

Ursachen für den Kälterückschlag in der Jüngeren Dryaszeit

von Tobias Jakober – Mitschrift zum Vortrag im Rahmen der PRO SCIENTIA Abend-Session am 29. März 2023 in Innsbruck

Einleitung

Das Ende der letzten Eiszeit geht einher mit einer Abfolge von Erwärmungs- und Abkühlungsphasen – Interstadial und Stadiale genannt. Vor etwa 12.900 Jahren beginnt das letzte Stadial – die Jüngere Dryaszeit –, endet etwa 11.700 Jahre vor heute und markiert damit den Beginn des Holozäns, unserer gegenwärtigen Warmzeit. Die genaue Ursache dieses Kälterückschlags im allgemeinen Erwärmungstrend der abklingenden Eiszeit ist noch nicht völlig geklärt. Die Impakthypothese, die von einem extraterrestrischen Ereignis, das heißt einem Meteoriteneinschlag als Ursache ausgeht (Firestone et al. 2007), wurde von der Mehrzahl der Wissenschaftler und Forscherinnen verworfen. Auch vulkanische Aktivität, die zu einer Verdunkelung der Atmosphäre und damit zu einer verringerten Einstrahlung führen würde, wird meist nicht als plausibel bzw. ausreichend erachtet. Als wahrscheinlichste Erklärung gilt, dass infolge eines erhöhten Schmelzwassereintrags in den Nordatlantik die thermohaline Zirkulation geschwächt bzw. unterbrochen wurde, die für den Transport warmer Wassermassen in hohe Breiten des Atlantiks aus (sub)tropischen Gewässern verantwortlich ist (Broecker et al. 1989). Unklar ist aber auch hier, wo genau der Süßwassereintrag stattgefunden hat und was seine Quelle war.

Die thermohaline Zirkulation und ihr Antrieb

Die Thermohaline Zirkulation (engl. global conveyor belt) ist ein System von Meeresströmungen von globalem Ausmaß, die die Ozeane miteinander verbindet und den Austausch von Wassermassen zwischen den Hemisphären, den hohen und den niederen Breiten befördert (Koltermann 1991). Im Atlantik wird dieses globale Förderband vor allem auch von der Nordatlantischen Tiefenwasserbildung (engl. North Atlantic Deep Water = NADW) angetrieben. Dabei sinken vom Golfstrom nordwärts gebrachte Wassermassen mehrere Tausend Meter ab, weil sie durch Verdunstung auf dem Weg und Abkühlung an der Atmosphäre eine höhere Dichte erreichen. Die Absinkbewegung – mit einem ozeanischen Wasserfall vergleichbar – „saugt“ weiteres Wasser nach, sie fungiert quasi als Motor des Förderbandes (Koltermann 1991).

Konsequenz des fortwährenden Wassertransports durch den Golfstrom und den Nordatlantischen Strom insbesondere für den (nord-)europäischen Raum ist eine klimatische Begünstigung gegenüber ähnlichen Breitengraden. Eine Abkühlung wie sie in der Jüngeren Dryaszeit eingetreten ist, kann also möglicherweise durch eine Schwächung bzw. eine Unterbrechung der NADW-Bildung erklärt werden. Im Folgenden soll es um die konkreten Ursachen gehen, die von Wissenschaftlern in den vergangenen Jahrzehnten postuliert wurden.

Zusammenbruch der Nordatlantischen Tiefenwasserbildung

Die Bildung von NADW ist auf einen kleinen Bereich, die Grönland-Island-Norwegensee (GIN) beschränkt. In diesem Bereich „fallen“ die Wassermassen ab und treiben die Zirkulation an. Dieser Prozess ist nur unter einem recht fragilen Gleichgewicht möglich. Es müssen die richtigen Salinitätsbedingungen der Wassermassen gegeben sein, damit das von Süden anströmende Wasser auch tatsächlich eine ausreichend hohe Dichte hat und absinkt. Bei einem Eintrag von großen Mengen

Süßwasser in einem kurzen Zeitraum wird dieses Gleichgewicht des Salzgehalts gestört. Das Wasser sinkt nicht mehr, ab, es wird kein Sog entwickelt und der Wärmetransport in hohe nördliche Breiten kommt zu einem Ende (Fanning und Weaver 1997). Die Folge ist ein Kälterückschlag von bis zu 10 °C vor allem im Bereich des Nordatlantik und angrenzender Landmassen. Die Jüngere Dryas Temperaturanomalie war nun mit hoher Wahrscheinlichkeit von einer solchen Aussüßung getriggert.

Süßwasserquellen

Broecker et al. (1989) haben als erste die Hypothese formuliert, die NADW-Formation sei durch einen enormen Schmelzwassereintrag beim Ausbruch des Lake Agassiz zusammengebrochen. Dieser See, der im Südwesten des Laurentidischen Eisschildes auf dem Nordamerikanischen Kontinent liegt (wie in der Abbildung zu sehen) und von den Schmelzwässern desselben gespeist wird, entwässert normalerweise in den Golf von Mexiko über den Mississippi. Ein Wegbrechen der abdämmenden Gletschermassen im Osten des Sees hätte Broecker et al. (1989) zufolge zu einem massiven Abflussereignis über das St. Lorenz Tal und den Hudson River geführt, der Wasserspiegel des Lake Agassiz senkte sich dabei um etwa 40 m. Das in den Atlantik eingebrachte Schmelzwasser sei vom Nordatlantischen Strom bis in die GIN-See transportiert worden und hätte dort die NADW-Bildung zum Erliegen gebracht, so die Annahme.

Die Datierung des Ausbruchs des Lake Agassiz (welcher selbst nicht infrage steht) sei aber etwa Tarasov und Peltier (2005) zufolge nicht korrelierend mit

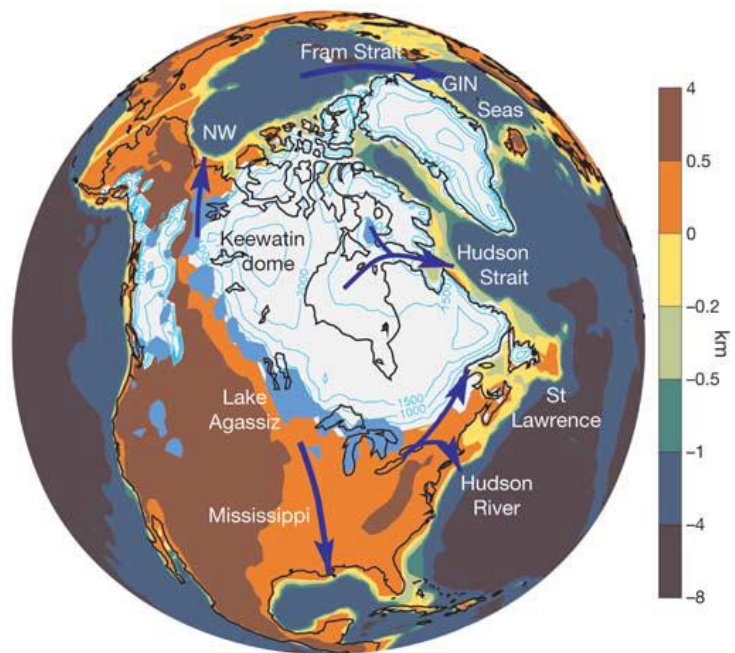


Abbildung 1: Im Südwesten des Laurentidischen Eisschildes der Lake Agassiz und die verschiedenen Abflussrichtungen (blaue Pfeile). (Tarasov und Peltier 2005, S. 663)

dem Ansatz der Jüngeren Dryaszeit. Demnach muss es eine andere Ursache für die Salinitätsveränderungen in der GIN-See geben. Tarasov und Peltier (2005) haben gezeigt, dass vermehrter Schmelzwassereintrag in den Arktischen Ozean (über das Mackenzie-Tal im Nordwesten Nordamerikas) den gesuchten Effekt zeitigen kann. Zum Zeitpunkt des letzten Glazials gibt es keinen anderen Abfluss aus dem Arktischen Ozean als über die Framstraße (engl. Fram Strait s. Abbildung), die direkt in der GIN-See mündet. Vermehrte Meereisbildung durch Süßwassereintrag oder Transport einer Süßwasserlinse bis zum Bildungsort des NADW hätte demnach eine Unterbrechung der Thermohalinen Zirkulation zur Folge. Ein katastrophaler Ausbruch wie der des Lake Agassiz wäre in diesem Fall nicht nötig – Tarasov und Peltier (2005) haben allerdings den erhöhten Schmelzwassereintrag vom Keewatin Eisdome (siehe Abbildung) berücksichtigt, der zum Zeitpunkt der Hypothesenformulierung von Broecker et. al (1989) nicht bekannt war.

Schlussbetrachtungen

Jüngere Forschungsarbeiten (z.B. Norris et al. 2021, Renssen et al. 2015) haben wiederum Einwände gegen die beiden zitierten Publikationen erhoben, der Ausbruch des Lake Agassiz wäre in den Arktischen Ozean hin eingetreten oder es seien neben einer Aussüßung im Nordatlantik noch etliche weitere Ursachen für den Einsatz der Jüngeren Dryaszeit vorhanden gewesen. Die Kontroverse um die tatsächlichen kausalen Zusammenhänge zeigt, dass es in diesem Bereich noch weiteren Forschungsbedarf gibt. Relevant sind die Erkenntnisse auch für ein besseres Verständnis des Klimasystems im allgemeinen und mögliche Szenarien für den gegenwärtigen Klimawandel.

Quellen

- BROECKER, W.S. / KENNET, J.P. / FLOWER, B.P. / TELLER, J.T. / TRUMBORE, S. / BONANI, G. und WOLFLI, W. (1989): Routing of meltwater from the Laurentide Ice Sheet during the Younger Dryas cold episode. *Nature*. Vol.341(6240). S.319-321
- FANNING, A.F. und WEAVER, A.J. (1997): Temporal-geographical meltwater influences on the North Atlantic Conveyor. Implications for the Younger Dryas. *Paleoceanography*. Vol.12(2). S.307-320
- FIRESTONE, R.B. / WEST, A. / KENETT, J.P. / BECKER, L. / BUNCH, T.E. / REVAY, Z.S. / SCHULTZ, P.H. / BELGYA, T. / KENETT, D.J. / ERLANDSON, J.M. / DICKENSON, O.J. / GOODYEAR, A.C. / HARRIS, R.S. / HOWARD, G.A. / KLOOSTERMAN, J.B. / LECHLER, P. / MAYEWSKI, P.A. / MONTGOMERY, J. / POREDA, R. / DARRAH, T. / QUE HEE, S.S. / SMITH, A.R. / STICH, A. / TOPPING, W. / WITTKE, J.H. und WOLBACH, W.S. (2007): Evidence for an extraterrestrial impact 12,900 years ago that contributed to the megafaunal extinctions and the Younger Dryas cooling. *PNAS*. Vol.104(41). S.16016-16021
- KOLTERMANN, K. (1991): Klimaschwankungen im Atlantik: globale Zusammenhänge und regionale Effekte. *Deutsche Hydrografische Zeitschrift*. Vol.44(5). S.383-389
- NORRIS, S.L. / Garcia-Castellanos, D. / Jansen, J.D. / Carling, P.A. / Margold, M. / Woywitka, R.J. und Froese, D.G. (2021): Catastrophic Drainage From the Northwestern Outlet of Glacial Lake Agassiz During the Younger Dryas. *Geographical Research Letters*. Vol.48
- RENSSEN, H. / MAIRESSE, A. / GOOSSE, H. / MATHIOT, P. / HEIRI, O. / Roche, D.M. / Nisancioglu, K.H. und Valdes, P.J. (2015): Multiple causes of the Younger Dryas cold period. *Nature Geoscience*. Vol.8. S. 946-950
- TARASOV, L. und PELTIER, W.R. (2005): Arctic freshwater forcing of the Younger Dryas cold reversal. *Nature*. Vol.435(7042). S.662-665