

Im Takt der AMO und der NAO (1): Das Häufigkeitsverhalten der Großwetterlagen und dessen Auswirkungen auf die Deutschland- Temperaturen

Bild rechts: Harmlose Schönwetterwolken oder Unwettervorboten- je nach Wetterlage! Fotos: Stefan Kämpfe

Einführung und Teil 1

Für diese Untersuchung wurden die Großwetterlagen für Mitteleuropa nach HESS/BREZOWSKY verwendet. Sie sind ab dem Jahr 1881 im „Katalog der Grosswetterlagen“ bis 2009 erfasst (WERNER/GERSTENGARBE, 2010) sowie bis 2013 beim Deutschen Wetterdienst (DWD.DE) verfügbar, so dass die Untersuchung 1881 (für den ersten Winter 1881/82) beginnt und 2012 (für den letzten Winter 2012/13) endet. Die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) außerdem verwendete „Objektive Wetterlagenklassifikation“ (BISSOLLI/DITTMANN, 1998 bis 2005) steht für einen derart langen Untersuchungszeitraum nicht zur Verfügung. Um diesen Beitrag knapp zu halten, wird auf ausführliche Erläuterungen der Fachbegriffe verzichtet und empfohlen, diese bei Wikipedia abzufragen. Die Großwetterlagen wurden und werden von erfahrenen Meteorologen anhand der täglichen Boden- und Höhenwetterkarten analysiert, wobei die Regel gilt, dass eine im Großwetterlagenkatalog aufgeführte Wetterlage mindestens 3 Tage ohne Unterbrechung anhalten muss; Monats- und Jahresübergreifende Fälle sind dabei möglich. Die AMO (Atlantische Mehrzehnjährige beziehungsweise Multidekaden-Oszillation, eine zyklisch auftretende Zirkulationsschwankung der Ozeanströmungen, einhergehend mit Schwankungen der oberflächennahen Wassertemperatur im nordatlantischen Becken) wird seit 1856 erfasst (Quelle: WIKIPEDIA). Und weil besonders die Wintertemperaturen in Europa von einer weiteren wesentlichen Größe, nämlich der NAO (Nordatlantische Oszillation, ein Maß für das Luftdruckgefälle zwischen Azoren und Island) beeinflusst werden (TINZ 2002), wurden nur für den Winter die Saisonalen NAO- Indizes (Dez. bis Feb.) nach HURRELL in die Untersuchung einbezogen. Die folgenden 5 Abbildungen zeigen zunächst den Verlauf der AMO (dunkelgrün) sowie des Deutschland- Mittels im Untersuchungszeitraum:

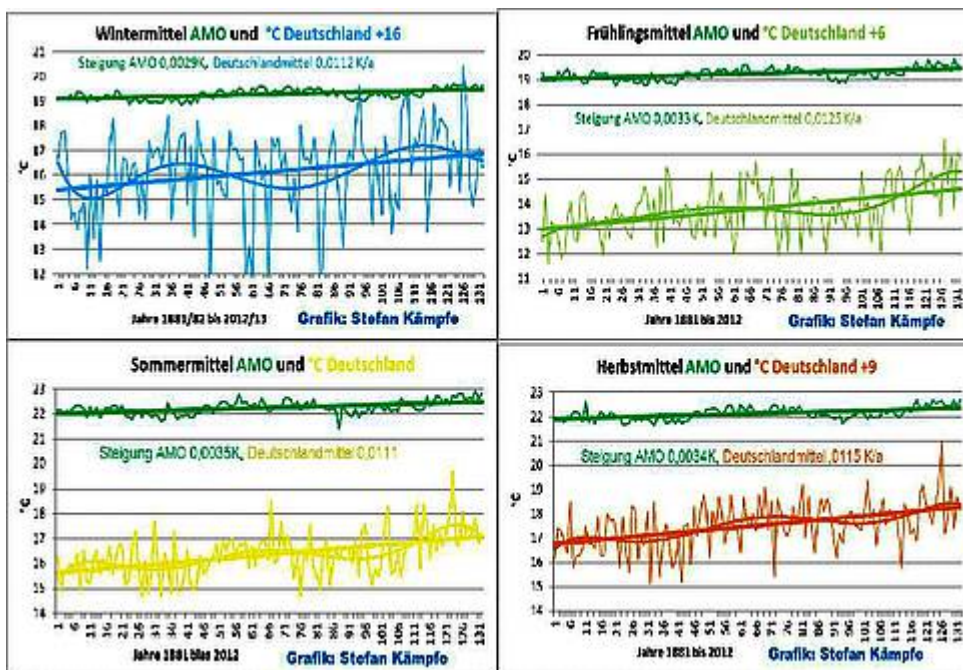
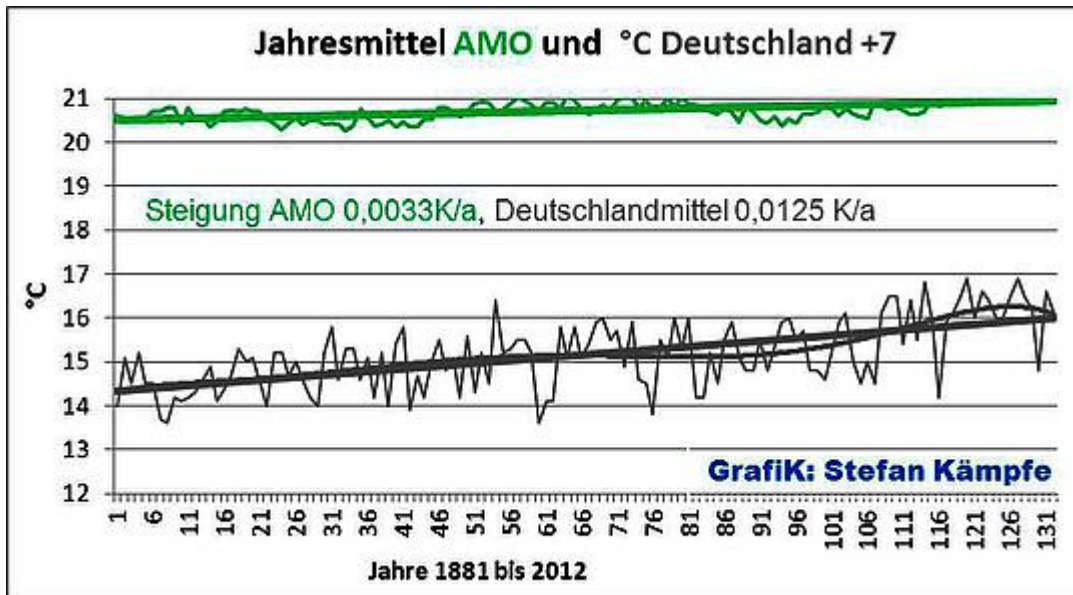


Abb.1 : Die AMO (jeweils oberer dunkelgrüner Graph, Quelle <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseriesimeseries/AMO/>) und die Deutschlandmittel des Jahres (oben, grau, Quelle: WIKIPEDIA) und der 4 Jahreszeiten. AMO mit Linear-, Deutschlandmittel mit Linear- und Polynom-Trend. Um beide Werte in jeweils einem Diagramm leichter darstellen zu können, wurden, mit Ausnahme des Sommers, die Deutschlandmittel durch Addition „angehoben“.

Hinweis: Es werden für alle Darstellungen der Größen, auch für die Großwetterlagen und die Großwetterlagencluster, immer wieder dieselben oder ähnliche Farben benutzt, um das Erfassen der Grafiken und das Erkennen einander ähnlicher Wetterlagen und deren Cluster zu erleichtern. Die Schwankungen der AMO, auf die gleich noch näher eingegangen wird, sind, da sie viel geringer als die der Lufttemperaturen in Deutschland ausfallen, nur andeutungsweise sichtbar. Um sie besser sichtbar zu machen, wird in allen folgenden Grafiken eine überhöhte Amplitudendarstellung der AMO benutzt, die Frequenz, also die Länge und Häufigkeit der Schwingungen, auf die es

letztendlich ankommt, ändert sich dabei nicht.

Berechnet man die linearen Korrelationskoeffizienten zwischen den AMO- Werten und dem Deutschlandmittel der Lufttemperatur (jeweils auch für die Meteorologischen Jahreszeiten), so ergeben sich im Untersuchungszeitraum Werte zwischen annähernd Null für den Winter, 0,17 für den Frühling, 0,44 für den Sommer und 0,36 für den Herbst sowie 0,37 für das Jahr. Das entspricht Bestimmtheitsmaßen von Null im Winter und 19% für den Sommer. Der Einfluss ist somit auf den ersten Blick nur gering; trotzdem ist bei der hohen Zahl an Einzelwerten ($n = 132$) von einer gewissen Beeinflussung auszugehen, zumal der schwache, positive Zusammenhang im Großen und Ganzen bestätigt wird, wenn man bis zum frühesten Erfassungsjahr der AMO, dem Jahr 1856, zurückgeht (Winter Null, Frühling 0,17, Sommer 0,38 und Herbst 0,35). Man erkennt in der obigen Abbildung sowohl im Jahres- wie im jahreszeitlichen Verlauf ähnliche Steigungen, wobei die mittleren Lufttemperaturen in Deutschland schneller steigen, als die der AMO. Anhand der Polynom- Trends der Deutschlandmittel erkennt man deren rhythmische Schwankungen, die sich bei den einzelnen Jahreszeiten beträchtlich unterscheiden, aber am Ende, ab etwa dem Beginn der 2000er Jahre, in einen Abschwung übergehen, der am längsten und am deutlichsten im Winter sichtbar wird. In dem Beitrag „Die Winter werden in Deutschland seit einem Vierteljahrhundert deutlich kälter“ hatten KÄMPFE/LEISTENSCHNEIDER/KOWATSCH (2013) dieses Phänomen des Vorlaufs der Wintertemperaturen bereits erklärt. Aber warum sind die Lufttemperaturen in Deutschland deutlich schneller gestiegen, als die Wassertemperaturen im Nordatlantik? Dafür gibt es 3 wesentliche mögliche Erklärungen:

1. Hauptantrieb der Erwärmung, die sich nur im 20. Jahrhundert vollzog, was vom „Lineartrend“ verschleiert wird, ist die ansteigende Sonnenaktivität (BORCHERT, 2013; MALBERG, 2002 bis 2013). Diese wirkt auf dem infolge seiner hohen Wärmekapazität trägen Meer viel langsamer und geringer, als an Land. Seit dem Ende des etwa 208-jährigen Hauptsonnenzyklus im Jahre 2003 ging die solare Aktivität deutlich zurück, was sich im Deutschland-Mittel bereits seit den frühen 2000er Jahren in leicht fallenden Temperaturen äußert. Der aktuelle Sonnenfleckenzyklus Nr. 24 ist der schwächste seit etwa 200 Jahren.
2. Hinzu kommt der in den Weiten des Atlantiks fehlende Wärmeinsel- Effekt, welcher in Deutschland durch geänderte Landnutzung (unter anderem Entwässerung) sowie die Verstädterung beträchtlich erwärmend wirkte und im letzten Viertel des 20. Jahrhunderts und dem frühen 21. Jahrhundert noch zusätzlich durch eine wegen der Luftreinhaltemaßnahmen zunehmende Sonnenscheindauer und –Intensität unterstützt wurde. Diese Wärmeinsel- Effekte im weitesten Sinne oder die verlängerte Sonnenscheindauer wurden in früheren, zahlreichen Beiträgen (LEISTENSCHNEIDER/KOWATSCH, 2010, 2012; KÄMPFE/LEISTENSCHNEIDER/KOWATSCH, 2012, 2013; MALBERG, 2009; WEHRY, 2009; WEHRY/MYRCIK, 2006) ausführlich untersucht und erläutert; sie bewirkten einen wesentlichen Anteil der Erwärmung in Deutschland.
3. Die geänderten Häufigkeitsverhältnisse der Großwetterlagen. Nach WERNER/GERSTENGARBE/RÜGE (1999) lässt sich jede Großwetterlage zumindest grob nach ihrem thermischen Verhalten saisonal und im Jahresmittel charakterisieren. Wie wir gleich noch sehen werden, nahmen viele, die

Erwärmung in Deutschland fördernde Wetterlagen zu.

Zunächst sehen wir aber anhand einer überhöhten Darstellung, welche die AMO-Schwankungen deutlicher sichtbar macht, dass die Deutschland-Temperaturen den AMO-Werten quasi vorweglaufen:

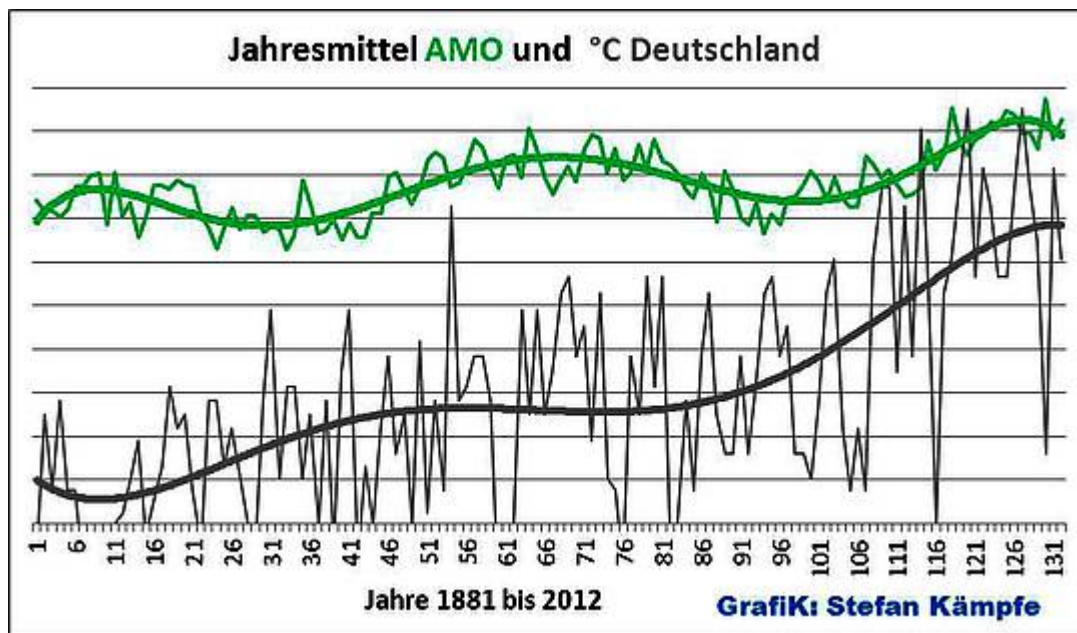


Abb 2: In der stark überhöhten Darstellung wird deutlich, dass die Deutschland-Werte die AMO-Schwankungen vorwegnehmen, woraus man aber nicht schließen darf, dass die Deutschland-Werte die AMO treiben!

Dass der umgekehrte Schluss richtig ist (AMO beeinflusst Deutschland-Werte) werden wir, auch anhand des Verhaltens der Großwetterlagen, noch erkennen. Außerdem ist es wahrscheinlich, dass AMO und Deutschlandtemperaturen zugleich von übergeordneten Mechanismen getrieben werden, was im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht werden kann. Dabei reagiert die AMO jedoch wesentlich verzögerter. Im folgenden Abschnitt wird zunächst der Einfluss der Großwetterlagen auf die Temperaturverhältnisse in Deutschland erörtert.

Beeinflussen die Großwetterlagen die Temperaturen in Deutschland?



Lange Eiseskälte oder zeitiges Frühlingserwachen durch kühlende oder erwärmende Großwetterlagen? Fotos: Stefan Kämpfe

Um sich der Bedeutung der Großwetterlagen für unsere Temperaturverhältnisse

bewusst zu werden, lohnt sich zunächst einmal ein Blick auf unsere Nachbarregionen, nämlich das atlantische Klima im Westen, das Kontinentalklima im Osten, das subtropische im Süden und das boreale im Norden; denn die Großwetterlagen „importieren“ quasi deren Temperaturverhältnisse in unser Übergangsklima:

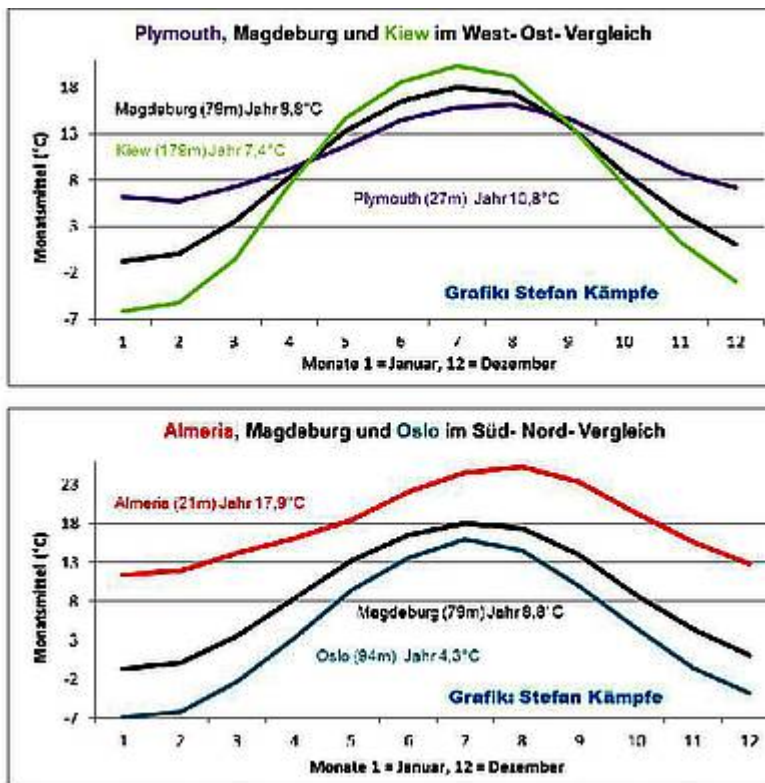


Abb. 1: Drei Stationen auf ähnlichem Breitengrad (50 bis 52 °N) und ähnlicher Höhenlage im West- Ost- Vergleich (obere Grafik). Im Süd- Nord- Vergleich 3 Stationen ähnlicher Höhenlage. Quelle des Datenmaterials: HEYER 1977.

Man erkennt sehr schön die winterlichen und sommerlichen Temperaturverhältnisse bei unterschiedlicher Kontinentalität. Die höhere Sommerwärme des Kontinentalklimas (Kiew) reicht jedoch nicht aus, um das Temperaturdefizit des Winterhalbjahres zu egalisieren, weshalb das atlantische Klima, unterstützt durch den Golfstrom, im Jahresmittel selbst bei Höhenbereinigung (Kiew liegt gut 150 Meter höher als Plymouth) um fast 3K wärmer ausfällt, als das kontinentale. Bei westlichen Lagen bedeutet das für Deutschland deutlich zu milde Winter und etwas zu kühle Sommer; bei Ostlagen herrschen umgekehrte, aber extremere Verhältnisse. Die untere Abbildung spricht für sich selbst, wobei der Abstand zwischen Süd und Nord im Sommer geringer als im Winter ausfällt. Wir werden bei der Betrachtung der Großwetterlagen gleich noch sehen, dassdiese die West- Ost- Verhältnisse meist sehr gut widerspiegeln; bei den Süd- Nordverhältnissen ist das nicht immer der Fall. Die folgende Tabelle zeigt alle in Deutschland auftretenden Großwetterlagen, zusammengefasst zu Großwettertypen und weiteren „Clustern“, das sind Wetterlagengruppen mit ähnlichen Eigenschaften:

Großwettertypen (GWT) und weitere Zusammenfassung	Großwetterlagen (GWL)	Zirkulationstyp	Bemerkung
West (W), Zonal	WA, WZ, WS, WW	Zonal, "Westwetter"	Nur WA und WZ sind "Westlagen im engeren Sinne"
Südwest (SW)	SWA, SWZ	Gemischt	
Nordwest (NW)	NWA, NWZ		
Hoch Mitteleuropa (HM)	HM, BM		
Tief Mitteleuropa (TM)	TM		
Nord (N)	NA, NZ, HNA, HNZ, HB, TRM	Meridional	führen, je nach Richtung und Jahreszeit, gehäuft zu Hitze- oder Kältewellen, Spät- und Frühfrösten
Ost (E)	NEA, NEZ, HFA, HFZ, HNFA, HNFZ, SEA, SEZ		
Süd (S)	SA, SZ, TB, TRW		
antizyklonal	WA, SWA, NWA, HM, BM, NA, HNA, HB, NEA, HFA, HNFA, SEA, SA	Überwiegend Hochdruckeinfluss	
zyklonal	WZ, WS, WW, SWZ, NWZ, NZ, HNZ, TRM, NEZ, HFZ, HNFZ, SEZ, SZ, TB, TRW	Überwiegend Tiefdruckeinfluss	
mit Nordanteil	NWA, NWZ, NEA, NEZ, NA, NZ, HNA, HNZ, HB, TRM	Nördlich	
mit Südanteil	SWA, SWZ, SEA, SEZ, SA, SZ, TB, TRW	Südlich	
mit Westanteil	WA, WZ, WS, WW, SWA, SWZ, NWA, NWZ	Westlich	Meist deutlicher Golfstrom-Einfluss
Kontinentale Hochdrucklagen	HM, BM, NEA, HFA, HNFA, SEA		Meist winterkalte und sommerwarme, trockene Lagen
Atlantische Tiefs	WZ, SWZ, NWZ		Starker Golfstrom-Einfluss



mit Potential für 5- b- Lagen	TM, NZ, HNZ, TRM, NEZ, HFZ, HNFZ, SEZ		Mitunter zu Starkniederschlagneigende, meist kalte Lagen
Wintermonsun	HNA, HNZ, NEA, NEZ, HFA, HFZ, HNFA, HNFZ, SEA, SEZ	oft intensive Kältewellen verursachende Nord- bis Ostlagen	meist Nord- bis Ostströmung in der untersten Troposphäre
Sommermonsun	WZ, NWA, NWZ, NA, NZ, HB, TRM	Juni bis Aug. meist kühlend wirkende West- bis Nordlagen	meist West- bis Nordwestströmung in der untersten Troposphäre
Westlagen im engeren Sinne	WA, WZ	"klassische" Westlagen	beeinflussen meist ganz Deutschland mit westlicher Strömung
übrige Westlagen	WS, WW	gesonderte Betrachtung sinnvoll; "gestörte" Westlagen	in Teilen Deutschlands oft andere Windkomponenten (Nord, Ost bis Süd)
Skandinavien- Hochs	HFA, HFZ, HNFA, HNFZ	Hochdruckgebiet oder Hochdruckzone über Nordeuropa ("Ostlage") im engeren Sinne	meist winterkalte und sommerwarme Lagen mit oft nördlichem bis östlichem Boderwind
Troglagen (Tiefdruck reicht in trogartiger Form weit nach Süden)	TRM, TRW	Starke Meridionalisierung besonders der Höhenströmung	TRM meist feucht- kalt, TRW meist warm, besonders in Ostdeutschland

Abb. 2 (Tabelle): Zusammenfassung von Großwetterlagen (GWL) zu Großwettertypen (GWT) und weiteren sogenannten „Clustern“ für verschiedene Fragestellungen. In der Regel bedeuten die ersten ein bis zwei Buchstaben in

den Kürzeln die Strömungsrichtung, aus der die Witterung kommt (W = West, SW = Südwest, E = Ost und so weiter). Die Buchstaben A stehen für antizyklonal, Z für zyklonal (überwiegender Hochdruck- beziehungsweise Tiefdruckeinfluss). WS bedeutet südliche Westlage (Zugbahn der Tiefs verläuft südlicher als bei WZ); WW Winkelförmige Westlage, HM, HB, HF, HN, HNF Hochdruckgebiet über Mitteleuropa, den Britischen Inseln, Fennoskandien, Nordmeer oder Nordmeer-Fennoskandien, BM Hochdruckbrücke über Mitteleuropa, TM und TB Tief Mitteleuropa, Tief Britische Inseln, TRM, TRW Troglage über Mittel- oder über Westeuropa. Nicht enthalten und nicht ausgewertet wurden Übergangslagen (Ü), das sind einzelne, wenige Tage, die sich keiner Großwetterlage zuordnen lassen.

Einige grundlegende Eigenschaften der Wetterlagen und deren Einflüsse auf die Lufttemperaturen werden bereits in der Tabelle deutlich. Die Klärung, wie stark der Temperatureinfluss der einzelnen Wetterlagen oder Cluster konkret ist, würde voraussetzen, dass die Tagesmittel der Lufttemperatur deutschlandweit einzeln erfasst und jeder Wetterlage tageweise konkret zugeordnet werden- ein gewaltiger Aufwand, sofern dieses Datenmaterial überhaupt für so einen langen Zeitraum von 132 Jahren verfügbar wäre. Auch eine luftmassenbezogene, sicher noch aussagefähigere Auswertung ist für einen so langen Zeitraum nicht verfügbar. Es gibt aber noch eine weitere, weniger aufwändige Möglichkeit, die zumindest wesentliche Anhaltspunkte für den Temperatureinfluss liefert- die lineare Korrelation zwischen der jährlichen, jahreszeitlichen oder monatlichen Häufigkeiten der Wetterlagen oder Cluster und den zugehörigen Jahres-, Jahreszeiten- oder Monatsmitteln der Deutschland- Temperaturen. Die Zusammenfassung der Wetterlagen zu Clustern aus Wetterlagen mit ähnlichen Eigenschaften hat dabei den Vorteil, dass sie die Häufigkeiten erhöht (einige der Großwetterlagen treten für sich allein betrachtet zu selten auf, um statistisch einigermaßen brauchbare Aussagen zu erzielen), und Unstimmigkeiten bei der Klassifizierung der Wetterlagen gemildert werden. Die folgende Abbildung zeigt den für das gesamte Jahr ermittelten deutlichsten positiven Zusammenhang, den zwischen dem Cluster SW (GWT SW, bestehend aus SWA und SWZ) zum Deutschland- Jahresmittel der Lufttemperatur:

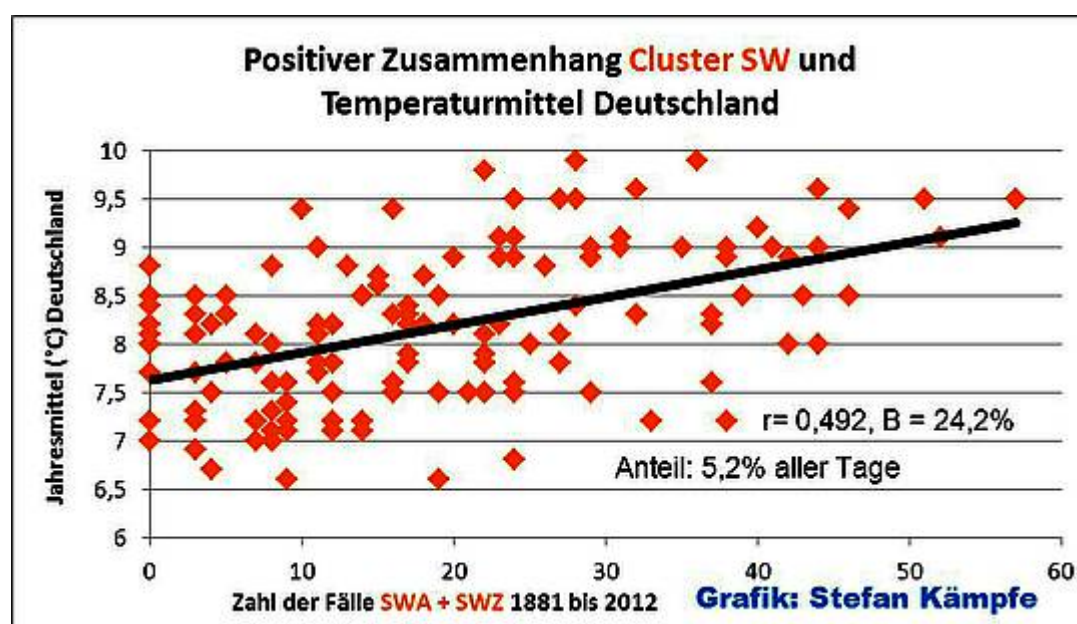


Abb. 3: Obwohl Südwestlagen nur an gut 5% der Tage aller erfassten Jahre auftraten, hatten sie eine gewisse Erwärmungswirkung- traten in einem Jahr viele Südwestlagen auf, so fiel dieses meist auch zu warm aus, wenngleich der Zusammenhang nur mäßig ist. Eine Scheinkorrelation ist schon aufgrund der Tatsache, dass Südwestlagen fast ausschließlich gemäßigt- warme bis subtropische Luftmassen nach Deutschland lenken, unwahrscheinlich. An den Punkten auf der vertikalen Achse erkennt man außerdem, dass es sogar einige Jahre ganz ohne Südwestlagen gegeben hat.

Vorab sei aber schon angemerkt, dass die Wetterlagen mit südlicher bis südwestlicher Anströmung zwar im Frühling, Sommer und Herbst, jedoch nicht im Winter, deutlich häufiger wurden. Nun stellt sich die Frage nach weiteren auffälligen Clustern mit Erwärmungs- oder Abkühlungswirkung, deren Häufigkeit sowie deren Trend (Zu- oder Abnahme) im Beobachtungszeitraum. Die folgende Tabelle listet alle Großwetterlagen oder Cluster auf, die eine Korrelation von mehr als 0,2 oder weniger als -0,2 erreichten; alles Weitere wird aus der Tabelle ersichtlich:

GWL, GWT und weitere Cluster	Korrelationskoeffizient r zum Deutschland-Mittel °C Jahr	Häufigkeitsanteil (%) 1991 bis 2012	Zu- oder Abnahme in Tagen, aus linearer Regression berechnet
SW	0,492	5,2	29,7
SWZ	0,448	2,8	23,7
Südanteil	0,397	17,2	43,8
EM	0,379	7,9	33,6
Atlantische Tiefs	0,375	23,1	30,3
TRW	0,335	3,6	18,9
Westanteil	0,312	40,4	7,3
SWA	0,281	2,4	6
S	0,22	8,4	17,9
NEZ	-0,202	1,9	-6,9
HM	-0,204	8,7	-32,6
NA	-0,25	0,9	-3,8
mit Potential für 5- b- Lagen	-0,26	17,3	1,3
NZ	-0,295	2,8	-6,3
TM	-0,282	2,4	-6,9
E	-0,286	15,3	-18,8
Antizyklonale Ostlagen	-0,277	9,2	-16,5
HFA	-0,296	3,5	-5,9
N	-0,31	16	-1,5
Meridional	-0,339	39,7	-2,5
HNA	-0,344	3	-9,2
Nordanteil	-0,4	28,4	-29,6

Abb. 4 (Tabelle): Lagen (gesamtes Jahr) mit Korrelationskoeffizienten, deren Betrag mindestens 0,2 zum Deutschen Jahresmittel (°C) erreichte, im Vergleich. Man beachte, dass aufgrund der unterschiedlichen Häufigkeitsverhältnisse sowie der mehrfachen Präsenz einzelner Lagen in verschiedenen Clustern eine direkte, quantitative Aussage über die Erwärmungs- oder Abkühlungswirkung nicht möglich ist! Trotzdem kann man unschwer erkennen, dass fast alle „wärmenden“ Lagen zu- und fast alle kühlenden Lagen abgenommen haben. So sind, rein statistisch betrachtet, gegenwärtig pro Jahr fast 44 Tage mehr mit Südanteil zu erwarten, als im späten 19. Jahrhundert, während die Lagen mit Nordanteil um fast 30 Tage abnahmen!

Bemerkenswert ist auch, dass alle antizyklonalen Lagen mit $r = -0,138$ über das Jahr betrachtet, insgesamt etwas kühlend wirkten, während zyklonale mit $r = 0,142$ einen leicht erwärmenden Einfluss hatten. Weiterhin zeichnet sich ab, dass die Westlagen im engeren Sinne (WA +WZ) im Jahresmittel leicht erwärmend, östliche Wetterlagen eher kühlend wirken, was dem wärmenden Einfluss des Golfstroms zu verdanken ist- siehe auch Abbildung 1. Und dass es unterschiedliche jahreszeitliche Verhaltensweisen der Wetterlagen und Cluster gibt, wird noch später gezeigt. In der nächsten Abbildung ist das unterschiedliche Verhalten aber schon einmal angedeutet; sie zeigt zwei sehr gegensätzliche Cluster, dazu noch die Unterschiede zwischen SW und NW, mit dem Jahresgang ihrer Korrelationskoeffizienten zum Deutschland-Temperaturmittel:

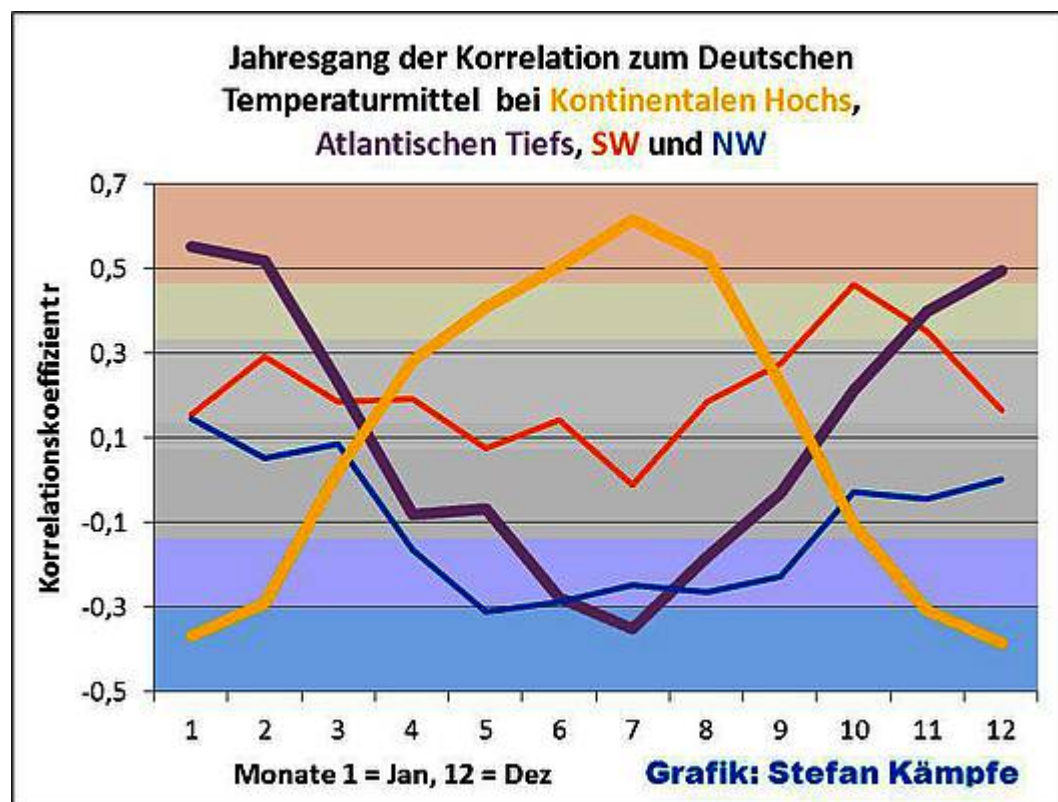


Abb.5: Das jahreszeitliche Verhalten des Zusammenhangs zwischen der Häufigkeit gegensätzlicher Cluster zeigt Besonderheiten, die im Jahresverlauf teilweise nivelliert werden. Man beachte den gegensätzlichen Verlauf zwischen atlantischen, zyklonalen Lagen und kontinentalen, antizyklonalen Lagen, wobei die Korrelationskoeffizienten im Hochsommer und Hochwinter beachtliche Beträge von $>0,5$ erreichen. Südwestlagen wirken- mit Ausnahme des Juli- stets mehr oder weniger deutlich erwärmend, besonders im Herbst, während Nordwestlagen mit Ausnahme des Winters und Vorfrühlings meist leicht kühlen.

Als erstes Ergebnis dieser Untersuchung bleibt festzuhalten, dass die deutliche Zunahme erwärmend wirkender Wetterlagen auf Kosten der kühlenden zumbisherigen Temperaturanstieg in Deutschland beigetragen hat. Man hüte sich jedoch davor, diese Trends bedenkenlos in die Zukunft zu extrapolieren. Während der letzten 10 bis 15 Jahre deutet sich nämlich eine mögliche Trendwende zur Abkühlung an, die sich auch bereits im Häufigkeitsverhaltensverhalten einiger Wetterlagen zeigt. Ausgerüstet mit diesem Sachwissen, kann nun die spannende Ursachenforschung für das zeitweise

geänderte Verhalten der Großwetterlagen beginnen.

Zum Autor [Stefan Kämpfe](#)

Studium der Agrarwissenschaften, ab 1990 ehrenamtlich Kartierung und Erfassung der Rote-Listen-Pflanzenarten Thüringens in Weimar und dem Ettersberg für das Herbarium Haußknecht und die Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie Biotoptypenkartierung. Mitglied der Thüringischen Botanischen Gesellschaft und Verfasser zahlreicher Fachbeiträge zur Pflanzenkunde, Wetterkunde und Klimatologie in Fach- und populärwissenschaftlichen Zeitschriften. Mitarbeiter in der Grünflächenabteilung der Stadtverwaltung Weimar.

Eine ausführliche Zusammenstellung der verwendeten Literatur und Informationsquellen finden Sie am Ende des 3. Teiles