

■ Radarblick in die grönländische Eisdecke

Seit über 20 Jahren werden von der Universität von Kansas mit dem Flugzeug Tiefenradarmessungen des grönländischen Inlandeises durchgeführt. Nun haben MACGREGOR et al. (2015) erstmals eine umfassende und datierte Radarstratigraphie des gewaltigen, bis zu über 3000 m dicken Eiskörpers präsentiert.

Die Radardaten aus den Jahren 1993–2013 umfassen über 500 Profile mit einer Gesamtlänge von fast 500 000 km. Primär dienten die Radarmessungen der Bestimmung der Eisdicke; die Beobachtung und Aufzeichnung der internen Reflexionen war ein eher sekundäres Ziel. Sie aber bilden die Grundlage der Radiostratigraphie. Mit diesem bildgebenden Verfahren können die Strukturen des Eiskörpers dargestellt werden (Abb. 1). Für die 3D-Konstruktion wurden nur ausgeprägte Reflexionen verwendet, die sich über eine Distanz von etwa 5 km und mehr verfolgen lassen.

Die zeitliche Eichung der Radiostratigraphie erfolgte über eine Verankerung mit den datierten Eiskernen, die durch Tiefbohrungen gewonnen wurden (Camp Century, DYE-3, GISP2, GRIP, NGRIP und NEEM; vgl. KOTULLA 2013a); ihre Lokalitäten waren durch zahlreiche Radarmessungen erfasst worden. Über zahlreiche Zwischenschritte wurden schließlich etwa 29 500 Reflexionen über alle Profile ausgewählt, mit über 1 800 eindeutigen, über den Eiskörper verteilten (vertikalen) Reflexionsabfolgen, die aus mindestens 10 Reflexionen, teilweise auch aus über 100 Reflexionen bestehen. Schließlich konnten, sekundär auch unter Zuhilfenahme eines Eisflussmodells, 77% der Reflexionen datiert und so die Altersstruktur des gesamten Eisschildes dargestellt werden (siehe die dem Artikel von MACGREGOR et al. beigefügten Animationen 2 und 3). Analog der Eiskernchronologie weisen sie drei Abschnitte aus (von oben nach unten): Postglazial (Holozän), Weichsel-Kaltzeit, Eem-Warmzeit (beide Pleistozän), s. Abb. 2. Die Altersangaben erfolgen in Jahren; z. B. soll die Holozän-Epoche vor 11 700

Jahren begonnen haben. Dies ist der Übernahme des eiskernchronologischen Altersmodells geschuldet; die von vermeintlichen „Jahresschichten“ im Eis abgeleiteten [Eiskern-] Jahre dürfen allerdings nicht mit Kalenderjahren gleichgesetzt werden (s. KOTULLA 2013b).

Das radiostatigraphische Modell erlaubt eine grobe Abschätzung der geographischen Verbreitung des teilweise stark gestörten, der Eem-Warmzeit zugewiesenen Eises auf dem Untergrund sowie eine überschlägige Berechnung der Eisvolumina, die den einzelnen „Kalt-/Warmzeiten“ zugeordnet werden, sog. „Altersvolumina“.

Mit Radardaten hatten zuvor BAMBER et al. (2013) die Identifizierung einer Schlucht unter der

grönländischen Eisdecke vermelden können, die größer als der Grand Canyon ist. Der „Mega-Canyon“ soll etwa 750 km lang und bis 800 m tief sein; durch ihn soll Schmelzwasser des Untergrundes und möglicherweise der Oberfläche in den Arktischen Ozean fließen.

[BAMBER JL, SIEGERT MJ, GRIGGS JA, MARSHALL SJ & SPADA G (2013) Paleofluvial Mega-Canyon beneath the Central Greenland Ice Sheet. *Science* 341, 997-999 • KOTULLA M (2013a) Grönländische Eiskerndaten und ihre Interpretation: Absolute Datierung durch Zählung von Jahresschichten? *W+W Special Paper G-13-1*, Baiersbrunn; <http://www.wort-und-wissen.de/download.html> • KOTULLA M (2013b) Eiskerndatierung: 100 000 Jahre und mehr? *Stud. Integr. J.* 20, 84-93 • MACGREGOR JA, FAHNSTOCK MA, CATANIA GA, PADEN JD, PRASAD GOGINENI S, YOUNG SK, RYBARSKI SC, MABREY AN, WAGMAN BM & MORLIGHAM M (2015) Radiostratigraphy and age structure of the Greenland Ice Sheet. *Journal of Geo-*

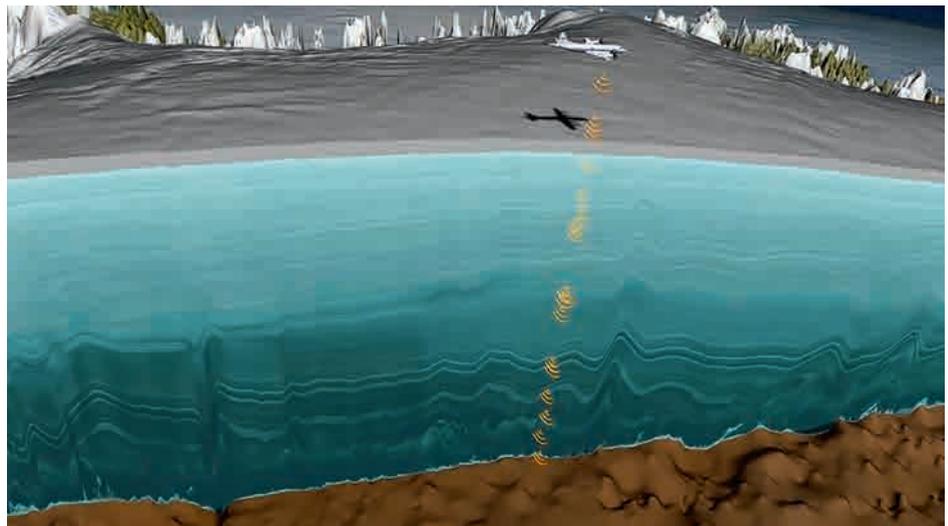


Abb. 1 Tiefenradarmessungen mit dem Flugzeug entlang einer vorgegebenen linearen Strecke (Profil). Das Radarogramm zeigt ausgeprägte Reflexionen, Eis-Schichtkörper, deren zeitgleiche Akkumulation (als Schnee) anzunehmen ist. Die Daten sind am 2. Mai 2011 im Rahmen der Operation IceBridge („Eisbrücke“, vgl. Web) gesammelt worden. Visualisierung C. STARR (Credit: NASA's Scientific Visualization Studio; <http://svs.gsfc.nasa.gov/4249>).

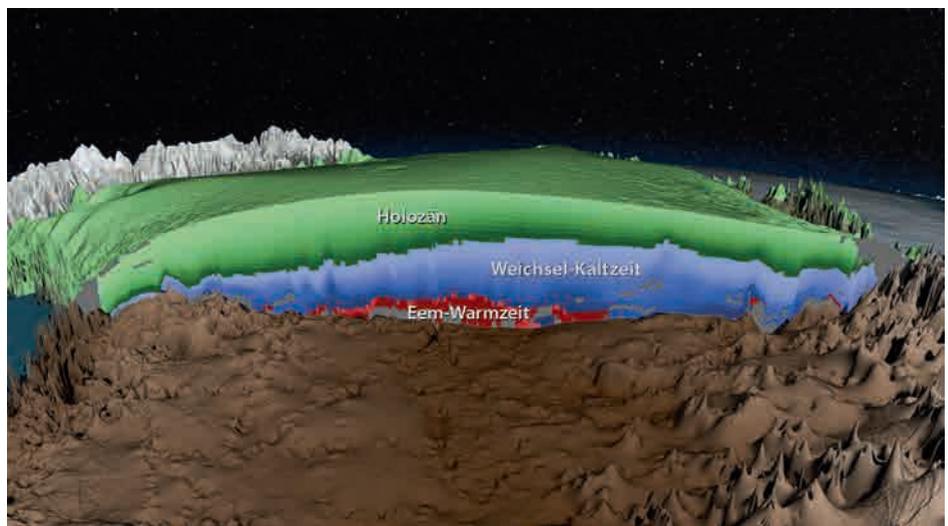


Abb. 2 Ein Querschnitt durch den grönländischen Eisschild mit Ausweis der Bildungsperioden (Ausschnitt eines Videos). Nach MACGREGOR et al. (2015). Visualisierung C. STARR (Credit: NASA's Scientific Visualization Studio; <http://svs.gsfc.nasa.gov/4249>).

physical research: Earth Surface 120, 212-241
 • NASA Scientific Visualization Studio (2015)
 Greenland Ice Sheet stratigraphy. ID 4249,
<http://svs.gsfc.nasa.gov/4249/>] M. Kotulla

■ Chemie der Lebensentstehung: Tiefseeschlote erneut als synthetisch produktive Orte modelliert

Hydrothermale Tiefseequellen, die schwarzen oder auch weißen Raucher im Bereich der Mittelozeanischen Rücken, tauchen seit ihrer erstmaligen Beschreibung Mitte der 1970er-Jahre regelmäßig in Szenarien zur Entstehung des Lebens auf. Die in dem bis zu über 400 °C heißen Wasser gelösten Mineralien werden ausgefällt, wenn die heiße Lösung durch Kontakt mit dem kalten Ozeanwasser (ca. 3 °C) rasch abkühlt und sich so der namengebende „Rauch“ bildet. Aus diesen ausgefallenen Mineralien bauen sich dann mit der Zeit die Schlote auf, aus denen das stark aufgeheizte, mit Mineralien übersättigte Wasser aus der Tiefe an die Oberfläche des Ozeanbodens aufsteigt. Der poröse Aufbau dieser Schlote inspirierte Dieter BRAUN und seine Kollegen dazu, die Porenräume genauer zu studieren und die Auswirkungen von Temperaturgradienten in Röhren mit kleinen Querschnitten zu modellieren. Sie konnten zeigen, dass durch Thermophorese, also einem durch die Temperaturunterschiede verursachten Transport, kurze Nukleinsäuremoleküle in kapillaren Röhren angereichert werden können (BAASKE et al. 2007). Diese Erkenntnisse wurden ebenso zur Entwicklung technischer Geräte genutzt wie auch zum Etablieren von Mechanismen zur Anreicherung von Biomolekülen im Zusammenhang mit der Chemie zur Lebensentstehung (BINDER 2011, IMMING 2015).

Nun hat eine Gruppe von Wissenschaftlern ein solches thermophoretische System in einer Modellrechnung genutzt, um die Anreicherung von Formamid (NH₂CHO) zu modellieren (NIETHER et al. 2016). Formamid hat in den Spekulationen zu präbiotischen Synthesen von Biomolekülen eine lange Tra-

dition. Es lässt sich zwar analytisch fast überall nachweisen, jedoch in so geringen Konzentrationen, dass nicht nachvollziehbar ist, wie es bei der Synthese von Biomolekülen von Bedeutung sein kann. Die numerischen Modellierungen ergeben wie für die Nukleinsäuremoleküle unter entsprechenden Randbedingungen eine Anreicherung aus sehr verdünnten Formamidlösungen (10⁻³ Gewichts-%) auf 85 Gewichtsprozent. Bei Konzentrationen dieser Größenordnung scheint die Synthese z.B. von Stickstoffheterozyklen wie den Basen der Nukleinsäuren vorstellbar, wie die Autoren das im Titel ihrer Arbeit zum Ausdruck bringen.

Damit kann man die Veröffentlichung als ein weiteres Beispiel dafür betrachten, dass nur in begrenztem Umfang neue Erkenntnisse dokumentiert werden, diese aber durch die Verknüpfung mit dem die Fantasie anregenden Themenfeld der präbiotischen Lebensentstehung an prominenter Stelle erscheinen und damit die Chance haben, große Öffentlichkeitswirkung zu erzielen.

Bei einer kritischen Reflexion der Bedeutung der Thermophorese in porösen Schloten von heißen Tiefseequellen für die präbiotische Synthese von Biomolekülen bleibt eine Reihe von Fragen bisher unbeantwortet. Inwieweit spiegeln die modellierten Prozesse reale Abläufe in den Tiefseeschloten wider? Ist thermophoretische Anreicherung von Stoffen im Allgemeinen und organischer Verbindungen im Besonderen dort nachweisbar? Sollte das der Fall sein, dann erhebt sich weiter die Frage, ob dieser Anreicherungsprozess irgendeine Selektivität zeigt. Sollten sich die bisherigen Modellrechnungen bestätigen, dann scheint die Anreicherung eher allgemeinen Charakter zu haben. Das aber würde zu einer Lösung führen, die eine höhere Konzentration an *vielen* vorhandenen Chemikalien enthält und damit wenig zu einer *spezifischen* Synthese von erforderlichen Biomolekülen beitragen kann.

Insofern bleibt festzuhalten, dass thermophoretische Anreicherung in kapillaren Systemen ein sehr interessantes Phänomen ist, das technisch manche Anwendung ermöglicht.

Ob dieser Prozess tatsächlich in der Natur abläuft, bleibt ebenso zu zeigen wie auch, ob er das Potenzial hat, präbiotische Synthesen in irgendeiner Weise nachhaltig und spezifisch zu beeinflussen.

[BAASKE P, WEINERT FM, DUHR S, LEMKE KH, RUSSELL MJ & BRAUN D (2007) Extreme accumulation of nucleotides in simulated hydrothermal pore systems. Proc. Nat. Acad. Sci. USA 104, 9346-9351 • BINDER H (2012) Wurde die RNA-Welt am Grunde des Ozeans etabliert? Stud. Int. J. 19, 61-62 • IMMING P (2015) Schritte ungeplanter, ungelenkter Entstehung von DNA und RNA? Stud. Int. J. 22, 42-45 • NIETHER D, AFANASENKAU D, DHONT JKG & WIEGAND S (2016) Accumulation of formamide in hydrothermal pores form prebiotic nucleobases. Proc. Nat. Acad. Sci. USA 113, 4272-4277] H. Binder

■ Sortiermaschine für Nukleinsäuren – hilfreich zur Entstehung erster Erbinformation?

Die Arbeitsgruppe des Biophysikers DIETER BRAUN an der LMU München untersucht seit längerer Zeit den Einfluss von Temperaturgradienten auf wässrige Lösungen und wie sich die auftretenden Effekte auf die gelösten Stoffe auswirken (BINDER 2012, IMMING 2015). Ein Raum, in dem ein stabiles Temperaturgefälle etabliert ist, stellt physikalisch gesehen einen Nichtgleichgewichtszustand dar. Bei Gradienten, die nicht durch Energiezufuhr aufrechterhalten werden, gleichen sich die Unterschiede nach einer bestimmten Zeit aus und im gesamten Raum ist die Mischtemperatur messbar – ein Gleichgewicht hat sich eingestellt. Wird das Temperaturgefälle aufrechterhalten, so löst es z. B. in wässrigen Lösungen Konvektionsströme aus, die wir z. B. als Wärmewalzen in Kochtöpfen beobachten können. (Unten durch die Herdplatte aufgeheiztes Wasser, das aufgrund der geringeren Dichte zur Wasseroberfläche strebt und oben das relativ kältere Wasser, das aufgrund der größeren Dichte nach unten strebt. Dies kann zu sogenannten selbstorganisierten Strukturen, eben den Wärmewalzen, führen.) Außerdem neigen gelöste Stoffe dazu, sich im kälteren Bereich anzureichern. Bei Stoffen, die eine elektrische Ladung tragen, ist diese