

Klima–Oszillationen: Meereisbedeckung auf der Nordhemisphäre

geschrieben von Chris Frey | 1. Juli 2025

Andy May

Die Meereisfläche der nördlichen Hemisphäre ist ein wichtiger Klimaindex, da sie bestimmt, wie viel Fläche des Arktischen Ozeans und der umliegenden Meere der Atmosphäre ausgesetzt ist. Eis ist ein guter Isolator und speichert die Wärme im darunter liegenden Wasser (Peixoto & Oort, 1992, S. 361). Eis reflektiert außerdem Sonnenlicht gut (hohe Albedo), während Wasser Sonnenlicht gut absorbiert (niedrige Albedo). Zwar liegen uns keine genauen Daten zur Meereisfläche der nördlichen Hemisphäre (hier als NH_ice bezeichnet) vor 1978 vor, dem ersten Jahr, für das gute Satellitendaten vorliegen, doch scheint sie der globalen 60- bis 70-jährigen Klimaschwankung zu folgen (Wyatt, 2020). Dies könnte daran liegen, dass die eng damit verbundene AMO die Meereisfläche beeinflusst.

Vor 1978 liegen uns Berichte aus Schiffsbeobachtungen über die Eisausdehnung vor, die nur schwach mit der Meereisfläche zusammenhängt. Die Meereisausdehnung war in der Warmzeit des frühen 20. Jahrhunderts von etwa 1920 bis 1945 sehr gering; dies fiel auch in den Anstieg der AMO zu Beginn des 20. Jahrhunderts, der dem 1977 einsetzenden Anstieg der AMO entspricht (siehe [hier](#) und [hier](#)). Schiffsbeobachtungen erwähnen häufig einen eisfreien Arktischen Ozean von den 1850er bis in die 1870er Jahre, eine weitere Zeit der Erwärmung der AMO. Silas Bent schlug vor, dass der atlantische Golfstrom in der Arktis auf den warmen pazifischen Kuroshio-Strom traf und diese 1872 eisfrei hielt, wie in Abbildung 1 dargestellt (Luedtke, 2015).

Systematische Beobachtungen des arktischen Eises begannen erst 1885, als das Dänische Meteorologische Institut (DMI) begann, anhand von Berichten von „Forschern, Walfängern und anderen Polarmeefahrern“ systematisch Karten der Eisausdehnung zu erstellen. Diese Berichte wurden sowohl auf Dänisch als auch auf Englisch veröffentlicht (Luedtke, 2015). Allerdings befand sich die AMO zu diesem Zeitpunkt bereits in einer [negativen](#) Phase.



Abbildung 1. Silas Bents Karte eines vermeintlich offenen Arktischen Ozeans im Jahr 1868. Quelle: (Luedtke, 2015)

Mitte der 1930er Jahre, während der **Warmzeit** des frühen 20. Jahrhunderts, die auch eine bedeutende AMO-Warmzeit war, war die Arktische Nordostpassage für gewöhnliche Dampfschiffe ungewöhnlich offen (Luedtke, 2015). Dieser Teil des Arktischen Ozeans um Spitzbergen, Nowaja Semlja und Franz-Josef-Land (siehe Abbildung 2) ist in der Regel die meiste Zeit des Jahres durch Eis **versperrt**.



Abbildung 2. Die Nordostpassage nördlich von Russland. Quelle: Google Earth.

Während die Nordostpassage in den frühen 1930er Jahren größtenteils offen war, blieben die Nordwestpassage, die Beaufortsee und die Beringsee die meiste Zeit des Jahres eisbedeckt. Der Eisverlust in der Arktis in den 1930er Jahren veranlasste einige dazu, die Welt vor einem potenziell gefährlichen Klimawandel zu warnen (Manley, 1944). Doch als sich die Welt in den folgenden Jahrzehnten abkühlte, nahmen die Sorgen über die globale Erwärmung ab, bis die Temperaturen in den 1980er Jahren wieder zu steigen begannen.

Die polaren Energieflüsse variieren je nach Jahreszeit, wie in Abbildung 3 dargestellt. Im Sommer ist die in den Weltraum abgegebene Energie gering, da die eingehende Energie (meridionaler Transport + Sonnenenergie) zum Schmelzen von Eis und Schnee und zur Erwärmung des Arktischen Ozeans verwendet wird. Im Winter ist diese Reihenfolge umgekehrt: Die Sonnenenergieeinstrahlung ist sehr gering, und das sommerliche Schmelzwasser gefriert wieder, wodurch die im Wasser gespeicherte Wärme freigesetzt wird. Daher findet der größte Teil des Energietransports in den Weltraum in den Wintermonaten statt.

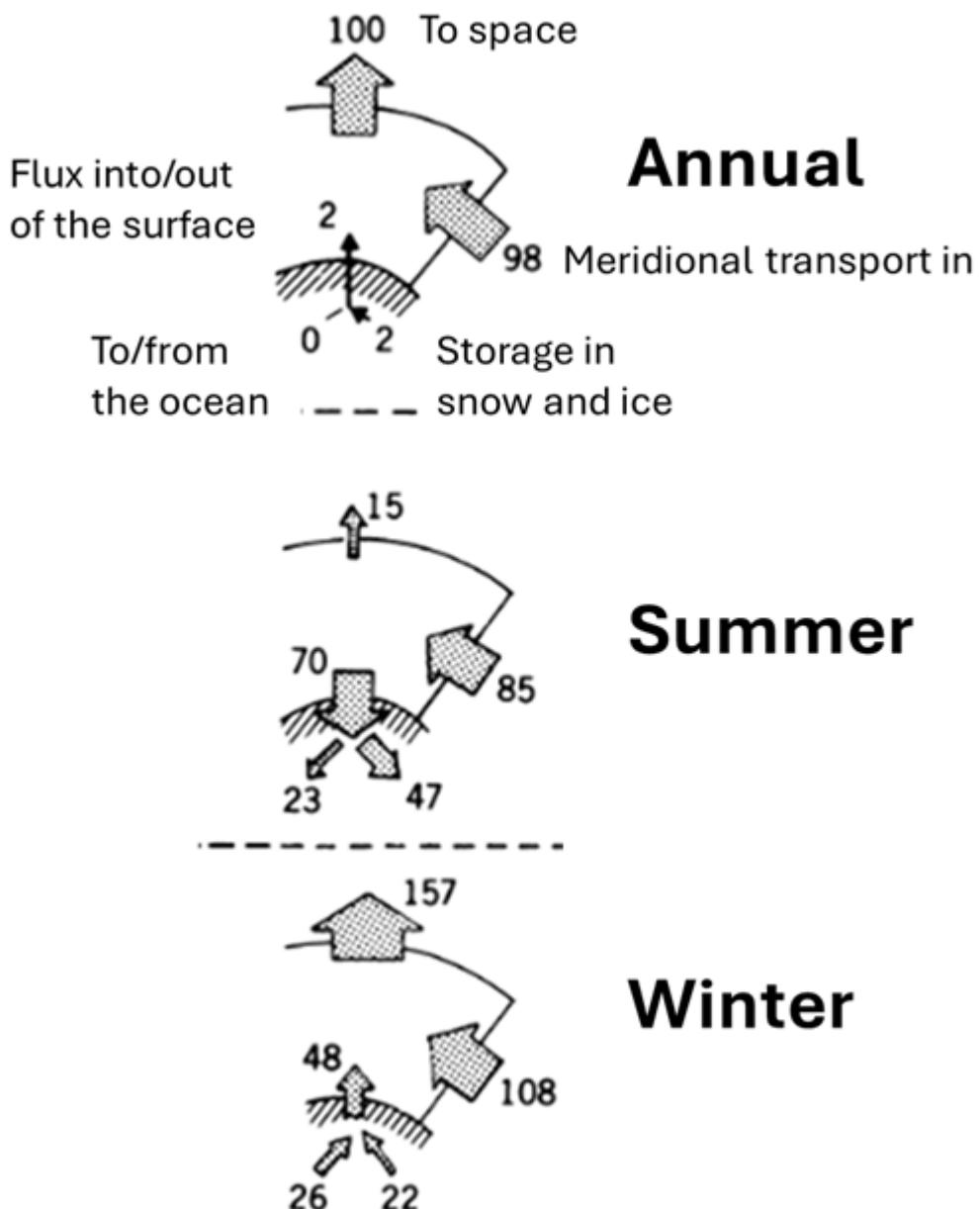


Abbildung 3. Nettoenergiezufuhr und -abgabe der Eiskappe des Nordpols in den Weltraum. (Peixoto & Oort, 1992, S. 363). Die Nettoenergieflüsse neben den Pfeilen sind in W/m^2 angegeben. Wichtige Punkte: Im Sommer fließt die Energie in schmelzendes Eis und Schnee, im Winter stammt die Energie aus verstärktem meridionalen Transport und gefrierendem Sommerschmelzwasser.

Im Winter ist der Strahlungsenergieverlust an der Obergrenze der polaren Atmosphäre sehr groß. Etwa zwei Drittel des Verlusts werden durch den Zufluss transportierter Energie aus niedrigeren Breiten ausgeglichen und ein Drittel durch oder von der Oberfläche. Die von der Oberfläche freigesetzte Wärme scheint zu etwa gleichen Teilen durch die sinkende Meerestemperatur und durch das Gefrieren von Gewässern zu entstehen. Beide Prozesse hängen weitgehend von der Meereisfläche der nördlichen

Hemisphäre ab.

Der größte Teil der Energie, die aus den niedrigeren Breiten in die Arktis gelangt, stammt über Stürme oder „transiente Wirbel“ (Barry, Craig & Thuburn, 2002), ein Teil jedoch auch aus der mittleren meridionalen Zirkulation (Kaspi & Schneider, 2013). Der Energiefluss zwischen Atmosphäre und Oberfläche in der Arktis ist im Winter durch einen starken Aufwärtstransport von Energie von der Oberfläche gekennzeichnet. Die Wassertemperatur unter dem Eis beträgt nicht weniger als $-1,9^{\circ}\text{C}$, während die Atmosphäre Temperaturen von -30 bis -60°C aufweisen kann. Meereis ist ein sehr guter Isolator, aber wenn das Eis dünn ist oder fehlt, kommt es zu einem gewissen Verlust (Peixoto & Oort, 1992, S. 361).

Die Eisfläche ändert sich wahrscheinlich periodisch, da der Pfeil in Abbildung 1 mit der Beschriftung „Meridionaler Transport in“ und/oder die Sonneneinstrahlung variieren. Steigen die AMO oder die globale Temperatur (z. B. von 1975 bis 2000, siehe [hier](#) oder [hier](#)), kann dies auch bedeuten, dass die Arktische Oszillation überwiegend **positiv** und der polare Winterwirbel stark ist. Diese Klimakonstellation hält kalte Luft in der Arktis, die dadurch abkühlt. Da kalte Luft in der Arktis eingeschlossen ist, sind die mittleren Breiten und die Nordhalbkugel, mit Ausnahme der Arktis, wärmer.

Es sind nicht alle Faktoren bekannt, die die Bedingungen für hohes oder niedriges NH-Eis schaffen. Wohlbekannt sind jedoch die sogenannte „Warme Arktis – Kalte Kontinente“-Oszillation und ihr Gegenteil, die „Kalte Arktis – Warme Kontinente“-Oszillation (Overland, Wood & Wang, 2011). Dieses Muster hängt sowohl mit der oben besprochenen [Arktischen Oszillation](#) (AO) als auch mit der [Nordatlantischen Oszillation](#) (NAO) zusammen. Es ist sogar möglich, dass die Warme Arktis – Kalte Kontinente“-Oszillation durch den [Southern Annular Mode](#) (SAM) aus so weit entfernten Regionen wie der Antarktis beeinflusst wird (Lin, Yu & Hall, 2025). Ich erwähne dies alles nur, um zu zeigen, dass alle Klima-Oszillationen miteinander interagieren und dass die Art und Weise, wie alles zusammenhängt, sehr komplex und noch wenig verstanden ist. Wir sehen die Ergebnisse, die Klimaoszillationen selbst, aber wir wissen nicht, wie sie funktionieren, und sie lassen sich nicht richtig modellieren.

Abbildung 4 zeigt den längerfristigen Anstieg von HadCRUT5 und AMO über das gesamte Jahr, während die Eisfläche von 1987 bis 2024 abnimmt. Der plötzliche Anstieg der Eisfläche von 1984 bis 1987 geht einer Verstärkung des Polarwirbels voraus, die 1987 beginnt, genau zu dem Zeitpunkt, als das Meereis einen langen Rückgang beginnt. Vor 1997 gingen Eisflächen-Veränderungen den AO-Änderungen voraus, doch nach 1997 kehrt sich dieser Zusammenhang um; der Grund für diese Veränderung ist unklar. Nichts ist einfach.

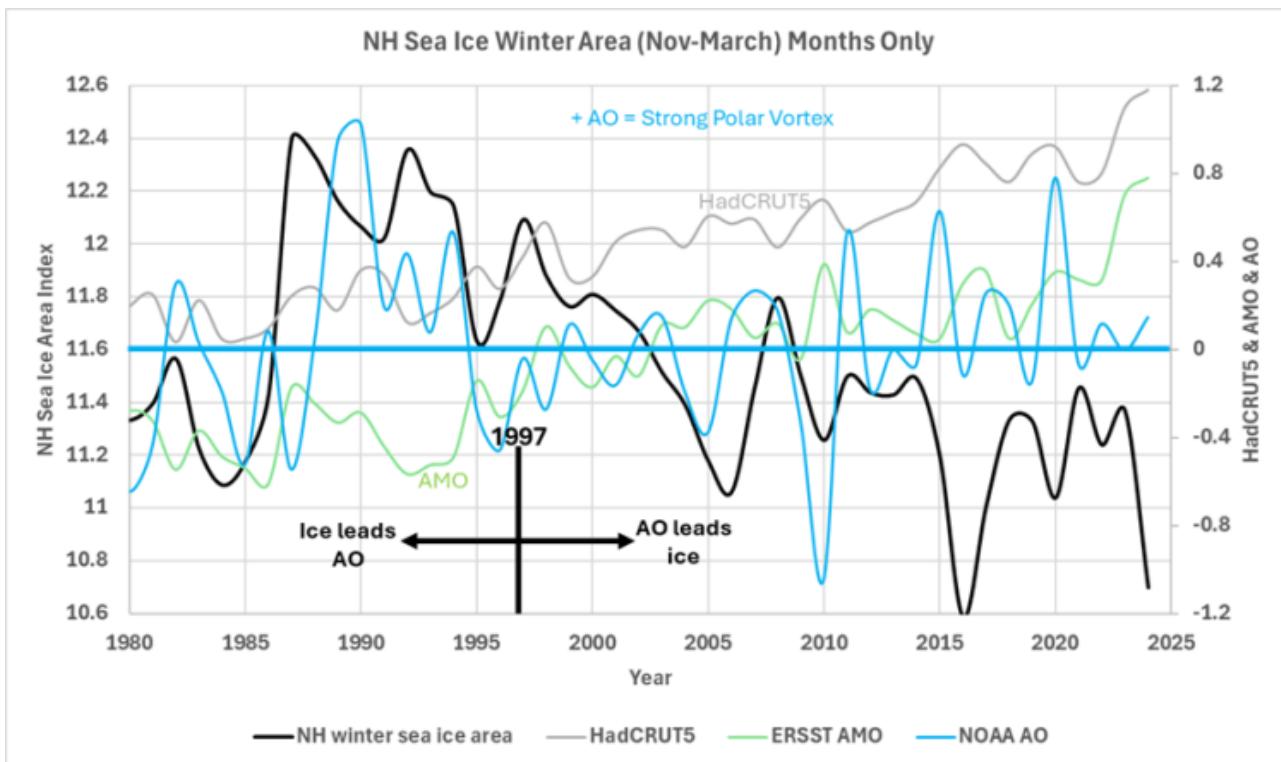


Abbildung 4. Vergleich von NH_ice mit HadCRUT5, AO und AMO. NH_ice ist Wintereis, die anderen Werte sind Ganzjahreswerte.

Der anhaltende Rückgang von NH_ice im Winter seit 1987 spiegelt sich in den Spitzenwerten des Schwabe-11-Jahres-Sonnenzyklus wider, wie in Abbildung 5 dargestellt, was etwas kontraintuitiv ist. Steigt die Sonnenaktivität nach einem Sonnenzyklus-Minimum, gibt es üblicherweise ein NH_ice-Maximum mit einer Verzögerung von null bis einem Jahr. Ebenso sinkt die Sonnenaktivität nach einem Sonnenzyklus-Maximum, gibt es ein NH_ice-Minimum mit einer Verzögerung von ein bis zwei Jahren.

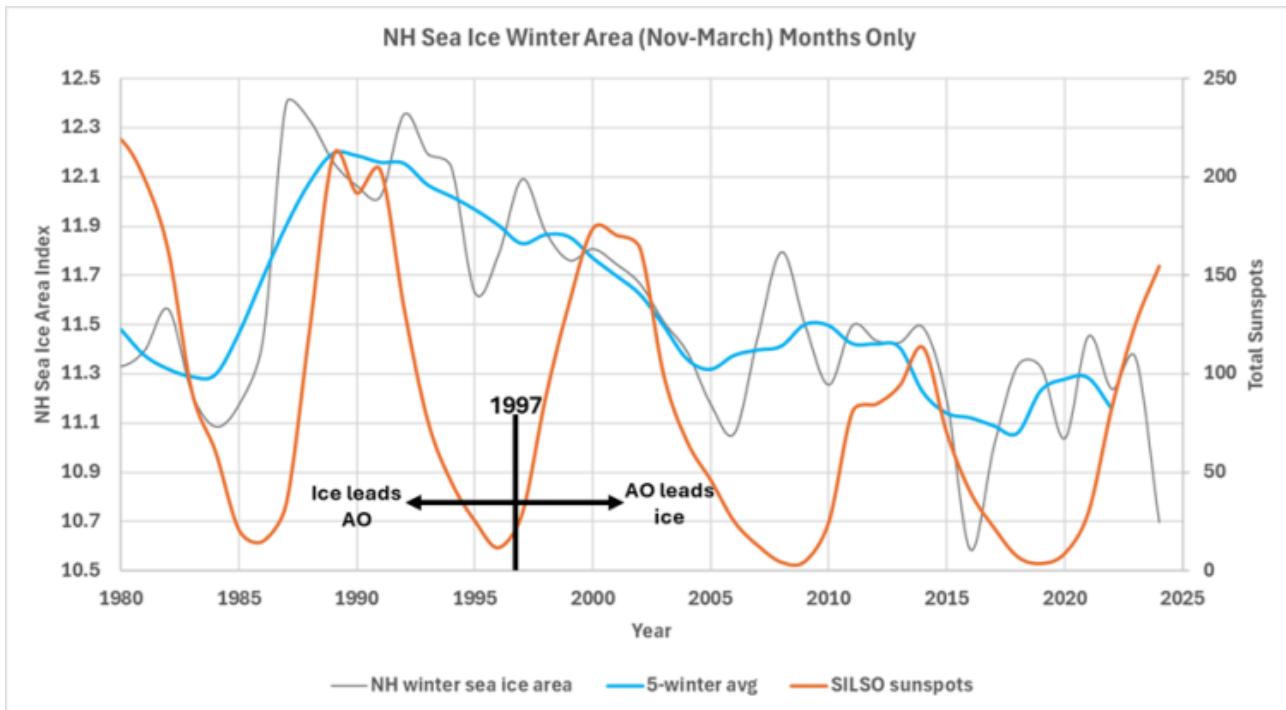


Abbildung 5. Meereis der nördlichen Hemisphäre im Vergleich zur SILSO-Sonnenfleckenzählung.

Diskussion

Die Arktis ist im Winter ein bedeutender Nettoemittent von Strahlung. Die Kombination aus geringer bis keiner Sonneneinstrahlung, gefrorener Oberfläche, nahezu wolkenlosem Himmel und sehr niedriger Luftfeuchtigkeit führt dazu, dass fast die gesamte Strahlungsemission von der Oberfläche und der Atmosphäre in den Weltraum gelangt. Wie Abbildung 3 zeigt, stammen zwei Drittel der in den Wintermonaten in die Arktis gelangenden Energie aus dem atmosphärischen meridionalen Transport, der Großteil davon durch Stürme.

Die Arktische Oszillation ist positiv, wenn der Polarwirbel stark ist, und negativ, wenn er schwach ist. Daher erwarten wir, dass NH_ice bei positiver AO zunimmt und bei negativer abnimmt. Dieser Zusammenhang ist jedoch nicht konsistent und kehrt sich oft um, wie in Abbildung 4 zu sehen ist. Es müssen andere Faktoren die Eisbedeckung beeinflussen. Ich habe keine Erklärung dafür, warum die Eisbedeckung abnimmt, wenn die Sonne weniger aktiv ist.

Wir würden erwarten, dass NH_ice zunimmt, wenn die Sonne schwächer wird, und abnimmt, wenn sie stärker ist, insbesondere in der Arktis, aber das Gegenteil ist der Fall. Die Arktis ist von einem Ozean bedeckt, und Ozeanwasser hat eine geringe Albedo und absorbiert Sonnenstrahlung sehr stark.

Es gibt keine eindeutige Erklärung für den Zusammenhang zwischen all diesen Faktoren, aber wir verfügen nur über 47 Jahre gute NH_ice-Daten,

was bei weitem nicht ausreicht. Der globale Klimazyklus beträgt, wie hier erwähnt, 60–70 Jahre, und vielleicht wird die Antwort klar, wenn wir so viele Daten haben. Dieser Beitrag ist nicht sehr zufriedenstellend, da ich alle Informationen präsentieren kann, die ich zu NH_ice finden konnte, und trotzdem keine Antworten darauf habe, warum die Dinge so sind, wie sie sind. Ich kann nur sagen, dass wir eindeutige Muster erkennen, die sich aber weder modellieren noch erklären lassen. Hier schrieb ich: „Die meisten der in diesem Beitrag untersuchten natürlichen ozeanischen und atmosphärischen Zirkulationsschwankungen werden in aktuellen globalen Klimamodellen nicht richtig modelliert (manche sagen, überhaupt nicht).“

Vor diesem Hintergrund stellen wir uns einen Kommentar wie den folgenden von einem Mitglied des „Konsens“ vor:

Andy,

Sie sind ein Vollidiot. Die Sonne ist nicht für den Rückgang des NH-Eis verantwortlich, und auch nicht für die anderen Schwankungen. Es muss der steigende CO₂-Gehalt sein! Wir kommen durch Ausschlussverfahren dorthin. Was könnte es sonst sein?

Darauf antworte ich:

CMIP6 und frühere Klimamodelle gehen davon aus, dass CO₂ für die Erwärmung und den Eisrückgang verantwortlich ist, können aber die kritischen NAO-, AO-, AMO-, SAM- und PDO-Schwankungen nicht reproduzieren. Bei ENSO kommen sie besser zurecht, haben aber immer noch große Probleme damit (IPCC, 2021, S. 489–514). Es ist unklar, ob die Modelle die beobachteten langfristigen Klimaschwankungen angemessen reproduzieren. Ich sollte hinzufügen, dass es sich nicht um Wettermodelle, sondern um Klimamodelle handelt, und als solche sollten sie diese Schwankungen reproduzieren, wenn sie genau sind. Sie haben zwar eine CO₂-Verzerrung, reproduzieren sie aber nicht. Das Ausschlussverfahren reicht nicht aus, um Ihre Argumentation zu untermauern.

Referenzen

Barry, L., Craig, G., & Thuburn, J. (2002). Poleward heat transport by the atmospheric heat engine. *Nature*, 415, 774–777. doi:10.1038/415774a

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, . . . B. Zhou (Ed.)., WG1. Retrieved from
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

Kaspi, Y., & Schneider, T. (2013). The Role of Stationary Eddies in Shaping Midlatitude Storm Tracks. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 70(8), 2596 – 2613. doi:10.1175/JAS-D-12-082.1

Lin, H., Yu, B., & Hall, N. (2025). Link of the Warm Arctic Cold

Eurasian pattern to the Southern Annular Mode variability. *npj Climate & Atmospheric Science*, 8. doi:10.1038/s41612-025-01102-z

Luedtke, B. (2015). An ice-free Arctic Ocean: history, science, and scepticism. *Polar record*, 51, 130-139. doi:10.1017/S0032247413000636

Manley, G. (1944). Some recent contributions to the study of climatic change. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 70, 197-219. doi:10.1002/qj.49707030508

Overland, J. E., Wood, K. R., & Wang, M. (2011). Warm Arctic–cold continents: climate impacts of the newly open Arctic Sea. *Polar Research*, 30(1). doi:10.3402/polar.v30i0.15787

Peixoto, J., & Oort, A. (1992). *Physics of Climate*. New York: Springer-Verlag. Retrieved from

https://www.amazon.com/Physics-Climate-Jose-P-Peixoto/dp/0883187124/ref=sr_1_2?crid=3BCKX8A3FIUH&keywords=Physics+of+Climate%2C+Peixoto&qid=1649270821&sprefix=physics+of+climate%2C+peixoto%2Caps%2C100&sr=8-2

Wyatt, M. (2020). Circulation Patterns: Atmospheric and Oceanic. In Y. Wang, *The Handbook of Natural Resources*, volume VI (2nd ed., Vol. 6). CRC Press. Retrieved from

<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780429440984-9/circulation-patterns-atmospheric-oceanic-marcia-glaze-wyatt>

Link:

<https://andymaypetrophysicist.com/2025/06/23/climate-oscillations-3-northern-hemisphere-sea-ice-area/>

Übersetzt von Christian Freuer für das EIKE