

# Neue Studie deckt mögliche Ursachen für die Kleine Eiszeit (LIA) auf...

geschrieben von Chris Frey | 7. September 2022

**...darunter geringe Sonnenaktivität, Störungen des Jetstreams, vulkanische Aktivitäten und hohe Variabilität der arktischen Meereisbedeckung**

## Cap Allon

Eine neue [Studie](#) mit dem Titel „Split Westerlies Over Europe In The Early Little Ice Age“ [etwa: „Zweiteilung der Westwinde über Europa zu Beginn der Kleinen Eiszeit“] wurde am 20. August 2022 in Nature veröffentlicht. Die Studie von 15 Forschern unter der Leitung von Hsun-Ming Hu befasst sich mit den wahren, manchmal scheinbar widersprüchlichen Ursachen der LIA.

Im Folgenden werde ich die Studie nur mit den Worten der Wissenschaftler zusammenfassen – sofern nicht anders angegeben. Die Studie ist sicherlich faszinierend und fördert den Dialog.

## **Abstract**

Die Kleine Eiszeit (LIA; ca. 1450-1850 n. Chr.) ist die am besten dokumentierte Kälteperiode des vergangenen Jahrtausends, die durch hochfrequenten Vulkanismus, geringe Sonnenaktivität und eine hohe Variabilität der arktischen Meereisbedeckung gekennzeichnet war.

Frühere Studien über die Veränderungen der atlantischen Zirkulation während des LIA haben sich auf die Nordatlantische Oszillation (NAO) bezogen, aber neuere Studien haben festgestellt, dass die Klimamuster des LIA eine Komplexität zu besitzen scheinen, die von einem NAO-Analogen nicht erfasst wird.

Hier stellen wir eine neue niederschlagsempfindliche Stalagmitenaufzeichnung aus Norditalien vor, welche die letzten 800 Jahre abdeckt.

Wir zeigen, dass während des frühen LIA (1470-1610 n. Chr.) ein verstärkter atmosphärischer Höhenrücken über Nordeuropa die klimatologischen Westwinde von Mittel- und Nordeuropa abspaltete, möglicherweise verursacht durch den gleichzeitigen Rückgang des arktischen Meereises.

**Angesichts der anhaltenden Eisschmelze in den nördlichen hohen Breiten und der abnehmenden Sonneneinstrahlung in den kommenden Jahren könnte**

die frühe LIA als Analogon für die hydroklimatischen Bedingungen in Europa in den kommenden Jahrzehnten dienen.

[Hervorhebung im Original]

## Einführung

Die Westwinde über dem Nordatlantik sind die Hauptquelle für den Feuchtigkeitstransport nach Europa, insbesondere im Winterhalbjahr (Oktober-März).

Ein bekannter Einfluss auf ihren Verlauf und ihre Stärke ist der Druckunterschied zwischen dem Islandtief und dem Azorenhoch; Variationen dieses Druckunterschieds führen zur Nordatlantischen Oszillation NAO; ergänzende Abb. 1A) und beeinflussen die Niederschlagsmuster in Europa (ergänzende Abb. 1B):

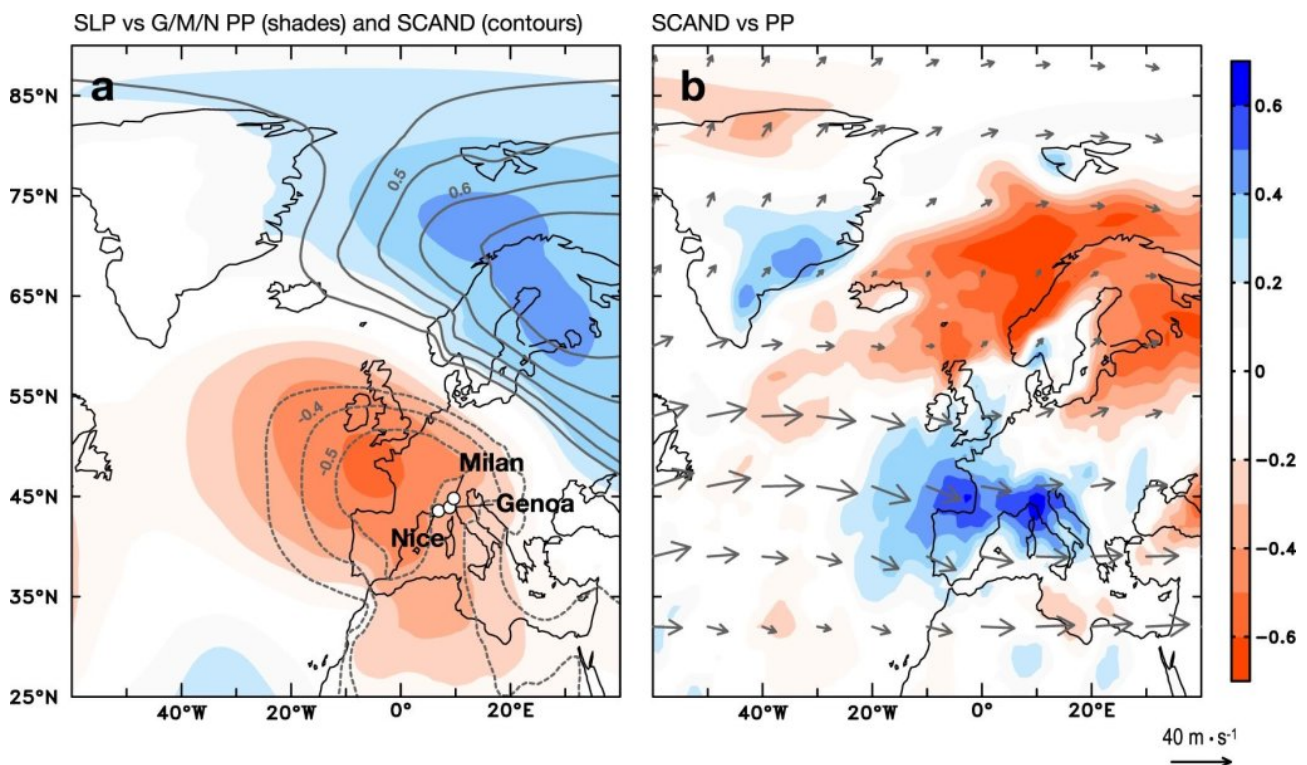


Abb. 1: Klima und Luftdruck-Variabilität über dem Atlantik

Zu der Graphik:

**a)** Korrelation zwischen SLP und (i) mittlerem Niederschlag an den Stationen Genua, Mailand und Nizza (G/M/N PP) (Schattierungen); (ii) Skandinavien-Index (SCAND) des Climate Prediction Center (CPC) (Konturen) im Zeitraum September-Februar 1950-2008 u.Z.

**b)** Vektoren: klimatologische Winde auf 200-mb-Ebene plus Regression der 200-mb-Winde auf den SCAND-Index multipliziert mit zwei Standardabweichungen des SCAND-Index im Zeitraum September-Februar

*1950-2008 u.Z., was eine positive SCAND-Bedingung anzeigt. Schattierungen: Korrelation zwischen dem SCAND-Index und dem Niederschlag im Zeitraum September-Februar 1950-2008 n.Chr. Die Schattierungen und Konturen zeigen den/die Korrelationskoeffizienten über dem 90%igen Vertrauensniveau an. Die Klimadaten stammen aus der Reanalyse v3 des 20. Jahrhunderts*

Ein weiteres Merkmal, das zu Schwankungen der Westwinde führt, sind atmosphärische Blockierungen, d. h. anhaltende und stationäre Hochdrucksysteme, die die reguläre Westströmung für mehrere Tage bis Wochen blockieren.

Atmosphärische Blocking-Ereignisse über dem Nordatlantik und insbesondere über Skandinavien spielen eine wichtige Rolle bei extremen Winterwetterlagen über Europa, da sie die Lage der Westwinde und die damit verbundenen Zugbahnen von Sturmzyklonen beeinflussen.

Ihr Vorhandensein verhindert den Transport warmer und feuchter Luftmassen nach Europa, was zu Kälteperioden in Nord- und Mitteleuropa wie im Winter 2010/11 führt.

Um die Variabilität der Westwinde und das Auftreten von atmosphärischen Blockierungen auf verschiedenen Zeitskalen besser zu verstehen, werden natürliche Archive benötigt, die über die instrumentelle Ära hinausreichen.

Mehrere Proxy-Aufzeichnungen haben die Variabilität der nordatlantischen Westwinde in den vergangenen Jahrtausenden und insbesondere während der Kleinen Eiszeit (LIA; ca. 1450-1850 n. Chr.) aufgezeichnet. **Dies war die kälteste Episode des vergangenen Jahrtausends, die durch eine geringe Sonneneinstrahlung, große Schwankungen der Meereisausdehnung und häufige Vulkanausbrüche gekennzeichnet war.**

[Hervorhebung im Original]

Eine frühe Rekonstruktion der NAO während des letzten Jahrtausends deutete auf eine anhaltend positive NAO während der mittelalterlichen Klima-anomalie hin, bevor es während der LIA zu einer Verschiebung zu negativen NAO-Bedingungen kam, aber diese Schlussfolgerung wurde seitdem durch andere NAO-Rekonstruktionen der LIA in Frage gestellt.

Eine neuere Multiproxy-Rekonstruktion legt stattdessen nahe, dass die NAO während der LIA neutral bis schwach positiv war. Es wurde versucht, unterschiedliche Proxy-Rekonstruktionen im Rahmen der NAO in Einklang zu bringen, aber eine andere Möglichkeit ist, dass stattdessen verschiedene Muster der großräumigen atmosphärischen Zirkulation im Spiel sein könnten.

Hier stellen wir eine neue, auf Stalagmiten basierende Aufzeichnung des Herbst-Winter-Niederschlags aus Norditalien vor, die sich über die letzten 800 Jahre erstreckt. Unsere Aufzeichnungen dokumentieren eine

verstärkte atmosphärische Aufwölbung (Antizyklone) über Nordeuropa, die mit einer Aufspaltung der klimatologischen Westwinde einhergeht, wobei sich der Hauptzweig in Richtung Mittelmeer und ein schwächerer Zweig nordwärts in Richtung Grönland erstreckt. Diese Zirkulation ist charakteristisch für eine ausgeprägte positive Phase des skandinavischen Telekonnektionsmusters, einer Form der winterlichen großräumigen atmosphärischen Zirkulationsvariabilität über dem Nordatlantik und Europa, die sich dynamisch von der NAO unterscheidet.

## **Die Kleine Eiszeit**

Während der LIA war das Klima im nordatlantischen/europäischen Raum überwiegend kalt, aber die Proxy-Aufzeichnungen zeigen eine beträchtliche Variabilität auf Zeitskalen von mehreren Dekaden bis zu Jahrhunderten innerhalb dieses Zeitraums.

Auf Jahrhundert-Skalen zeigt die Bäsura-Aufzeichnung [NW-Italien] ein ausgeprägtes feuchtes Intervall in Norditalien während der frühen LIA (1470-1610 n. Chr.), was auf möglicherweise starke und anhaltende positive SCAND[Scandinavia pattern]-ähnliche Bedingungen hindeutet.

Innerhalb dieses Zeitraums zeigt der Bäsura-Datensatz (Abb. 2f unten) jedoch eine starke mehrdekadische Variabilität: Die Niederschläge nahmen zu Beginn der LIA zu, erreichten ~1550 n. Chr. ihren Höhepunkt und nahmen dann bis 1620 n. Chr. ab.

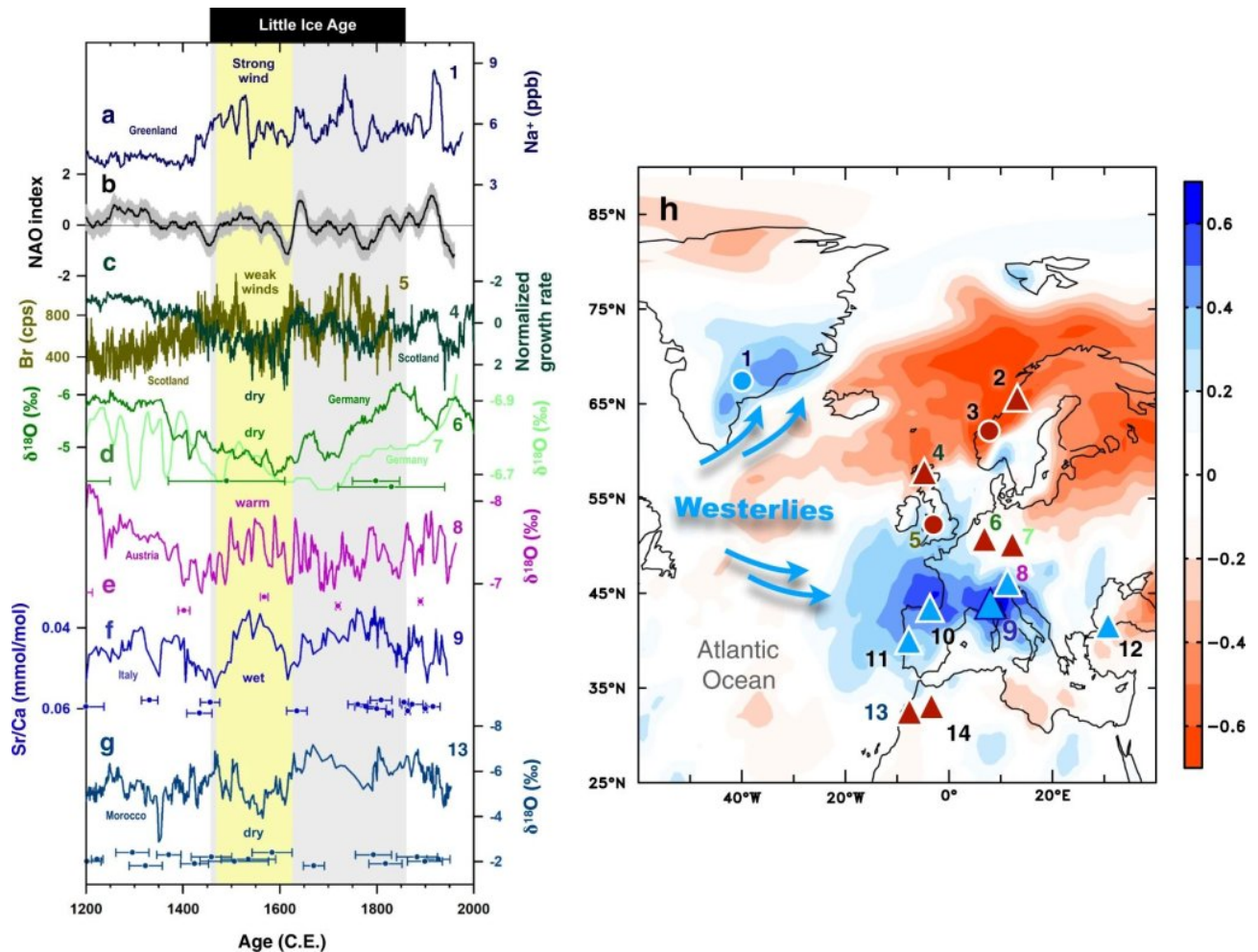


Abb. 2: Klimaaufzeichnungen aus Europa und Nordafrika für die letzten 800 Jahre

Zu der Graphik:

a)  $\text{Na}^+$ -Konzentration im Eiskern GISP2 als Indikator für die Windstärke.

b) Rekonstruierter Index der Nordatlantischen Oszillation (NAO).

c) Grün: Wachstumsrate der Stalagmiten aus der Roaring Cave (Schottland) als Indikator für die Niederschlagsmenge. Eine niedrige Wachstumsrate deutet auf eine positive NAO-Phase hin. Hellbraun: Bromkonzentration aus äolischen Sedimenten als Indikator für die Windstärke. Hohe Werte weisen auf starke Winde hin.

d) Bunker (dunkelgrün) und Bleßberg (hellgrün)  $\delta^{18}\text{O}$ -Aufzeichnung aus Deutschland. Niedrige Werte weisen auf ein warmes und feuchtes Klima hin.

e) Spannagel  $\delta^{18}\text{O}$ -Aufzeichnung aus Österreich. Niedrige Werte weisen auf ein warmes Klima hin.

f) Bàsura Sr/Ca-Aufzeichnung aus Norditalien. g) Ifoulki  $\delta^{18}\text{O}$ -Aufzeichnung aus Marokko. Das graue vertikale Band markiert die Kleine

*Eiszeit. Der gelbe vertikale Balken hebt den Zeitraum 1470-1610 n. Chr. hervor. Farbige Punkte und Balken sind U-Th-Alter mit 2-Sigma-Unsicherheiten.*

*h) Karte mit Klimakonfiguration und Lage der zitierten Aufzeichnungen. Die rot-blauen Schattierungen zeigen den/die Korrelationskoeffizienten zwischen dem Skandinavien-Index und dem Bodenniederschlag im Zeitraum September-Februar 1950-2008 n. Chr. Die Klimadaten stammen aus der Reanalyse v3 des 20. Dreiecke und Kreise markieren westlich beeinflusste Standorte mit einem feucht-warmen (blau) oder trocken-kalten (rot) Klima. Die Bàsura-Höhle ist durch einen dunkelblauen Rand hervorgehoben. 1: GISP2. 2: Korallgrottan-Höhle. 3: Neflon. 4: Roaring-Höhle. 5: Äußere Hebriden. 6: Bunkerhöhle. 7: Bleßberghöhle 8: Spannagelhöhle. 9. Bàsura-Höhle. 10: Kaite-Höhle. 11: Buraca-Gloriosa-Höhle. 12: Sofular-Höhle. 13: Ifoulki-Höhle. 14: Chaara-Höhle.*

Das feuchte Intervall zu Beginn des LIA in Norditalien entspricht einer Periode starker Westwinde über dem Nordatlantik (1470-1610 n. Chr.), wie eine Natriumionenaufzeichnung in einem grönländischen Eiskern nahelegt (Abb. 2a), die mit einem neutral-positiven NAO-Modus einherging, wie eine zusammengesetzte NAO-Rekonstruktion zeigt (Abb. 2a).

Auf den Britischen Inseln herrschte während dieses Zeitraums jedoch ein relativ trockenes und weniger windiges Klima, wie eine auf Stalagmiten basierende Rekonstruktion der Roaring Cave (Abb. 2c, grün) und die Aufzeichnung von Bromin aus äolischen Sedimenten in Schottland (Abb. 2c; hellbraun) zeigen.

Trockene und kalte Bedingungen werden auch für Deutschland abgeleitet, basierend auf  $\delta^{18}O$ -Daten von Stalagmiten aus der Bunkerhöhle (Abb. 2d, dunkelgrün) und der Bleßberghöhle (Abb. 2d, hellgrün), sowie für das hoch gelegene Schweden (ergänzende Abb. 7a), basierend auf  $\delta^{18}O$ -Daten von Stalagmiten und lakustrischen Aufzeichnungen.

Die Niederschlags- und Windminima in diesen Regionen spiegeln also nicht einen neutral-positiven NAO-Modus wider. Unsere Sr/Ca-Aufzeichnung aus der Bàsura-Höhle (Abb. 2f) deutet dagegen darauf hin, dass in Südeuropa warme und feuchte Bedingungen herrschten, was auch durch eine  $\delta^{18}O$ -Aufzeichnung aus der Spannagl-Höhle in Österreich (Abb. 2e) belegt wird.

Ähnlich warme und feuchte Bedingungen weisen Stalagmiten aus Portugal (ergänzende Abb. 7b), Spanien (ergänzende Abb. 7c) und der Türkei (ergänzende Abb. 7d) auf, während Stalagmiten aus Marokko ein trockenes Intervall verzeichnen (Abb. 2g und ergänzende Abb. 7f).

## **Atmosphärischer Höhenrücken über Skandinavien zwischen 1470 und 1610 n. Chr.**

Das trockene/kalte Klima in Nordeuropa zwischen 1470 und 1610 n. Chr. kann mit einer neutral-positiven NAO-Phase während dieses Zeitraums in

Einklang gebracht werden, wie Ortega et al. (2015) vorschlagen, und zwar durch verstärkte atmosphärische Höhenrücken und damit eine erhöhte Häufigkeit von atmosphärischen Blockierungen über Skandinavien.

Comas-Bru und McDermott (2013) haben argumentiert, dass der zusätzliche Einfluss des SCAND-Musters auf eine NAO die Nicht-Stationarität in der Beziehung zwischen dem europäischen Winterklima und der NAO erklären kann.

Die Kombination der Aufzeichnungen aus Grönland und Båsurra deutet darauf hin, dass ein solcher Höhenrücken die Westwinde während des frühen LIA aufspaltete, wobei ein nördlicher Zweig in Richtung Arktis gerichtet war, was mit dem windigen/warmen/feuchten Klima über Südostgrönland übereinstimmt, und ein südlicher Zweig in Richtung Mittelmeer, was mit den erhöhten Niederschlägen in der Båsurra-Höhle übereinstimmt (Abb. 2h).

Diese klimatischen Bedingungen ähneln den anomal feuchten Bedingungen in Südostgrönland und im nordwestlichen Mittelmeerraum während positiver SCAND-Phasen (Abb. 1b und ergänzende Abb. 1d). Die positive SCAND-Phase erklärt nicht die frühe LIA-Trockenheit über Nordafrika, aber dies könnte auf ein verstärktes Azorenhoch während einer neutral-positiven NAO-Phase zurückgeführt werden (Abb. 2a), das den Feuchtigkeitstransport nach Marokko verhinderte (Abb. 2b).

**Zusammenhänge mit dem Rückgang des arktischen Meereises und dem solaren Antrieb**



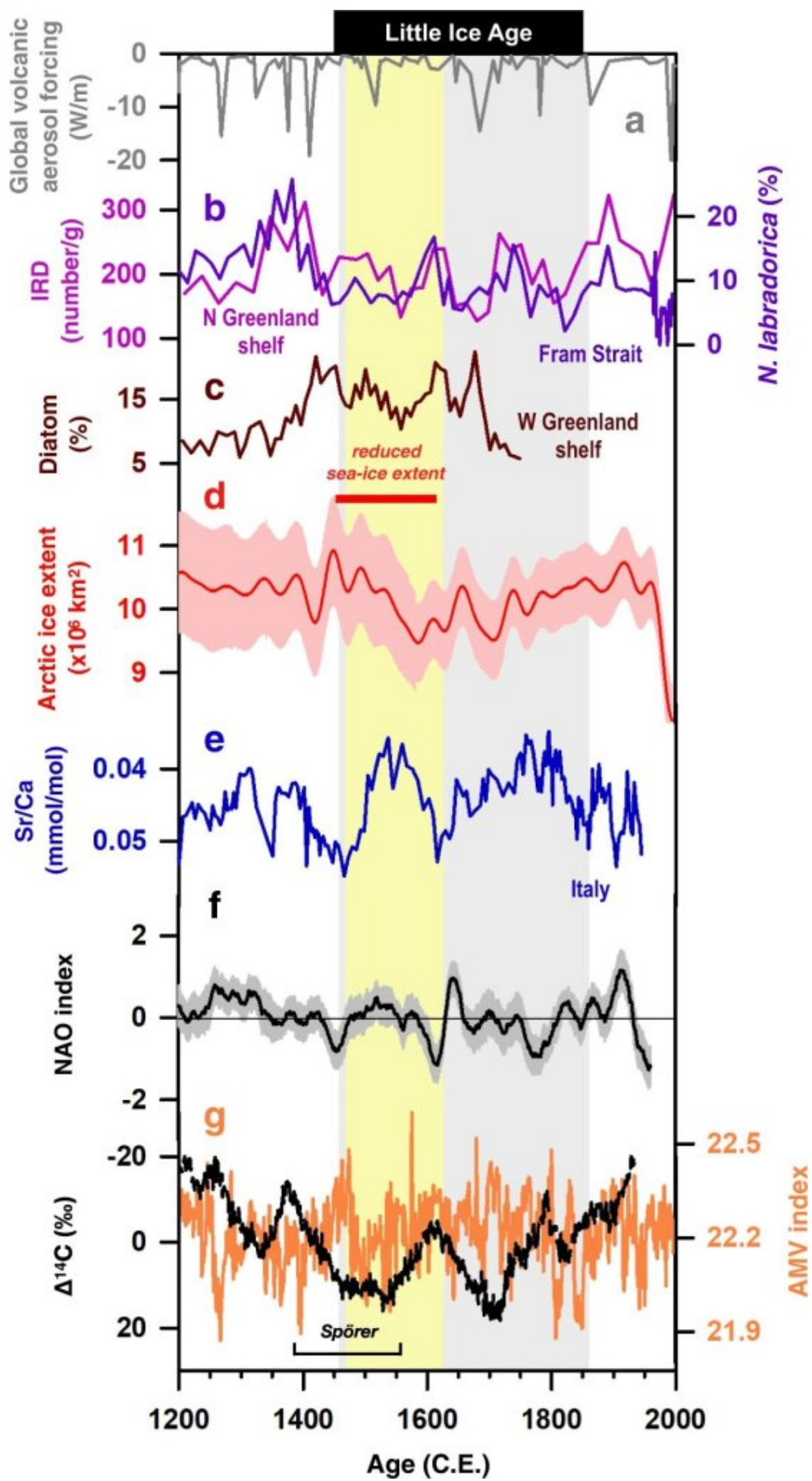




Abb. 3: Vergleich von vulkanischem Antrieb, Sonnenaktivität, Meereisvariabilität und Bäsura-Aufzeichnung

Zu dieser Graphik:

a) Globaler vulkanischer Aerosolantrieb.

b) *Violett*: Konzentration von benthischen Foraminiferen vom nordgrönländischen Schelf (PS2641-4; ergänzende Abb. 2) als Indikator für die Meereisbedeckung. *Rosa*: Eisschutt (IRD) (MSM5/5; ergänzende Abb. 2) aus der Framstraße. Hohe Werte dieser beiden Datensätze weisen auf eine große Meereisbedeckung hin.

c) Fünf-Punkte-Mittelwert der Kieselalgenkonzentration (*Thalassiosira nordenskioeldii*) vom westgrönländischen Schelf (GA306-4; ergänzende Abb. 2). Ein hoher Wert bedeutet eine große Meereisbedeckung.

d) *Rot*: 40 Jahre geglättete rekonstruierte spätsommerliche arktische Meereisausdehnung.

e) Bäsura Sr/Ca-Aufzeichnung.

f) Rekonstruierter NAO-Index. g *Orange*: Atlantischer multidekadischer Variabilitätsindex. *Schwarz*: Gesamte Sonneneinstrahlung. Die Intervalle des Spörer-Minimums (1388-1558 n. Chr.) und des Meereisrückgangs (1450-1620 n. Chr.) sind markiert. Der graue vertikale Balken kennzeichnet die Kleine Eiszeit. Der gelbe vertikale Balken hebt die Periode 1470-1610 n. u. Z. hervor.

Aufzeichnungen von Eisschutt aus der Framstraße (Abb. 3b), von Foraminiferen abgeleitete Meereisaufzeichnungen vom nordgrönländischen Schelf (Abb. 3b) und auf Diatomeen basierende Meereisrekonstruktionen vom westgrönländischen Schelf (Abb. 3c) zeigen alle eine ausgedehnte Meereisbedeckung im Nordatlantik während der mittleren bis späten 1300er Jahre.

Diese ausgedehnte Meereisbedeckung im Nordatlantik wurde vermutlich durch den intensiven Vulkanismus (Abb. 3a) und die geringe Sonneneinstrahlung (Abb. 3g) in den späten 1200er bis frühen 1300er Jahren ausgelöst, was wiederum eine Veränderung der Ozeanzirkulation und eine Abkühlung in Europa ab etwa 1400 n. Chr. zur Folge hatte.

Ab 1400 n. Chr. nahm die Ausdehnung des Meereises aufgrund des Eindringens von warmem Atlantikwasser in den Nordatlantik erheblich ab (Abb. 3b, c), was sich in einer positiven Phase der atlantischen multidekadischen Variabilität widerspiegelt (Abb. 3g).

In Anbetracht der Unsicherheiten bei der Datierung größerer Sr/Ca-Abnahmen in Bäsura zwischen  $1466 \pm 20$  und  $1559 \pm 40$  n. Chr. fällt die von uns abgeleitete Periode mit skandinavischer Rückenbildung in das

Intervall mit dem arktischen Meereismaximum um 1450 n. Chr. bis zum Minimum um 1586 n. Chr., da dieses Intervall als Ereignis mit „verringertes Meereisausdehnung“ identifiziert wurde. Eine solche skandinavische Aufwölbung kann durch den Meereisverlust in der Barent-Kara-See ausgelöst werden. Direkte Meereisdaten aus dem Barent-Kara-Meer sind zwar nicht verfügbar, aber gekoppelte Modellsimulationen, die auf der Assimilation verfügbarer globaler Proxydaten beruhen, deuten auf einen Rückgang des Barent-Kara-Meereises im Zeitraum 1470-1520 n. Chr. hin.

Der Rückgang des Meereises führt zu erhöhten Wärmeflüssen in die Atmosphäre, die wiederum eine stationäre Rossby-Welle anregen, die sich in Richtung Südosten ausbreitet und den atmosphärischen Höhenrücken über Nordeuropa verstärken kann [auch bekannt als „meridionaler“ Jetstream]. Diese Rückkopplung zwischen Ozean und Atmosphäre könnte somit einen Mechanismus für die Verbindung zwischen der verringerten Meereisausdehnung und dem skandinavischen Höhenrücken während der Jahre 1470-1610 n. Chr. liefern, die unsere Ergebnisse nahelegen (Abb. 2g).

Der atmosphärische Höhenrücken in der frühen LIA könnte durch die geringe Sonneneinstrahlung noch verstärkt worden sein (Abb. 3g).

Modellsimulationen und Proxy-Aufzeichnungen deuten darauf hin, dass Veränderungen der Sonneneinstrahlung erhebliche Auswirkungen auf die Ozonchemie in der Stratosphäre haben können, die den Polarwirbel stören und somit den troposphärischen Jetstream und die atmosphärische Zirkulation beeinflussen.

Unsere Sr/Ca-Daten aus dem Bäsura-Stalagmiten, die von 0,055 mmol/mol um 1460 n. Chr. auf 0,035 mmol/mol um 1550 n. Chr. abfallen, deuten darauf hin, dass sich der skandinavische Rücken in diesem Zeitraum zunehmend verstärkt hat (Abb. 3e). Dieses 90-Jahres-Intervall fällt in die Zeit des Spörer-Minimums (1388-1558 n. Chr., Abb. 3g), was den Zusammenhang zwischen atmosphärischen Veränderungen und solarer Variabilität bestätigt.

Der Rückgang der Meereisausdehnung zwischen 1450 und 1620 n. Chr. ist wohl von längerer Dauer als in den vergangenen 1400 Jahren und ausgeprägter als während der mittelalterlichen Klimaanomale (ca. 800-1300 n. Chr.).

Unsere Ergebnisse zeigen auf Proxy-Daten basierende Belege für eine verstärkte atmosphärische Aufwölbung über Nordeuropa während dieses mehrdekadischen Intervalls während der frühen LIA, möglicherweise als Reaktion auf den Rückgang des Meereises und das solare Minimum. Unsere Ergebnisse bieten somit möglicherweise eine Analogie für die kommenden Jahrzehnte, in denen die Sonne in ein großes Minimum eintreten könnte.

*Die gesamte Studie mit ausführlichen Literaturhinweisen und zusätzlichen Graphiken steht [hier](#).*

Link: <https://electroverse.co/little-ice-age-causes/>

Übersetzt von [Christian Freuer](#) für das EIKE