Schriftenreihe des Inst.f.Hydrographie, Geoökologie und Klimawissenschaften, Bd. 15, 2023

Zeitlich-räumliche Muster der nordatlantischen SST und die Zyklizität der AMO

… eine informelle Studie

Hans-Joachim Dammschneider
Institut für Hydrographie, Geoökologie und Klimawissenschaften (IFHGK), CH-6315 Aegeri, Schweiz

´Die´ Oszillation des Atlantiks …

Erst seit Mitte der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts ist der ozeanische Zyklus der „AMO“, also die ´**A**tlantische **M**ultidekaden **O**szillation´, bekannt.

Und obwohl nun bereits mehr als 20 Jahre vergangen sind, ist der ***Stellenwert*** dieser flächenhaften, rhythmischen atlantischen Temperaturveränderung bzw. -verschiebung noch immer teils umstritten. Eine der Hauptfragen ist: Hat der Temperatur-Index der AMO als Mass für die insgesamt und zusammengefasst veränderlichen Wassertemperaturen des Atlantiks, der SST bzw. der **S**ea **S**urface **T**emperature, einen systematischen Einfluss auf das Klima … vor allem auch auf das Klima Europas?

Eine gewisse Beziehung ist zwar grundsätzlich, also betreffend des allgemeinen Wärmetransports vom Atlantik gen Osten hin nach Europa („Golfstromeinfluss“) ohnehin seit langem anerkannt, nicht unbedingt jedoch die sozusagen ***variable*** thermische ozeanische Wirkung, die von ***natürlichen*** mittel- bis langfristigen Temperatur-***Oszillationen/-Schwingungen*** des Atlantiks ausgehen könnte.

Man darf annehmen, dass die ´Bausteine´ der AMO, also die Wassertemperaturen/die SST, nicht nur durch Ihren Wert an sich, sondern hierbei vor allem durch ihre potentielle ***Gewichtung***, die sich aus der relativen flächenhaften Temperatur-***Verteilung*** im Bereich des Atlantiks ergibt, eine Rolle spielen.

´Die´ AMO als Einzelwert je Zeiteinheit wäre dann aber zu einfach gedacht und zu pauschal ausgewiesen, weil auschliesslich ***grossräumlich*** erfasst?

´Den´ Atlantik kann es eigentlich nicht geben, seine Grösse zwingt zur Differenzierung, auch und gerade hinsichtlich der SST. Zudem gilt: Punktuelle Datensätze der SST sind nicht das Wichtigste … erst ihre **Relation zur Gesamtheit und der Verteilung innerhalb der atlantischen Wasserfläche** macht den Wert der Wassertemperaturen für eine (auch differenzierbare) Klimabewertung insgesamt aus.

Die AMO selbst wird, nochmals gesagt, nicht direkt gemessen. Es handelt sich vielmehr um einen Index, der aus der monatlichen Veränderung der oberflächennahen Wassertemperaturen im Atlantik errechnet wird. Es zeigt sich, dass über die Jahre sich die Werte einer grossräumigen atlantischen SST-Darstellung zeitweilig in Richtung relativ höherer Temperaturen verschieben, um dann (in diesem Bereich) für eine gewisse Periode (im Mittel für 30 Jahre) tendenziell wieder abzufallen … und dann erneut für ebenfalls rd. 30 Jahre anzusteigen.

Dieser Zyklus oder diese ´Oszillation´, inzwischen nahezu allgemeingültig für ´den´ Atlantik angesetzt, wird jedoch nur *errechnet* aus zusammengefassten und, nochmals, nur sozusagen pauschal ´dem´ Atlantik zwischen 0- und 60/80 Grad N zugeordneten SST´s. Sie ergeben ´detrended´ (*) gemeinsam ´die´ AMO für den gesamten Atlantik.

Für den gesamten Ozean? Die NOAA (https://www.aoml.noaa.gov/phod/amo_faq.php) definiert das Gebiet der AMO als „most of the Atlantic between the equator and Greenland changes in unison“ („*Der größte Teil des Atlantiks zwischen dem Äquator und Grönland* verändert sich im Gleichschritt“). M. LATIF schreibt (in https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/atlantic-multidecadal-oscillation): „AMO index is defined as the linearly detrended North Atlantic average anomalous (*0–60 °N*) average SST“ („*Der AMO-Index ist definiert als die linear mit dem Trend ´korrigierte´ (*) durchschnittliche SST im Nordatlantik zwischen 0-60 °N“*).

Diese Aussagen stehen nachfolgend zur Diskussion … vor allem auch der „Gleichschritt“.

Ein Zyklus der AMO hat die Dauer von i.M. 60 bis 70 Jahren. Er wiederholt sich im Grundsatz seit Jahrhunderten immer wieder. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts liegen verlässlichere Daten vor und mit Beginn der Satellitenära im Jahr 1979 können die SST´s in grösserer Genauigkeit sowie guter Flächenauflösung dokumentiert und somit letztlich „die“ AMO aus den SST errechnet werden. Nochmals: ***Ein*** Wert gültig für ´den´ Atlantik.

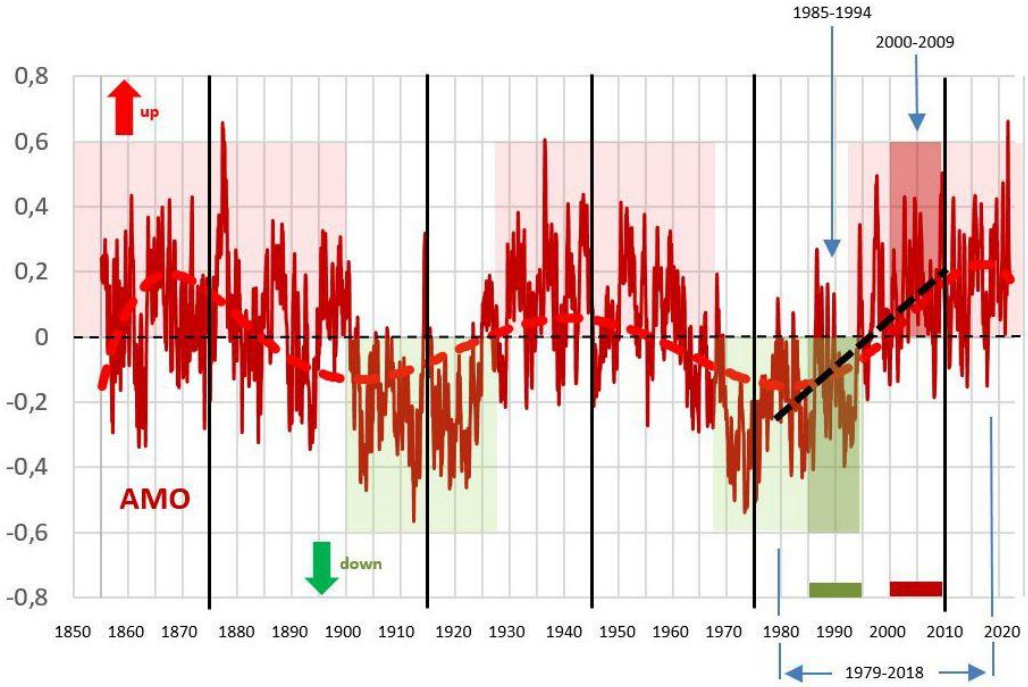


Abb. 1: AMO, Zeitraum 1856-2022. Hervorgehoben der Zeitraum 1979-2018, für den relativ präzise Sat.-Daten vorliegen, und daraus zwei Vergleichsperioden (1985-1994 = schwache AMO / 2000-2009 = starke AMO), die nachfolgend mehrfach angesprochen/verwendet werden. Daten aus http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/AMO/, Monatswerte

Dieser langfristige und periodisch (oszillierend) ablaufende atlantische Temperatur-Index besitzt Wirkung bzw. besser, er korreliert zu bestimmten grossräumigen bzw. auch weit entfernteren Klimaveränderungen. Meint, man geht inzwischen davon aus, dass diese relative atlantische Wärme- oder auch mal eher ´Kühl´-Fläche (Stichwort heat flux) der SST´s grossräumig Einfluss auch auf das *Klima Europas* nehmen kann.

(*) Um das „Signal des Klimawandels“ aus dem AMO-Index zu entfernen, werden in der Regel die SST-Daten an jedem Gitterpunkt bzw. die räumlich gemittelten Zeitreihen, ´detrendiert´. Trenberth und Shea (2006) empfehlen, dass das Detrending durch ***Subtraktion der Zeitreihe der globalen SST-Anomalie von der räumlich gemittelten Zeitreihe*** erfolgt.

Tatsächlich ist ein erkennbarer Korrelationsnachweis dafür mit der Veröffentlichung von LÜDECKE et al (2020) erbracht.

Allerdings:

a) Korrelation ist nicht Kausalität

und, wie schon gesagt,

b) ´den´ Atlantik, und daher auch ´die´ AMO, sollte man differenzieren.

Vor allem der Punkt ´b´ ist von grosser Bedeutung. Zwar ist es schon ein Gewinn, mittels eines Index grundsätzliche zeitlich-thermische Veränderungen im Bereich des Atlantiks zu identifizieren. Allerdings ist die Frage, ob diese Vereinfachung nicht auch wiederum dazu führt, dass damit ***Unterschiede im räumlichen Verhalten,*** wie es möglicherweise ***von bestimmten Gebieten*** des Atlantiks nach Europa ausgehendet ***thermische ´Impulse´*** sind, innerhalb dieses Ozeans eher verschleiert werden.

Verteilungsmuster

Ein genauerer Blick auf die AMO scheint notwendig. Der zyklische Index verläuft, wie schon gesagt, in weiten Bereichen des Nordatlantiks parallel zu den eigentlichen SST. Nehmen wir nur mal ***ein*** Beispiel aus dem mittleren Nordatlantik, hier auf 50-55N/320-325E (Abb. 2). Wir sehen, dass ***hier*** (und den Umgebungsfeldern, siehe später Abb. 6) beide Schwingungen, also die aus den Temperaturen des Nordatlantiks errechnete AMO *und* die (sozusagen lokal) tatsächlich messbaren (also ***nicht*** trendkorrigierten) SST selbst, sich sehr ähnlich verhalten.

Diese Verknüpfung besteht so relativ eng allerdings nicht in allen Bereichen des Atlantiks … siehe Abb. 3. Ein „Gleichschritt“ (NOAA, siehe oben) ist das sicherlich nicht.

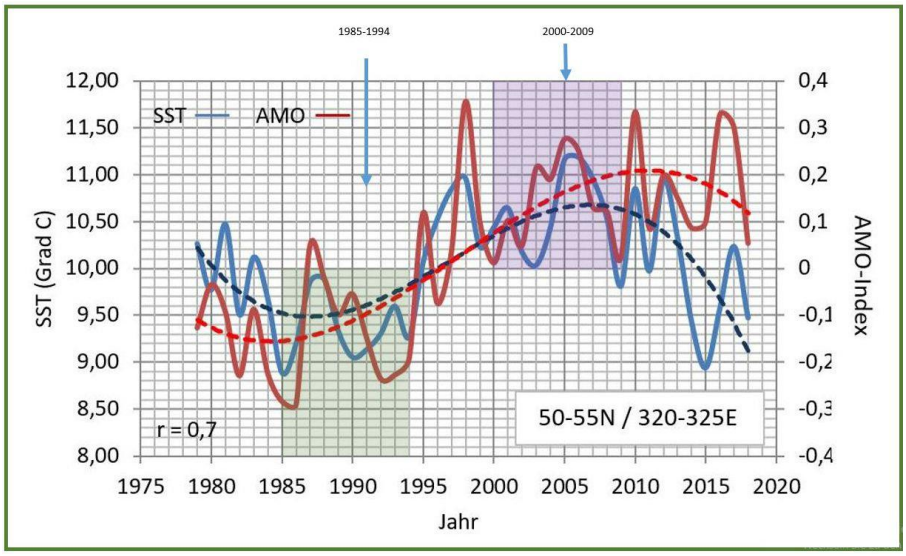


Abb.2: AMO und SST (Jahreswerte), Bereich 50-55N/320-25E. Farblich hervorgehoben die Zeiträume 1985-1994 (grün) und 2000-2009 (lila), die nachfolgend zu Vergleichen der SST-Veränderungen herangezogen werden, siehe dazu auch Abb. 1

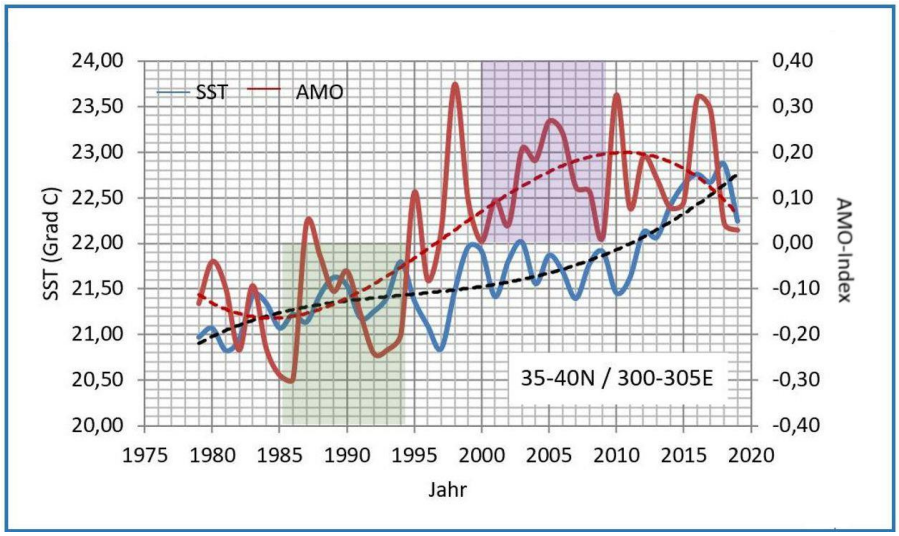


Abb. 3: AMO und SST, Bereich 35-40N/300-305E. Farblich hervorgehoben die Zeiträume 1985-1994 (grün) und 2000-2009 (lila)

Ganz allgemein gesehen entspricht die Verteilung der SST im Atlantik zunächst dem Bild, dass sich aus der grundsätzlichen thermischen Zonierung der Erde ergibt: Die Wassertemperaturen nehmen vom Äquator gen Norden hin ab (siehe am Beispiel des Monats April, Zeitraum 2000-2009 in Abb. 4).

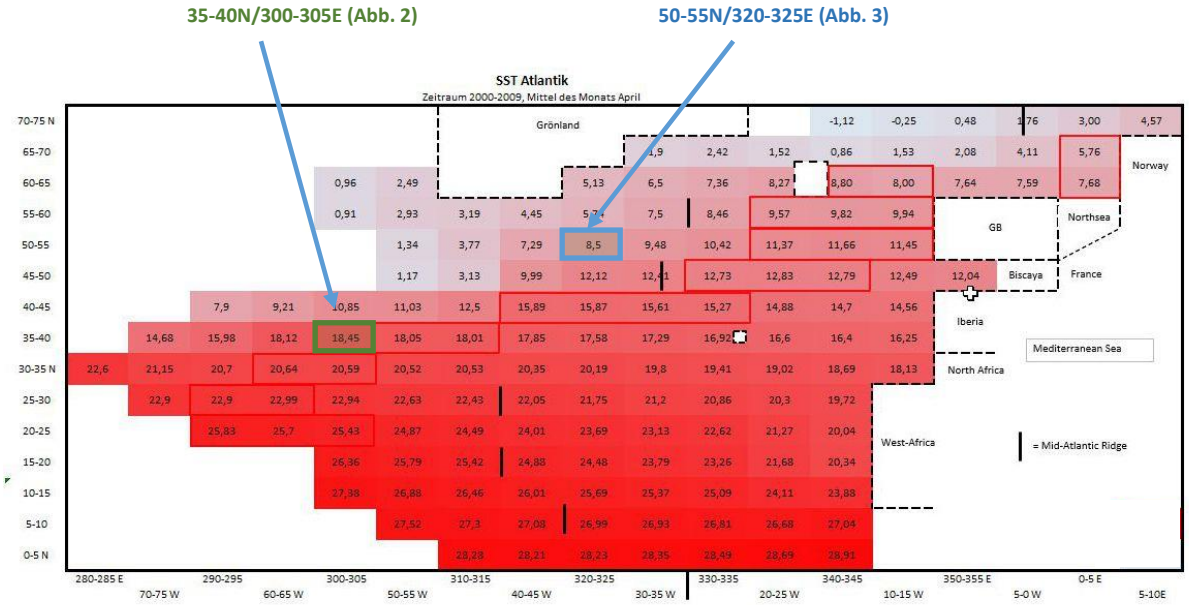


Abb.4: SST des Zeitraums 2000-2009, Mittelwerte des Monats April (Beispielmonat)

Allerdings ***verändern*** sich die SST *je Gebiet* über die Zeit durchaus *unterschiedlich stark*.

Hierbei spielt die Zonierung selbst, wie es scheint, keine so grosse Rolle (siehe Abb. 5). Es sind vielmehr ´Areale´, in denen sich die Wassertemperaturen jeweils differenziert entwickeln: Während z.B. südlich/ südöstlich Grönlands im Zeitraum von 1985-1994 zu 2000-2009 (Zeitraumbegründung siehe Abb. 1-3) die SST ganzjährig relativ stark ansteigen, fallen sie im Gegensatz dazu auch,

wiederum gebietsbezogen, unterschiedlich stark ab … vor der amerikanischen Ostküste im Winter (hier Monat Januar) und Im Gebiet westlich der Azoren (Monat Juni, siehe Abb. 5).

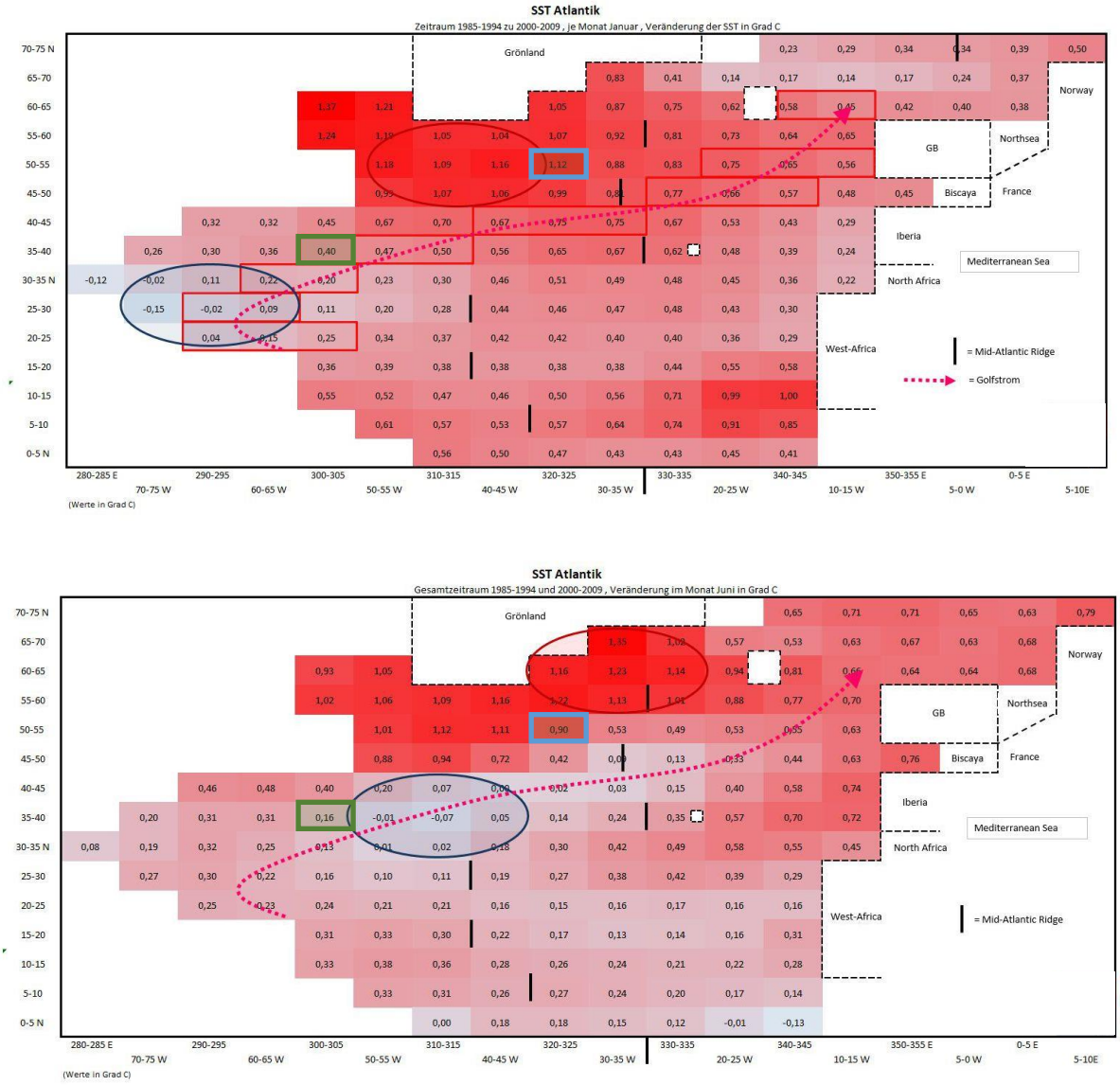
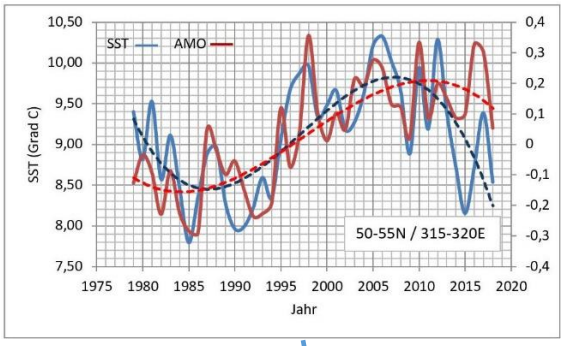
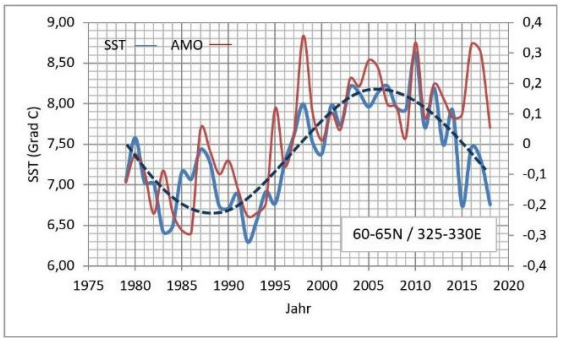


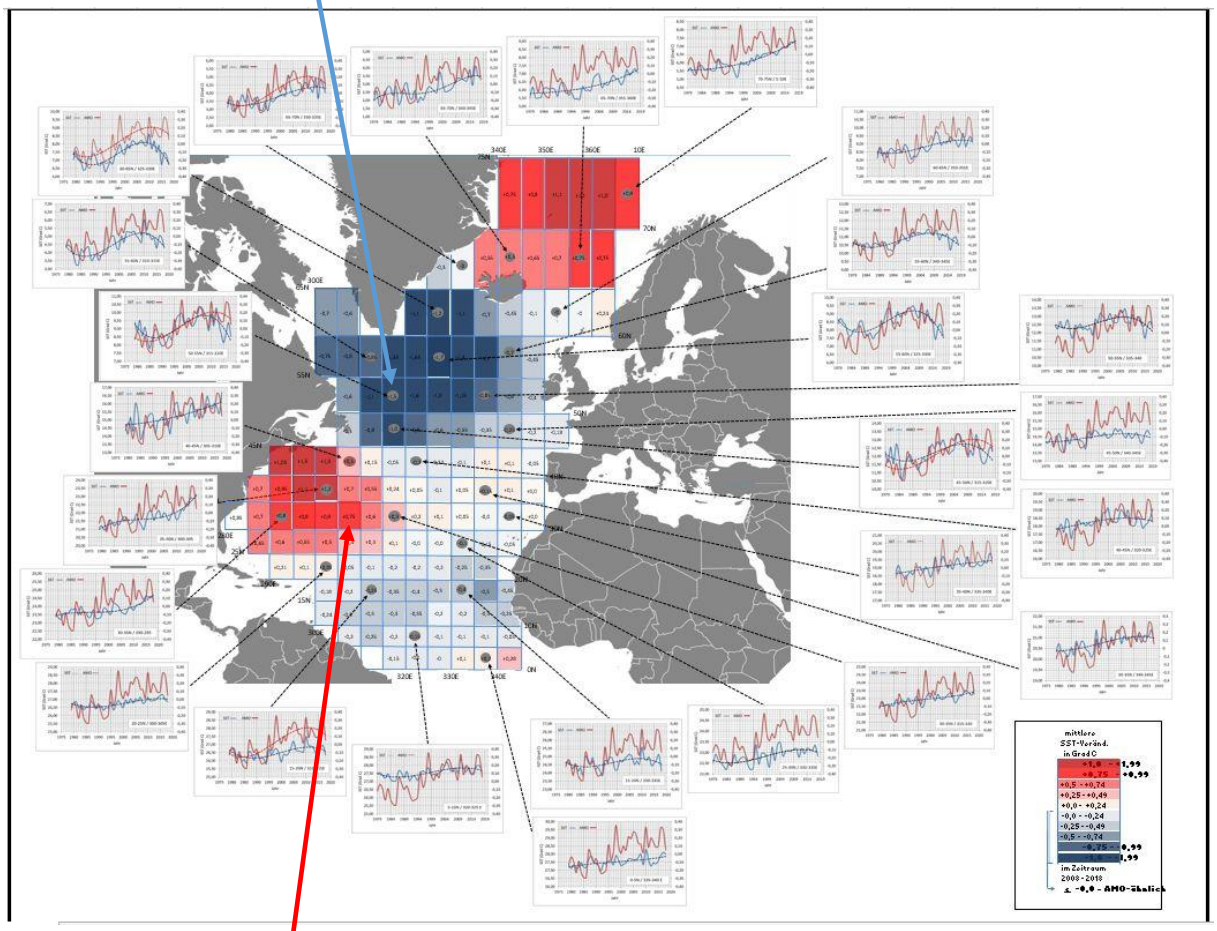
Abb. 5: Veränderungen der SST im Nordatlantik im Zeitraum 1985-1994 (schwache AMO) zu 2000-2009 (starke AMO, siehe Abb. 1-3). Gebiete mit relativ höchster Zunahme der SST und Bereiche tendenzieller Abnahme der Wassertemperaturen, Monate Januar (oben) und Juni (unten) Golfstrom

Diese Verteilungsmuster sind zunächst schwer deutbar. Ein Einfluss der Strömungsverteilungen ist anzunehmen. Sicher ist, dass diese Vorgänge und Verteilungen eher nicht zufällig sind.

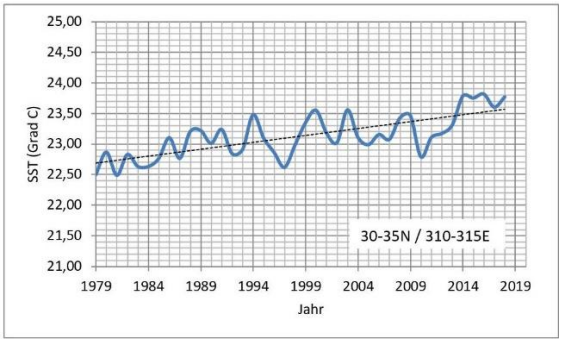




= SST-Gebiete mit AMO-Tendenz



= SST-Gebiete mit geringer bis keinerlei AMO-Tendenz



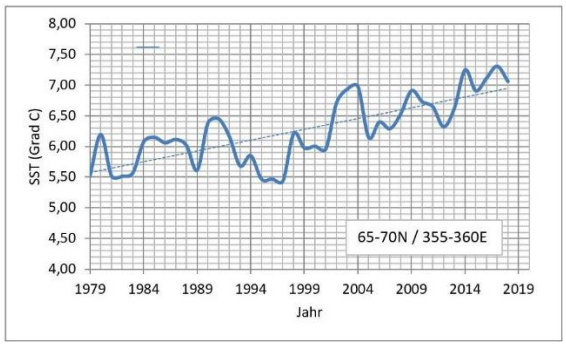


Abb. 6: SST-Gebiete des Atlantiks: Bereiche mit grossen bzw. geringen AMO-Tendenz

Während in Abb. 2 eine Art ´positives´ Beispiel für eine relativ enge Korrelation zwischen AMO und SST gezeigt werden kann, gibt es jedoch auch grosse Gebiete innerhalb des Nordatlantiks, in denen die errechnete AMO mit den SST´s ***kaum bis gar nicht*** zusammen läuft (siehe Abb. 3). Meint, eine AMO-ähnliche SST-Schwingung/-Oszillation ist in weiten Bereichen des Atlantiks, vor allem zwischen 25N und 45N kaum vorhanden (siehe tendenziell-grafisch Abb. 6). Jedenfalls dann nicht, wenn sie nicht „im Trend" korrigiert werden. Nur, das sei klar gesagt, die ´wahren´ SST sind der Massstab, nicht jene, deren Wert um einen ´übergeordnet´ angesetzten Korrekturfaktor („Klimawandel") umgerechnet wurden.

Diese grossräumige Verteilung besitzt im ersten Ansatz nicht zwingend eine Verbindung zu den Veränderungen der SST, wie sie in Abb. 5 gezeigt werden … es zeigt vielmehr nur die grosse Varianz, die in den letzten Jahrzehnten in den Veränderungen der atlantischen Wassertemperaturen vorliegt.

Die Abb. 6 deutet im Überblick an, ***wo*** in den SST-Verläufen ein „AMO-ähnliches"-Verhalten auftritt und wo eher nicht: Die Hauptregion von AMO-Oszillationen der SST finden wir zwischen 45N und 65N (dunkelblau unterlegt). Im Osten dieser geografischen Breite ist die Schwingung dabei etwas gedämpfter.

Nördlich 65N (Island) haben wir zwar über die Zeit ansteigende SST, jedoch nur geringfügige bis gar keine langjährige Oszillation der SST (rot/gelb hinterlegt). Auch südlich von 45N (Nova Scotia - Biskaya), leicht von NW nach SO ausgerichtet, sind die SST-Verläufe zwischen 1979 und 2018 ebenfalls durchgehend ansteigend und dabei kaum bis gar nicht oszillierend.

Das ist bemerkenswert, denn ab rd. 20 Grad N (Kuba - Mauretanien) finden wir im westlichen Zentralatlantik in Richtung Äquator erneut ein Gebiet mit SST´s, deren Werte i.M. ab dem Jahr 2010 rückläufig sind bzw. gleichartig dem o.a. Gebiet oszillieren (hellblau hinterlegt).

Diese Verteilung, man darf es erwarten, sollte Einfluss darauf haben, ***wo*** und ***wie stark*** die AMO als Index einen klimatischen Bezug besitzt bzw. (als eine Art thermischer Quelle) eine klimatische Wirkung haben könnte … ob ´detrended´ oder nicht.

Es ist also interessant, sich die unterschiedlichen Bereiche des Atlantiks genauer anzuschauen und aufzuzeigen, wo mehr bzw. auch weniger direkt eine Temperatur-Zyklizität auftritt, die jener der AMO nahe kommt. D.h. es stellt sich die Frage, wie sich die SST-Verläufe/Werte tatsächlich ***im Raum*** verteilen … ***WO*** gibt es eine stärkere bzw. auch schwächere Beziehung zwischen den SST-Werten und dem AMO-Index?

Hierzu dient eine PEARSON-Korrelationsdarstellung (r-Werte). Abb. 7 zeigt für zwei ausgewählte Monate des Gesamtbetrachtungs-Zeitraums (oben **Februar** 1979-2018 , unten **Juni** 1979-2018). Beide Monate besitzen durchaus ein ähnliches Grundmuster: Die relativ geringste Korrelation besteht im Gebiet zwischen 30N/300E und 45N/315E, deutlich höhere r-Werte treten je nördlich und südlich auf. Auch wenn hier das Detrending teils wieder aus der AMO herausgefiltert wird, so ist das sich auftuende Bild markant-spannend.

Es bestätigt also weitestgehend die grafische Darstellung/Auftragung der Daten in Abb. 6.

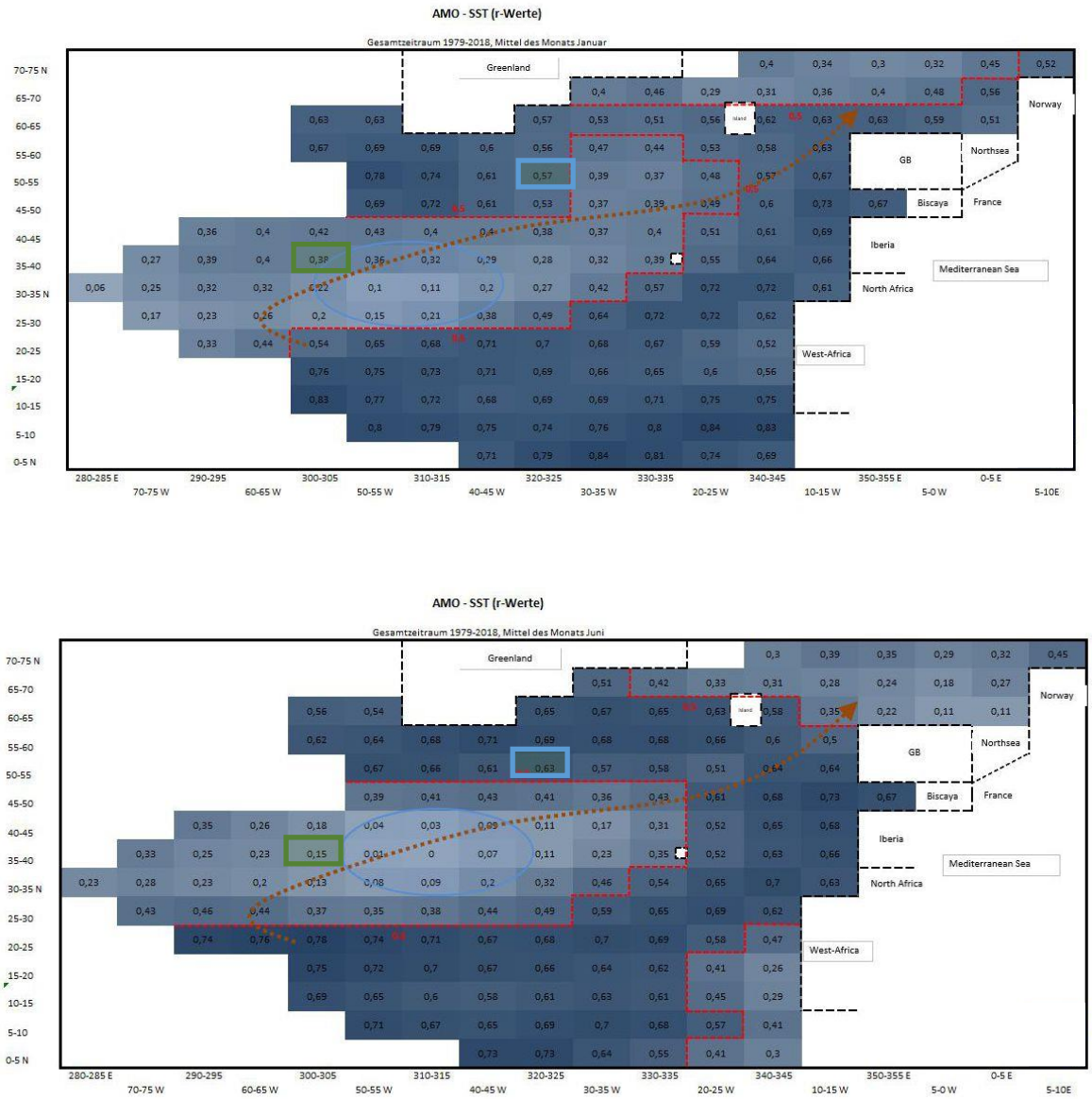


Abb. 7: PEARSON-Korrelation AMO zu SST im Atlantik, Rasterdarstellung, Zeitraum 1979-2018 Monate Februar (oben) und Juni (unten)

= **35-40N/300-305E (Abb. 2)** = **50-55N/320-325E (Abb. 3)**

Das Ergebnis belegt zunächst aber nochmals, dass tatsächlich ´der´ Atlantik nicht von ´der´ AMO repräsentiert werden kann. Im Gegenteil sind gerade dort, wo der „Golfstrom“ verläuft, die relativ geringsten Korrelations-/R-Werte zwischen SST und AMO zu erkennen.

Wenn dies so ist, sollte man davon ausgehen, dass die AMOC/der Golfstrom tatsächliche eher geringer den AMO-Index repräsentiert. Genau ***der*** jedoch liefert sozusagen positive Energie, vulgo Wärme, gen Europa. Was tut die AMO? Etwas ganz ähnliches. Ein Widerspruch? Wie also kann dies mit den teils analogen Ergebnissen von LÜDECKE et al aus 2020 kombiniert werden?

In Abb. 8 (Ausschnitt aus LÜDECKE et al 2020) gut erkennbar, fallen die monatlich zu verzeichnenden R-Werte zwischen AMO-Index und den Lufttemperaturen Europas über das Jahr sehr unterschiedlich aus … ´die´ AMO übt nur in bestimmten Monaten einen grösseren (Korrelations-!)Einfluss auf die Lufttemperaturen Europas aus, z.B. im Monat Juni. Nicht hingegen im z.B. Monat Januar.

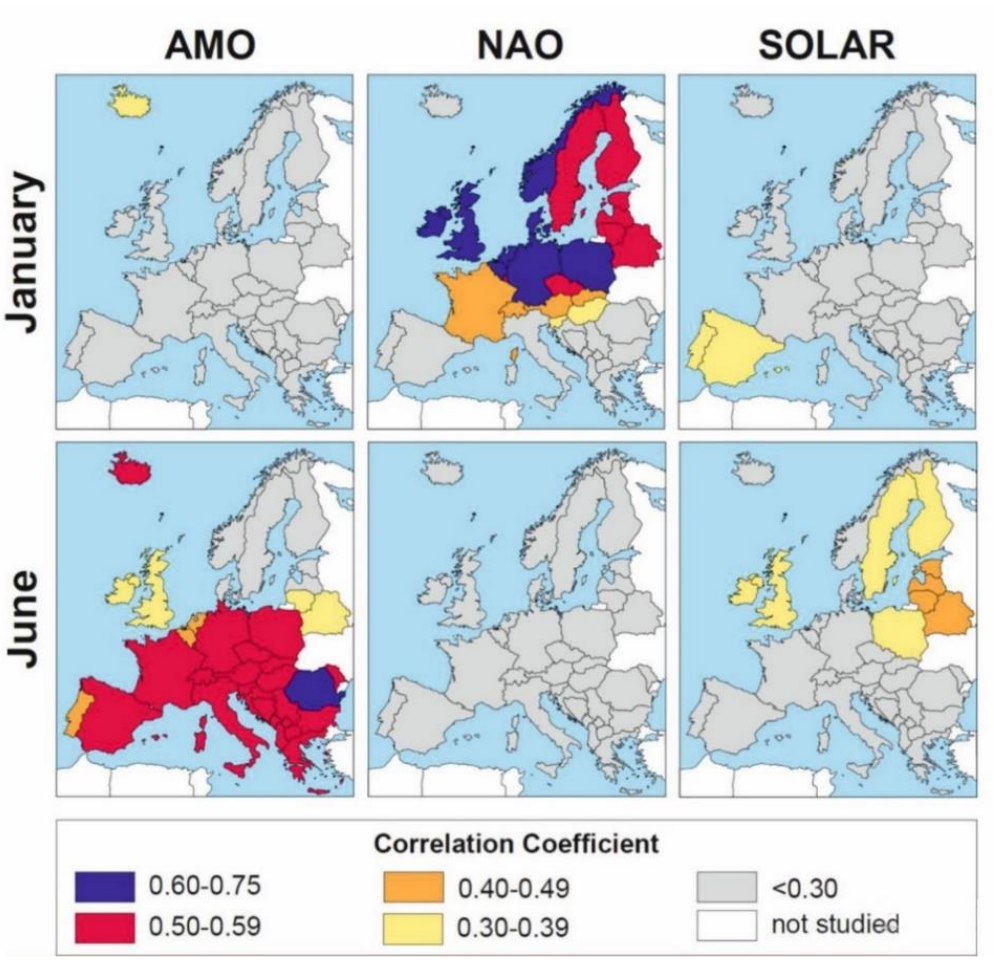


Abb. 8 : Stärke der Korrelation AMO zu Lufttemperatur (je europäischem Land Korrelationskoeffizienten), Monat Januar und Juni des Zeitraums 1901-2015 (aus LÜDECKE et al 2020)

Im Januar ist statistisch gesehen primär die NAO für die Lufttemperaturen Europas positiv korreliert, die AMO spielt keinerlei Rolle. Interessant ist, dass zumindest in o.a. Monaten der solare Einfluss in den Korrelationen nur geringfügig ausfällt.

Daraus wird klar erkennbar, dass zwar die AMOC ganzjährig (sic!) einen gewissen Wärmetransport gen Norden/Europa garantiert, die r-Wert-Korrelation zwischen dem AMO-Index und den SST allerdings ´dennoch´ über den Jahresverlauf stark schwanken.

Die Abb. 9 typisiert nochmals die Ergebnisse der AMO-SST-Korrelationen in Form einer Aufschlüsselung nach zusammenfassenden SST-***Querprofilen*** (je Querprofil nach WEST und OST unterschieden, Teilung je in der Mitte/Hälfte des Atlantiks siehe braun gestrichelte Linien in Abb. 9). Hier bestätigt sich das bereits dargestellte Phänomen, dass bestimmte Bereiche des Atlantiks einen der AMO vergleichbaren bzw. tendenziell gleichlaufenden SST-Trend besitzen, der in weiten Teilen tatsächlich „AMO-ähnlich“ ist bzw. einer (zyklischen) Schwingung nahe steht.

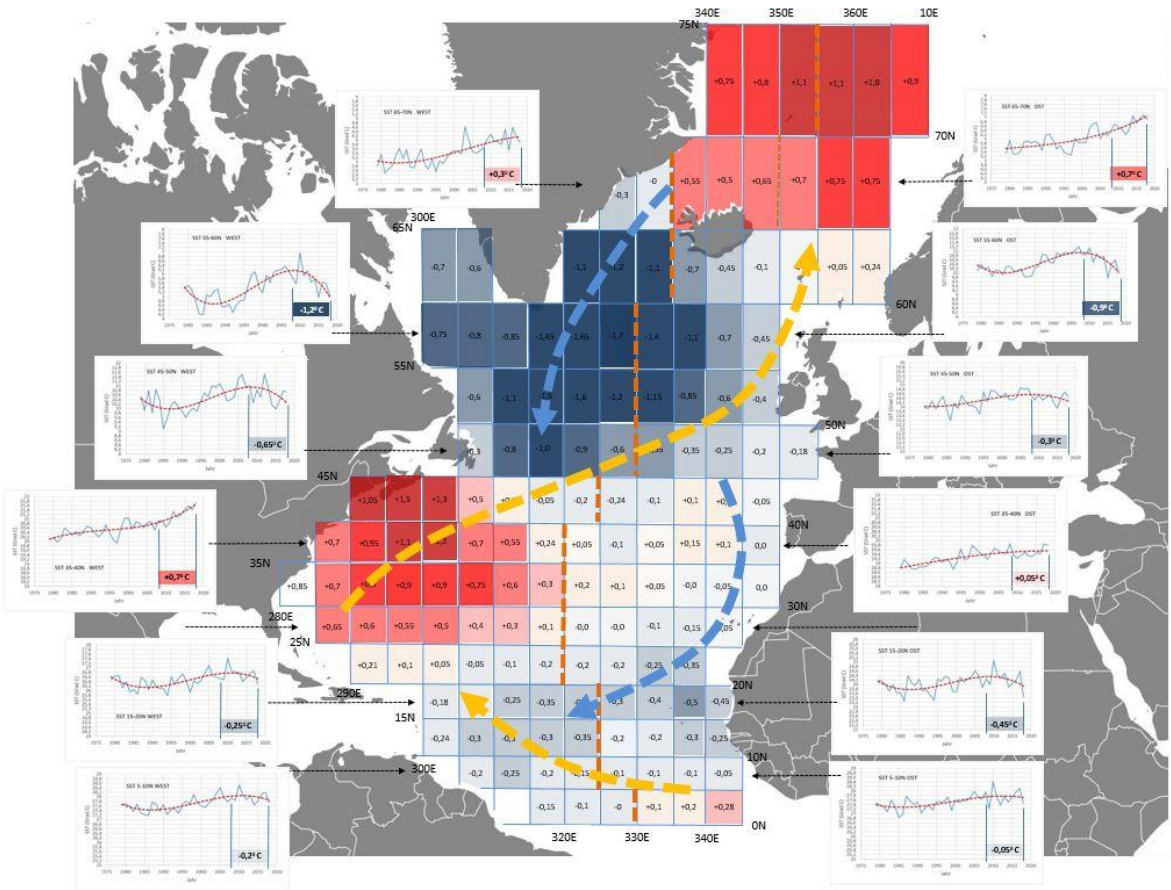


Abb. 9 : Rasterfelder mit SST-Verhalten (Ouerprofile und AMO-„Ähnlichkeit“)

Interessant, aber nicht wirklich neu, ist hier ein Vergleich der SST-Verteilungen mit den mittleren Wegen der Hauptströmungsbahnen: Der kalte Ostgrönlandstrom steht in enger Verbindung zur markant ´negativ´ sich entwickelnden SST-Zone südlich Grönlands. Aber auch der Kanarenstrom bewegt sich auf seinem Weg entlang der nordwestafrikanischen Küste tendenziell über Zonen/Felder, deren SST´s zwischen 1979 und 2018 (leicht) absinken.

Die Frage, die sich letztlich stellt, ist: Bietet die derzeitige ***rechnerisch-pauschale AMO*** eine ausreichende Grundlage für weitere Betrachtungen, wie sie LÜDECKE et al (2020) begonnen haben? Denn wir sehen, dass immerhin in 90 von 146 Feldern des Atlantiks (62 %) zwischen 1979 und 2018 ***in den SST selbst*** bereits ein sehr starkes, d.h. deutlich wahrnehmbares ´schwingendes´ Verlaufsmuster zeigt … sehr ähnlich jenem, wie es auch die ***indizierte zyklische AMO*** darstellt.

Eine Zonierung bzw. Aufschlüsselung des Atlantiks in quantifizierbare AMO-SST-Bezugszonen über eine Korrelationsrechnung findet sich in Abb. 10. Die PEARSON-r-Werte je Monat Januar und Monat Juni (je Zeitraum 1979-2018, Winter und Sommer) der ´blauen´ SST-AMO-Kartogrammen werden hier aber ergänzt durch die ´grünen´ Felder, in denen die Korrelationsverteilungen ´im Raster´ für den Bezug „SST“ - „Lufttemp. D“ hinzutreten.

Es fällt sofort auf, dass die ´Schwerpunkte´ beider Korrelationsdarstellungen teils ähnlich gelagert, allerdings nicht inhaltlich (Stärke der Korrelation) deckungsgleich sind: Während im Monat Januar die engste (positive) Korrelation zwischen AMO und SST im südlichen Westatlantik (5-25N/310-325E)

liegt bzw. sich eine sehr augenfällige ***Negativ***korrelation im westlichen/mittleren Atlantik befindet (30-40N/305-320E), ist dies bei der Korrelation zwischen den deutschen Lufttemperaturen und den atlantischen SST (gerade im auch hier wieder augenfälligeren Negativbereich) eher im Sektor südwestlich der Azoren der Fall.

Diese ´Nichtübereinstimmung´ bzw. inverse Ähnlichkeitslage zwischen den Korrelationsschwerpunkt der „AMO-SST“ und jenen der „SST-Lufttemp.D“ ist auch im Sommermonat Juni zu beobachten.

Wenn nun

a) gemäss LÜDECKE et al (2020) eine relativ enge/starke Korrelation zwischen der AMO und den europäischen Lufttemperaturen für den Monat Juni erkennbar ist (Abb. 8)

und

b) nach vorliegender Auswertung eine gut erkennbare ´Schwerpunktbildung´ höherer positiver (wie auch negativer) Korrelation zwischen AMO und den SST vorliegt,

dann sollte eigentlich zu erwarten sein, dass auch die deutschen Lufttemperaturen (zumindest im Monat Juni, siehe LÜDECKE et al 2020) mit den SST (wenigstens in bestimmten atlantischen Zonen) enger und ***in Schwerpunkten*** korrelieren.

Und ***das tun sie auch*** … aber ***nicht*** *exakt in* ***jenen*** *Gebieten*, in denen eine *besonders enge Korrelation zwischen AMO und SST* auftritt!

Ein Wiederspruch? Nein! Denn die Korrelation der SST mit der AMO erfolgt zwischen einem ***konkreten*** Ort (Rasterfeld) und einem ***pauschalen*** Bereich (Atlantik), während der Korrelation zwischen den SST und den Lufttemperaturen in D in ***beiden Bereichen*** ein konkreter Ort zugrunde liegt! D.h., dass die positive Korrelation zwischen AMO und den europäischen Lufttemperaturen (LÜDECKE et al 2020) korrekt ist, auch wenn die Korrelation der SST mit den Lufttemperaturen nicht *örtlich* deckungsgleich mit jener zwischen SST und AMO ausfällt.

Was generell nicht vergessen gehen sollte: Man kann aus guten Gründen in allen Korrelationen auch einen ´lag´ annehmen, also einen Zeitverzug zwischen dem Auftreten einer thermischen ´Situation´ (= SST) und deren potentieller ´Wirkung´ (= Lufttemperaturbeeinflussung) in grösserer Distanz (= z.B. Deutschland).
Ein wie auch immer gearteter ´lag´ ist nach Auffassung des Verfassers allerdings in der Korrelation zwischen AMO und SST grundsätzlich auszuschliessen, denn die AMO errechnet sich nun einmal ***zeitexakt*** aus genau den SST-Werte des selbigen Monats.
Hingegen darf davon ausgegangen werden, dass zwischen dem Datum der SST-Erfassung und einer von diesen ausgehenden potentiellen thermischen „Wirkung“ (Lufttemperaturen Europas, also weit östlich eines jeweiligen atlantischen SST-Rasterfeldes) ein Zeitverzug/lag vorhanden sein *muss* …. die Transportstrecke (unterstellt es handelt sich um die Verlagerung latenter Energie) beträgt etliche tausend Kilometer.

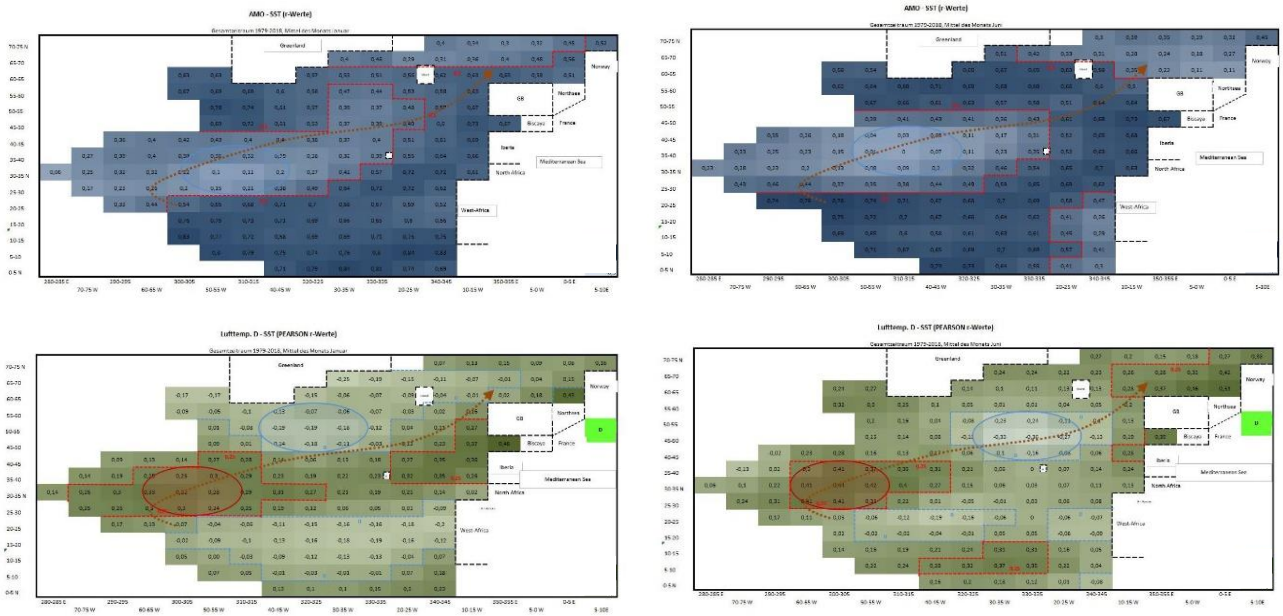


Abb. 10 : Korrelationen SST-AMO (blau) und Korrelationen SST-Lufttemp.Deutschland (grün), Monate Januar (je links) und Juni (je rechts)

Nun weiss ein jeder, dass Korrelation nicht Kausalität bedeutet/bedeuten muss. Während aber sozusagen ´Korrelation´ und ´Kausalität´ beim AMO-SST-Bezug gleichwertig sind, ist dies beim Komplex SST-LUFTtemp.D nicht der Fall … hier steht zunächst nur die *Korrelation* zur Diskussion.

Nur, und das gehört auch zur Wahrheit, eine Kausalität zwischen den atlantischen SST und den europäischen Lufttemperaturen ist nach allem Lehrbuchwissen *äusserst wahrscheinlich*. Oder sonst die Frage: Warum gehen wir davon aus, dass „uns“ der Golfstrom ein Klima beschert, das eindeutig milder ausfällt als es die Lage Deutschlands im geografischen Netz eigentlich erwarten lässt?!

Gut, das sind Trivialitäten (und die werden hier nur so ausgebreitet, weil es ein ***informeller Text*** ist), aber es handelt sich auch um Bausteine, deren Existenz weder zu leugnen ist noch deren Wirksamkeit an sich bestritten werden kann.

Aber was macht man daraus? Denn mit Blick auf die o.a. SST-Verteilungen und deren differenzierten Korrelationen/Verläufe zur AMO kommt man aber zwangsläufig zur Annahme, dass *nicht* alle atlantischen Regionen ***gleichermassen*** ihren „footprint“ auf die Lufttemperaturen Deutschlands/ Europas ausüben könnten. Sind nicht bestimmte Gebiete potentiell ´prägender´ als andere, oder, räumlich beschrieben, es sind bestimmte Bereiche ´wichtiger´ für Temperaturveränderungen als andere?

Während also die ´pauschale´ AMO in der Untersuchung von LÜDECKE et al (2020) für den Monat Januar *keine* Korrelation ergibt, allerdings im Monat Juni dafür einen relativ hohen Koeffizienten zeigt (siehe Abb. 8), ist dies bei den RASTER-Betrachtungen möglicherweise sehr viel genauer möglich?

Sicher ist jedenfalls, dass entsprechend Abb. 10 eine differenzierte räumliche Auflösung der SST zwar lokal (im Raster) sehr hohe Korrelationskoeffizienten zeigt, dafür allerdings in anderen Bereichen des Atlantiks umso geringere.

Dieses Ergebnis *muss* nach allem Verständnis der atmosphärischen Dynamik auch zu unterschiedlichen Einflüssen je Monat in Europa führen, was eine atlantisch-pauschale AMO wohl nicht aufzulösen in der Lage ist.

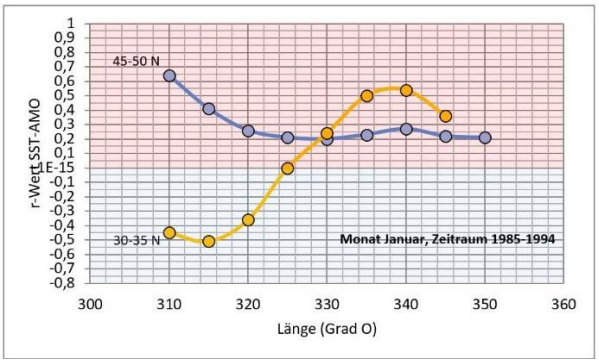
Die o.a. Korrelationen in ´patterns´ zeigen jedenfalls *keine* wirklich markanten Unterschiede der Monate Januar zu Juni … während die gesamthaft-pauschale AMO-Lufttemperatur-Betrachtung wesentliche Unterschiede aufweist. Entweder deshalb, weil eventuell die *BEZUGSORTE* für die Lufttemperaturen im Januar andere sind als im Juni oder die NAO (z.B.) markant Einfluss nimmt und mögliche atlantische SST/AMO-Einflüsse verwischt/überdeckt.

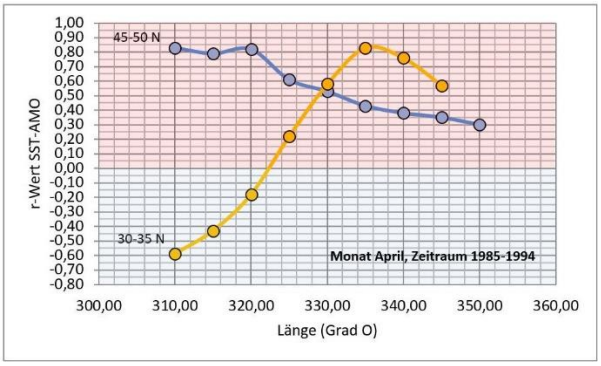
Hier besteht Forschungsbedarf.

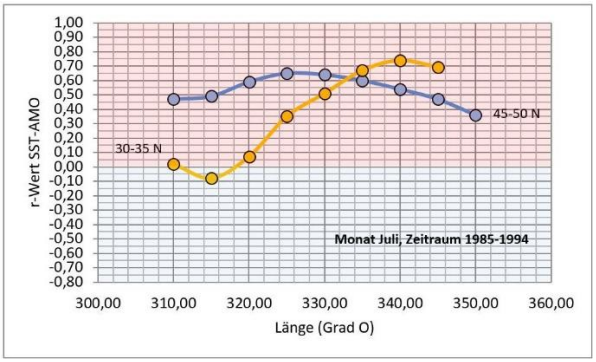
Die grundsätzliche Verteilung von atlantischen Gebieten mit höherer bzw. geringerer Verhaltens-ähnlichkeit der SST gegenüber der AMO belegt anhand von zwei Querprofilen ergänzend die Abbildung 11: Die besten/höchsten Korrelationen der SST´s zur AMO zeigen sich auf 45-50 Grad N durchgehend über den Gesamtbereich des Querprofils zwischen 310E und 350E.

Südlich davon auf 30-35 Grad N ist eine positive Korrelation nicht durchgängig vorhanden. Sowohl jahreszeitlich als auch innerhalb der West-Ost-Erstreckung verändert sich die Stärke der Korrelation und zwar systematisch, wobei die höchsten Werte fast durchgehend im östlichen Bereich des Atlantiks (340-345E) zu beobachten sind (siehe Abb. 12 unten). Im Winter wie Frühjahr sinken die r-Werte im östlichen Sektor des östlichsten Profils (310-315E) deutlich ab (bis -0,6 im April) und ohnehin ist die Amplitude innerhalb dieses Profils am ausgeprägtesten … es gibt, wie zu erwarten, eine jahreszeitliche ´Schwingung´ auch der r-Werte.

Insgesamt ist es aber auch so, dass sich die r-Wert-Schwingung von West nach Ost verändert und während westlich 325E das relative Maximum der r-Werte im Spätsommer/Herbst liegt, verschiebt sich dies ab 330E (und weiter bis 340E) jahreszeitlich ´nach vorne´ hin zum Frühjahr … .







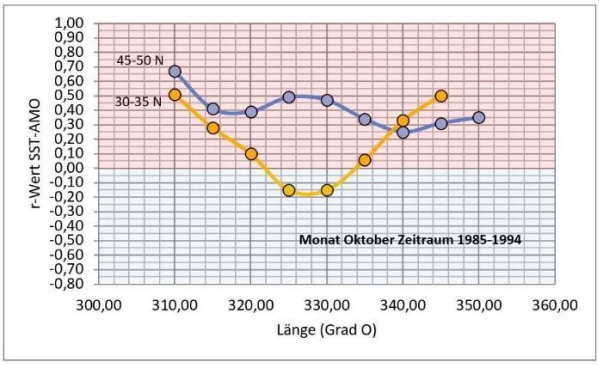
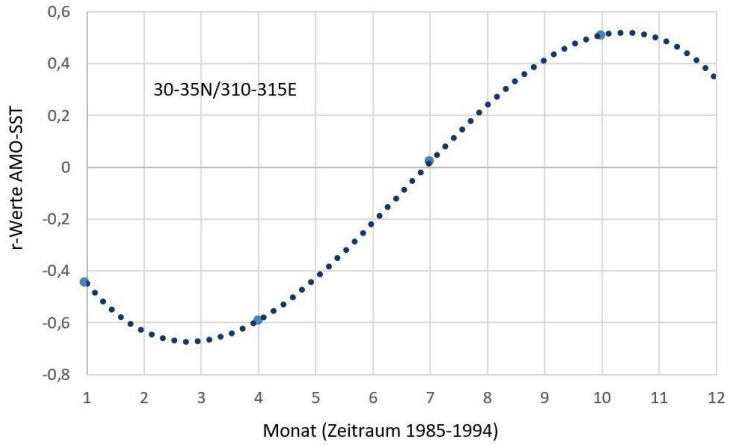


Abb. 11 : PEARSON-r-Werte ´SST-AMO´ in Querprofilen, Zeitraum 1985-1994, Monate Januar/April/Juli/Oktober



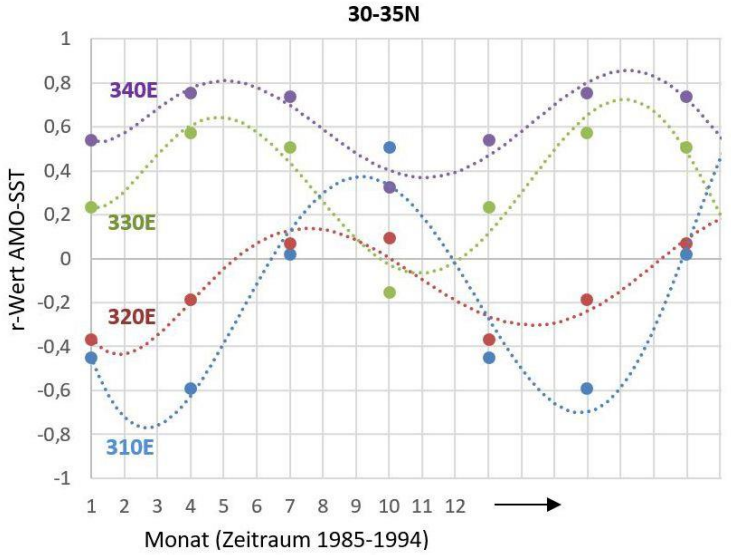
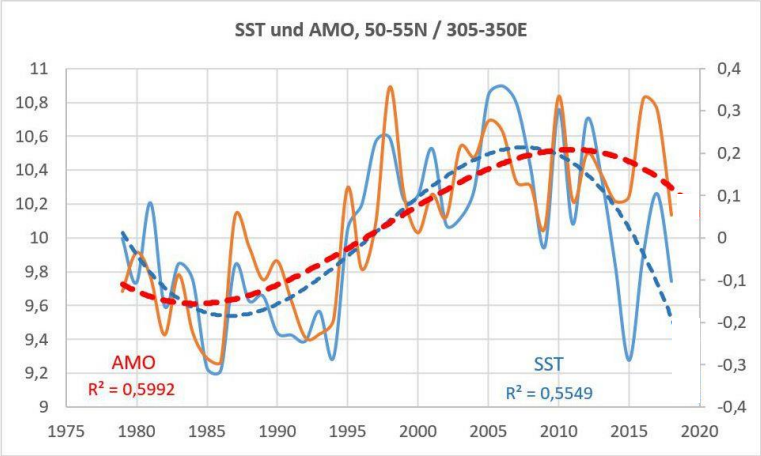
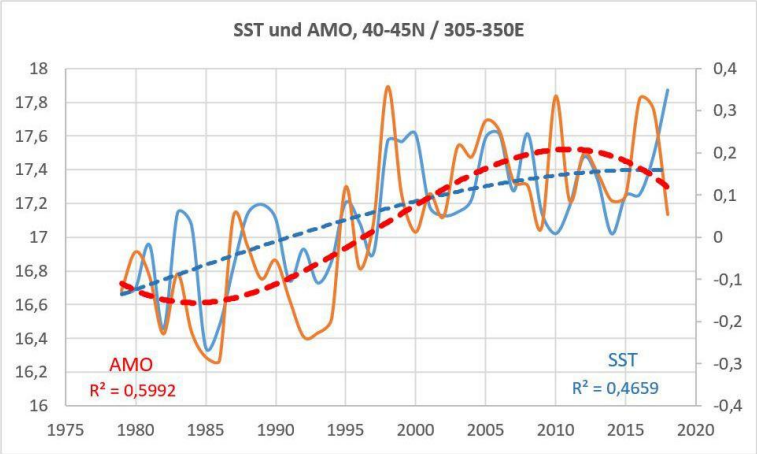


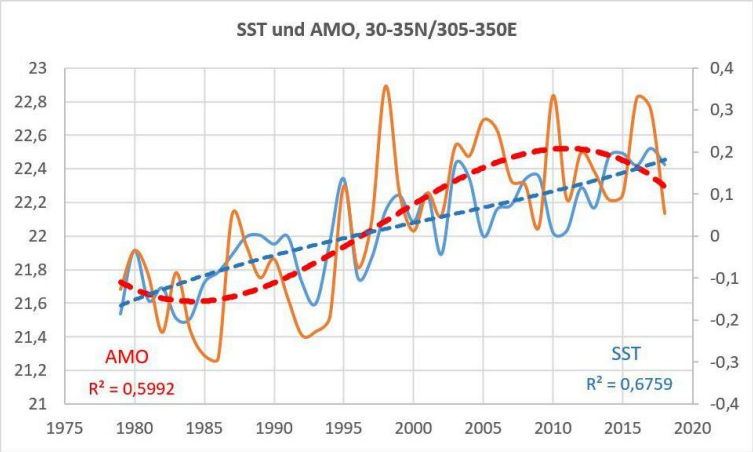
Abb. 12 : R-Werte der Korrelation „AMO“ zu „SST“ über´s Jahr (oben auf 30-35N/310-315E, unten ergänzt mit den Zeitläufen auf 30-35N/320-325E, 30-35N/330-335E und 30-35N/340-345E)

Wie steht es nun mit der ***räumlichen Verteilung über die Jahre***, also mit Blick auf die bekannte Oszillation der AMO?

Schauen wir uns an, ***wo*** im Atlantik ***wie stark*** sich die SST zwischen 1979 und 2018 verändern, wo sind sie ´AMO-ähnlich´ und wo ist die Ähnlichkeit weniger erkennbar. Grundlage sind die Daten, die auch in Abb. 9 einfliessen. Nehmen wir als erstes die Nord-Süd gestaffelten sektoriellen Querprofile über die Zeit (Abb. 13).







Zeitraum 1979-2018, Veränderung SST in Grad C
50-55N = - 0,3
40-45N = + 0,7
30-35N = + 0,9

Abb. 13: AMO und atlantische Querprofil-SST zwischen 305-350E, je auf 50-55N (oben), 40-45N (Mitte) und 30-35N (unten)

Es scheint, dass für die AMO im strengen Sinne (bzw. als sozusagen gesamthaft ´im Raum´ stehendes Phänomen) die zwischen 55N und 30N unterfütterte Basis der SST sich markant verändert: Von Nord nach Süd geht die in die AMO eingepflegte Temperatur-(SST)Schwingung zunehmend verloren (siehe Abb. 13 bzw. Abb. 6 und Abb. 9). ´Die´ AMO entwickelt sich keineswegs überall so oszillierend aus

den SST, wie es man es glauben möchte … natürlich, sie stellt eben einen Index dar, also einen Mittelwert der SST.

Das ist gut und schön, verdeckt aber die tatsächlich sehr viel stärker ausgeprägten und ebenfalls zyklischen Temperatur-/SST-Veränderungen bestimmter Bereiche des Atlantiks. ´Der´ Atlantik ist nämlich keineswegs so durchgehend oder sogar markant ´AMO-like´ wie es derzeit den Eindruck erweckt.

Vielmehr weist der Atlantik ebenso grosse Bereiche auf, in denen *keine Zyklizität* erkennbar ist.

Was hilft uns die zusammenfassende Mittelung der SST zu ´einer´ AMO ? Die Entdeckung der AMO hat klar herausgebracht, dass es überhaupt eine Zyklizität innerhalb des atlantischen Ozeans gibt. Hingegen verstellt der Blick auf ´die´ AMO, dass der Atlantik thermische Zyklizitätsschwerpunkte besitzt und zwar primär zwischen 45N und 65N. Demgegenüber weisen die Gebiete zwischen 25N und 45N kaum (östl. Atlantik) bis gar keine (westl. Atlantik) Oszillationen der Wassertemperaturen/ der SST auf.

Die Bausteine der AMO (die SST) zeigen also ein Muster, in welchem die uns für den Gesamtatlantik (!) bekannte AMO-Kurve sozusagen erst nach und nach entsteht: Während sie in den SST auf 40-45N praktisch noch nicht erkennbar ist (nahezu linearer Anstieg über die Zeit), tritt ab 45-50N ein leichter Kurvenverlauf mit Abschwächung der SST-Zunahme ab dem Jahr 2005 ein, und im Bereich 50-55N kommt dann die Kurve des AMO-Index vollumfänglich zum Ausdruck … hier nun sogar deutlich massiver, als es die eigentliche AMO-Kurve selbst erkennen lässt. D.h. die SST im nördlichen Nordatlantik (50-55N) fallen i.M. bis 1980 klar ab, steigen dann bis i.M. 2005 deutlich an und fallen danach wieder (und das sogar rapide) ab … genau der Zustand, in dem wir uns derzeit befinden und den auch die klassische AMO grundsätzlich beschreibt.

Was bedeutet das für die Aussagekraft der AMO? Die pauschale Zuordnung ´der´ AMO zur europäischen Klimaentwicklungen sollte auf Basis der in dieser Abhandlung vorgestellten atlantischen ´pattern´ genauer überprüft werden. Es scheint sehr wichtig, zu überlegen, ***woher*** die von LÜDECKE et al (2020) erkannten Korrelationen in welchen Jahreszeiten primär kommen … weder Abb. 9 noch Abb. 11 lassen eine *eindimensionale* AMO erkennbar werden. Eine Betrachtung im flächenhaften Raster und, darüber hinaus, in Profilen der möglichen Korrelationsbeziehungen sollte sozusagen Zusammenhänge ´schöpfen´ lassen.

Wenn es also nachweisliche Bezüge der AMO zur Veränderlichkeit der Lufttemperaturen geben sollte, *dann* wären die SST in den Bereichen zwischen 45N und 65N eventuell interessanter für zukünftige Betrachtungen der Schwankungen der Lufttemperaturen als andere?

Derzeit dafür genauere Aussagen zu finden ist (noch) nicht möglich. Schauen wir dennoch nach einer Art „Anwendung“, zunächst aber tatsächlich nur mit Blick auf die abstrahierende AMO.

In dieser Hinsicht interessant ist, dass die tendenziellen Veränderungen der Wasser- aber auch Lufttemperaturen am Beispiel Helgolands bzw. Deutschlands über die Zeit durchaus den Trends der AMO folgen (siehe Abb. 14 und Abb. 15).

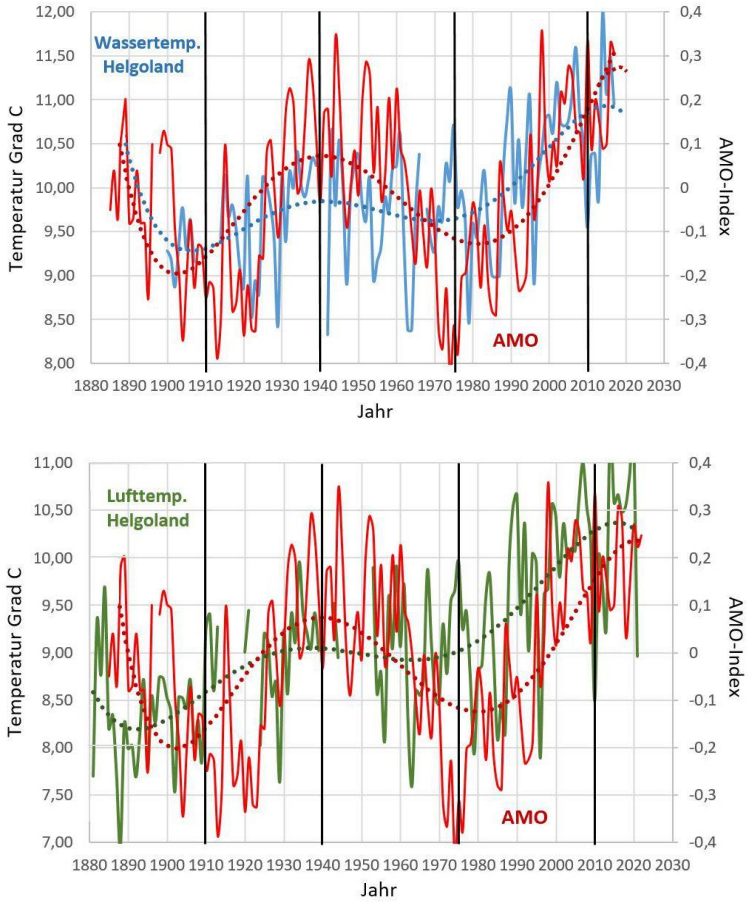


Abb. 14 : Verlauf AMO und Luft-/Wassertemperaturen Helgoland 1880/1900-2017/2021, je mit polynomischem Mittel 5.Grad.
Hinweis: Während der AMO-Index vom „Signal des Klimawandels" befreit ist (gem. Trenberth und Shea (2006), die empfehlen, dass die AMO durch ***Subtraktion der Zeitreihe der globalen SST-Anomalie von der räumlich gemittelten Zeitreihe*** ´detrendiert´ wird), sind die Lufttemperaturen (natürlich) und auch die Wassertemperaturen Helgolands ein ´Dokument des Klimawandels´.

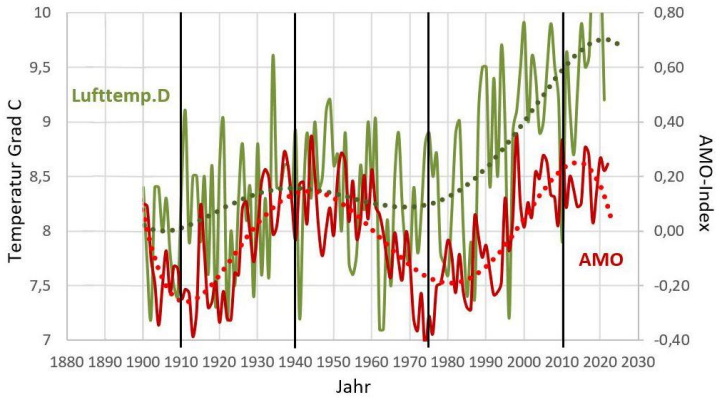


Abb. 15: Verlauf AMO und Lufttemperaturen Deutschland 1900-2021, je mit polynomischem Mittel 5.Grad

Wie vor allem die *Wassertemperaturen* in der deutschen Bucht (hier Helgoland) den ***Trends*** der AMO in auf- und absteigenden Phasen folgen, zeigt sehr markant die Abb. 16.

Aber, das ist auch klar, inwieweit dabei tatsächlich ***bestimmte Bereiche des Atlantiks*** diese Parallel-entwicklungen der AMO zu den (europäischen) Temperaturen mehr/weniger stark prägen, ist z.Zt. offen. Infrage kommen allerdings wohl nur jene Zonen des Atlantiks, die in Abb. 6 bzw. Abb. 9 die

relativ stärksten Ähnlichkeiten im Verlauf zur AMO aufweisen (´dunkelblau´ markierte Gebiete 45N-65N). DAS allerdings ***überhaupt*** Oszillationsmuster auch bei den Lufttemperaturen Europas nun jüngst schleichend anerkannt werden, verdanken wir zu einem Teil auch der Veröffentlichung von OMRANI et al (2022).

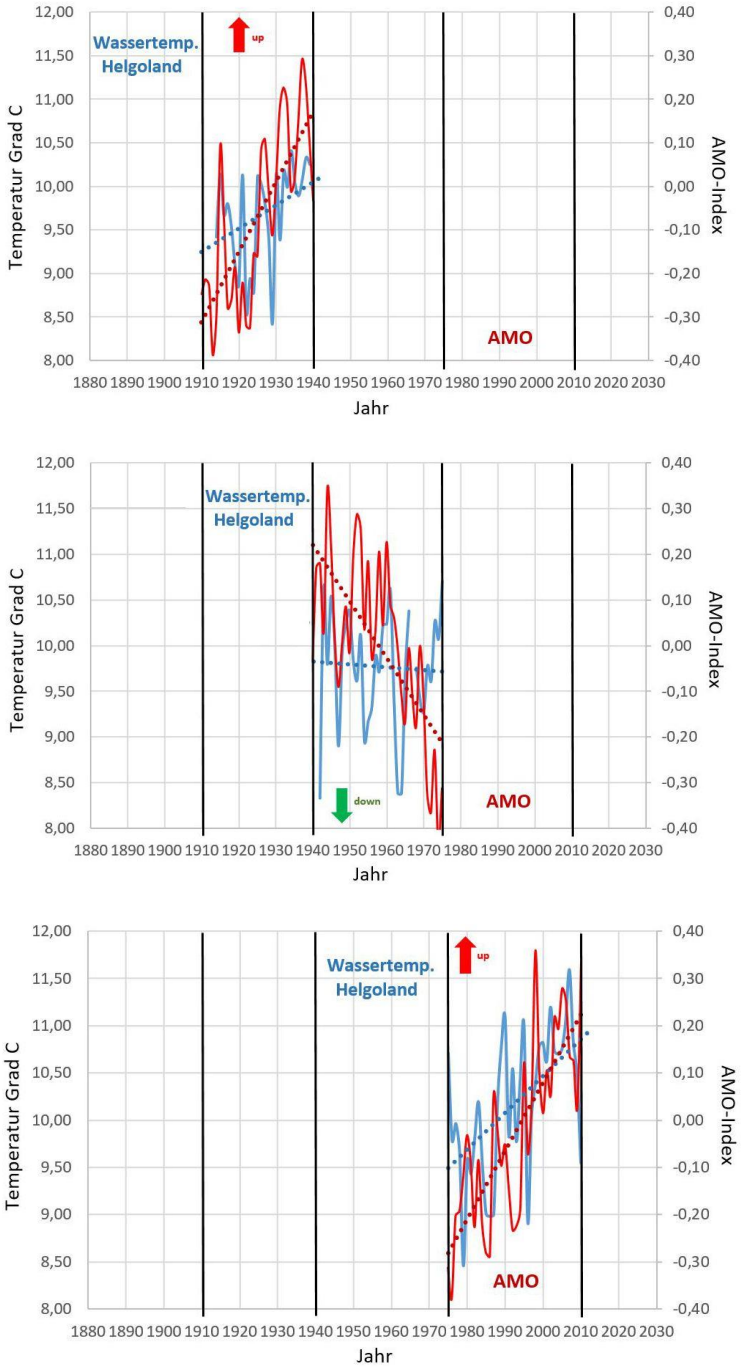
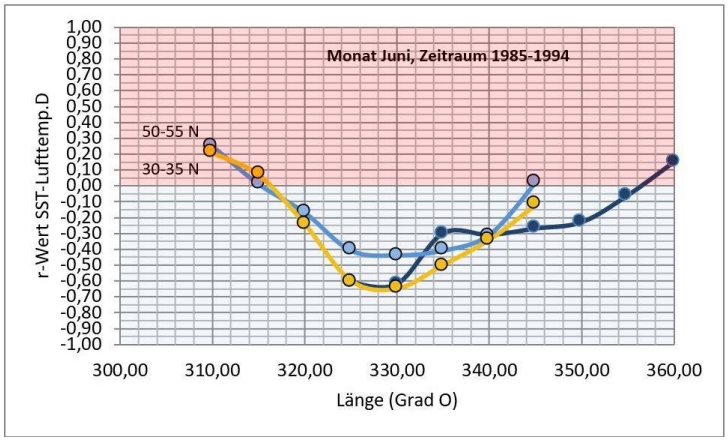


Abb. 16: Verlauf AMO und Wassertemperaturen Helgoland 1910-1940 (oben), 1940-1975 (Mitte) und 1975-20210 (unten), je Phase mit Trendgeraden

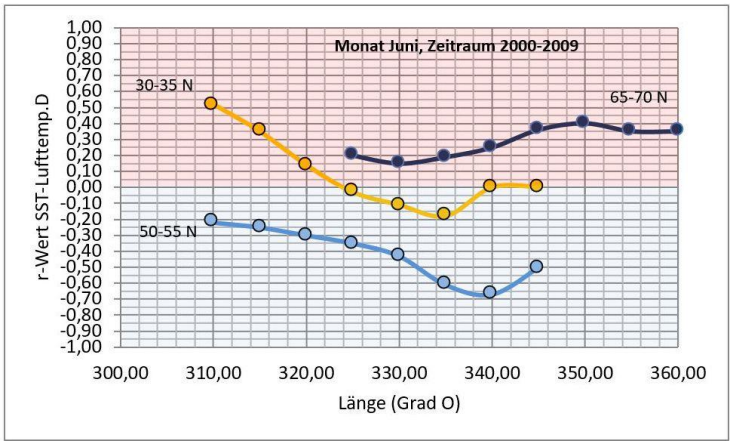
Nun noch eine Überlegung: Die Verteilung der PEARSON-Werte für die Korrelation „SST“ zur „Lufttemperatur Deutschland“ könnte/sollte sich in ´schwachen´ AMO-Phasen von jenen ´starker´ AMO-Phasen unterscheiden?

Und das ist auch der Fall. Wie Abb. 17 am Beispiel der Monats Juni der Zeiträume 1985-1994 (negative AMO, siehe Abb. 1 und Abb. 2) zu den Jahren 2000-2009 (positive AMO, siehe Abb. 1 und

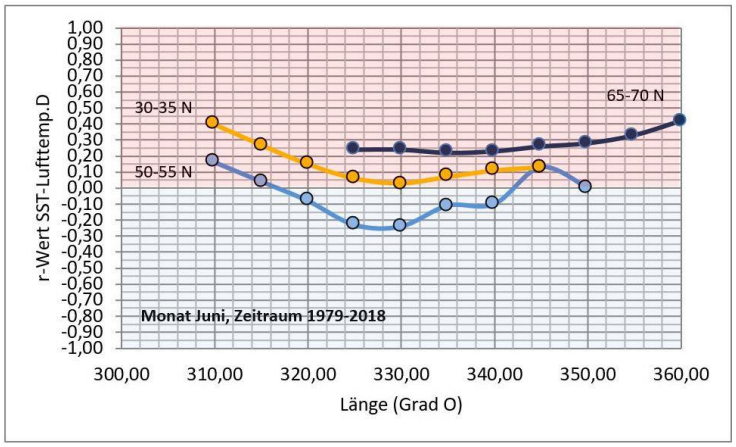
Abb. 2) zeigt, stellt sich zwar je eine ´Delle´ der Werte im mittleren Nordatlantik ein. D.h. zwischen 320E und 345E fallen die Korrelationswerte vor allem im nördlichen Sektor (Profil 50-55 Grad N) ab. Östlich 345E und westlich 320E sind die Korrelationen jeweils höher als im Zentrum des Atlantiks. Dies gilt sinngemäss auch für den (in der Auswertung) nördlichsten Sektor auf 65-70 Grad N. Insgesamt liegen die r-Werte im ´schwachen´ Zeitraum 1985-1994 anders (i.M. tiefer) als im ´starken´ Zeitraums 2000-2009 … und beide Zeiträume mitteln sozusagen im Gesamtzeitraum 1979-2018 (unten).



1985-1994 ´schwache´ AMO



2000-2009 ´starke´ AMO



Gesamt 1979-2018

Abb. 17: PEARSON r-Werte für den Bezug „AMO“ zu „Lufttemperaturen Deutschland“, dargestellt für drei Quer-Profilen des Atlantiks (30-35N / 50-55N / 65-70N), je Monat Juni, oben im Zeitraum einer ´schwachen´ AMO (1985-1994), in der Mitte des Zeitraums einer ´starken´ AMO (2000-200) und unten im Gesamtzeitraum 1979-2018

Hier scheint es durchaus einen Bezug zwischen der AMO-SST-Korrelation und den europäischen (hier deutschen) Lufttemperaturen zu geben.

Literatur

LÜDECKE H.-J., CINA R. , DAMMSCHNEIDER H.-J., LÜNING, S. (2020): Decadal and multidecadal natural variability in European temperature.
In: J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, doi: 10.1016/j.jastp.2020.105294

OMRANI, NOUR-EDDINE et al (2022): Coupled stratosphere-troposphere-Atlantic multidecadal oscillation and its importance for near-future climate projection.
In: Climate and Atmospheric Science (2022), 59