# Klima-Oszillationen: *Atlantic Meridional Mode* (AMM)

geschrieben von Chris Frey | 11. Juli 2025

**Andy May**

Der Atlantic Meridional Mode Index (AMM) beschreibt die meridionale Variabilität im tropischen Atlantik. Das Gebiet von Interesse ist das Meeresgebiet zwischen 32°N und 21°S und von 75°W bis zur westafrikanischen Küste (~15°E). Manchmal werden die Grenzen wie folgt angegeben: 22°S-32°N und 74°W bis zur westafrikanischen Küste. Dies ist die Region, in der die innertropische Konvergenzzone (ITCZ) existiert, die sich im Laufe der Jahreszeiten nach Norden und Süden bewegt (Chiang & Vimont, 2004).

Es gibt ein mögliches schwaches Analogon im Pazifik, aber der Pazifik wird so sehr von ENSO dominiert, dass es sich möglicherweise nicht um einen echten meridionalen Modus handelt, der mit den Bewegungen der ITCZ zusammenhängt (Chiang & Vimont, 2004). Grundsätzlich kann die AMM als weltweit einmalig angesehen werden (Chang, Ji, & i, 1997).

Die AMM-Region überschneidet sich mit den Regionen AMO und WHWP. Die Tatsache, dass diese drei Oszillationen zu den sechs wichtigsten gehören, die gut mit HadCRUT5 korrelieren, und dass sie zusammen 74 % der Variabilität in HadCRUT5 erklären, bedeutet entweder, dass die atlantische Region bei der Bestimmung der globalen mittleren Temperatur (GMST) sehr wichtig ist, oder dass die Messungen der globalen Temperatur in Richtung Nordatlantik verzerrt sind. Ich nehme an, dass beides möglich ist. Abbildung 1 zeigt die beste Regression der drei atlantischen Oszillationen (AMO, WHWP und AMM) gegen HadCRUT5:

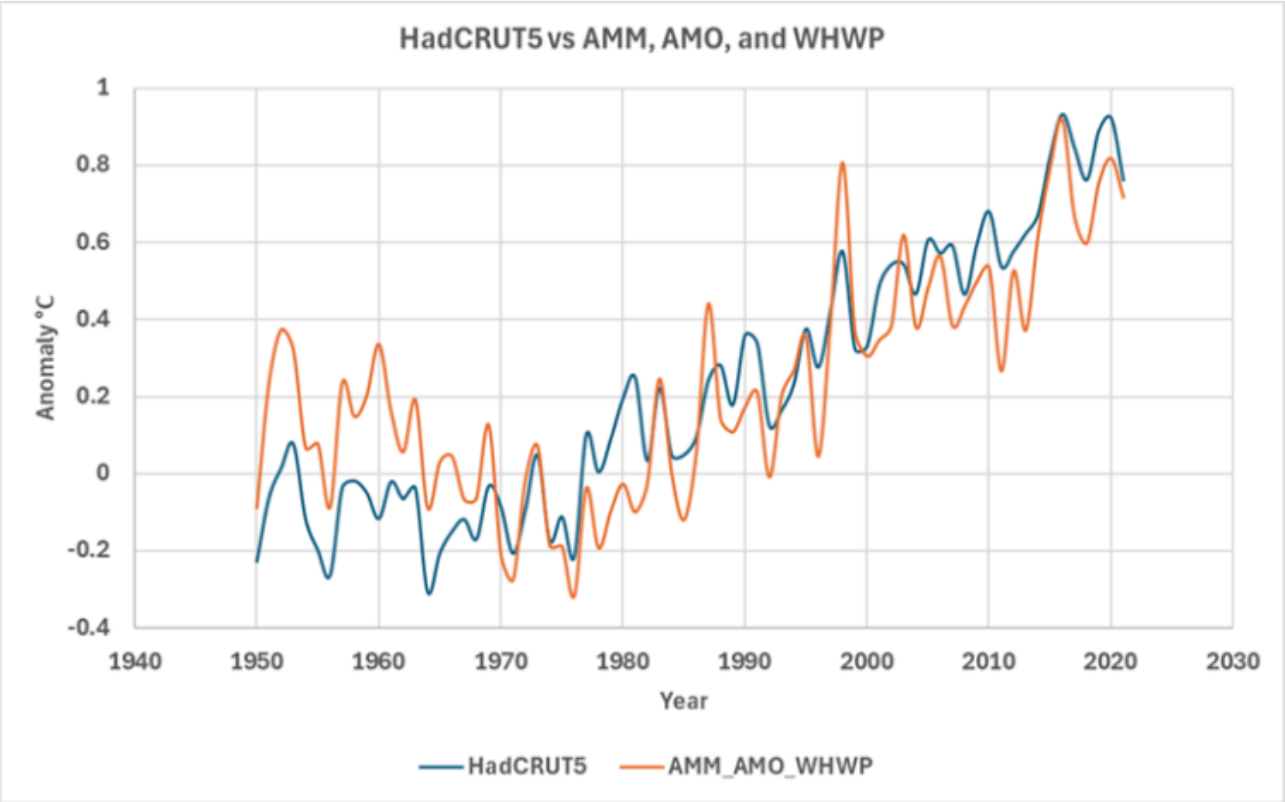


Abbildung 1. Eine Regression der drei besten atlantischen Oszillationen gegen HadCRUT5. Die Oszillationen sind die AMO, AMM und WHWP. Das $R^2$ der Regression beträgt 0,74.

Die AMM kann entweder als Windanomalie oder als SST-Anomalie (Meeresoberflächentemperatur) in ihrer Region ausgedrückt werden. Wir werden hier hauptsächlich die SST-Anomalie verwenden, aber die Windanomalie ist ähnlich, wie in Abbildung 2 dargestellt. Es sind sowohl Ganzjahres- als auch Winteranomalien aufgetragen. Die enge Beziehung zwischen Wind und SST in dieser Region ist in Abbildung 2 gut zu erkennen:

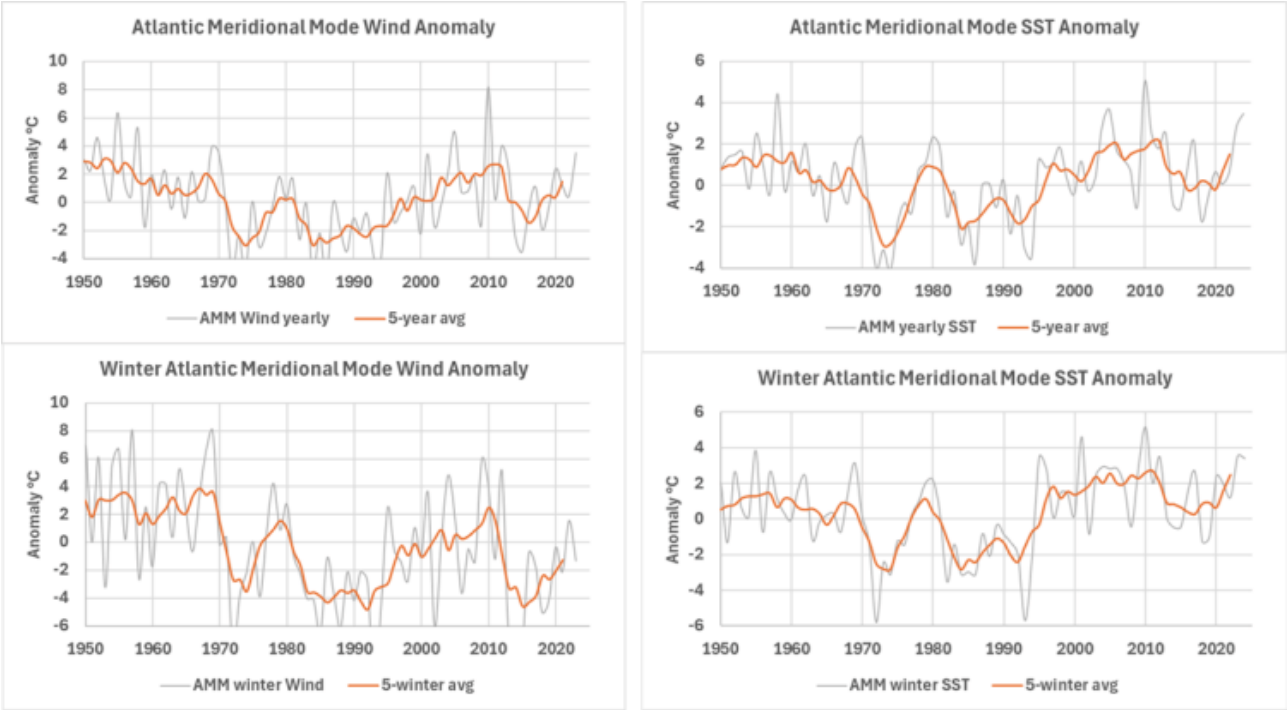


Abbildung 2. Die AMM-Wind- (links) und SST-Anomalien (rechts) für das gesamte Jahr (oben) und nur für den Winter (unten). Daten NOAA.

Im Allgemeinen ist die negative AMM-Phase mit kühlen Anomalien auf der Nordhemisphäre und warmen Anomalien auf der Südhemisphäre des tropischen Atlantiks verbunden, und die positive Phase ist das Gegenteil (Patricola, Saravanan, & Chang, 2014). Sie stellt einen Äquator-übergreifenden SST-Gradienten dar, der von negativ zu positiv und umgekehrt umschlägt. Er hat ein starkes dekadisches bis multidekadisches Signal. Jährlich hat die SST AMM einen positiven Spitzenwert im Oktober und ihren niedrigsten negativen Wert im April. Sowohl der negative als auch der positive Modus sind mit Verschiebungen der ITCZ und den damit verbundenen Winden und Stürmen verbunden. Die AMM wird durch eine positive Rückkopplung zwischen Wind, Verdunstung und Meeresoberflächentemperatur angetrieben, wobei die Windanomalien den SST-Anomalien um ~2 Monate voraus sind (Xia, Zuo, Sun, & Liu, 2023). Diese Luft-Meer-Wärmeflüsse können durch thermodynamische und dynamische Prozesse (d. h. Wind) erklärt werden (IPCC, 2021, S. 2168), (Chang, Ji, & i, 1997) und (Patricola, Saravanan, & Chang, 2014).

## Die Beziehung zwischen AMM und Hurrikanen

Die AMM wirkt im Zusammenspiel mit ENSO auf die Aktivität der tropischen Wirbelstürme im Atlantik ein wie in Abbildung 3 dargestellt. Es gibt noch andere Faktoren, die die Hurrikanaktivität beeinflussen und zumindest teilweise von der AMM und ENSO unabhängig sein können, wie Saharastaub, afrikanische Easterly Waves und die nicht damit zusammenhängende Temperatur der oberen Troposphäre, aber die AMM und ENSO haben einen sehr starken Einfluss auf die atlantische Hurrikanaktivität (Patricola, Saravanan, & Chang, 2014). Ein neutraler

oder El-Niño-ENSO-Zustand und eine negative AMM erzeugen die geringste Anzahl größerer Hurrikane und die geringste ACE (akkumulierte Zyklonenenergie). Der letzte aktuelle ENSO-Zustand (Mai 2025) ist neutral und die aktuelle AMM (Mai 2025) ist negativ, was darauf hindeutet, dass es in diesem Sommer **weniger und schwächere Hurrikane im Atlantik und in der Karibik** gibt als normal. Ein starkes La Niña und eine stark positive AMM erzeugen die meisten Hurrikane und den größten ACE. Der AMM-Zustand hat einen stärkeren Einfluss auf die Aktivität und Stärke der Hurrikane, aber auch der ENSO-Zustand spielt eine Rolle.

[Hervorhebung vom Übersetzer]

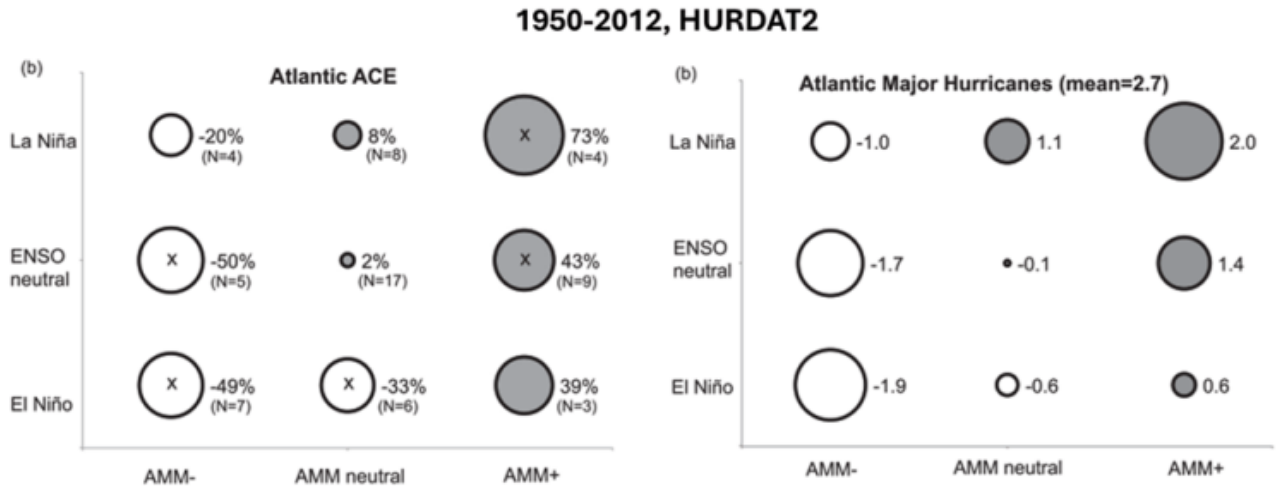


Abbildung 3. Statistiken über atlantische Hurrikane (HURDAT2) nach ENSO-Kategorie und AMM-Phase. Das linke Diagramm zeigt die akkumulierte Wirbelsturmenergie (ACE) in Einheiten der prozentualen Abweichung vom Mittelwert; ein „x“ im Kreis zeigt die statistische Signifikanz auf dem 10 %-Niveau an (Student’s t-Test). Das rechte Diagramm ist eine Zählung, und die Einheiten sind die Anzahl der größeren Wirbelstürme über oder unter dem Mittelwert von 2,7. Quelle: (Patricola, Saravanan, & Chang, 2014).

Während der positiven Phase der AMM verschiebt sich die atlantische innertropische Konvergenzzone (ITCZ) nach Norden, was im Nordosten Brasiliens häufig zu Trockenheit führt. Die brasilianischen Niederschläge sind stärker mit der AMM korreliert als mit ENSO (Chang, Ji, & Li, 1997).

Eine Schlüsselkomponente der AMM ist die positive Rückkopplung zwischen der Meeresoberfläche und der Atmosphäre. Während einer positiven Phase der AMM wird die SST im tropischen Nordatlantik höher als normal und im tropischen Südatlantik niedriger als normal. Der Luftdruck reagiert auf die SST-Anomalien, indem er über den anomal kalten SSTs der Südhalbkugel höher als normal und über den anomal warmen SSTs der Nordhalbkugel niedriger als normal wird. Die Druckunterschiede beeinflussen die Windverhältnisse, was wiederum die Veränderungen der SST verstärkt. Die

AMM-Wind- und SST-Anomalien sind für die Region in Abbildung 3 dargestellt, die ein positives AMM-Muster veranschaulicht:

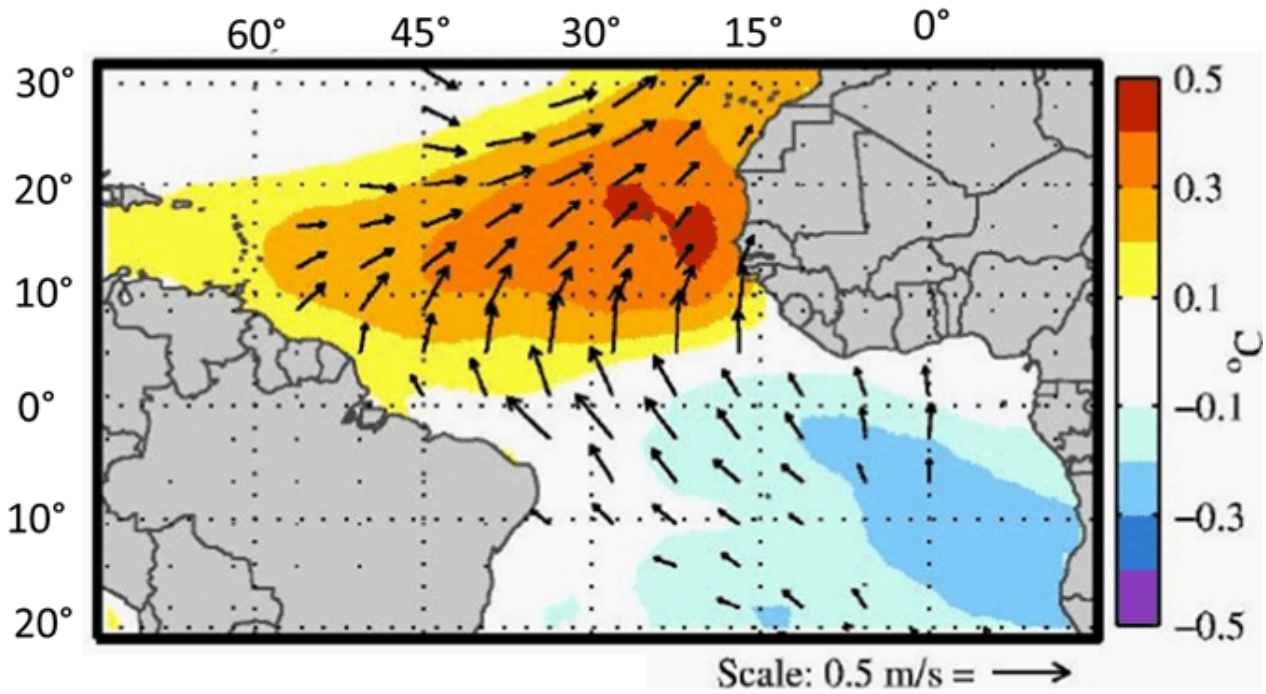


Abbildung 4. Die AMM-Region und ein positives AMM-Muster. Dieses Muster verschiebt die ITCZ nach Norden, erwärmt den Teil der nördlichen Hemisphäre und kühlt den Teil der südlichen Hemisphäre ab. Es stärkt die Ostwinde auf der Südhalbkugel und schwächt sie im Norden ab. Quelle NOAA.

## Modellierung der AMM

Die AMM steht in engem Zusammenhang mit der saisonalen Hurrikanaktivität im Atlantik sowohl auf dekadischen als auch auf interannualen Zeitskalen (Vimont & Kossin, 2007). Vimont & Kossin sagen uns, dass die AMO die AMM auf dekadischen Zeitskalen anregt und durch die AMM einen dekadischen Einfluss auf die Hurrikanaktivität hat. Die AMM ist im Vergleich zu anderen Oszillationen recht gut verstanden. Sie lässt sich auch sehr leicht in Wetterdaten beobachten.

Wir haben bereits erörtert, dass die AMO in den CMIP6-Modellen des IPCC nur schwach modelliert ist (IPCC, 2021, S. 504). AR6 berichtet auch, dass die CMIP6-Modelle der AMO „Low Performance“ sind (IPCC, 2021, S. 115). AR6 stellt fest:

*„… es gibt geringes Vertrauen in die prognostizierten Veränderungen der tropisch-atlantischen Variabilität (TAV), da die Klimamodelle im Allgemeinen nicht in der Lage sind, wichtige Aspekte dieser Variabilität zu simulieren, wie etwa die nach Norden verschobene ITCZ.“*

Die CMIP5-Modelle haben bei der AMM schlechte Arbeit geleistet, und in Bezug auf den Wind schneiden die CMIP6-Modelle etwas besser ab. Aber sowohl die CMIP5- als auch die CMIP6-Modelle reproduzieren die SSTs in der AMM-Region schlecht (Xia, Zuo, Sun, & Liu, 2023). Dieses SST-Problem in den Tropen ist ein allgemeines und anhaltendes Problem bei allen Klimamodellen (IPCC, 2021, S. 444). Die schlechte Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Modell-SST in den Modellen ist global, aber am offensichtlichsten in den Tropen, insbesondere in der tropischen mittleren Troposphäre (McKitrick & Christy, 2020), (McKitrick & Christy, 2018) und (IPCC, 2021, S. 444). Die Wind/SST-Prozesse, welche die AMM antreiben, sind in den meisten CMIP6-Modellen nicht sehr gut modelliert, und einige würden sagen, dass fast alle Modelle schlecht sind. Xia et al. nennen diesen Prozess die Wind-Verdunstungs-SST- oder „WES"-Rückkopplung und schlagen vor, dass dies der Teil der AMM ist, den die CMIP6-Modelle falsch darstellen (Xia, Zuo, Sun, & Liu, 2023). Es gibt einige wenige Einzelmodelle, die gute Arbeit leisten, z. B. E3SM1 und ESM1, aber die Variabilität bei der Reproduktion der AMM in den Modellen ist groß, und zwischen den Modellen gibt es häufig ungelöste regionale Widersprüche (IPCC, 2021, S. 1393-1394). Weitere Einzelheiten über die Übereinstimmung der Modelle mit den Beobachtungen oder deren Fehlen sind in Xia, et al. (Xia, Zuo, Sun, & Liu, 2023) und im AR6 WGI zu finden, insbesondere in Abschnitt 10.3.3, Seite 1393, Abbildung 10.6 ist brutal. Wir sehen in AR6 WGI:

*„Die Leistung der Modelle variiert stark von Modell zu Modell, aber auch zwischen verschiedenen Ensembles. Diese Verzerrungen sind ein Ausdruck von Modellfehlern, die zu falsch dargestellten Phänomenen und Prozessen führen und somit das Vertrauen in zukünftige Projektionen des regionalen Klimas einschränken."* (AR6, S. 1395)

Ich wünschte, ich hätte das geschrieben.

## Diskussion

Eine positive AMM mit einer gleichzeitigen La Niña signalisiert eine starke Hurrikansaison, aber wenn die Modelle die AMM nicht simulieren, wie können sie dann die Hurrikanaktivität vorhersagen? Ich glaube nicht, dass wir Modellprognosen über mehr Hurrikane in der Zukunft ernst nehmen sollten, solange nicht sowohl die AMO als auch die AMM richtig modelliert werden können.

Etwa die Hälfte der CMIP6-Modelle kann das beobachtete räumliche Muster der AMM grob wiedergeben (siehe Abbildung 4). Die Beobachtungen zeigen, dass die Windanomalien den SST-Anomalien um etwa zwei Monate voraus sind, wie in Abbildung 5 dargestellt. Beachten Sie, dass die Y-Achse in Abbildung 5 nicht die Anomalie selbst, sondern die Varianz darstellt.

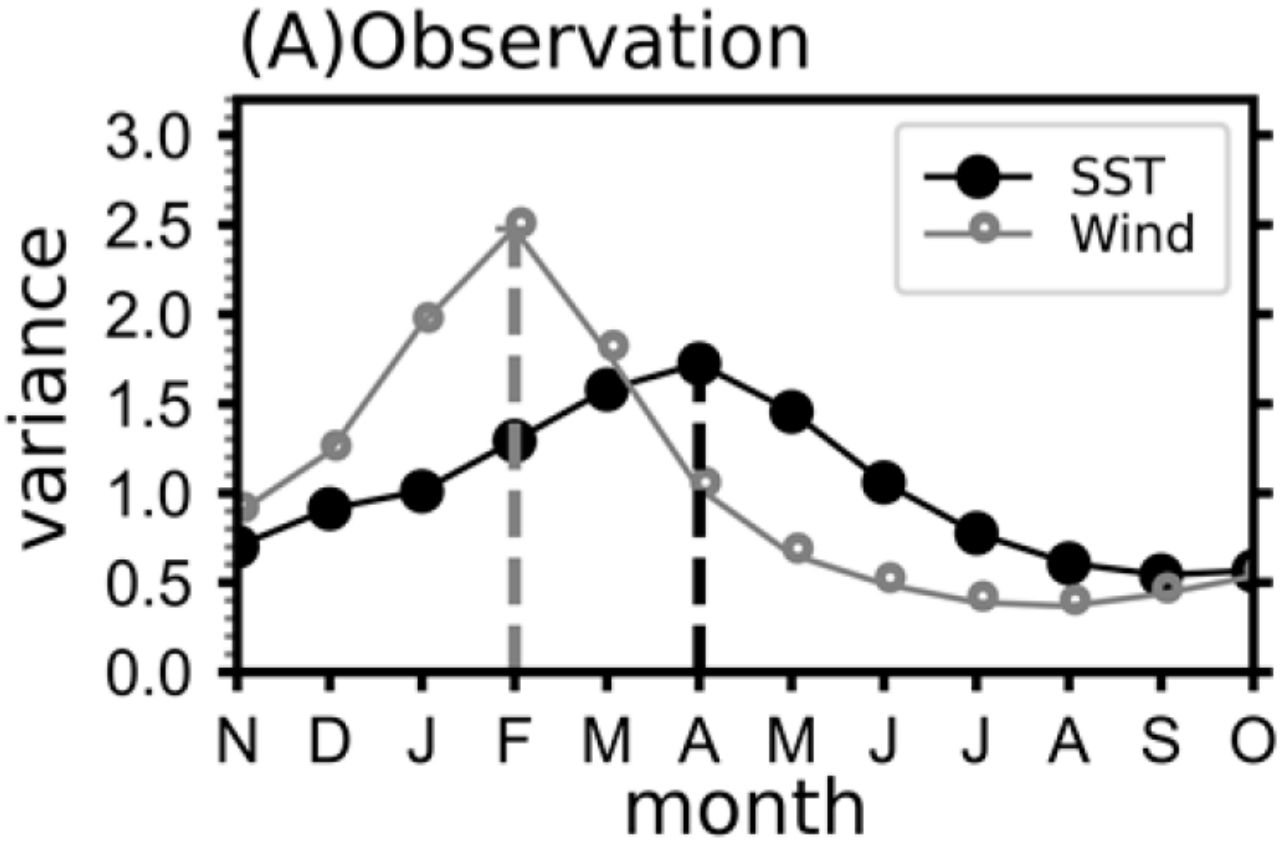


Abbildung 5. Die Wind- und SST-Varianz nach Monat. Beachten Sie, dass die Windanomalie der SST-Anomalie vorausgeht, was dem AMM-WES-Rückkopplungsprozess entspricht. Quelle: (Xia, Zuo, Sun, & Liu, 2023). Nur sehr wenige CMIP6-Modelle können dieses Muster erfolgreich reproduzieren.

Vielen Modellen gelingt es, eine Windspitze im Frühjahr zu reproduzieren, aber die meisten reproduzieren nicht die sehr logische SST-Spitze, die darauf folgen sollte, oder wenn sie es doch tun, dann ist die Zeitdifferenz falsch. Bei einigen Modellen wie NorCPM1 und ACCESS-ESM1-5 ist die Abweichung spektakulär. Xia untersuchte die Modelle, die sich bei der WES-Rückkopplung irrten, und stellte fest, dass sie eine dickere ozeanische Mischschicht aufwiesen. Die dickere Mischschicht führte zu einer schwächeren Ozean-Atmosphären-Kopplung und einer schwächeren Reaktion der SST auf den Windantrieb, was die Abstände zwischen den Wind- und SST-Änderungen durcheinander brachte. Xia und seine Kollegen waren nicht in der Lage herauszufinden, warum einige der Modelle nicht einmal das räumliche Muster der AMM reproduzieren konnten.

Aus physikalischer und thermodynamischer Sicht ist die AMM eine der einfacheren und offensichtlichsten Schwingungen und weist ein regelmäßiges Muster über das Kalenderjahr auf. Man sollte meinen, dass sie einfacher zu modellieren sein sollte als die anderen. Die Tatsache, dass sowohl die CMIP5- als auch die CMIP6-Modelle so große Schwierigkeiten damit haben, ist bezeichnend.

Ein weiterer wichtiger Punkt, über den ich schon früher geschrieben habe ist, dass es wenig sinnvoll ist, Modell-Ensembles zu erstellen und diese zu mitteln, was als Modell-Demokratie bezeichnet wurde (IPCC, 2021, S. 226). Dieses Verfahren wird noch dadurch verschlimmert, dass AR6 und CMIP6 nicht in jedem ihrer „Modell-Ensembles“ die gleichen Modelle verwenden. Manchmal wählen sie Modelle auf der Grundlage ihrer „Leistung“ (IPCC, 2021, S. 226) aus, was in der Regel bedeutet, wie gut jedes einzelne Modell im Vergleich zu den Beobachtungen abschneidet. Der Ensemble-Ansatz erlaubt es den Modellierern also, die Ergebnisse auszuwählen und zu bestimmen. Es ist bemerkenswert, dass die Sensitivität der Ergebnisse auf die Modellauswahl „selten durchgeführt“ wird (IPCC, 2021, S. 1425).

Man kann mehrere Modelle untersuchen und Kriterien für ihre Bewertung aufstellen, aber wenn man dasjenige gefunden hat, das am besten mit den Beobachtungen übereinstimmt, gibt es keinen Grund, dessen Ergebnisse mit denen minderwertiger Modelle zu mitteln und ein Klimamodell-Ensemble zu erstellen. Dies gilt insbesondere dann, wenn sich die Mitglieder der verschiedenen verwendeten Ensembles ändern.

Alle Modelle sind mit Fehlern behaftet und stimmen nicht mit den Beobachtungen überein; die Ergebnisse werden durch die Mittelung verschiedener Modelle nicht besser. Die Mittelung verschiedener Modellläufe des gleichen Modells mit unterschiedlichen Parametern und Initialisierungen ist sinnvoll, die Mittelung verschiedener halb-unabhängiger Modelle nicht. All dies gilt insbesondere für die in dieser Serie diskutierten Klimaschwankungen, vor allem für die AMM. Sie sind gut dokumentierte Klimaeigenschaften, und nur die Modelle, die sie richtig reproduzieren können, sollten berücksichtigt werden, und das Klimamodell, das für die IPCC-Bewertungen verwendet werden soll, sollte das beste sein, das der Realität am nächsten kommt.

## Weitere Beiträge:

Musings on the AMO

The Bray Cycle and AMO

Climate Oscillations 1: The Regression

Climate Oscillations 2: The Western Hemisphere Warm Pool (WHWP)

Climate Oscillations 3: Northern Hemisphere Sea Ice Area (in deutscher Übersetzung hier)

Climate Oscillations 4: The Length of Day (LOD)

Climate Oscillations 5: SAM

## Referenzen


Chang, P., Ji, L., & Li, H. (1997). A decadal climate variation in the tropical Atlantic Ocean from thermodynamic air-sea interactions. *Nature, 385*, 516-518. doi:10.1038/385516a0

Chiang, J. C., & Vimont, D. J. (2004). Analogous Pacific and Atlantic Meridional Modes of Tropical Atmosphere–Ocean Variability. *Journal of Climate, 17*(21), 4143 – 4158. doi:10.1175/JCLI4953.1

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/

McKitrick, R., & Christy, J. (2018, July 6). A Test of the Tropical 200- to 300-hPa Warming Rate in Climate Models, Earth and Space Science. *Earth and Space Science, 5*(9), 529-536. doi:10.1029/2018EA000401

McKitrick, R., & Christy, J. (2020). Pervasive Warming Bias in CMIP6 Tropospheric Layers. *Earth and Space Science, 7*. doi:10.1029/2020EA001281

Patricola, C. M., Saravanan, R., & Chang, P. (2014). The Impact of the El Niño–Southern Oscillation and Atlantic Meridional Mode on Seasonal Atlantic Tropical Cyclone Activity. *Journal of Climate, 27*(14), 5311-5328. doi:10.1175/JCLI-D-13-00687.1

Vimont, D. J., & Kossin, J. P. (2007). The Atlantic Meridional Mode and hurricane activity. *Geophysical Research Letters, 34*(7). doi:10.1029/2007GL029683

Xia, F., Zuo, J., Sun, C., & Liu, A. (2023). The Atlantic Meridional Mode and Associated Wind–SST Relationship in the CMIP6 Models. *Atmosphere, 14*(2). doi:10.3390/atmos14020359


Link: https://andymaypetrophysicist.com/2025/07/03/climate-oscillations-6-atlantic-meridional-mode-amm/

Übersetzt von Christian Freuer für das EIKE