur globalen Meeresspiegeländerung



# Massenbilanz

Bilanz = Gewinn/Verlustrechnung = (Zutrag – Verlust) im Haushaltsjahr [Massengröße]

Zutrag: Niederschlag als Schnee (verblieben am Ende des Haushaltjahres)

Verlust: Abschmelzen an der Oberfläche

Abschmelzen an der Unterseite (sowohl auf festem Untergrund wie auch bei schwimmenden Eiszungen, Eisschelfen)

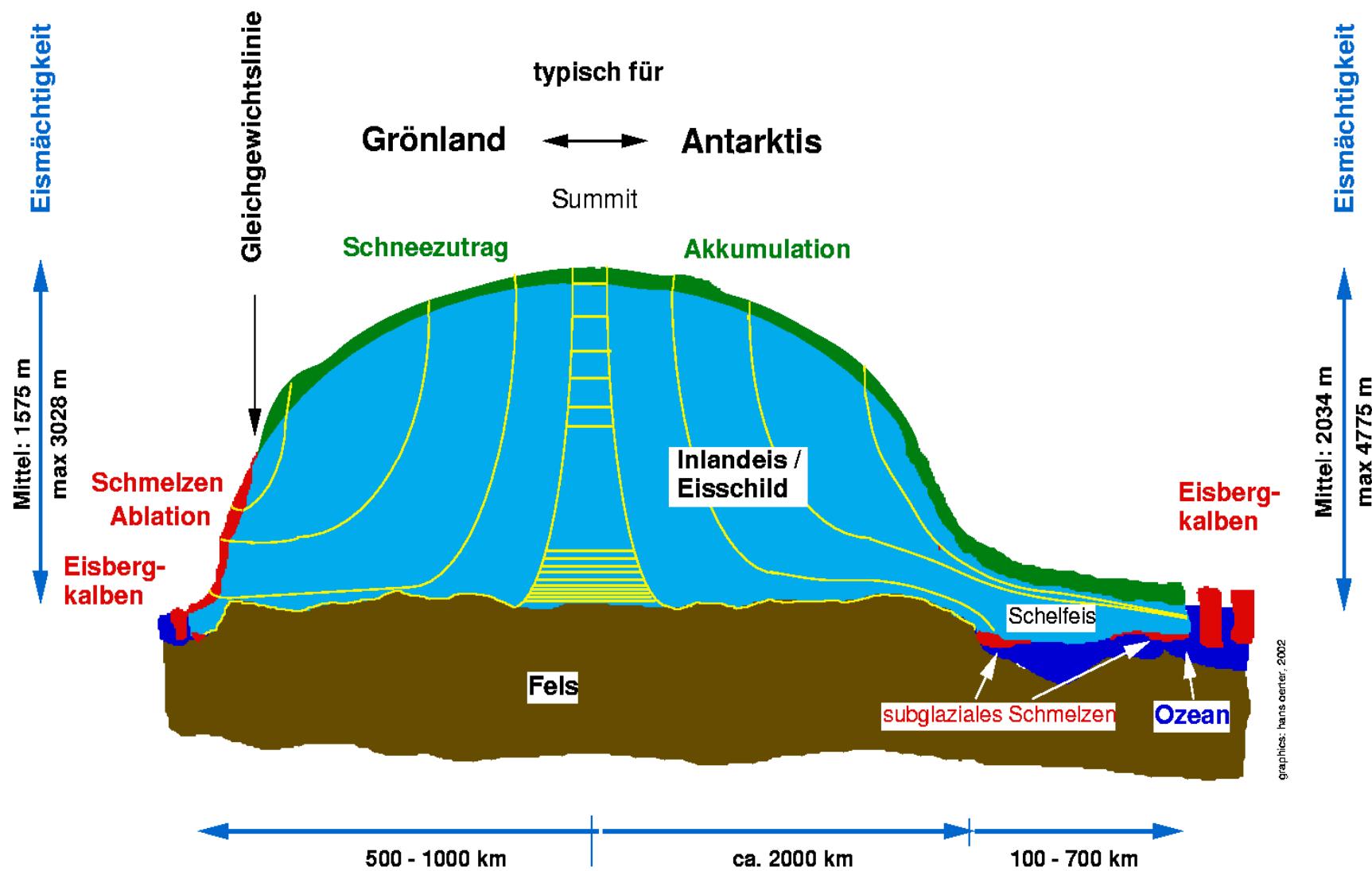
Eisbergkalbung (eng mit Dynamik verbunden)

Zu beachtende Begriffe: Akkumulationsgebiet

Ablationsgebiet

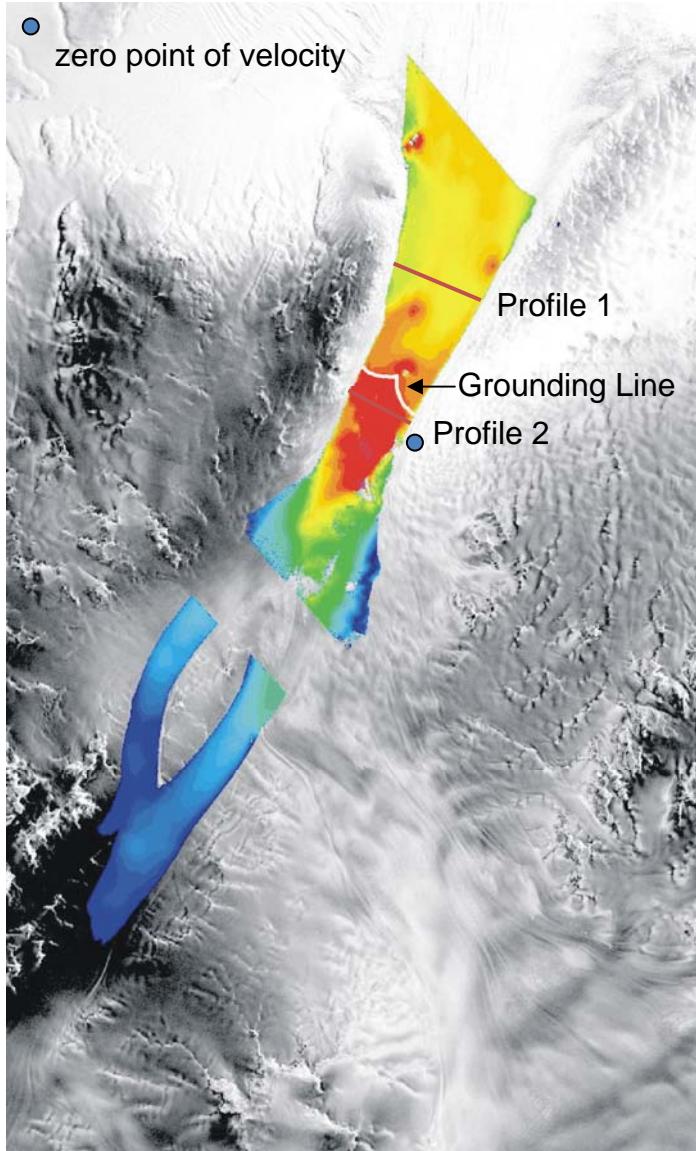
Gleichgewichtslinie

Altschneelinie



graphics: hans cünter, 2002

## Mass flow of Jutulstraumen Glacier Dronning Maud Land, Antarctica



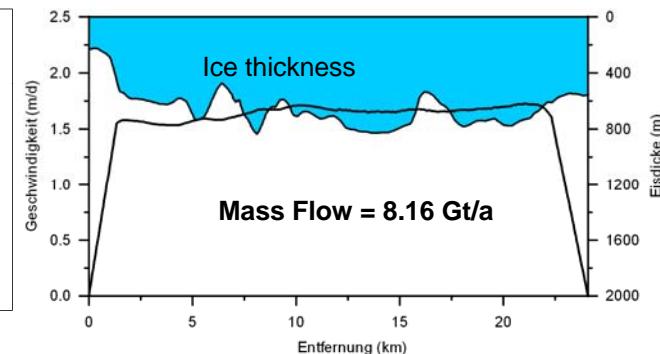
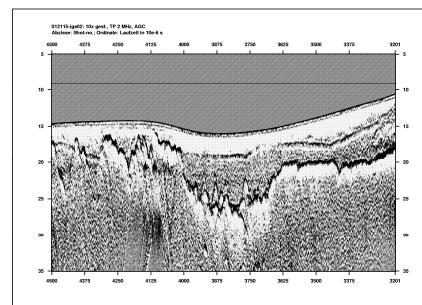
Polar 2

- Ice thickness
- Grounding line

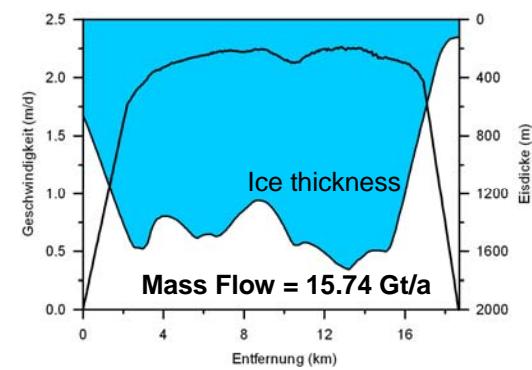
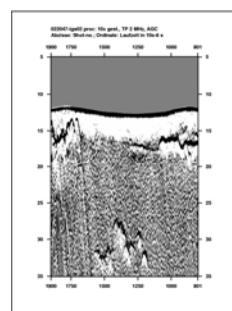
ERS-1/2

- Ice velocity
- Grounding line

Ice Shelf:



Grounded Ice:

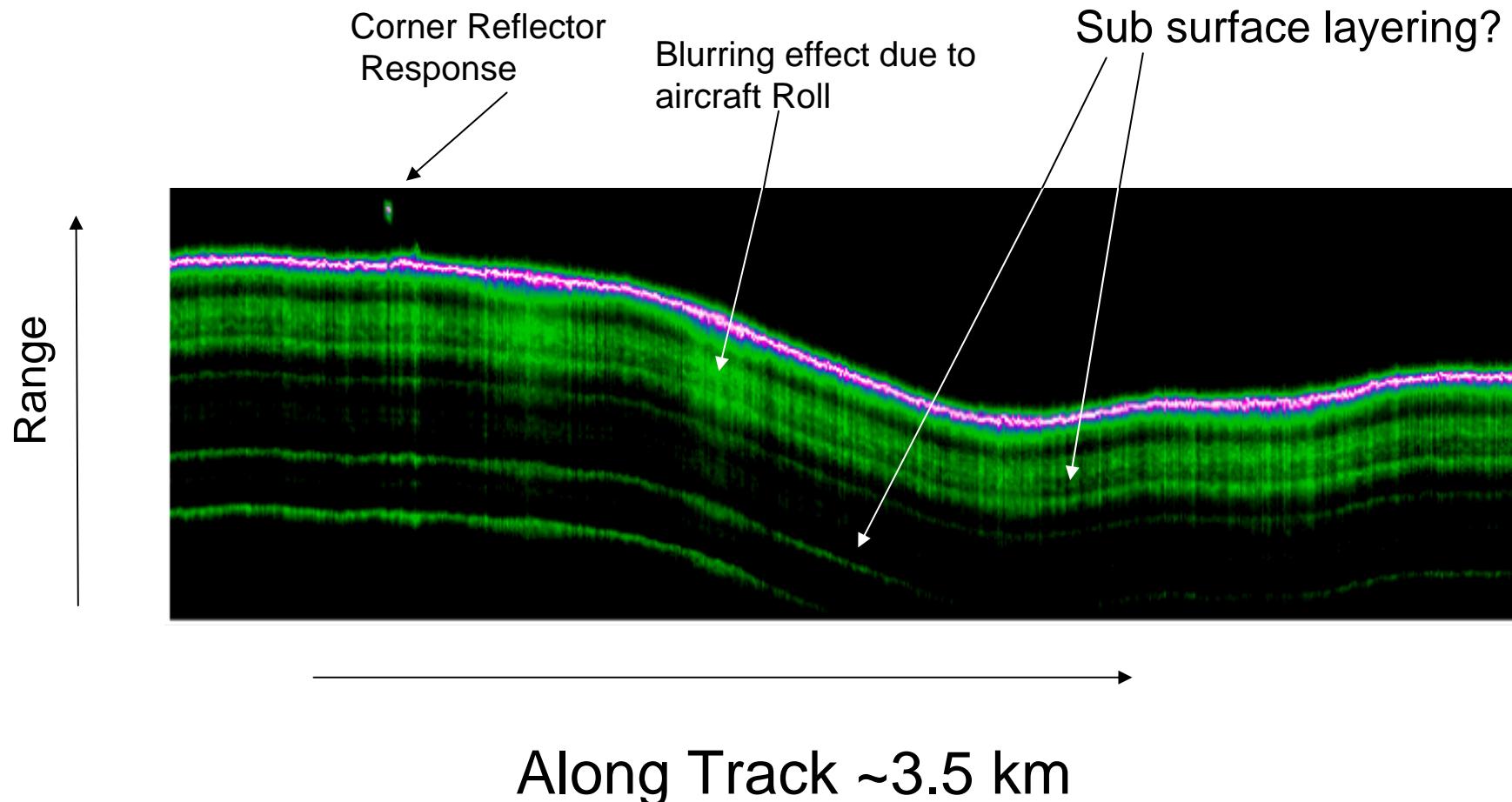


# ASIRAS preliminary results Project Status

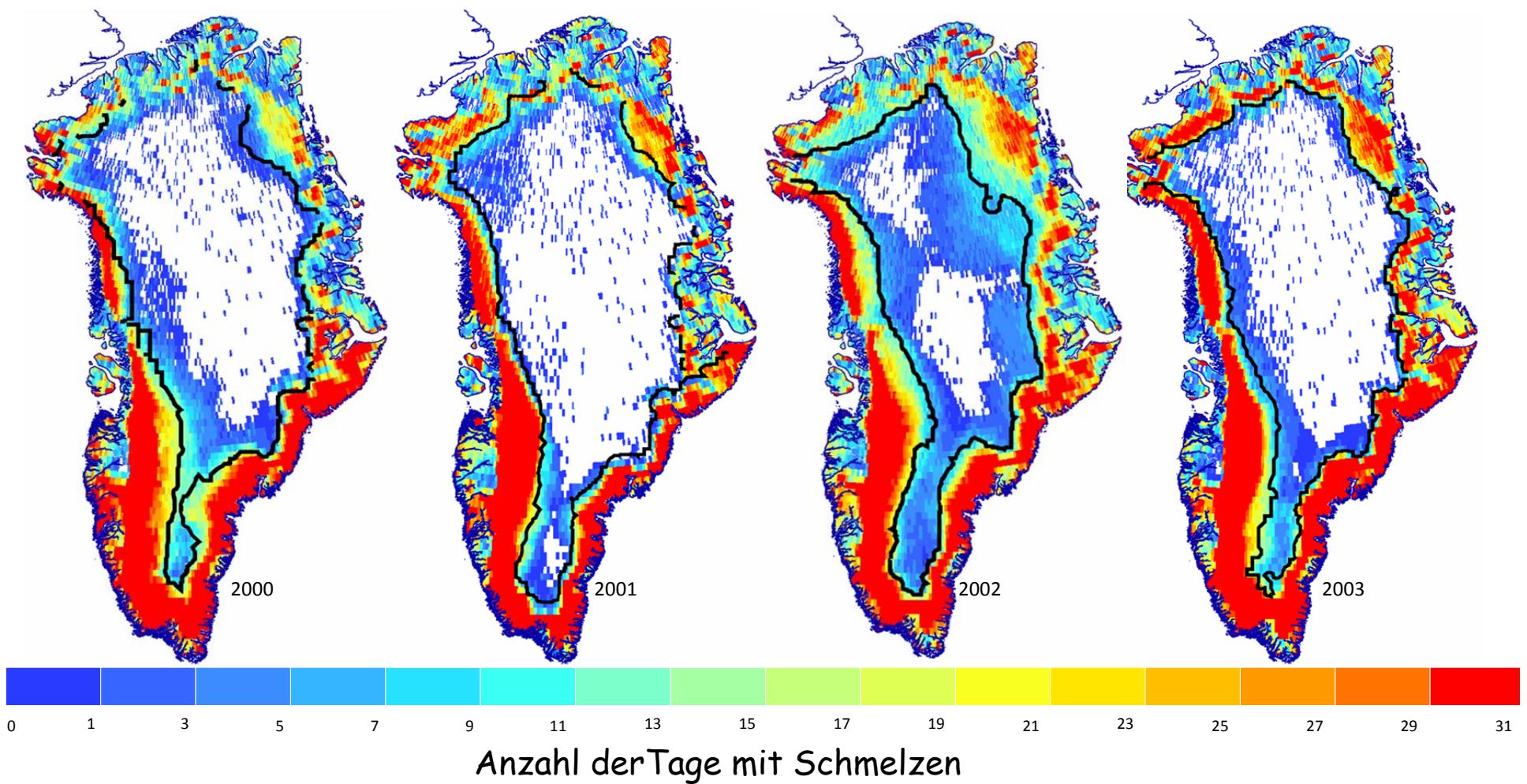


Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research  
Bremerhaven, Germany

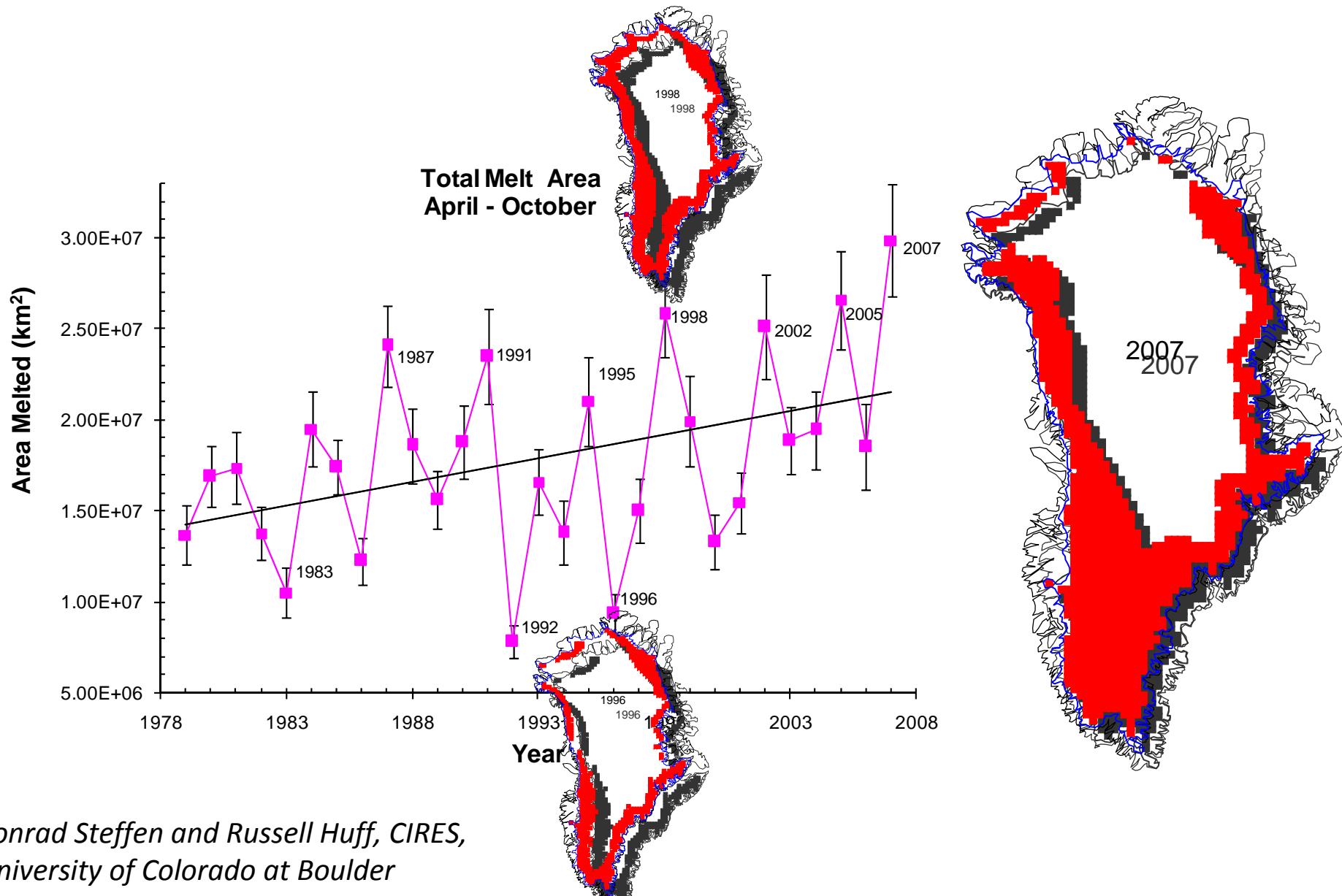
## Level 1b Power Echoes - Peak Power (Normalised)

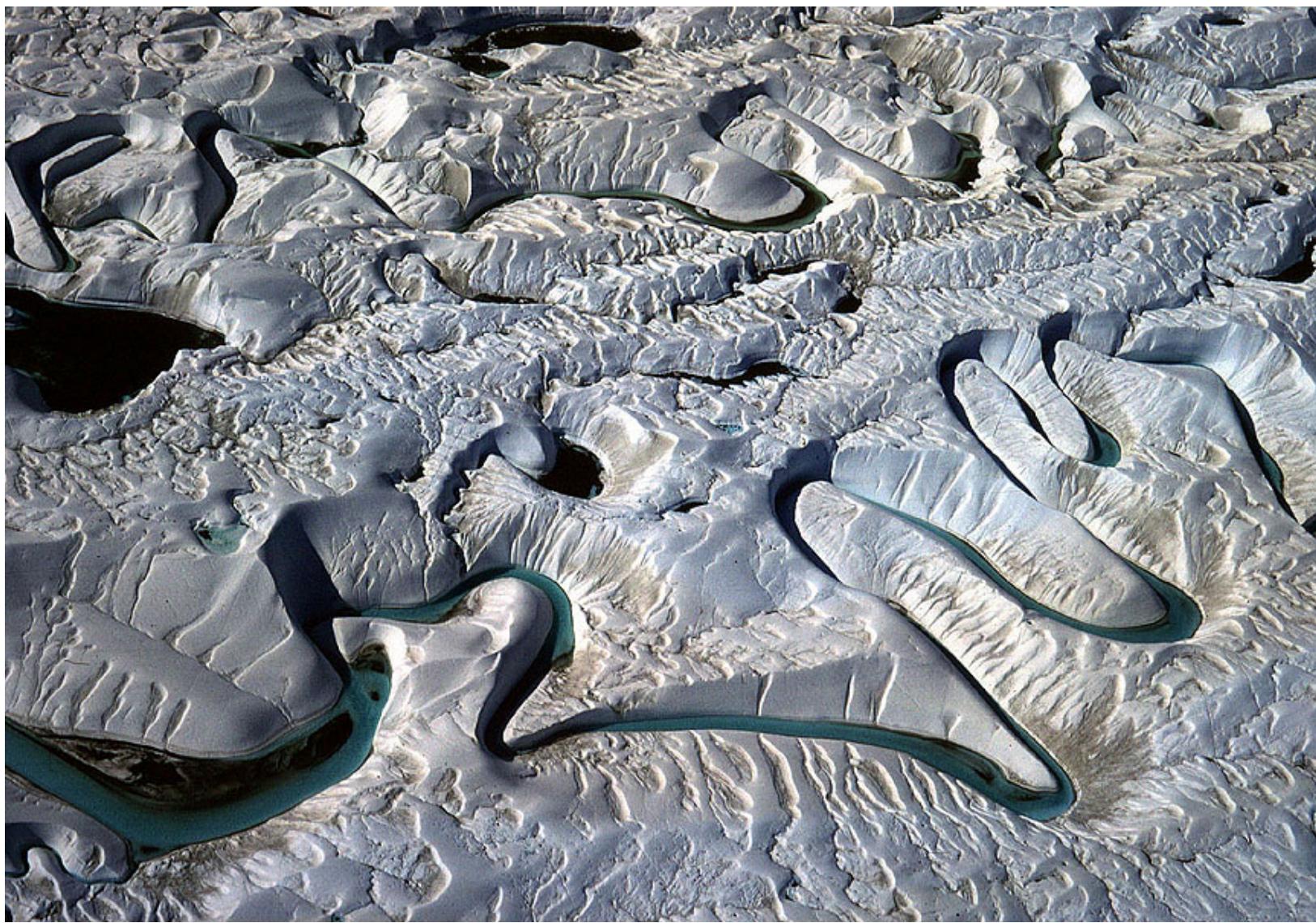


# QuikSCAT derived Melt Area Extent in Summer 2000 - 2003



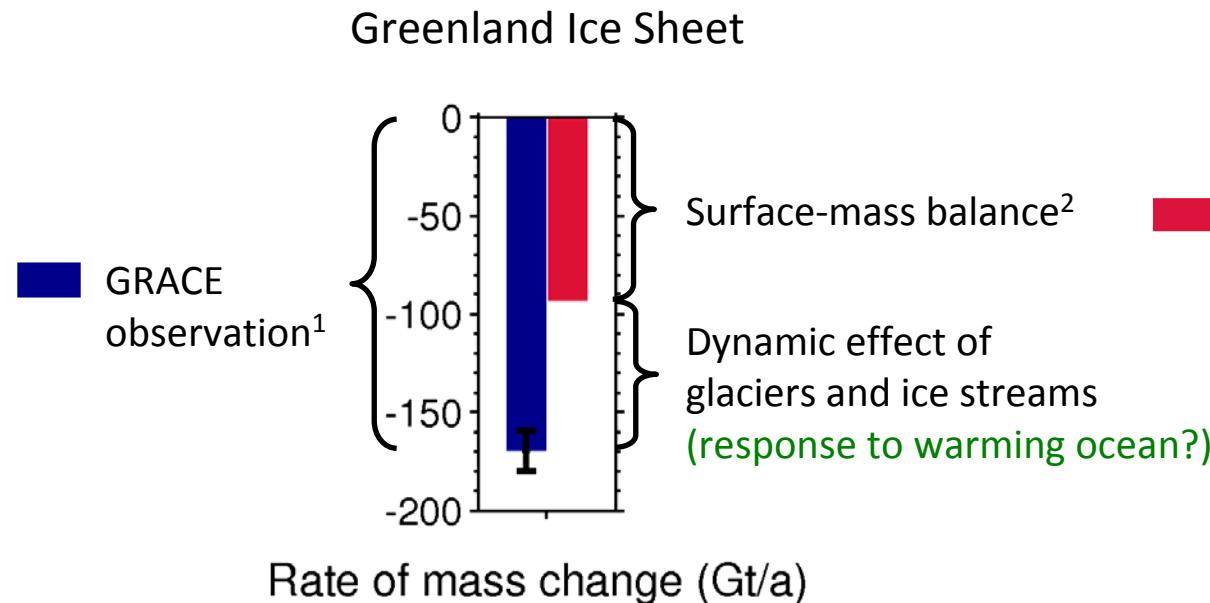
# Flächenanteil Grönlands mit Schmelzen-







# Sources of ice-mass imbalance

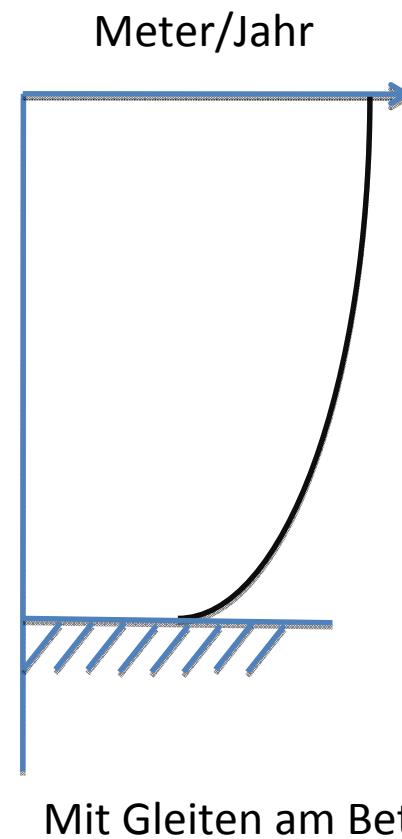
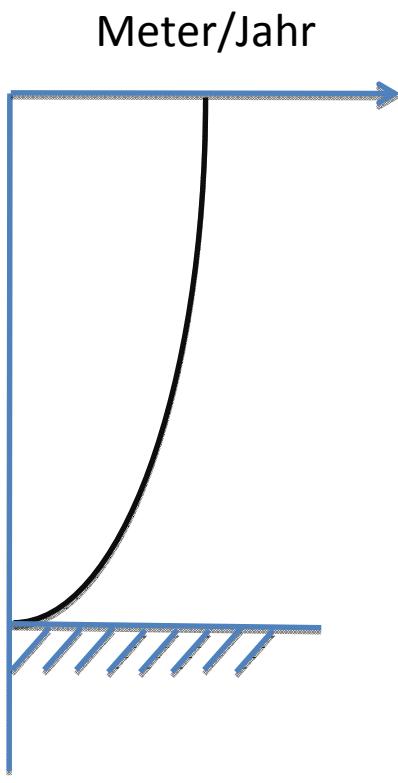


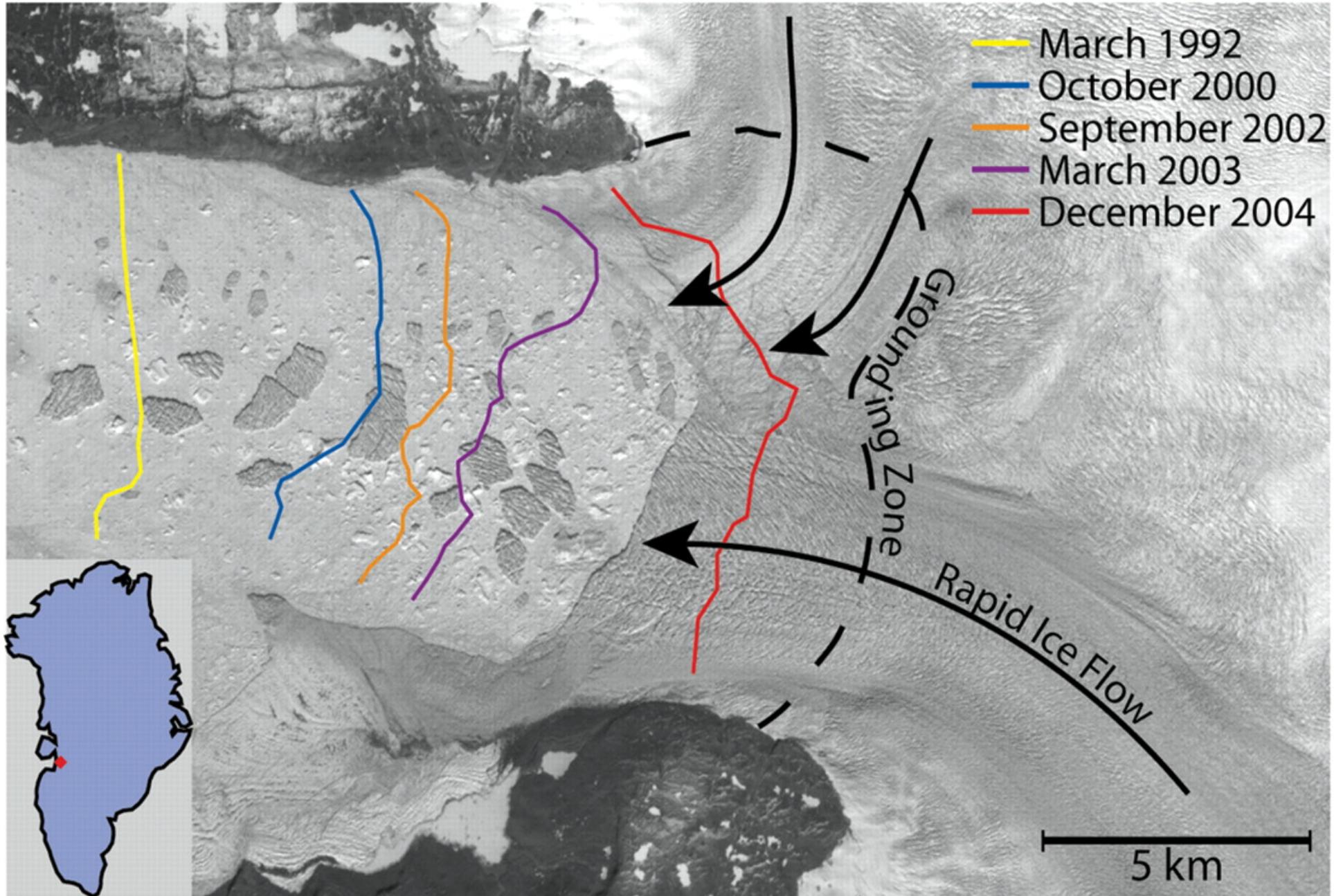
<sup>1</sup> GFZ RL04, August 2002 to August 2008, GIA corrected (Sasgen *et al.* unpublished)

<sup>2</sup> RACMO/GR (van den Broeke *et al.* 2009), anomalies w.r.t mean of the years 1960 to 1990



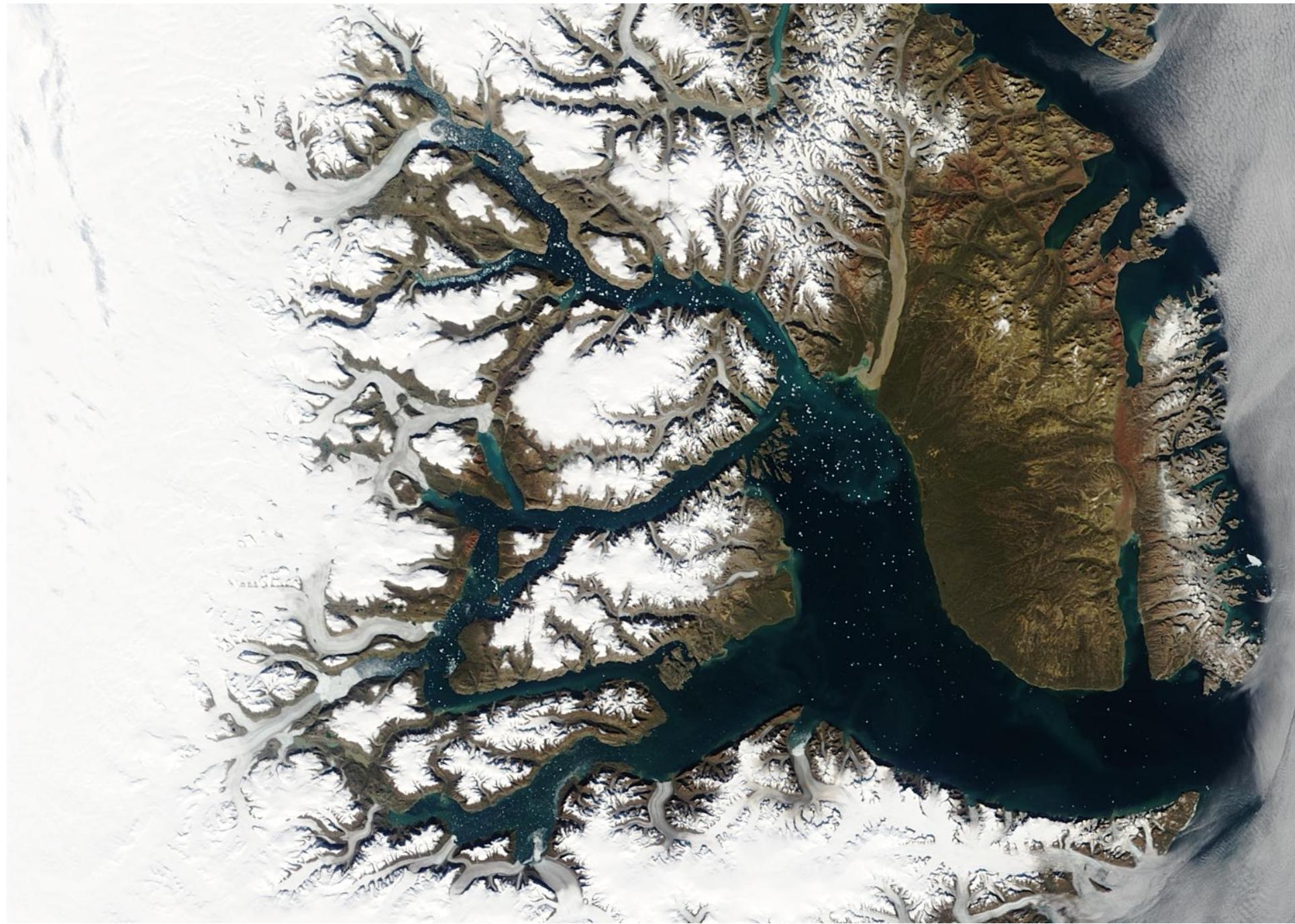
# Profile der Fließgeschwindigkeit

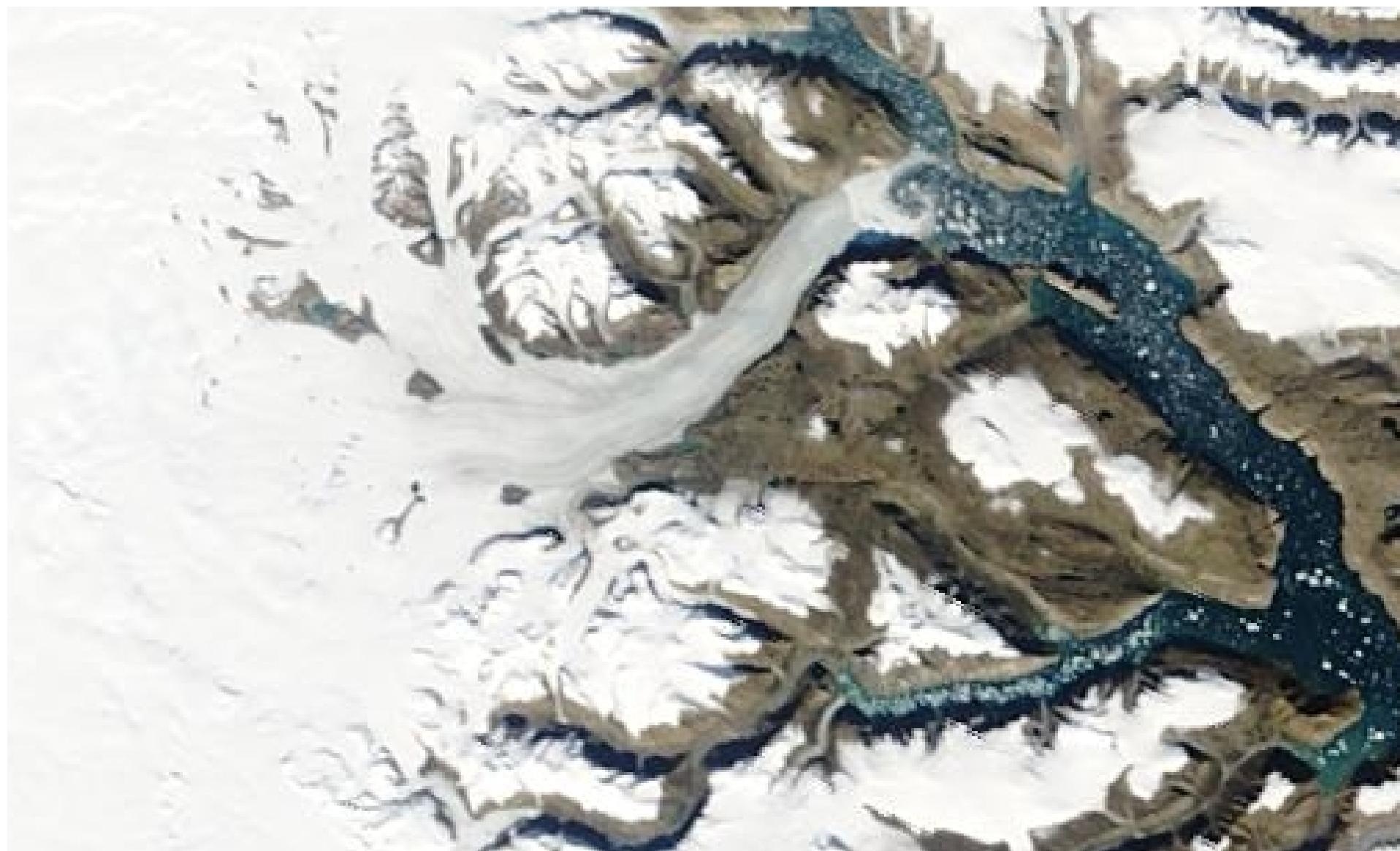




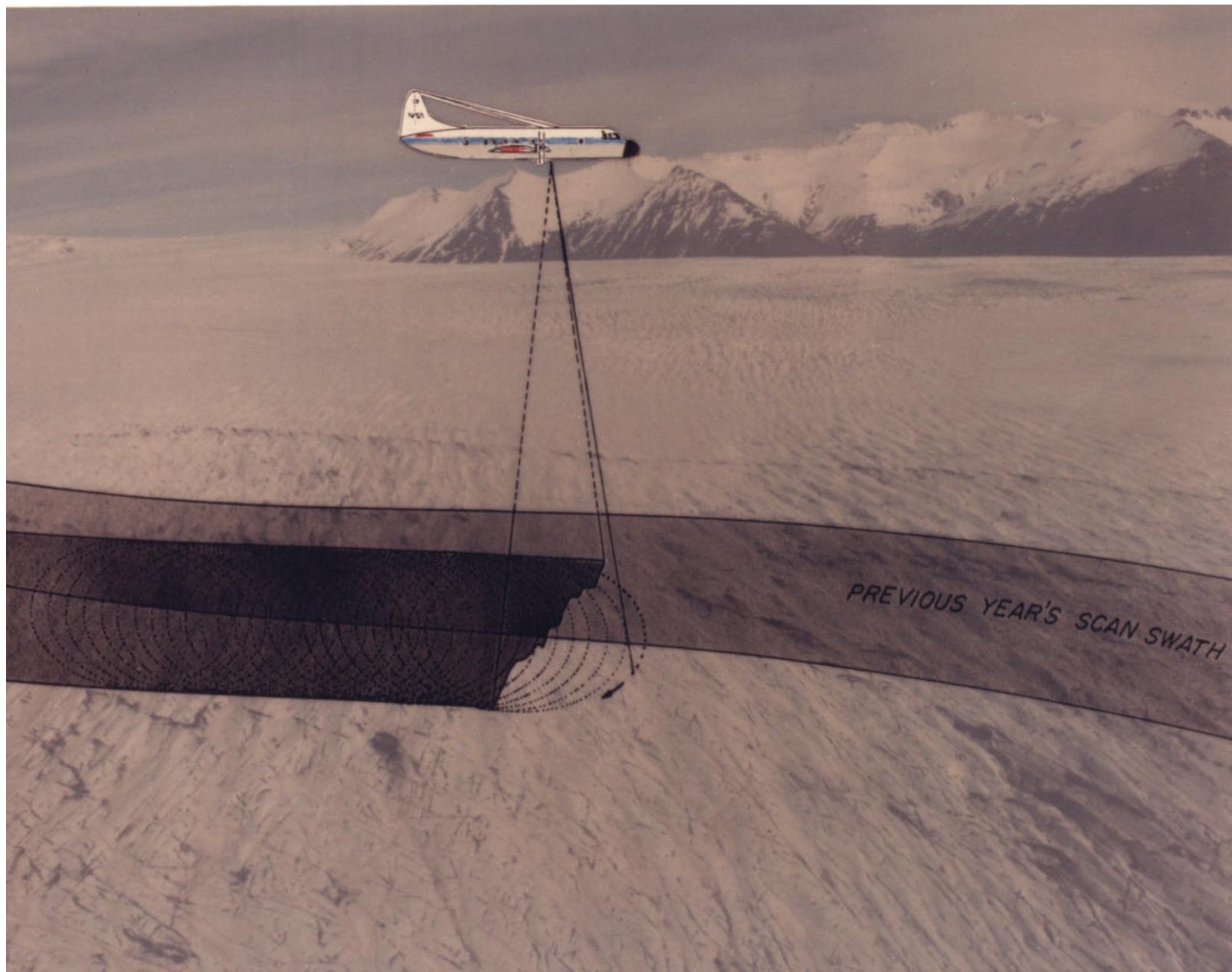
From: Alley, Clark, Huybrechts & Joughin, Science, Vol.310, 21. Oct. 2005

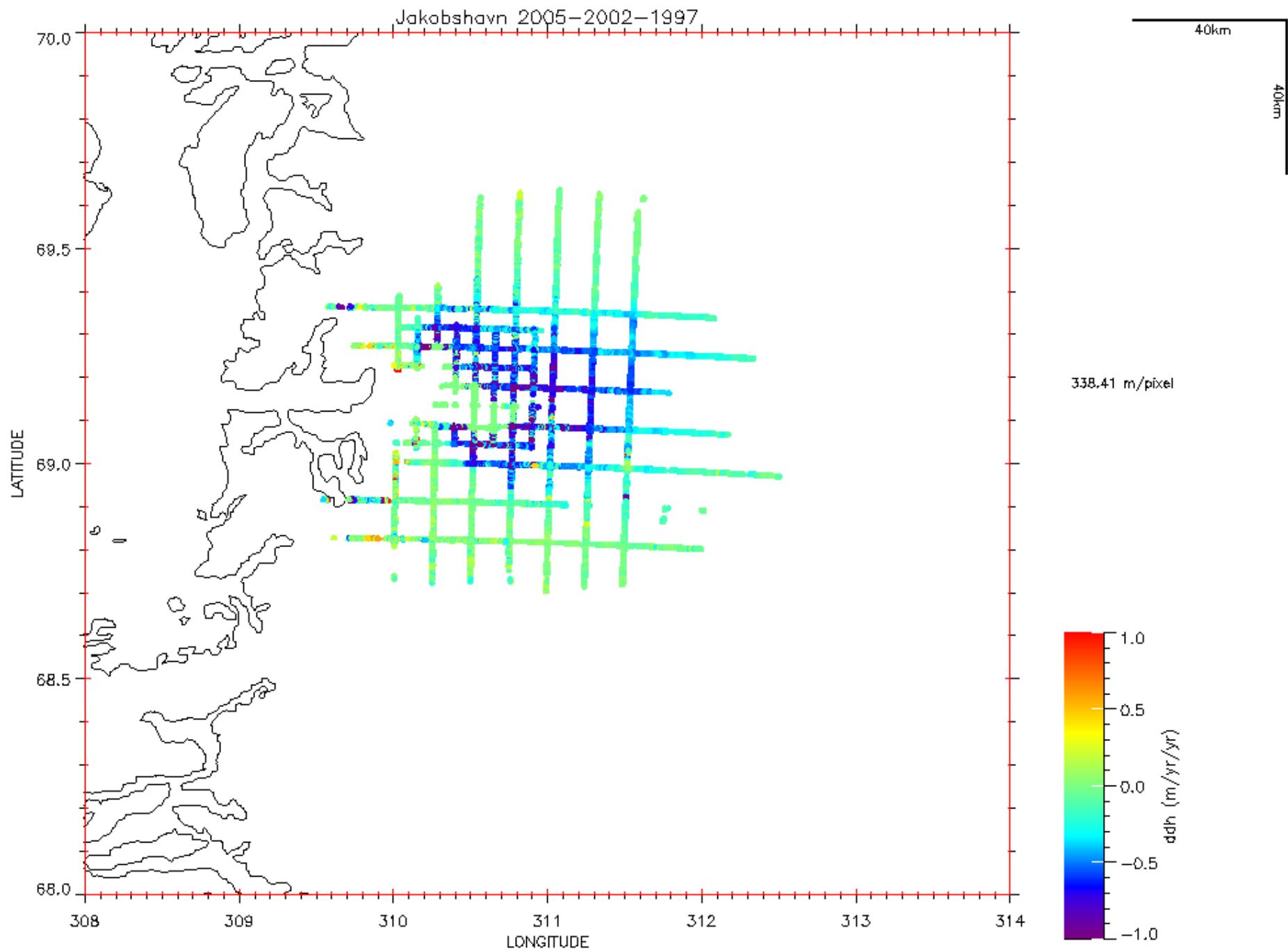












Richtige Analyse der Dynamischen Vorgänge benötigt das Verständnis der Physik des Gleitens am Bett, der sub-/inglazialen Hydrologie, des Kalbens und der Eis-Ozean Wechselwirkung. Daran müssen und wollen wir arbeiten !

Einstweilen .....

Können wir einfache Abschätzungen zu Größenordnungen machen ?



Um wieviel kann die Gletscherdynamik die Gesamtmassenbilanz beeinflussen ?

Ist ein Meeresspiegelanstieg um z.B. 1m bis 2100 realistisch möglich ?

$$\dot{M} = \dot{M}_b + \dot{M}_h + \dot{M}_L = \int_A \rho_i b dA + \int_A (-\nabla q) \rho_i dA + \rho_i W_T H_T (u_T - u_c)$$



Oberflächenbilanz



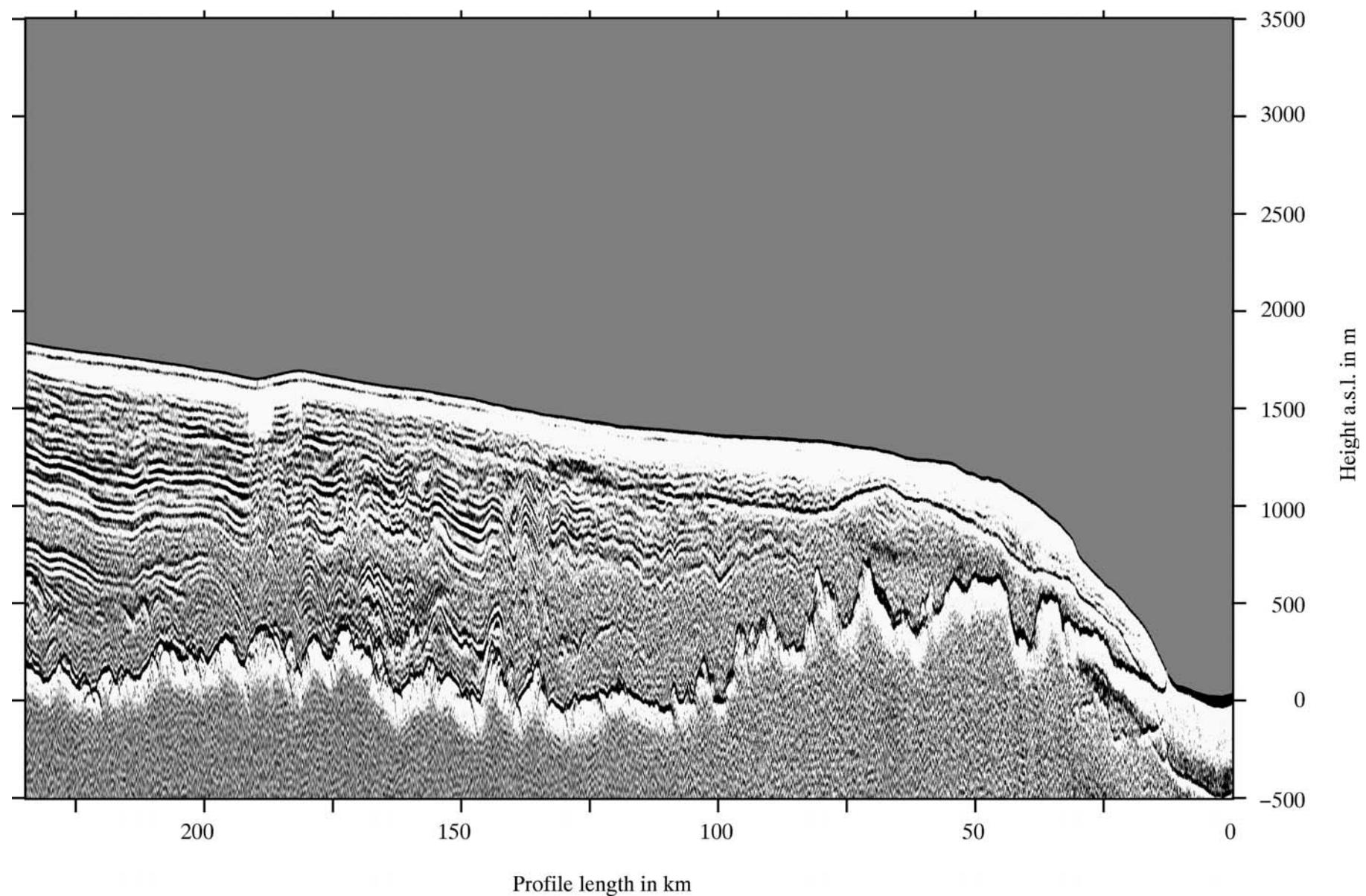
Dynamik



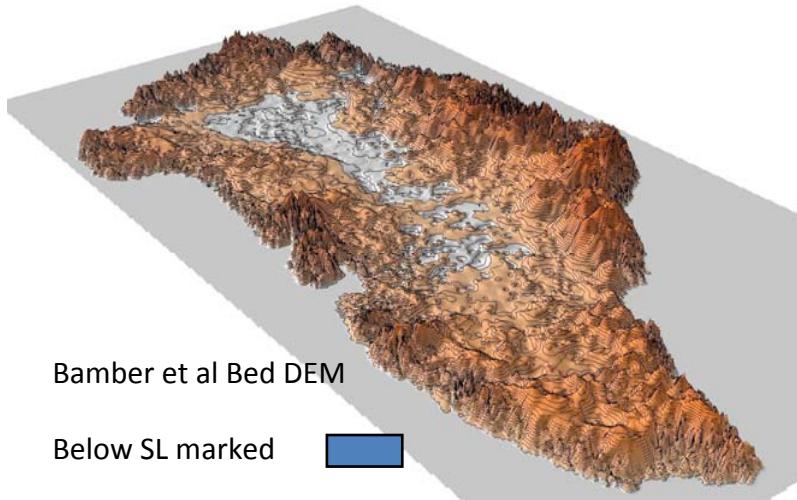
Rückzug marin basierter Ausflußgletscher

$78.8^{\circ}$  N/  $32.5^{\circ}$  W

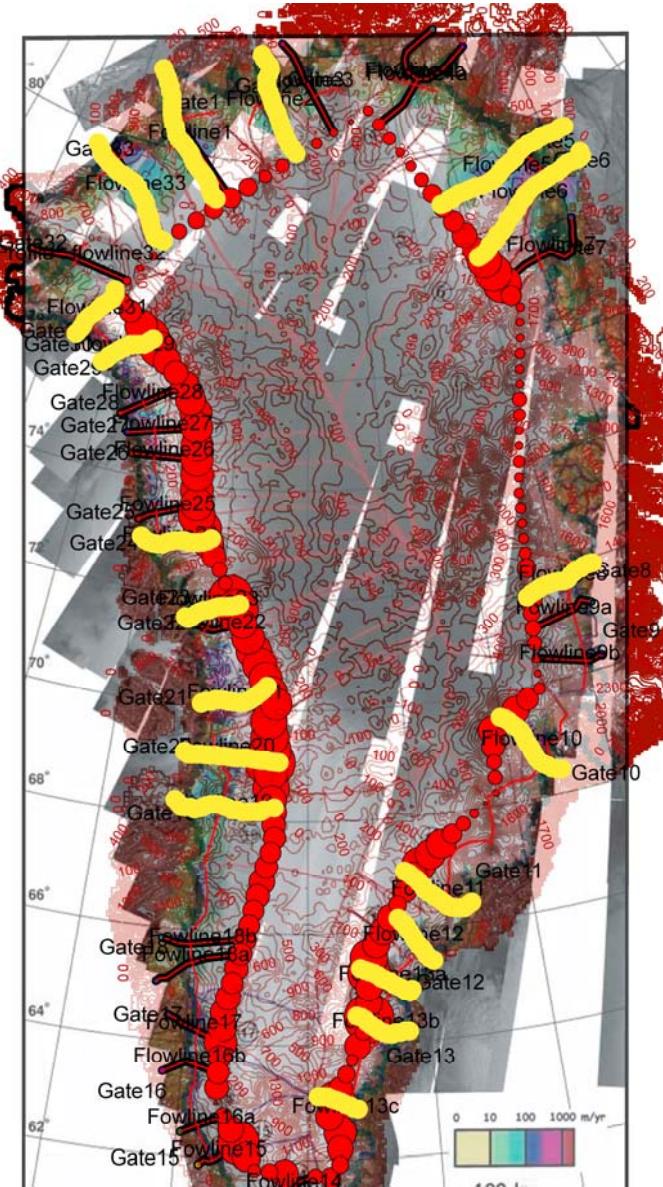
$80.3^{\circ}$  N/  $25.0^{\circ}$  W



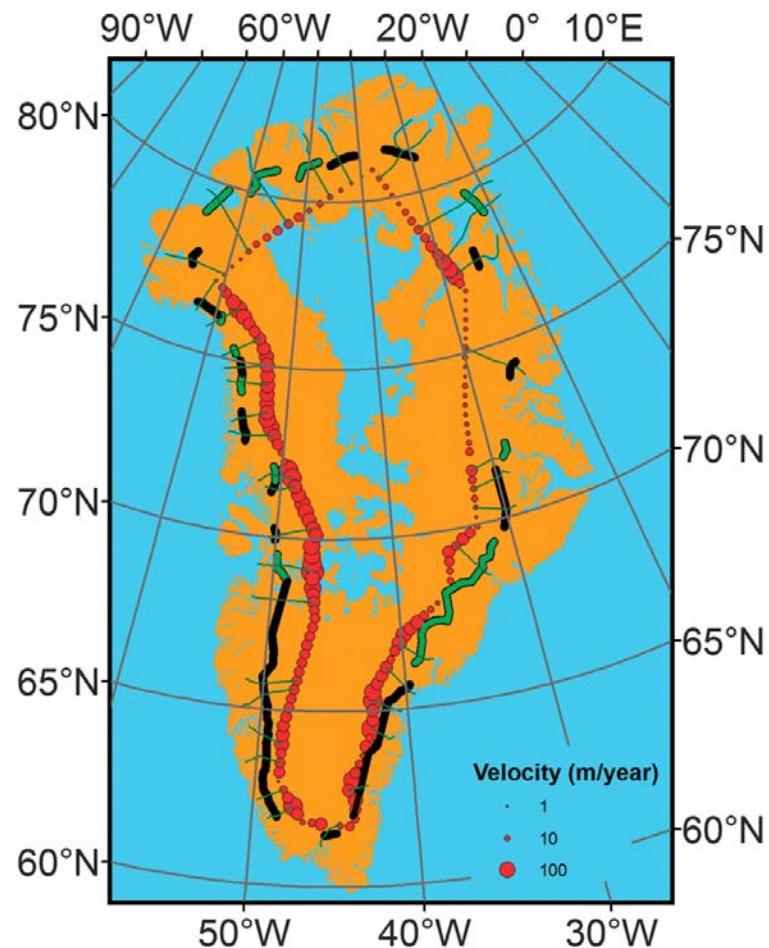
Aggregate gate area: 211 km<sup>2</sup>



Choosing only marine-based gates gives aggregate gate area of 142 km<sup>2</sup>



**Fig. 1. Map showing Greenland and outlet glacier gates; marine-based gates are shown as dark green and nonmarine as black**



W. T. Pfeffer et al., Science 321, 1340 -1343 (2008)

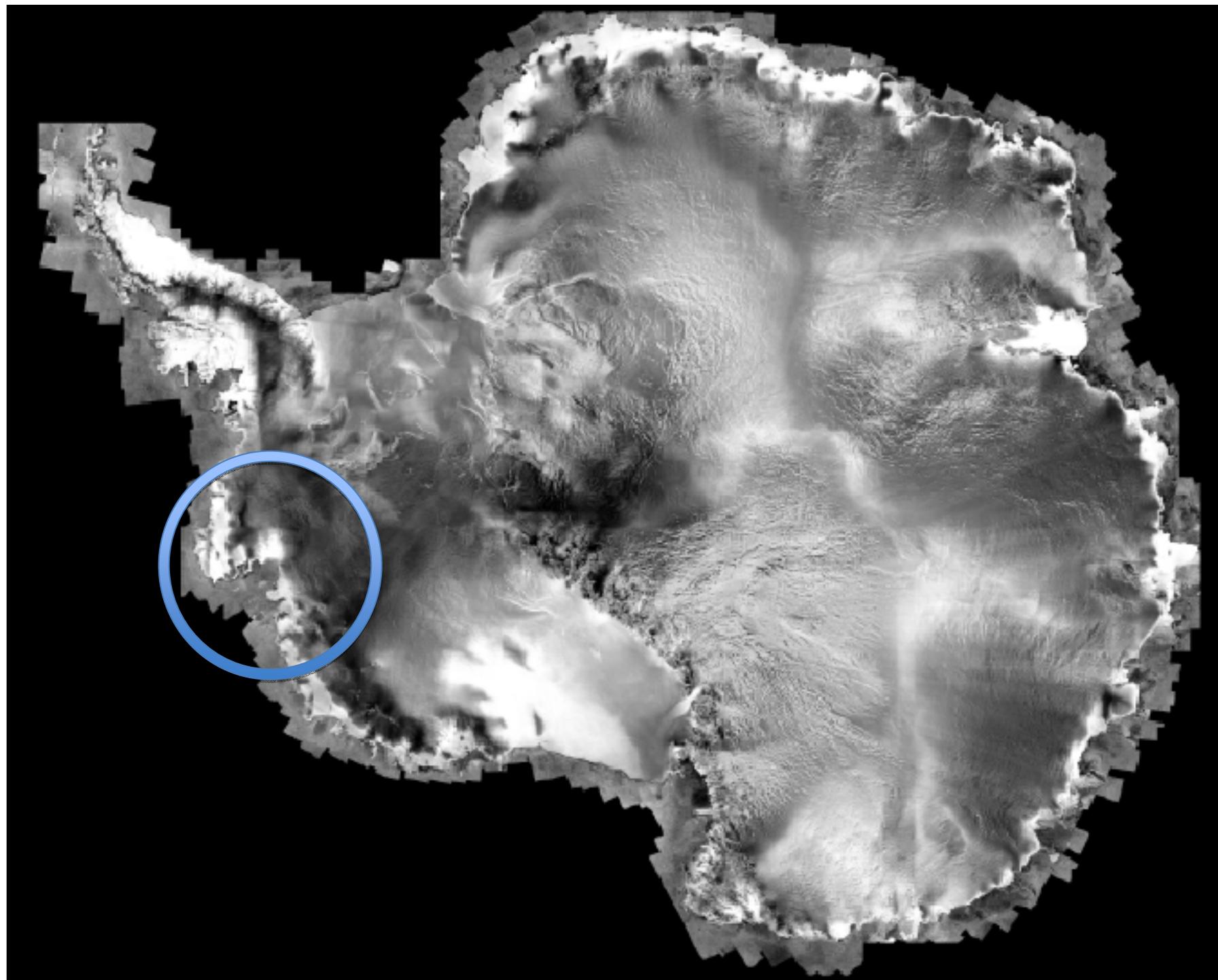
Published by AAAS



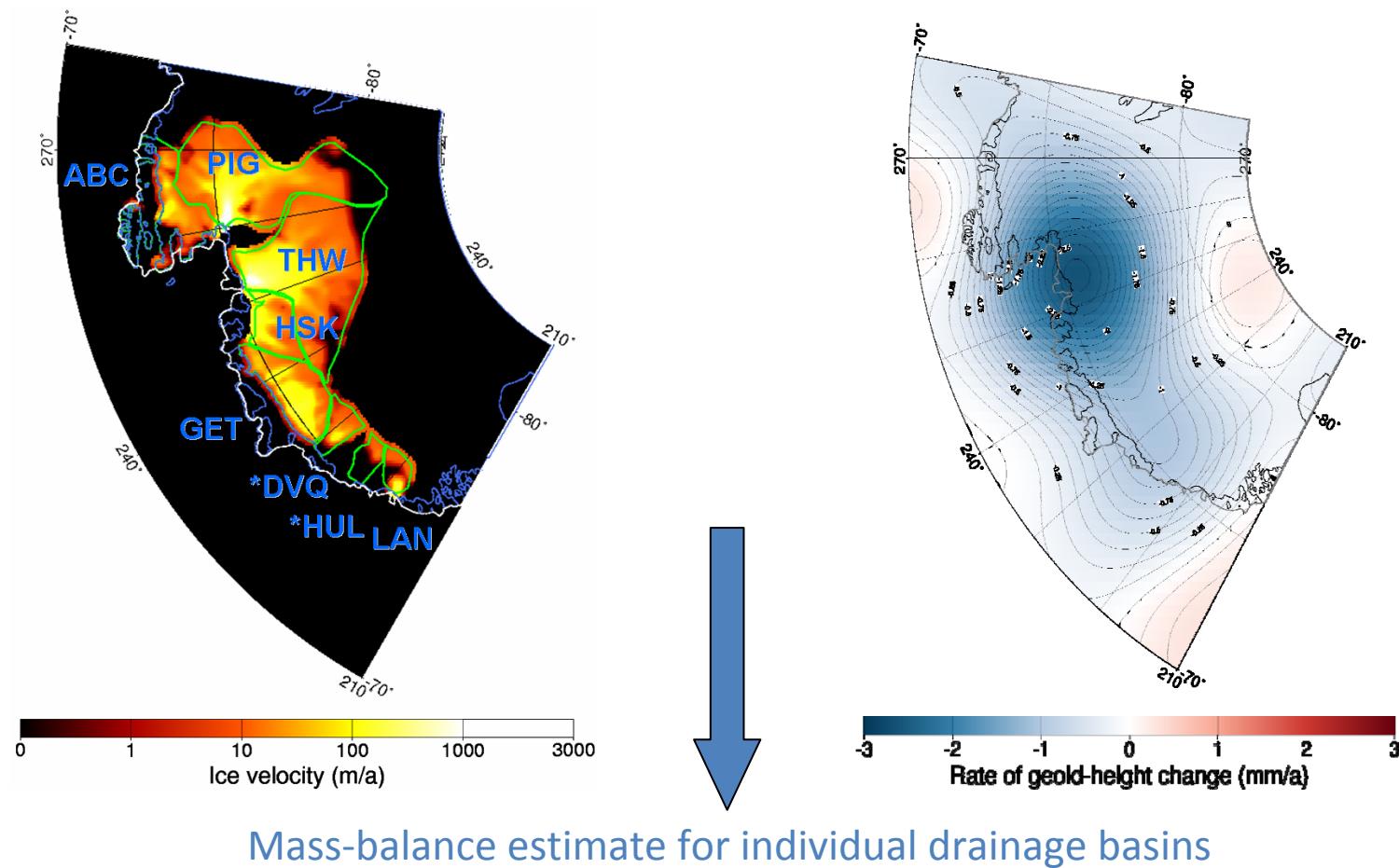
# Durchschnittsgeschwindigkeit für jeden Ausflußgletscher in diesem Jahrhundert bei 10 fach erhöhter negativer Massenbilanz

	Present-day high-discharge gates	All present-day discharge gates	<i>Supergates</i>
1 m bis 2100	18.5 km/Jahr 50 m/Tag	12.9 km/Jahr 35 m/Tag	<i>9.3 km/Jahr</i> <i>25 m/Tag</i>
2 m bis 2100	36.9 km/yr 101 m/Tag	25.8 km/yr 71 m/Tag	<i>18.6 km/yr</i> <i>51 m/Tag</i>

**Gegenwärtige mittlere Fließgeschwindigkeit: 0.7 km/yr**



# Data combination



# Geplante Arbeiten im Rahmen der Helmholtz REKLIM Initiative

Prozessstudien zur sub/englazialen Hydrologie (im Rahmen von ice2sea –EU)  
(Heißwasserbohrungen, Druckmessungen, begleitend passive Seismologie)

Fortgesetzte Befliegung von ausgewählten Ausflußgletschern  
(Laseraltimetrie, Eisradar, ASIRAS), abgestimmt mit NASA, CRESIS,  
Auch für CRYOSAT II Cal/Val

Weitere Nutzung der Schwerefeldmissionen (GRACE, GOCE) und  
Bestimmung von Hebungsralten (für Grönland – TU-Dresden ?)

INSAR-Analysen über ausgewählten Ausflußgletschern

Entwicklung und Anwendung von full-Stokes Modellen, vermutlich genestet  
in “3D-shallow ice” Modellen