

Welche Ursache haben die extrem hohen Temperaturen des Nordatlantiks?

geschrieben von Chris Frey | 6. Juli 2023

Jim Johnstone und Judith Curry, [Climate Etc.](#)

Mit Beginn der atlantischen Hurrikansaison beobachten wir aufmerksam die außergewöhnlich hohen SST-Werte im Atlantik. Dieser Beitrag beschreibt, was passiert ist und warum.

Wassertemperaturen (SSTs) im Atlantik

Die Meerestemperaturen (SST) über weiten Teilen des Nordatlantiks sind Ende Juni 2023 außergewöhnlich hoch, was größtenteils auf eine Periode schneller Erwärmung zurückzuführen ist, die etwa im März/April begann.

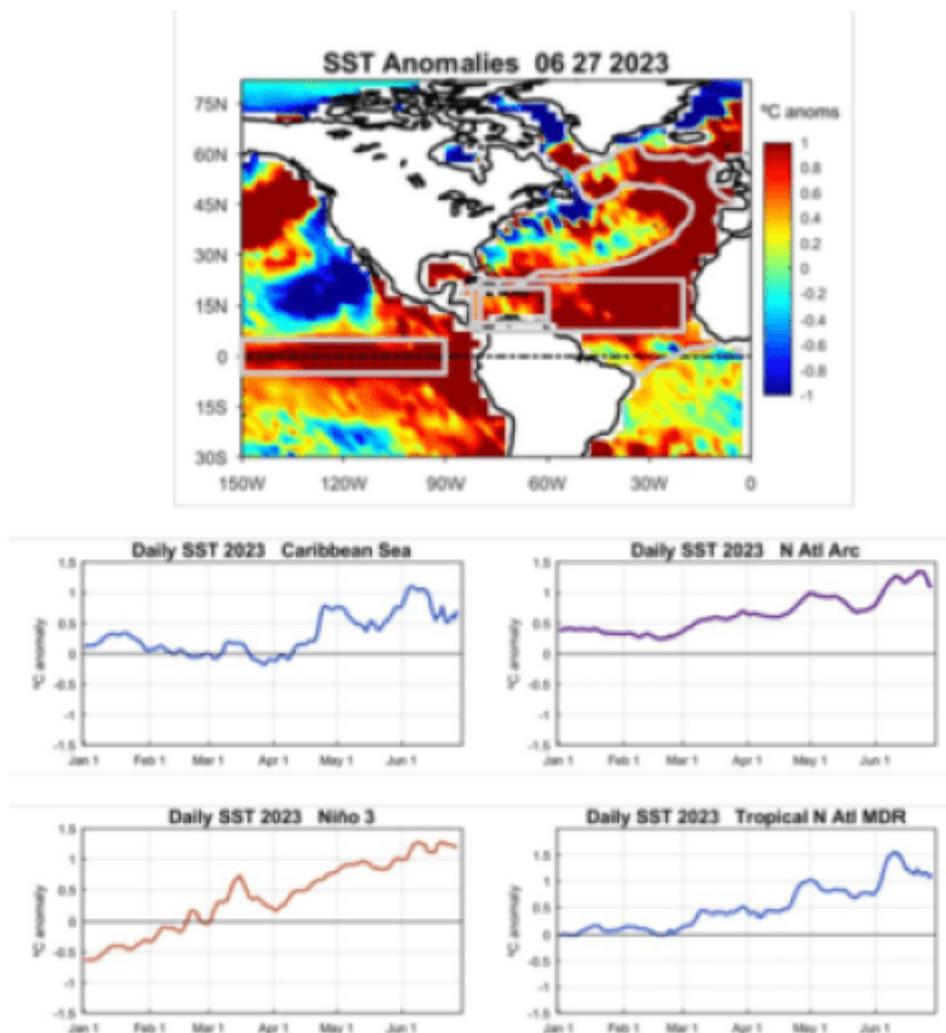


Abbildung 1. SST-Anomalien am 27. Juni 2023 (oben) und tägliche

Zeitreihen für die oben markierten Regionen.

Die täglichen SST-Zeitreihen in Abb. 1 zeigen die jüngste SST-Entwicklung in mehreren Regionen, die in der Karte oben markiert sind, darunter die östliche pazifische Niño3-Region, der nordatlantische Bogen, die Karibische See und die tropische nordatlantische Hauptentwicklungsregion (MDR). Die SST-Indizes des Nordatlantiks weisen auf eine unregelmäßige Erwärmung seit März/April hin und erreichten Anfang Juni ihren Höhepunkt. Die warmen Bedingungen im östlichen Äquatorialpazifik spiegeln die derzeitigen El-Niño-Bedingungen wider, die sich seit Anfang 2023 stetig verstärkt haben.

Lokale SST-Anomalien von $\geq 1^\circ\text{C}$ (Basislinie 1995-2019) sind in einem „Bogen“ auf Beckenebene zu finden, der die führende natürliche Struktur der kohärenten SST-Variabilität auf einer Vielzahl von Zeitskalen darstellt (Abb. 1). Das außergewöhnliche Ausmaß der jüngsten Erwärmung des Nordatlantiks lässt sich an den monatlichen gemittelten SST-Anomalien des Bogens bis zurück ins Jahr 1980 ablesen (Abb. 2). Nach einer Periode relativ geringer Variabilität seit 2020 stieg die SST im Nordatlantik in den letzten Monaten steil an und erreichte im Juni ein historisches Maximum.

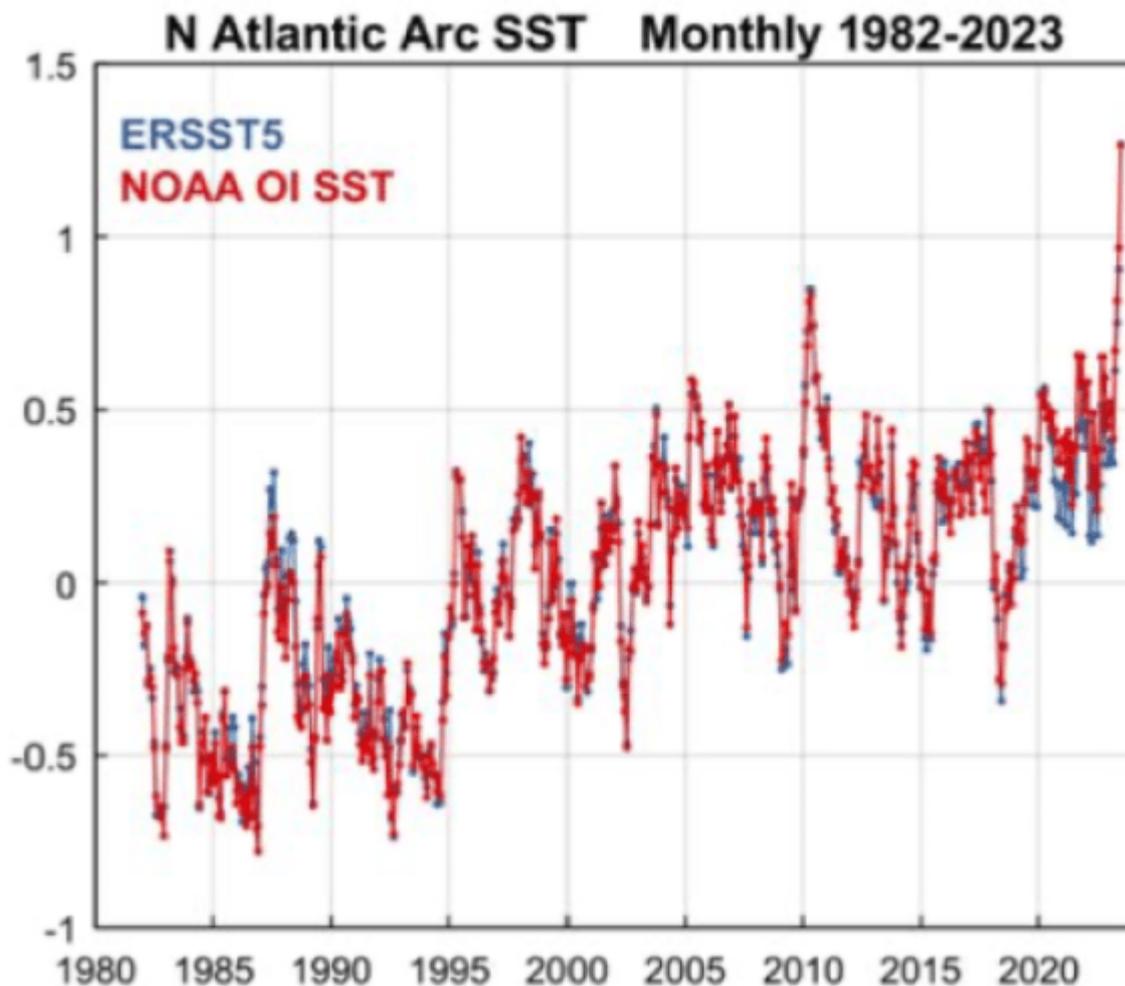


Abbildung 2. Monatliche, über den Bogen gemittelte SST-Anomalien von 1980 bis Juni 2023.

Atmosphärische Zirkulationsmuster

Die atmosphärischen Bedingungen im Juni über dem Nordatlantik sind ebenfalls sehr ungewöhnlich, wie eine Indexanomalie der Nordatlantischen Oszillation (NAO) zeigt, die fast 3 Standardabweichungen unter dem Monatsdurchschnitt liegt. Die NAO wird durch die subtropische und subpolare Differenz der Anomalien des atmosphärischen Meeresspiegeldrucks (SLP) definiert und reflektiert in etwa die Intensität der atmosphärischen Zirkulation auf niedriger Ebene über dem nordatlantischen Becken. Extrem niedrige NAO-Werte im Juni stehen im Einklang mit einem sehr schwachen subtropischen Hoch (Bermuda-Hoch) und relativ stagnierenden Oberflächenwinden, was eine Schwäche der westlichen Strömung in mittleren Breiten und der tropisch-subtropischen Ostpassatwinde mit sich bringt.

Die klimatologischen Juni-SLP- und Oberflächenwindmuster sind im linken Feld von Abb. 3 dargestellt. Die Bedingungen im Juni 2023, im mittleren Feld, zeigen ein bemerkenswert schwaches subtropisches Hoch und das Fehlen westlicher Oberflächenwinde in den mittleren Breiten. Die im rechten Feld dargetellten SLP- und Windanomalien vom Juni 2023 bestehen aus ungewöhnlich niedrigem Druck und zyklonaler Zirkulation über einem Großteil des Beckens, was die Schwäche des mittleren antizyklonalen Strömungsmusters widerspiegelt.

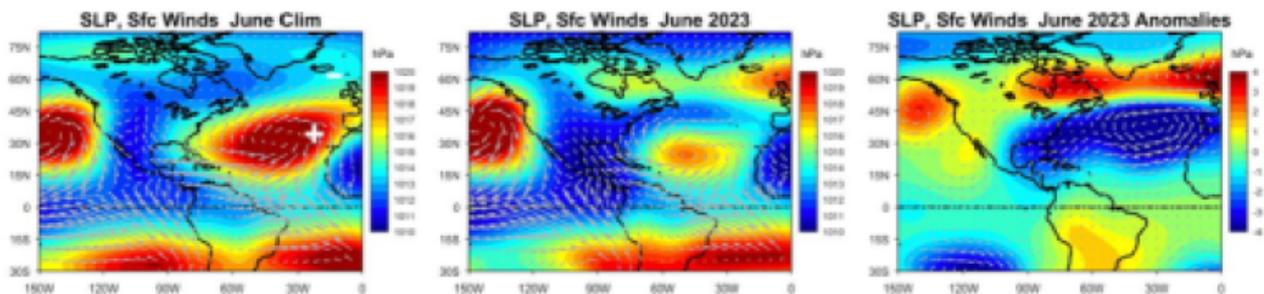


Abbildung 3. Juni-Druckverteilung des atmosphärischen SLP und der Oberflächenwinde. Links: Juni-Durchschnittswerte (1995-2022). Mitte: Bedingungen im Juni 2023. Rechts: Anomalien im Juni 2023 (Beobachtungen minus Klimatologie). Die Markierungen + und - im linken Feld zeigen die Wirkungszentren der Nordatlantischen Oszillation, berechnet als subtropische (+) minus subpolare (-) SLP-Anomaliedifferenz.

Einem extrem negativen NAO-Index im Juni gingen mäßig negative Anomalien sowohl im März als auch im April voraus (Tabelle 1), was zu einer wiederholten monatlichen Erwärmung des nordatlantischen Bogens und extremen kumulativen Effekten bis Ende Juni führte. Die von Februar bis Juni beobachtete Erwärmung des Nordatlantikbogens (+0,85 °C) übersteigt

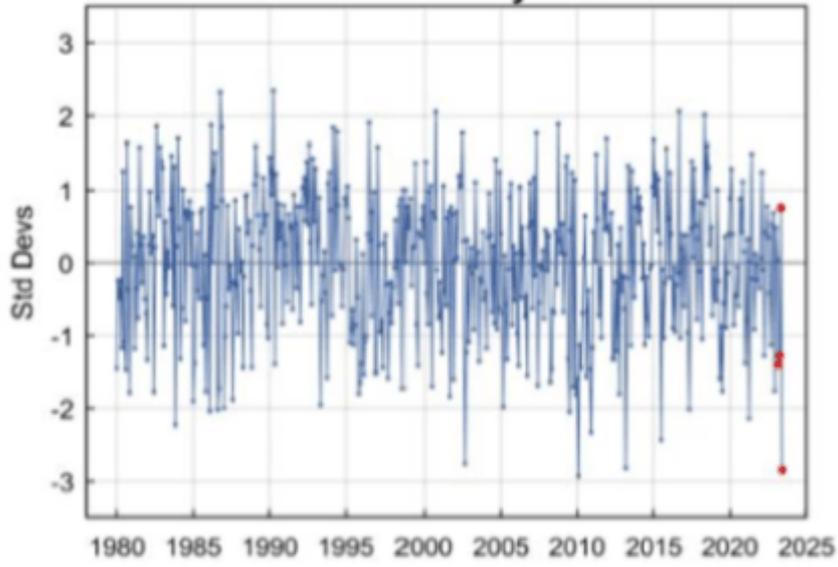
die gesamte Nettoerwärmung des Atlantiks im vergangenen Jahrhundert.

	NAO	dSST anom	SST anom
FEB	0.04	0.03	0.28
MAR	-1.40	0.32	0.54
APR	-1.27	0.30	0.67
MAY	0.76	-0.20	0.83
JUN	-2.85	0.32	1.13

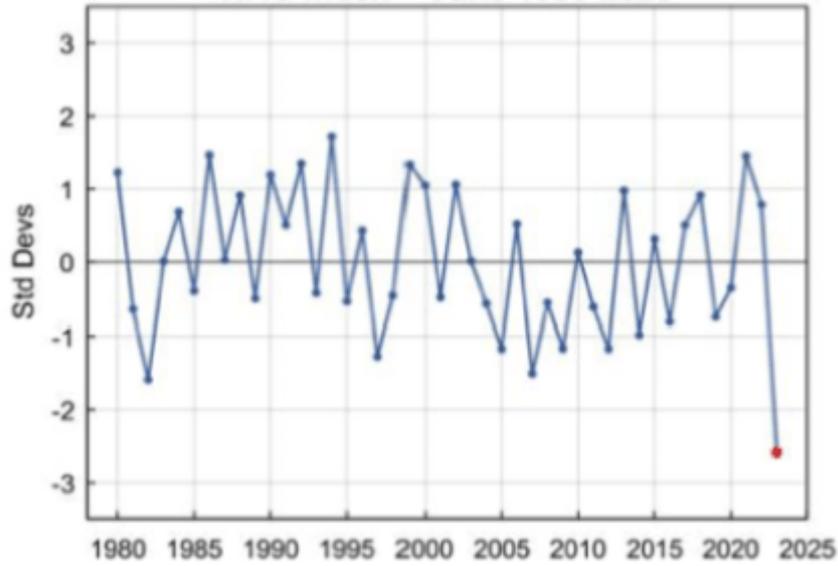
Tabelle 1. Monatliche Anomalien des NAO-Index, der SST-Tendenz des Bogens (dSST) und der SST. März, April und Juni (rot) waren Monate mit negativen NAO-Anomalien (niedriger subtropischer SLP und schwache Oberflächenwinde) und einer Erwärmung des Bogens.

Abbildung 4 veranschaulicht das Ausmaß der NAO-Anomalie im Juni im Kontext der historischen Aufzeichnungen seit 1980. Der sehr niedrige NAO-Wert im Juni 2023 ist in den monatlichen klimatologischen Werten nicht beispiellos; er ist jedoch im Vergleich zu den früheren Juni-Werten und den Frühjahrswerten (März-Juni) extrem niedrig.

NAO Index Monthly 1980-2023



NAO Index June 1980-2023



NAO Index Mar-Jun 1980-2023

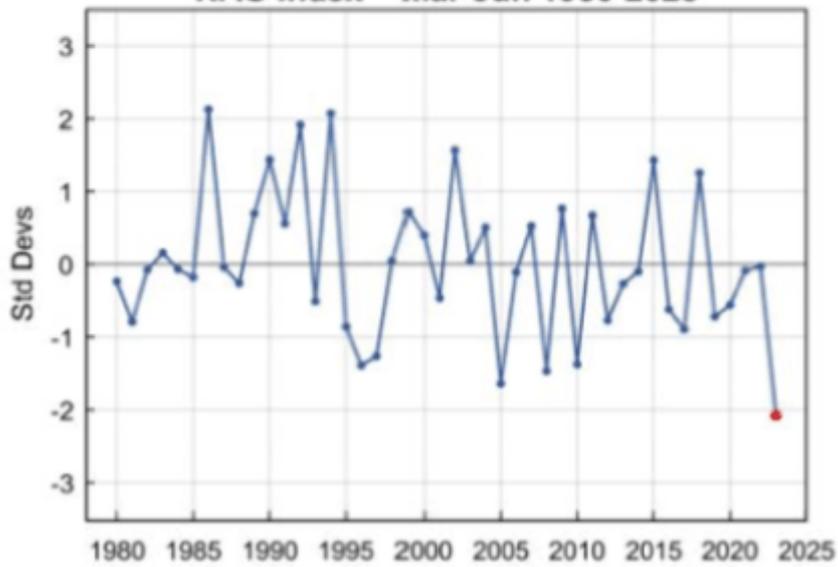


Abbildung 4. Index der Nordatlantischen Oszillation (NAO), definiert durch die normalisierte subtropische (Azoren) minus subpolare (Island) SLP-Anomaliedifferenz. Oben: Monatliche Anomalien (alle Monate), wobei die Werte von März bis Juni 2023 rot hervorgehoben sind. Mitte: Juni-Werte. Unten: Mittelwerte von März bis Juni.

Gekoppelte Anomalien und Veränderungen

Atmosphärische Anomalien, die mit der NAO in Verbindung stehen, sind die Hauptfaktoren für die SST-Abweichungen im Bogen über kurze (monatliche bis saisonale) Zeiträume. Abbildung 5 zeigt die monatlichen Anomalien des kurzwelligen (solaren) Netto-Oberflächenwärmestroms, des turbulenten (latenten/verdunstenden plus fühlbaren) Wärmestroms, des Gesamtwärmestroms und der SST-Tendenzen. Negative NAO-Anomalien korrespondieren mit negativen subtropischen SLP-Anomalien und schwachen Passatwinden im Süden, einschließlich der MDR. Schwache Passatwinde erwärmen die darunter liegende Meeresoberfläche in erster Linie, indem sie die Verdunstungskühlung behindern, wirken sich aber auf die tropische SST durch mehrere komplementäre Mechanismen aus und begünstigen gleichzeitig die Erwärmung durch eine Verringerung der Stratocumulus-Bewölkung, die Advektion von Saharastaub, die Durchmischung des oberen Ozeans und den Küstenauftrieb vor NW-Afrika. Insgesamt hat die mit schwachen Winden verbundene turbulente Strömung bei der Erwärmung des Atlantiks gegenüber der kurzwelligen Strömung dominiert.

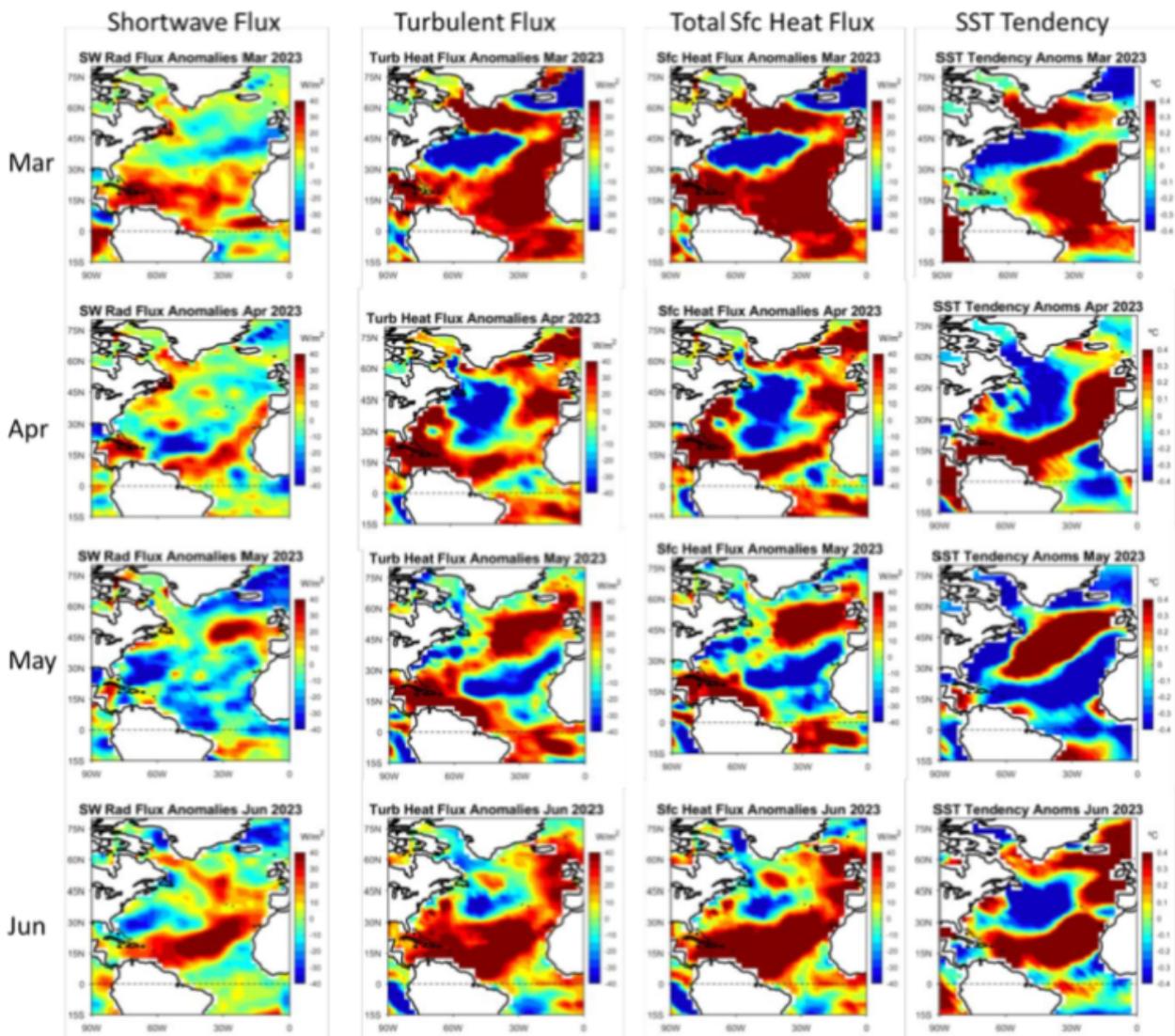


Abbildung 5. Monatliche Anomalien des abwärts gerichteten Oberflächenwärmestroms und SST-Tendenzen von März bis Juni 2023. Die Erwärmung des Bogens im März, April und Juni lässt sich in erster Linie durch schwache Oberflächenwinde (aufgrund von $-$ NAO-Anomalien) und geringe Verdunstungskühlung (positiver turbulenter Wärmefluss) erklären.

Das Wiederauftreten und die Zunahme der extremen NAO-Bedingungen und der Bogenwärme in den letzten Monaten ist wahrscheinlich zum Teil auf positive Rückkopplungen zwischen SST und Atmosphäre zurückzuführen. Die NAO-/Bogenmuster in der Atmosphäre/im oberen Ozean sind eng mit denen des atlantischen meridionalen Modus (AMM) verbunden, bei dem hohe SST und schwache Passatwinde durch gegenseitige Verstärkung aufrechterhalten oder verstärkt werden können.

Ein weiterer Grund für die bemerkenswerten Veränderungen im Frühjahr im Nordatlantik könnte die allgemeine Erwärmung in den Tropen sein, die mit dem Übergang zu El-Niño-Bedingungen einhergeht. Die Oberflächenerwärmung in den Tropen führt typischerweise zu einer quasi-einheitlichen Erhöhung der troposphärischen Temperaturen und geopotentiellen Höhen im gesamten

tropischen Gürtel von $\sim 20^\circ\text{N}$ bis 20°S . Der Frühjahrsanstieg der geopotentiellen 250 hPa-Höhen (Z250) über den Tropen wurde von einem Rückgang unmittelbar polwärts über dem subtropischen Nordostpazifik und dem Nordatlantik begleitet, während die SLP-Anomalien in einer zusammenhängenden tropischen Zone vom Zentralpazifik bis zum Ostatlantik steil abfielen.

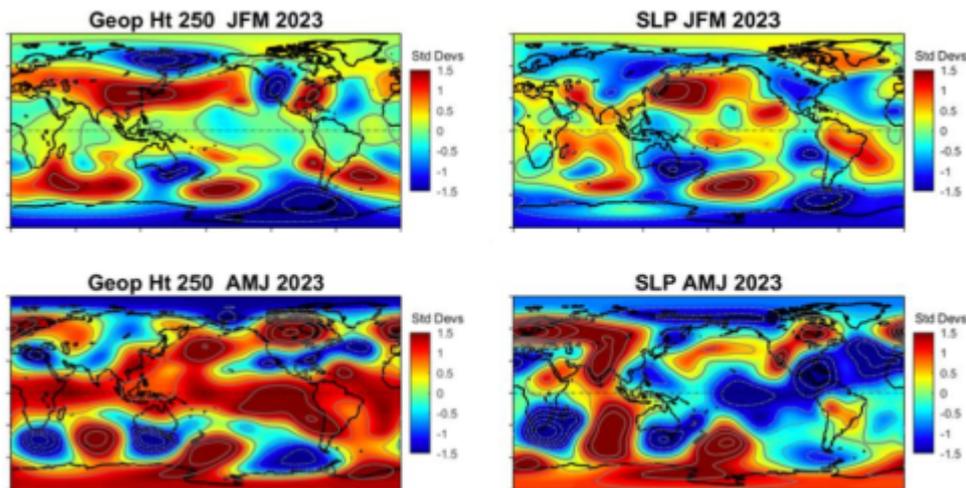


Abbildung 6. Anomalien der geopotentiellen 250 hPa-Höhen (Z250) und SLP während JFM und AMJ 2023. Anfang 2023 kam es über dem Ostpazifik und dem Nordatlantik gleichzeitig zu einem Anstieg der tropischen Z250, einem Rückgang der subtropischen Z250 und einem Rückgang der tropischen SLP.

Afrikanischer Staub, Umweltverschmutzung, Wildfeuerrauch und Hunga-Tonga

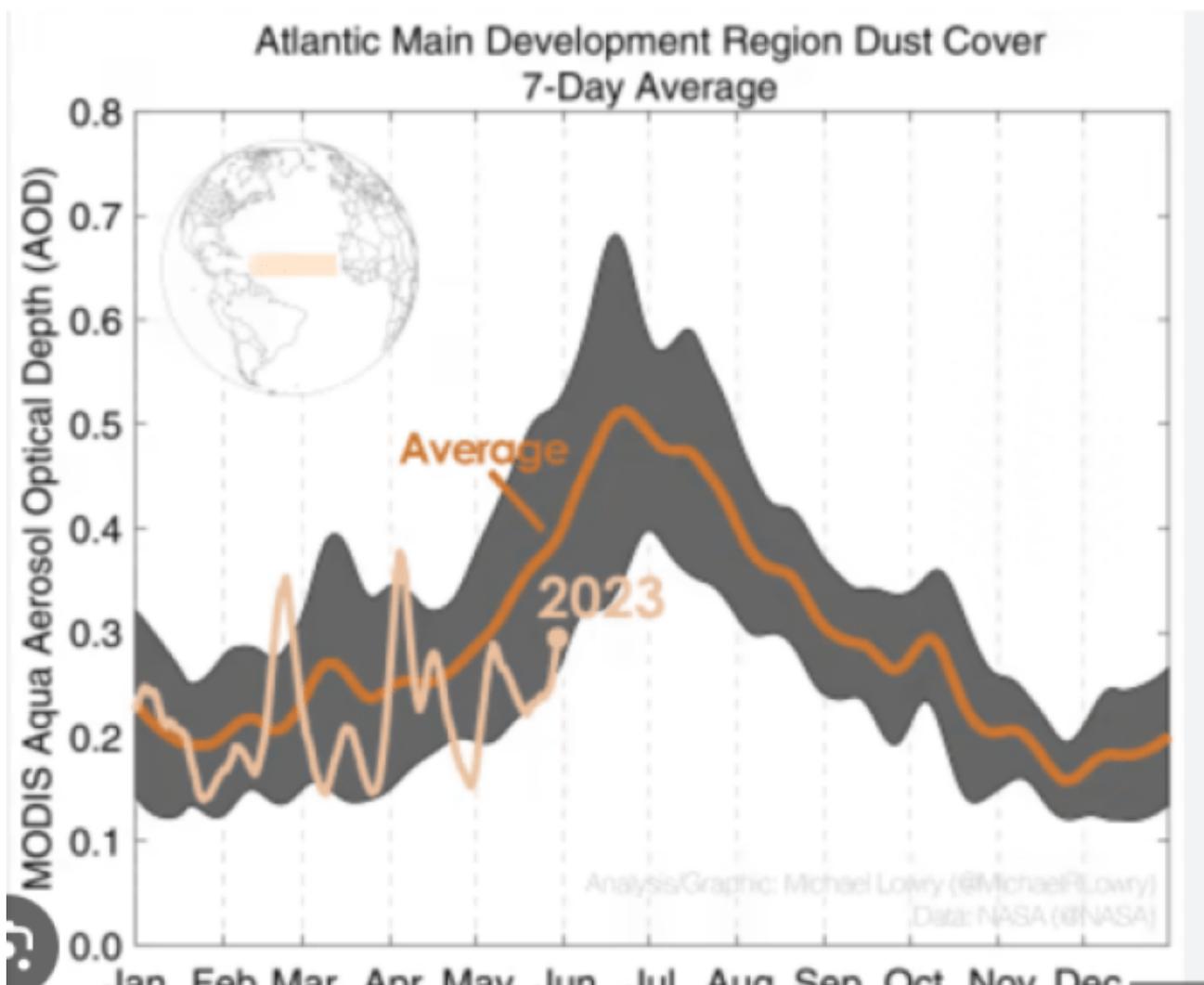
Wie aus Abbildung 5 hervorgeht, ist die extrem warme atlantische SST in dieser Saison zum Teil auf eine anomale Erwärmung der Erdoberfläche zurückzuführen. Die Twitterer haben viele Faktoren dafür verantwortlich gemacht: CO_2 -Emissionen, eine geringere Menge an Sulfatpartikeln aus der Verschiffung von Treibstoffen, der Hunga-Tonga-Ausbruch und die geringe Menge an afrikanischem Staub. Und jetzt sind auch die kanadischen Waldbrände ein Faktor. All diese Faktoren sind relativ unbedeutend im Vergleich zu den dominierenden Auswirkungen von Schwankungen der Bewölkung.

Der Feinstaub in der Atmosphäre wurde weltweit durch sauberere Kraftstoffe für die Schifffahrt reduziert, die ab 2020 vorgeschrieben sind und weniger Sulfatpartikel erzeugen. Sulfatpartikel haben eine kühlende Wirkung, da sie die Sonnenstrahlung reflektieren. Saubere Luft bedeutet, dass weniger Sonnenstrahlung reflektiert wird, was zur Erwärmung der Erdoberfläche beiträgt. Zu den indirekten Auswirkungen gehört die Verdunkelung der subtropischen Wolken durch mikrophysikalische Effekte, die das Reflexionsvermögen dieser Wolken

verringern. Die Erwärmung des Ozeans wäre in der nördlichen Hemisphäre am stärksten, und subtropische Wolken sind für diese Art der Veränderung am empfindlichsten. Auf dem Bild unten sind die Schiffsspuren der helleren Wolken zu sehen, die die Sonnenstrahlung stärker reflektieren (diese Schiffsspuren wurden inzwischen erheblich reduziert) [\[link\]](#).

Die Partikel aus dem Rauch der Waldbrände haben eine ähnliche Wirkung auf die Verringerung der Sonnenerwärmung an der Oberfläche. Meine Kontakte in New York schätzten, dass die Solarstromproduktion während der Zeit, in der eine dicke Rauchsicht aus den kanadischen Waldbränden entstand, um die Hälfte zurückging. Bei Rauchfahnen in den Nordatlantik kommt es je nach Zugbahn und optischer Tiefe zu einer unterschiedlichen Abkühlung der Oberfläche.

Afrikanische Staubstürme haben den gleichen Effekt, indem sie die Sonnenstrahlung reflektieren und so die Oberfläche abkühlen. Staubstürme waren bisher anomal schwach (von Michael Lowry):



Aber unterm Strich hat ein großer Staubausbuch in der Sahara keine großen Auswirkungen auf die Meerestemperaturen: „Saharastaubausbüche können die kurzweilige Oberflächenstrahlung um bis zu 190 W/m^2 verringern, und eine Analyse der entsprechenden SST-Skin-Änderungen

unter Verwendung eines thermischen Skin-Modells deutet auf staubinduzierte Abkühlungseffekte bis zu $-0,24$ K während des Tages und einen Erwärmungseffekt von bis zu $0,06$ K während des Tages bzw. der Nacht hin.“ [\[link\]](#)

Ein weiterer Strahlungseffekt ist auf den Hunga-Tonga-Ausbruch im Jahr 2022 zurückzuführen. Normalerweise spucken Vulkane Sulfatpartikel in die Stratosphäre, die das Sonnenlicht reflektieren und so eine kühlende Wirkung auf die Oberfläche haben. Der Hunga-Tonga-Ausbruch war jedoch mit wenig Schwefeldioxid verbunden (das sich in Sulfatpartikel umwandelt), was im Jahr 2022 zu einer geschätzten Abkühlung von $0,004^{\circ}\text{C}$ führen wird. Die wichtigste klimatische Auswirkung des Hunga-Tonga-Ausbruchs ist die in die Stratosphäre geschleuderte große Menge an Wasserdampf, was schätzungsweise zu einem Anstieg des Wassergehalts in der Stratosphäre um 10-15 % und einer globalen Erwärmung von $0,034^{\circ}\text{C}$ in den nächsten 5 Jahren führte. [\[link\]](#)

Hier ist ein Screenshot von Zoom Earth vom 24.6., der den Rauch der kanadischen Waldbrände und den afrikanischen Staub zeigt. Das Weiß des Rauchs auf dem Satellitenbild im Vergleich zum Saharastaub deutet auf die große optische Tiefe des Rauchs hin (die proportional zum Kühlungseffekt an der Oberfläche ist).



Zusammenfassung:

Die extremen Bedingungen der letzten Monate im Nordatlantik sind wahrscheinlich auf eine Kombination von dynamischen Faktoren zurückzuführen, einschließlich stochastischer Wetteranomalien, regionaler positiver Rückkopplungen und Veränderungen auf globaler Ebene. Die starke Erwärmung des Bogens in jüngster Zeit ist aufgrund der extremen SST-Anomalien, die sie hervorgerufen hat, besonders auffällig; eine vergleichbare Erwärmung über Zeiträume von ~4 bis 6 Monaten gab es jedoch bereits in den Spätwinter- und Frühjahrsperioden der Jahre 1983, 1987, 1989 und 2010 (Abbildung 2), denen eine Vielzahl von Spätsommer-

Hurrikan-Anomalien vorausging.

Die vorherrschende Ursache für die hohen SSTs ist dynamisch (atmosphärische Zirkulationen), die die Windgeschwindigkeiten an der Oberfläche (Verdunstung; offenbar der größte Faktor) und die Wolken (Sonnenstrahlung) verändern. Geringfügige nicht-wolkenbedingte Strahlungseinflüsse: Hunga-Tonga ist ein globaler Effekt, Sulfat-Schiffsspuren sind ein lokaler Ozeaneffekt, hauptsächlich in der nördlichen Hemisphäre, Auswirkungen von Waldbränden auf die Ozeane sind relativ selten und ereignisabhängig, und afrikanischer Staub ist ein regelmäßiges Sommermerkmal, das durch diskrete Ereignisse gekennzeichnet ist. Die Wolkenvariabilität wird an den meisten Orten hinsichtlich der Auswirkungen auf die Meerestemperaturen über den Aerosolantrieb dominieren. Eine geringfügige Abkühlung des Atlantiks kann durch kanadischen Rauch und Saharastaub erwartet werden.

Link:

<https://wattsupwiththat.com/2023/07/03/whats-causing-the-extremely-warm-temperatures-in-the-north-atlantic/>

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