



# Eiszeit: Gletscher- und Eisschmelze in wenigen Jahrhunderten?

Ältere Oberflächenformen des antarktischen Meeresbodens werden als Bildungen von ins Meer fließenden und schwimmenden Gletschern gedeutet. Bei fallender Tide sollen die Gletscher auf das weiche Sediment aufgesetzt sein und es an ihrer Vorderkante hochgepresst haben. Aus der Abfolge dieser Aufsetzlinien ist dann unter Zugrundelegung des Tidenzyklus eine Gletscher-Rückzugsrate von 40 bis 50 Meter pro Tag oder  $> 10$  Kilometer pro Jahr ermittelt worden (DOWDESWELL et al. 2020). Wird diese lokale Rückzugsrate auf den Abbau großer Inlandeiskörper ( $\geq 3000$  km) übertragen, könnte die Gletscher- und Eisschmelze am Ende der Eiszeit quasi schlagartig in wenigen Jahrhunderten geschehen sein.

*Michael Kotulla*

## Einleitung

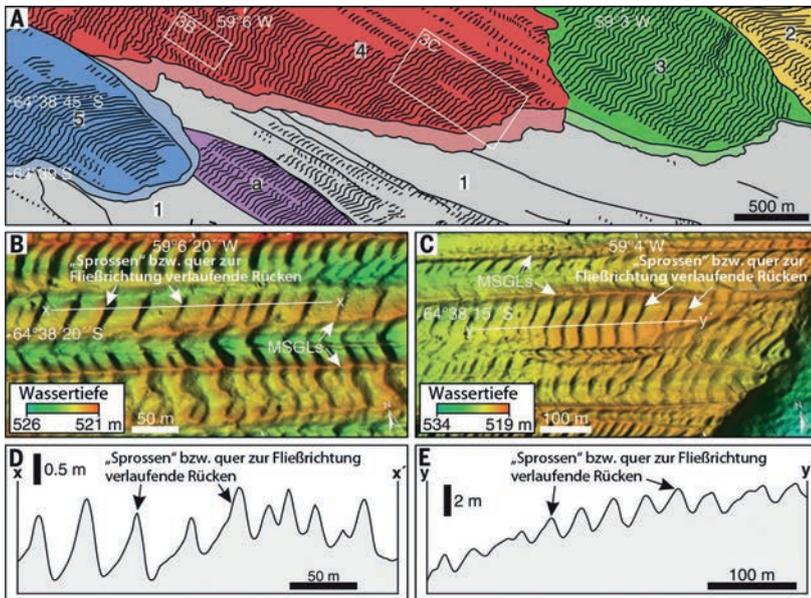
Das die Antarktis umgebende Schelfeis wird heute hauptsächlich über Satelliten beobachtet und vermessen. Dabei sind für die letzten 20 Jahre zunehmende Schelfeis-Rückzugsraten ermittelt worden. Die Frage ist, ob diese gemessenen Rückzugs- bzw. Schmelzraten mögliche maximale Raten repräsentieren. Dies ist wohl nicht der Fall. Das zeigen die Untersuchungen und Ergebnisse von DOWDESWELL et al. (2020) über eine rasch zurückweichende antarktische Eisdecke am Ende der Eiszeit<sup>1</sup>, die hier – unter Darlegung weiter reichender Implikationen – vorgestellt werden.

## Vermessung des Meeresbodens

Mit einem autonomen Unterwasserfahrzeug (AUV) ist die Morphologie und oberflächen-nahe Stratigraphie eines etwa 9 km<sup>2</sup> großen Gebiets vor der Larsen-Inlet-Bucht (östliche Antarktische Halbinsel) in einer Wassertiefe von unterhalb 500 m aufgenommen worden.

Dabei handelt es sich um einen Ausschnitt eines 40 x 10 km großen Meeresbodenareals, eines früheren Aufsetzonen-Komplexes (grounding-zone complex) von ins Meer fließenden, knapp über dem Meeresboden schwimmenden und wiederholt auf dem Meeresboden aufsetzenden Gletschern bzw. Eismassen.

Die bathymetrische Karte zeigt hauptsächlich Oberflächenformen, die das Aussehen von „Leitern“ mit zahlreichen „Sprossen“ haben (Abb. 1B und 1C). Die Seiten jeder „Leiter“, linienförmige Elemente, sind Hunderte Meter lang, häufig etwa 2–4 m hoch und treten in Abständen von 50–200 m zueinander auf. Sie verlaufen quasi parallel zu der früheren Richtung des Eisstroms. Die „Sprossen“ überprägen die linienförmigen Elemente und sind quer zur Strömungsrichtung verlaufende, häufig bis 0,5 m hohe Rücken, die etwa in Abständen von 20–25 m zueinander auftreten (Profile Abb. 1D und 1E). Im vermessenen Gebiet sind sechs Bereiche ausgegliedert worden; die Anzahl der aufeinander folgenden „Sprossen“ bzw. Rücken reicht von 28 bis 90 (Abb. 1A, Tab. 1).



**Abb. 1** Kartierung des Meeresbodens vor der Larsen-Inlet-Bucht, Westantarktis. **A** Untersuchungsgebiet (9 km<sup>2</sup>); schematische Karte der Aufsetzzonen „1“-„5“ sowie „a“ und Darstellung hauptsächlich der „Sprossen“-Elemente bzw. Rücken. **B** und **C** Bathymetrische Daten bzw. Detail-Karten, Auflösung 1 m (Ausschnitte siehe A); markiert sind die „Sprossen“ [„ridges“] bzw. die quer zur Fließrichtung der Eisströme verlaufenden Rücken [transverse-to-flow ridges] sowie die Seiten der „Leitern“, als mega-skalige glaziale Lineationen (MSGL) [MSGLs] bezeichnet bzw. interpretiert. **D** und **E** Querschnitte (Profile) einer Reihe von Rücken-Elementen; etwa 50-fach und 15-fach überhöht (Ausschnitte siehe B und C). Diskussion siehe Textteil. (Aus DOWDESDELL et al. 2020, mit Genehmigung der American Association for the Advancement of Science, AAAS. Die in der Abbildung eingefügten englischen Originaltexte wurden durch deutsche Texte ersetzt.)

**Tab. 1** Kartierung der Rücken und Berechnung der Gletscher-Rückzugsraten. Aufsetzzonen (Bereiche) siehe Abb. 1; Ø, durchschnittlich. Diskussion siehe Textteil. Aufstellung nach Daten in DOWDESDELL et al. (2020), insbesondere ihre Table 1.

Das Alter dieser Formenelemente wird mit > 10.700 kalibrierten Jahren BP<sup>2</sup> angegeben; es wurde mit einer paläomagnetischen Intensitätsreferenzkurve bestimmt, die hauptsächlich mit <sup>14</sup>C-Altern geeicht ist. Demnach entstand die Topographie im frühen Holozän oder an der Wende Pleistozän/Holozän. Sie wird von einer etwa 1 m dünnen Sedimentschicht drapiert.

Aufsetzzone (Bereich)	Anzahl Rücken	Rücken-höhe [m]	Ø Rücken-abstand [m]	Interpretation		
				Tidenzyklus [Tage]	Ø täglicher Rückzug [m]	Zeitfenster [Tage]
a	33	0,2–0,3	24	ca. 0,5	48	16
1 (mehrere)	71	0,1–0,4	20	ca. 0,5	40	35
2	28	0,2–0,6	25	ca. 0,5	50	14
3	44	0,3–1,0	20	ca. 0,5	40	22
4	90	0,5–1,5	21	ca. 0,5	42	45
5	40	0,2–0,4	20	ca. 0,5	40	20

## Glossar

**Bathymetrie:** Vermessung der Topographie des Meeresbodens.  
**Glazigen:** Vom Gletscher- oder Inlandeis geschaffene Formen und abgelagerte Sedimente, z. B. Till (Geschiebemergel).  
**Morphologie:** Gestaltlehre; hier im geomorphologischen Sinn: Form bzw. Gestalt der Erdoberfläche.  
**Stratigraphie (Geologie):** Hier zeitliche Aufeinanderfolge von Schichten bzw.

Schichtgesteinen.  
**subaquatisch:** unter der Wasseroberfläche gebildet/befindlich.  
**terrestrisch:** auf dem Festland gebildet/befindlich.  
**Tiden:** Gezeiten.  
**Tidenzyklus:** Periodische Wiederholung des Tidenverlaufs mit Hoch- und Niedrigwasserzeit; eine Tidendauer beträgt etwa 12 Stunden und 25 Minuten.

## Interpretation der Meeresbodenmorphologie

Die „Leiter“-Seiten werden als sogenannte mega-skalige glaziale Lineationen (MSGL) interpretiert; sie sollen von den über dem Meeresboden schnellfließenden Eisströmen erzeugt worden sein. Die aufliegenden „Sprossen“-Elemente bzw. Rücken werden als Gletscher-Aufsetzlinien interpretiert; dabei soll das weiche Sediment an der untermeerischen Gletscher-Vorderkante deformiert und dort zum Rande hin aus- und hochgepresst worden sein.

Die dafür notwendigen, regelmäßigen Vertikalbewegungen, das Anheben und Absenken der Eisdecke, waren durch die Tiden herbeigeführt worden. Demnach dokumentiert die Nacheinanderfolge von Rücken-Elementen die rückschreitende Wanderung (Migration) der untermeerischen Gletscher-Vorderkante, das Abschmelzen des Gletschers, im Tidenzyklus.

### Berechnung der Gletscher-Rückzugsrate

Unter der Annahme, dass die Rücken-Elemente Tiden-moduliert sind, lässt sich über die Abstände der Rücken-Elemente bzw. Aufsetzlinien die Gletscher-Rückzugsrate berechnen. Für die ausgewiesenen sechs Bereiche beträgt die Rückzugsrate 40 bis 50 Meter pro Tag (Tab. 1). Das Zeitfenster ist allerdings auf Grundlage des eingeschränkten Untersuchungsgebietes auf maximal 45 Tage begrenzt (90 Rücken, Bildung von 2 Rücken pro Tag; Bereich 4).

Die Autoren extrapolieren diese Gletscher-Rückzugsrate über das Untersuchungsgebiet hinaus – landwärts. Dabei wird die Rückzugsrate zunächst auf etwa 18 Kilometer pro Jahr extrapoliert, danach unter Berücksichtigung eines möglichen Wintereffekts konservativ auf etwa 10 Kilometer pro Jahr halbiert.<sup>3</sup>

## Ehemaliger Gletscher-Rückzug von > 10 Kilometer pro Jahr: Implikationen

DOWDESDELL et al. (2020) vergleichen die damalige Gletscher-Rückzugsrate mit aktuellen Beobachtungen vom Pine-Island-Gletscher (Westantarktis; Rückzug 1,6 km/Jahr). Demzufolge sei die damalige Rückzugsrate mindestens eine Größenordnung höher als die aktuelle Rate, wobei die aktuelle Rate bereits zwei Größenordnungen höher sei als die durchschnittliche Rückzugsrate der „vergangenen 10.000 Jahre“ (Tab. 2).

Sie stellen fest, dass die aktuelle Gletscher-Rückzugsrate für eine „maximale mögliche Größenordnung“ nicht repräsentativ sei. Würde

Pos.	Lokalität (Westantarktis)	Strecke	Zeitpunkt bzw. -dauer	Zeitfenster	Ø Rückzug [pro Jahr]	Faktor (zu Pos. 4)	Referenz
1	Larsen Inlet (Bucht)	max. 1,8 km	> 10700 cal. <sup>14</sup> C-Jahre BP*	14–45 Tage	> 10 km	ca. 1000-fach	1
2	Pine-Island-Gletscher	31 km	1992 bis 2011	19 Jahre	1,6 km	ca. 100-fach	2
3	Pine-Island-Gletscher	25 km	1992 bis 2009	17 Jahre	1,5 km	ca. 100-fach	3
4	Pine-Island-Gletscher	ca. 100 km	11664 cal. <sup>14</sup> C-Jahre BP bis AD 1992	ca. 11700 cal. <sup>14</sup> C-Jahre	11,9 ± 0,7 m	1	3

## Der Rückzug antarktischer Gletscher bzw. Eismassen am Ende der Eiszeit war wesentlich schneller als heute.

sich die Rate von damals wiederholen, „hätte ein derart rascher Eismassenverlust an den Ozean deutliche Implikationen auf die Erhöhung der Rate des Meeresspiegelanstiegs“.

### Schlagartige Gletscher- und Eisschmelze?

Könnte die Eiszeit mit einer schlagartigen Gletscher- und Eisschmelze (Enteisung) geendet haben? Potenziell ist dies möglich – unter zwei weiteren Voraussetzungen:

1. Eine Extrapolation der Gletscher- bzw. Eis-Rückzugsrate des untersuchten, maximalen Zeitfensters von 45 Tagen auf eine Zeitdauer von mehreren Hundert Jahren; eine Extrapolation auf einige Jahre unternehmen DOWDESWELL et al. (2020; s. o.).

2. Eine Übertragung der subaquatischen Gletscher- bzw. Eis-Rückzugsrate dieser einen Lokalität (Larson-Schelf) auf alle anderen vereisten Gebiete, insbesondere auch die rein terrestrischen (Analogieschluss).

Demzufolge könnte sich der Abbau des ehemals größten Eismassen-Komplexes (Nordamerika) potenziell in 300 Jahren vollzogen haben. Hierbei wird eine Distanz von maximal 3000 km vom Rand des Komplexes bis zur nördlichen Mitte zugrunde gelegt. Dem stehen allerdings Radiokarbonalter gegenüber, die auf der <sup>14</sup>C-Zeitskala etwa die Spanne von 13.000 bis 5.000 konventionelle <sup>14</sup>C-Jahre BP (kalibriert 15.500 bis 5.700 <sup>14</sup>C-Jahre BP) abdecken, also einen Enteisungs-Zeitraum von ca. 8.000 bis 10.000 <sup>14</sup>C-Jahren umfasst (DALTON et al. 2020). Die kalibrierten Radiokarbonalter werden üblicherweise mit Kalenderjahren gleichgesetzt.<sup>4</sup>

### Schlagartige Vereisung?

Für den Laurentischen Eisschild<sup>5</sup>, den größten Teil des nordamerikanischen Eismassen-Komplexes, nehmen IVES et al. (1975) eine „spontane Vereisung“ (instantaneous glacierisation) an. Demnach könnte, so EHLERS (2011, 67), „eine großflächig und annähernd gleichzeitig

einsetzende Schnee-Akkumulation im Verlauf weniger Jahrhunderte zur Ausbildung großer Eisschilde geführt haben“. Und EHLERS (2011) weiter: „Dieser Mechanismus wird für das laurentische Vereisungsgebiet Nordamerikas durchaus für wahrscheinlich gehalten“ (mit Verweis auf CLARK & LEA 1992).

Es ist bemerkenswert, dass auch bei dem Aufbau eines großen Eisschildes potenziell eine Größenordnung von wenigen Hundert Jahren in Betracht gezogen wird.

## Anmerkungen

- 1 Eiszeit: Nach dem „Eiszeitalter“-Konzept hier die mutmaßlich letzte Kaltzeit (Würm-, Weichsel- oder Wisconsin-Kaltzeit).
- 2 BP, before present: vor heute; Bezugsjahr ist 1950.
- 3 Die Ergebnisse von DOWDESWELL et al. (2020) gilt es an weiteren Lokalitäten zu reproduzieren bzw. zu bestätigen.
- 4 Zu einer Kritik der Radiokarbonmethode siehe z.B. KOTULLA (2019).
- 5 Andere Schreibweise: Laurentidischer Eisschild.

## Literatur

- CLARK PU & LEA PD (ed.) (1992) The Last Interglacial-Glacial Transition in North America. The Geological Society of America, Special Paper 270.
- DALTON AS, MARGOLD M, STOKES CR et al. (2020) An updated radiocarbon-based ice margin chronology for the last deglaciation of the North American Ice Sheet Complex. *Quaternary Science Reviews* 234; doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106223.
- DOWDESDELL JA, BATCHELOR CL, MONTELLI A, OTTESSEN D, CHRISTIE FDW, DOWDESWELL AK & EVANS J (2020) Delicate seafloor landforms reveal past Antarctic grounding-line retreat of kilometers per year. *Science* 368, 1020–1024.
- EHLERS J (2011) Das Eiszeitalter. Heidelberg.
- HILLENBRAND C-D, KUHN G, SMITH JA, GOHL K, GRAHAM AGC, LARTER RD, KLAGES JP, DOWNEY R, MORETON SG, FORWICK M & VAUGHAN DG (2013) Grounding-line retreat of the West Antarctic Ice Sheet from inner Pine Island Bay. *Geology* 41, 35–38.
- IVES JD, ANDREWS JT & BARRY RC (1975) Growth and decay of the Laurentide Ice Sheet and comparisons with Fenno-Scandinavia. *Naturwissenschaften* 62, 118–125.
- KOTULLA M (2019) Verkohlte Baumstämme in Tephra-Ablagerungen des Laacher-See-Vulkans: neue Radiokarbon-Bestimmungen und ihre Altersinterpretation. W+W Special Paper G-19-1, Baiersbronn. [https://www.wort-und-wissen.org/wp-content/uploads/g-19-1\\_radiokarbon.pdf](https://www.wort-und-wissen.org/wp-content/uploads/g-19-1_radiokarbon.pdf)
- RIGNOT E, MOUGINIT J, MORLIGHEM M, SEROUSSI H & SCHEUCHL B (2014) Widespread, rapid grounding line retreat of Pine Island, Thwaites, Smith, and Kohler glaciers, West Antarctica, from 1992 to 2011. *Geophysical Research Letters* 41, 3502–3509.

**Tab. 2** Gletscher-Rückzugsraten. Vergleich unterschiedlicher Beobachtungsperioden bzw. interpretierter Zeitperioden.

\* Bestimmung mit einer paläomagnetischen Intensitätsreferenzkurve, die hauptsächlich mit <sup>14</sup>C-Altern geeicht ist; cal., kalibriert; Ø durchschnittlich. Diskussion siehe Textteil.

Referenzen: 1 DOWDESWELL et al. (2020); 2 RIGNOT et al. (2014); 3 HILLENBRAND et al. (2013).