

Kapitel 3

Indizes der Nordatlantischen und Arktischen Oszillation

Indices of the North-Atlantic and Arctic Oscillation

Gregor C. Leckebusch, Alice Kapala, Herman Mächel, Joaquim G. Pinto und Mark Reyers

Zusammenfassung

Die Nord-Atlantische Oszillation und die Arktische Oszillation stellen dominierende Variabilitätsmuster der mittleren und hohen Breiten der Nordhemisphäre dar. Infolge der Variabilität dieser Muster wurden verschiedene Maßzahlen zur Erfassung ihrer Intensität und Phase entwickelt, die teilweise auch eine räumliche Varianz der Aktionszentren dieser Luftdruck-Schaukel berücksichtigen können. In einer kurzen Übersicht werden gängige Indizes vorgestellt und kurz ihre Repräsentanz diskutiert.

Summary

The North-Atlantic Oscillation and the Arctic Oscillation are the dominant Northern Hemisphere teleconnection patterns on the seasonal scale. Different indices, measuring the strength and the phase of this seesaw of atmospheric mass, have been developed in the last decades. Partly, they will recognise the spatial variability of these patterns. In this contribution, a short but comprehensive overview of existing, most relevant indices is given.

1. Einleitung

Das Klima der mittleren und höheren Breiten der Nordhemisphäre ist durch natürliche Variabilitätsmuster auf verschiedenen Zeit- und Raumskalen geprägt. Unter ihnen ist die Nord-Atlantische / Arktische Oszillation (NAO/AO) wohl diejenige, die den größten Einfluss auf Witterungsabläufe über dem Nordostatlantik und Europa hat. Unter der NAO wird eine alternierende Umverteilung der Masse der Atmosphäre zwischen arktischen und subtropischen Breiten über dem Nordatlantik verstanden (Teisserenc de Bort, 1883; Defant, 1924; Walker, 1924). Diese Umverteilung und damit die Variabilität der atmosphärischen Druckmuster lässt sich am besten über Anomalien, also Abweichungen von einem Grundzustand beschreiben. Da das Klima der mittleren

Breiten durch starke saisonale Schwankungen dieses Grundzustandes beeinflusst wird, ist es sinnvoll, Anomalien gegenüber dem saisonalen Grundzustand zu betrachten. Die NAO sowie die AO werden deshalb oft für den nordhemisphärischen Winter definiert, in dem sie die größte Persistenz und Amplitude der Anomalie zeigen.

In Folge des transienten Charakters atmosphärischer, planetar-skaliger Wellen erstrecken sich Anomalien auf der saisonalen Skala über weite geographische Bereiche und stellen einen Zusammenhang zwischen den meteorologischen Abläufen weit entfernter Regionen her, der klassischer Weise als „Telekonnektion“ bezeichnet wird (z.B. Wallace und Gutzler, 1981). In diesem Sinne kann die NAO als eine solche Telekonnektion zwischen zwei Nord-Süd verteilten Aktionszentren gesehen werden: Der nördliche Dipol findet sich über der Region Grönland / Dänemark-Straße / Island, der südliche über dem zentralen Nordatlantik zwischen ca. 35°N und 40°N. Während der positiven Anomalie-Phase herrscht über den höheren Breiten ein reduzierter Bodendruck (und entsprechend reduzierte geopotentielle Höhen der Druckflächen in der Troposphäre) und erhöhter Bodendruck über dem zentralen Nordatlantik, dem östlichen Nordamerika und Westeuropa. In der negativen Phase stellen sich gegenteilige Anomalien über den jeweiligen Regionen ein. Von einer zur anderen Phase stellen sich große Änderungen z.B. der mittleren Windgeschwindigkeiten und –richtungen oder Änderungen der Feuchtetransporte vom Ozean zu den benachbarten Landflächen (z.B. Westeuropa) ein, mit denen u.a. veränderte Häufigkeiten und Intensitäten von Stürmen und weiteren Wetterphänomenen verbunden sind (vgl. z.B. Pinto et al., 2008). In engem Zusammenhang zu der NAO ist die AO zu sehen. Unter ihr wird ebenfalls ein alternierendes Druckmuster verstanden, welches aber auf der gesamten Nordhemisphäre definiert wird. Deshalb findet sich in der angelsächsischen Literatur auch oft die Bezeichnung „Northern Annular Mode“ (NAM, vgl. Thompson and Wallace, 1998, 2000; Thompson et al., 2000; Ogi et al., 2004). Eine Vielzahl von Arbeiten zur Untersuchung der Abhängigkeiten dieser beiden atmosphärischen Variabilitätsmuster wurde in den letzten Jahrzehnten durchgeführt. So versuchen z.B. Kodera und Kuroda (2004) die Unterschiedlichkeit dieser Muster über ihre lineare Unabhängigkeit mit Hilfe zweier Indizes zu erklären. Diese Technik der Erstellung von Indizes ist ein wesentliches Hilfsmittel zur Beschreibung des Zustandes der NAO, welches sowohl für die Abschätzung potentieller Auswirkungen (z.B. auf agrar- und volkswirtschaftliche Bedingungen, vgl. Kap.2 dieses Hefts) nützlich ist, als auch ein geeignetes Instrument zur Erforschung der ursächlichen Mechanismen der NAO darstellt.

2. NAO-Indizes

Trotz der Vielfalt der Studien, die sich mit den Bodendruckvariationen über dem Nordatlantik beschäftigten, gibt es bis heute keine allgemein gültige Definition der NAO. Nicht zuletzt liegt dies an der hohen internen Variabilität der Atmosphäre der mittleren Breiten, die eine exakte, universelle (starre) Definitionsbeschreibung unmöglich macht. Auch die Heterogenität der beteiligten Prozesse und deren individuelle Betonung in verschiedenen Indizes lassen eine starre Definition nicht notwendigerweise immer als geeignet erscheinen. Dementsprechend gibt es bisher auch keinen allgemein gültigen Index für die Quantifizierung der NAO-Intensität (Jones et al., 2003). Im Laufe der Zeit wurden allerdings eine ganze Reihe von Indizes für die Charakteristik der NAO-Intensität entwickelt, die gegenwärtig in wissenschaftlichen Studien verwendet werden. Dabei sind positive Indexwerte für den Winter ein Indikator für die Stärke der westlichen Strömung von West- über Zentral- bis Nordeuropa. Mit diesen positiven Index-Werten ist eine verstärkte westliche Strömung, die ein milderes aber auch stürmischeres Winterwetter nach Europa bringt, assoziiert. Mit negativen Index-Werten wird dagegen eine meridionaler ausgerichtete Strömung beschrieben.

Verschiedene Index-Typen lassen sich je nach Verwendungszweck unterscheiden:

1. Auf Stationsdaten basierende Indizes, die der Differenz von standardisierten Bodendruckreihen von meistens zwei Stationen entsprechen. Hierbei ist eine Station repräsentativ für das nördliche und die andere Station für das südliche Aktionszentrum der NAO. Der am häufigsten benutzte NAO-Index entspricht der Differenz zwischen den standardisierten monatlichen Bodendruckreihen der Station Ponta Delgada auf den Azoren und Stykkisholmur auf Island (vgl. z.B. Hurrell, 1995, Hurrell et al., 2003). Neben der Station Stykkisholmur (65,0°N; 22,8°W), deren Bodendruckreihen für den Zeitraum 1846-1990 verfügbar sind, liegen für zwei weitere Stationen lange beobachtete Zeitreihen des Bodendrucks vor: Reykjavik (64,0°N; 22,0°W) für den Zeitraum 1821-2008 und Akureyri (65,7°N; 18,1°W) für den Zeitraum 1882-2008. Abb. 1a zeigt diese Zeitreihe für den Winter (Dez.-März). Da die Reihe von Ponta Delgada (37,7°N; 25,7°W) nur den Zeitraum 1865-1997 erfasst, werden alternativ die Bodendruckmessungen von Gibraltar (36,2°N; 5,4°W, Zeitraum 1821-2008; Abb. 1b) oder von Lissabon (38,7°N; 9,1°W, Zeitraum 1855-2008; Abb. 1c) für die Charakteristik des Azorenhochs verwendet. Hurrell (1995) nutzt die Druckreihe von Lissabon bzw. den Azoren (seit 1864) als den südlichen Punkt für seinen Index. Jones wiederum nutzt für den NAO-Index die Stationen Reykjavik und Gibraltar (für weitere Infor-

mationen siehe Jones et al., 1997, 2003). Die wichtigsten Informationen zu diesen Indizes sind in Tab. 1 zu finden.

2. Zonal-Indizes, die die Stärke des Zonalwindes in einer bestimmten geographischen Breite und einem vordefinierten Gebiet berücksichtigen oder solche, die auf der Druckdifferenz zwischen zwei Breitenkreisen bzw. Gebieten im atlantisch-europäischen Sektor basieren (z.B. EU-Index (Stephenson et al., 2003), Zonal-Index (Pinto et al., 2007), vgl. Tabelle 1).

3. Dynamische NAO-Indizes, welche die Position und den Kerndruck der Aktionszentren Islandtief (IT) und Azorenhoch (AH) erfassen (z.B. Glowienka, 1985, Mächel et al., 1998 und Portis et al., 2001). Mächel et al. bestimmen, ähnlich wie Glowienka-Hense (1990, vgl. Kap.2 dortige Abb.1), mit Hilfe der zonal gemittelten monatlichen Bodendruckfelder die meridionale Position des Druckminimums und -maximums und den Kerndruck des IT und AH für jeden Monat. Die daraus resultierenden vier Zeitreihen wurden einer Hauptkomponentenanalyse (engl.: principal component analysis, PCA) unterzogen und die erste Komponente als NAO-Index definiert.

Im Rahmen einer erweiterten Analyse wurde aus den monatlichen Bodendruckfelder die geographische Breite (Br-IT, Br-AH), geographische Länge (L-IT, L-AH) und der Kerndruck (Dr-IT, Dr-AH) für jeden Monat ermittelt. Mit den sechs Zeitreihen wurde eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt (siehe oben) und die erste extrahierte PC als alternativer NAO-Index definiert. Diese Analysen zeigen, dass in einigen Fällen keine eindeutige Ermittlung der Position der Zentren möglich ist, weil entweder mehrere Tiefs/Hochs von vergleichbarer Intensität oder kein ausgeprägtes Tief/Hoch im Untersuchungsgebiet lagen. Daher weisen diese Reihen einige Lücken auf, die möglicherweise einen Hinweis auf außergewöhnliche Luftdruckkonfigurationen über dem Atlantik geben, die es noch näher zu untersuchen gilt. Portis et al. (2001) versuchen einen "mobilen" NAO-Index mit Hilfe von (auf mittleres Meeresniveau) reduzierten Bodendruckfeldern (engl.: mean sea level pressure, MSLP) über dem Nordatlantik zu bestimmen. Sie definieren ihren NAO-Index als Differenz zwischen standardisierten MSLP-Anomalien an den Punkten, an denen die höchste negative Korrelation zwischen dem subtropischen und dem subpolaren MSLP aufgetreten ist.

4. Auf Hauptkomponentenanalyse (principal component analysis, PCA) oder Empirischen Orthogonalfunktionen (empirical orthogonal functions, EOF) der Bodendruckfelder nördlich von 20°N basierende Indizes. Dabei wird meistens die erste Hauptkomponente (erste PC) als Indexwert benutzt (vgl. z.B. Pinto et al., 2008). Wenn die Auswertungen sich auf den atlantisch-europäischen Sektor beschränken,

entspricht die erste PC dem NAO-Index (Abb. 1d für DJFM Wintermittel). Wenn hingegen die ganze Nordhemisphäre betrachtet wird, entspricht die erste PC dem AO-Index (Abb. 1e). Für beide Indizes verwenden einige Autoren auch die geopotentielle Höhe der 500 hPa-Fläche als Datengrundlage. Derartige Indizes haben aufgrund der immer größer werdenden Computer-Leistungen an Popularität gewonnen.

Die verschiedenen Indizes haben ihre Vor- und Nachteile, je nach Fragestellung der Untersuchung. Auf Stationsdaten basierende Indizes können möglicherweise durch historische Daten in die Vergangenheit leichter verlängert und somit zur Konstruktion langer Index-Reihen der NAO verwendet werden (z.B. Jones et al., 2003). Nachteile ergeben sich aus der Lage der verwendeten Stationen, die eher repräsentativ für den Ostatlantik und die Bodendruckkonfiguration im Winter sind. Darüber hinaus berücksichtigt eine feste Position der Stationen oder Breitenkreise bei Zonal-Indizes keine eventuell vorhandenen räumlichen Bewegungen der Aktionszentren. Jones et al. (2003) haben die Druckreihe von Bermuda ($32,3^{\circ}\text{N}$; $64,7^{\circ}\text{W}$) für den Zeitraum 1837-2000 ergänzt, die zur Charakteristik der Luftdruckverhältnisse im Westatlantik verwendet werden kann. Die dynamischen Indizes haben neben dem wesentlichen Nachteil der vorhandenen zeitlichen Lücken (siehe oben) einen entscheidenden Vorteil: Sie erlauben eine detaillierte Analyse des Verhaltens der verschiedenen Aktionszentren (IT und AH).

Ebenso von Vorteil scheinen die auf der PCA der reduzierten Bodendruckfelder basierenden Indizes zu sein, da diese nicht an feste Punkte bzw. Stationen gebunden sind. Allerdings weisen die Indizes bei der gewöhnlichen Darstellung nur der ersten Komponente auch Defizite auf, da sie in der Regel nur rund 30% der gesamten Varianz des Druckfeldes erklären. Da diese Analysen die Eingangsdaten klassifizieren und dabei die Anzahl der Freiheitsgrade reduzieren, ist es manchmal schwierig die zugehörige physikalische Bedeutung zu identifizieren. Die in diesem Unterkapitel erwähnten Indizes sind in Tabelle 1 zusammenfassend beschrieben.

3. Vergleich einiger NAO-Indizes und ihrer Repräsentanz in Bodendruckfeldern

Verschiedene NAO-Indizes werden meistens nur für den Winter präsentiert. Untersuchungen des Luftdruckverhaltens über dem Nordatlantik bzw. der NAO für den Sommer sind selten, da die Relevanz und Ausprägung der NAO in dieser Zeit deutlich reduziert sind. In diesem Beitrag werden somit einige NAO-Indizes für den Winter (DJFM) verglichen, wobei ein Überblick über die Repräsentanz der verschiedenen NAO-Indexwerte anhand von Korrelationen zwischen den jeweiligen Indizes (Tab. 2) und dem Bodendruckfeld erreicht werden kann (vgl. z.B. Abb. 2).

Sowohl die West-Ost-Lage als auch die Nord-Süd-Lage der beiden Luftdruckzentren variierte erheblich in den letzten 50 Jahren (ohne Abbildung), dennoch sind die Korrelationen zwischen den dynamischen und auf Stationsdaten basierenden NAO-Indizes insbesondere im Winter allgemein hoch. Im Sommer, wenn sich das AH und das IT abschwächen und westlich bewegen, sinken diese Korrelationen erheblich.

Wie gut die hier betrachteten NAO-Indizes das Bodendruckfeld im Winter repräsentieren, lässt sich aus den Korrelationen dieser Index-Zeitreihen mit dem Bodendruck (aus NCEP-Reanalysen) erkennen, die in Abb. 2 dargestellt sind. Für Vergleichszwecke ist das mittlere Bodendruckfeld (aus NCEP-Reanalysen) im Winter für den Zeitraum 1958-2002 als Isolinien-Verteilung unterlegt.

Im Winter scheint der CRU(Jones)-Index relativ gut das räumliche Druckmuster mit den erwartungsgemäß höchsten Korrelationen an den Punkten in der Nähe der gewählten Stationen zu reproduzieren (Abb. 2b). Im Vergleich dazu schneidet der Hurrell-Index etwas schwächer ab (Abb. 2a). Am besten geben der Zonal-Index (Abb. 2d) und der Mächel1-Index die Luftdruckverteilung im Winter wieder (Abb. 2). (Aufgrund der großen Ähnlichkeit mit dem CRU- und Hurrell-Index wurde der Lissabon-Island-Index in der Abbildung 2 und der Tabelle 2 Übersicht halber nicht weiter berücksichtigt.) Der Mächel2-, NAO-PC-, sowie der AO-PC-Index weisen eine etwas nach Osten verschobene Variabilitätsstruktur auf, was auch auf den EU-NAO-Index zutrifft. Im Sommer reproduzieren die NAO-Indizes das Luftdruckmuster generell schlechter und nur in einem begrenzten Gebiet. Dabei zeigen alle Indizes eine vergleichbare Repräsentanz (ohne Abbildung).

4. Fazit und Diskussion

Diese kurze übersichtsartige Darstellung stellt die wesentlichen und in der Forschung und Anwendung gängigsten Definitionen der Repräsentanz der NAO in Form von Indizes dar. Sie hat nicht den Anspruch alle möglichen, teils sehr komplexen, Definitionen zu beleuchten. Vielmehr soll sie einen ersten Überblick verschaffen und zur Orientierung dienen. Aus ihr wird jedoch bereits ersichtlich, dass sich die Wahl eines NAO-Indexes nach der Fragestellung der betreffenden Untersuchung richten sollte. Wird der Einfluss der NAO z.B. auf die Temperatur- oder Niederschlagsanomalien in Deutschland untersucht, so scheint der EU-Index geeigneter als andere Indizes zu sein, da er sich auf die Anomalieuster über Europa bezieht (Stephenson et al., 2003). Möchte man dagegen potentielle Änderungen unter anthropogenen Einflüssen identifizieren, scheint eine Index-Wahl im Sinne einer besseren Repräsentanz der raum-zeitlichen Variabilität eher angebracht (vgl. Kapitel 9), da damit der jeweiligen Modell inhärenten NAO besser Rechnung getragen werden kann. Darüber hinaus weist die NAO Variabilität auf unterschiedlichen Zeitskalen auf, die von unterschiedlichen physikalischen Prozessen im Klimasystem des Nordatlantik-Raums hervorgerufen werden (vgl. z.B. Kapitel 4). Mit Hilfe dieser Eigenschaften scheint es möglich, die NAO als Vorhersage-Indikator auf Zeitskalen von Monaten bis zu Dekaden zu nutzen (vgl. Kapitel 8). Je nach Vorhersage-Zeitskala kommen verschiedene NAO-Definitionen und damit Indizes zum Einsatz: Für Studien zur saisonalen Vorhersage der NAO wurden von Müller et al. (2005) EOF basierte Definitionen genutzt, während Einflüsse auf der dekadischen Zeitskala meist anhand von langen (beobachteten oder simulierten) Reihen diagnostiziert werden und somit oft stationsbasierte Indizes Verwendung finden.

Auch gilt es zu berücksichtigen, dass ein potentielles Untersuchungsergebnis sensitiv gegenüber der Wahl des Indizes sein kann, da, wie oben angesprochen, je nach Index verschiedene physikalische und raum-zeitliche Strukturen Eingang in den Index finden. Hier ist eine sorgfältige Untersuchung zur sinnvollen Anwendbarkeit des jeweiligen Index erforderlich, kombiniert mit einer Quantifizierung der jeweiligen Sensitivität.

Literatur

- Defant, A., 1924: Die Schwankungen der atmosphärischen Zirkulation über dem Nordatlantischen Ozean im 25-jährigen Zeitraum 1881-1905, *Geografiska Annaler*, 6, 13-41.
- Glowienka, R., 1985: Studies on the variability of Icelandic low and Azores high between 1881 and 1983, *Contr. Atmos. Phys.*, 58, 160-170.
- Glowienka-Hense, R., 1990: The North Atlantic Oscillation in the Atlantic European SLP. *Tellus*, 42A, 497-507.
- Hurrell, J. W., 1995: Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*, 269, 676-679.
- Hurrell, J. W., Kushnir, Y., Ottersen, G., and M. Visbeck, 2003: An Overview of the North Atlantic Oscillation. In: *The North Atlantic Oscillation. Climatic Significance and Environmental Impact* (Eds. Hurrell, J. W., Kushnir, Y., Ottersen, G., and M., Visbeck). *Geophysical Monograph*, 134, 1-35. AGU, Washington, DC.
- Kodera, K., and Y. Kuroda, 2004: Two teleconnection patterns involved in the North Atlantic/Arctic Oscillation, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L20201, doi:10.1029/2004GL020933
- Mächel H., A. Kapala, and H. Flohn, 1998: Behaviour of the centres of action above the Atlantic since 1881. Part I: Characteristics of seasonal and interannual variability, *Int. J. Climatol.*, 18, 1-22.
- Müller, W.A., C. Appenzeller, und C. Schär, 2005: Probabilistic seasonal prediction of the winter North Atlantic Oscillation and its impact on near surface temperature. *J. Climate*, 24, 213-226.
- Jones, P. D, Jónsson, T., and D. Wheeler, 1997: Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and southwest Iceland. *Int. J. Climatol.*, 17, 1433-1450.
- Jones, P. D., Osborn, T. J., and K. R. Briffa, 2003: Pressure-based measures of the North Atlantic Oscillation (NAO): A comparison and an assessment of changes in the strength of the NAO and in its influence on surface climate parameters. In: *The North Atlantic Oscillation. Climatic Significance and Environmental Impact* (Eds. Hurrell, J. W., Kushnir, Y., Ottersen, G., and M., Visbeck). *Geophysical Monograph*, 134, 51-62. AGU, Washington, DC.
- Ogi, M., K. Yamazaki, and Y. Tachibana, 2004: The summertime annular mode in the Northern Hemisphere and its linkage to the winter mode. *J. Geophys. Res.*, 109, D20114, doi: 10.1029/2004JD004514.

- Portis, D. H, Walsh, J. E., El Hamly, M., and P. J. Lamb, 2001: Seasonality of the North Atlantic Oscillation. *J. Climate*, 14, 2069-2078.
- Pinto, J.G., U. Ulbrich, G.C. Leckebusch, T. Spangehl, M. Reyers, and S. Zacharias, 2007: Changes in storm track and cyclone activity in three SRES ensemble experiments with the ECHAM5/MPI-OM1 GCM. *Climate Dynamics*, 29, 195-210.
- Pinto, J.G., S. Zacharias, A.H. Fink, G.C. Leckebusch, U. Ulbrich, 2008: Factors contributing to the development of extreme North Atlantic cyclones and their relationship with the NAO. *Climate Dynamics*, DOI 10.1007/s00382-008-0396-4.
- Stephenson, D. B., Wanner, H., Brönnimann, S., and J. Luterbacher, 2003: The history of scientific research on the North Atlantic Oscillation. In: *The North Atlantic Oscillation. Climatic Significance and Environmental Impact* (Eds. Hurrell, W. J., Kushnir, Y., Ottersen, G., and M., Visbeck). *Geophysical Monograph*, 134, 37-50. AGU, Washington, DC.
- Teisserenc de Bort, L. P., 1883: Etude sur l'hiver de 1879-80 et recherches sur l'influence de la position des grands centres d'action de l'atmosphère dans les hivers anormaux. *Ann. Soc. Météor. France*, 31, 70-79.
- Thompson, D. W. J. and J. M. Wallace, 1998: The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields, *Geophys. Res. Lett.* 25, 1297-1300.
- Thompson, D. W. J. and J. M. Wallace, 2000: Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability, *J. Climate* 13, 1000-1016.
- Thompson, D. W. J., Wallace, J. M. and G. C. Hegerl, 2000: Annular modes in the extratropical circulation. Part II: Trends, *J. Climate* 13, 1018-1036.
- Walker, G. T., 1924: Correlation in seasonal variation of weather, IX, *Mem. Ind. Met. Dept.*, 25, 275-332.
- Wallace, J.M., D.S. Gutzler, 1981: Teleconnections in the geopotential height during the Northern Hemisphere winter. *Mon Weather Rev* 109 : 784-812.

Tabellen und Abbildungen

Tabelle 1: Liste gängiger NAO-Indizes

NAO-Indizes	Verfügbarer Zeitraum	Beschreibung
Hurrell	1865-2002	Differenz standardisierter Anomalien des Luftdrucks zwischen Ponta Delgada/Santa Maria (Azoren) und Stykkisholmur/Reykjavik (Island)
CRU (Jones)	1821-2008	Differenz standardisierter Anomalien des Luftdrucks zwischen Gibraltar (Spanien) und Reykjavik (Island)
Lissabon-Island	1855-2008	Differenz standardisierter Anomalien des Luftdrucks zwischen Lissabon (Azoren) und Stykkisholmur/Reykjavik (Island)
EU-Index	1948-2006	Differenz standardisierter Anomalien des zonal gemittelten Bodendrucks zwischen 35°N und 65°N im Sektor 20°W-40°E
Zonal-Index	1958-2008	Differenz standardisierter Anomalien des zonal gemittelten Bodendrucks zwischen 35°-50°N und 55°-70°N im Sektor 0°W-40°W
Mächel1	1881-2006	1. Hauptkomponente (principal component, 1PC) berechnet aus 4 Parametern (ähnlich Glowienka, 1985): geogr. Breite von Azorenhoch (AH) und Islandtief (IT) sowie Kerndruck von AH und IT; diese Parameter wurden aus zonal gemittelten Bodendruckfeldern im Sektor 50°W-10°E, 20°N-70°N ermittelt (DWD-Analyse und NCEP-Reanalysen)
Mächel2	1881-2006	1. Hauptkomponente (1PC) berechnet aus 6 Parameter: geogr. Breite von Azorenhoch (AH) und Islandtief (IT), geogr. Länge von Azorenhoch (AH) und Islandtief (IT) sowie Kerndruck von AH und IT; diese Parameter wurden aus Bodendruckfeldern im Sektor 50°W-10°E, 20°N-70°N (fehlende Werte wurden mit denjenigen aus 60°W-20°E, 20°N-75°N ergänzt) ermittelt (DWD-Analyse und NCEP-Reanalysen)
NAO-PC	1899-2008	1. PC extrahiert aus Bodendruckfeldern (SLP) basierend auf CRU Gitterpunkt-Stationsdatensatz im Sektor: 20°N-80°N, 90°W-40°E;
AO-PC	1899-2008	1. PC extrahiert aus Bodendruckfeldern (SLP) basierend auf CRU Gitterpunkt-Stationsdatensatz für die Nordhemisphäre: 20°N-90°N

Tabelle 2: Korrelationstabelle zwischen verschiedenen NAO Indizes (DJFM).

DJFM:	HURREL	CRU	EU	ZONAL	MÄCHEL1	MÄCHEL2	NAO-PC	AO-PC
HURREL	1	0,773	0,764	0,859	0,792	0,706	0,753	0,606
CRU	0,773	1	0,928	0,935	0,904	0,876	0,886	0,820
EU	0,764	0,928	1	0,921	0,904	0,855	0,909	0,856
ZONAL	0,859	0,935	0,921	1	0,966	0,900	0,933	0,823
MÄCHEL1	0,792	0,904	0,904	0,966	1	0,901	0,911	0,807
MÄCHEL2	0,706	0,876	0,855	0,900	0,901	1	0,925	0,860
NAO-PC	0,753	0,886	0,909	0,933	0,911	0,925	1	0,948
AO-PC	0,606	0,820	0,856	0,823	0,807	0,860	0,948	1

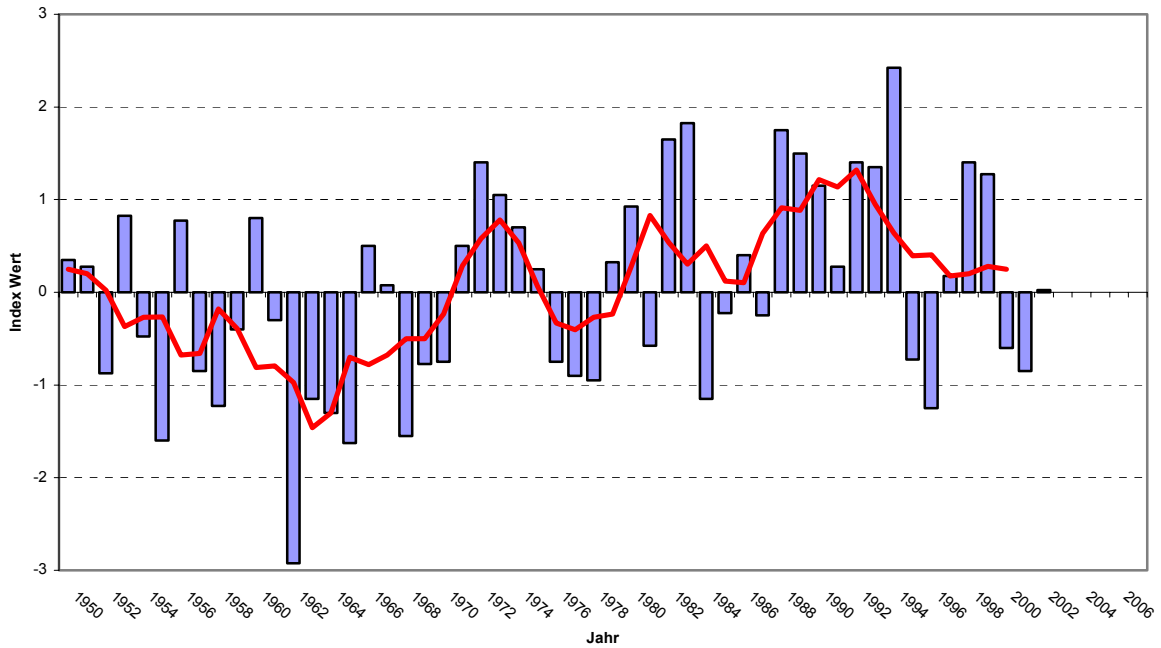


Abb. 1a) Hurrell NAO-Index für Winter (DJFM), basiert auf Differenzen der normalisierten MSLP Daten zwischen Ponta Delgada (Azoren) und Stykkisholmur/Reykjavik (Island). Verfügbar seit 1865; seit 2002 meldet die Station „Ponta Delgada“ nicht mehr (pers. Mitteilung J. Hurrell, 14.02.2008).
Quelle: H. Mächel, Darstellung: ©FU Berlin

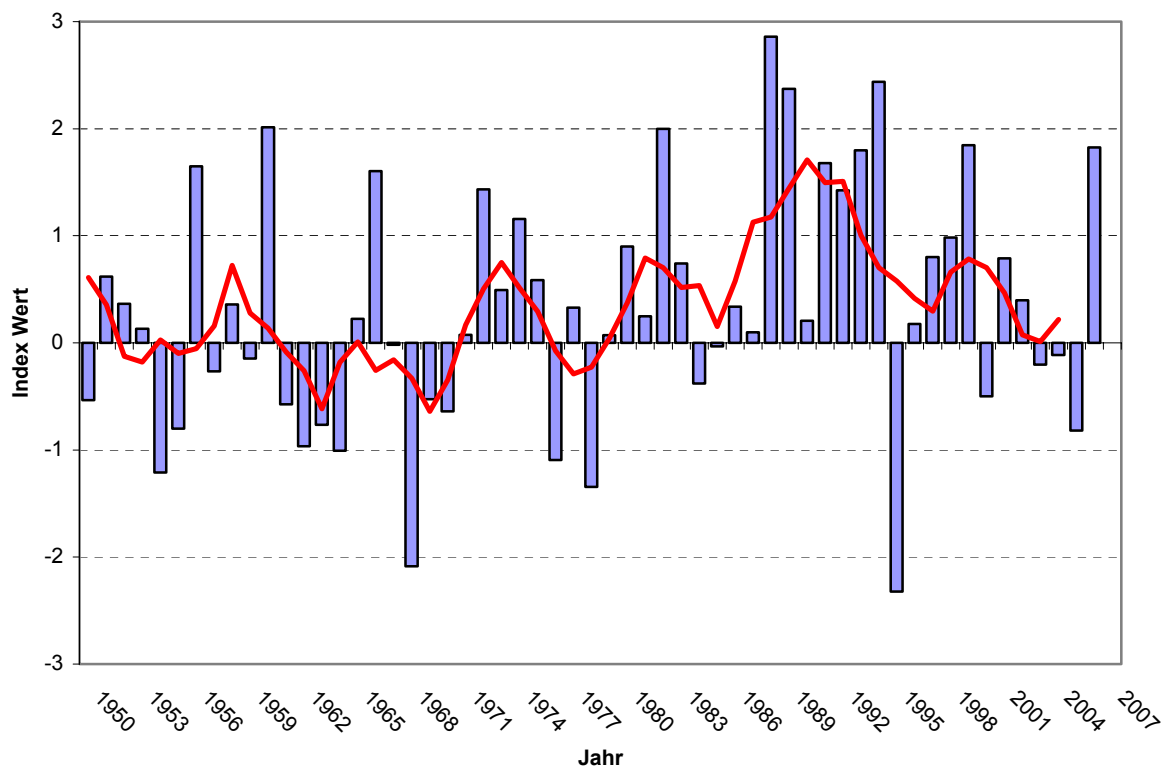


Abb. 1b) NAO-Index für Winter der *Climate Research Unit* (CRU), University of East Anglia, Norwich, (UK); basiert auf Stationsdaten des Luftdrucks auf mittlerem Meeresniveau (MSLP) der Azoren (1865-2002), Gibraltars (1821-2007), und Reykjaviks (Island, 1821-2007). Rote Linie: 5-jähriges gleitendes Mittel.
Quelle: Herman Mächel, Darstellung: ©FU Berlin

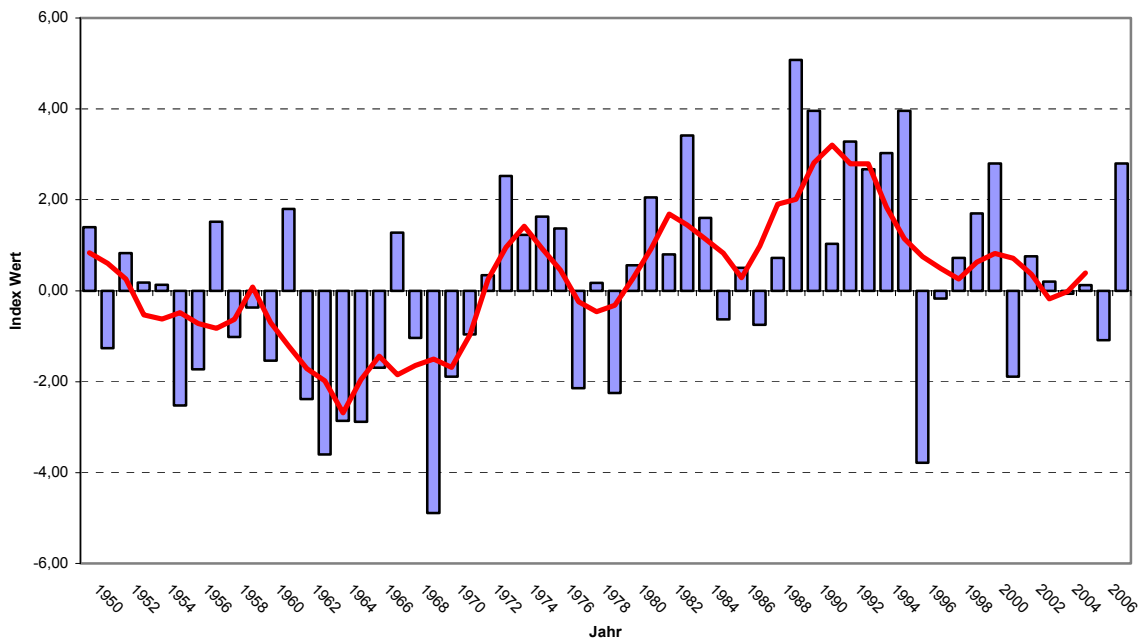


Abb. 1c) NAO-Index, Winter (Dezember bis März) basierend auf normalisierter Bodendruck-Differenz zwischen Lissabon (Portugal) und Stykkisholmur/Reykjavik (Island) verfügbar seit 1864. Rote Linie: 5-jähriges gleitendes Mittel.
 Quelle: World Monthly Surface Station Climatology. <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>.
 Darstellung: ©FU Berlin

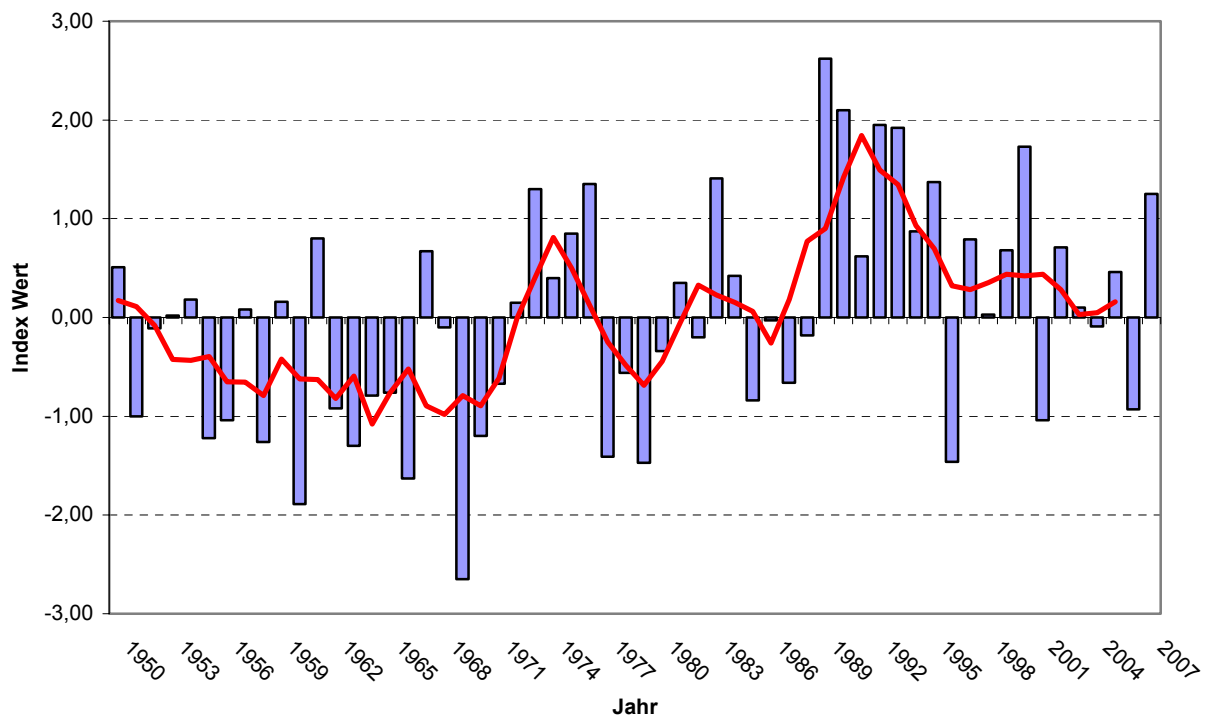


Abb. 1d) NAO-Index für Winter (DJFM) als 1. Entwicklungskoeffizient für die erste empirischen Orthogonalfunktion der Bodenluftdruckanomalie über dem Nordatlantik: (20°-80°N, 90°W-40°E), verfügbar seit 1899. Rote Linie: 5-jähriges gleitendes Mittel.
 Quelle: <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>. Darstellung: ©FU Berlin

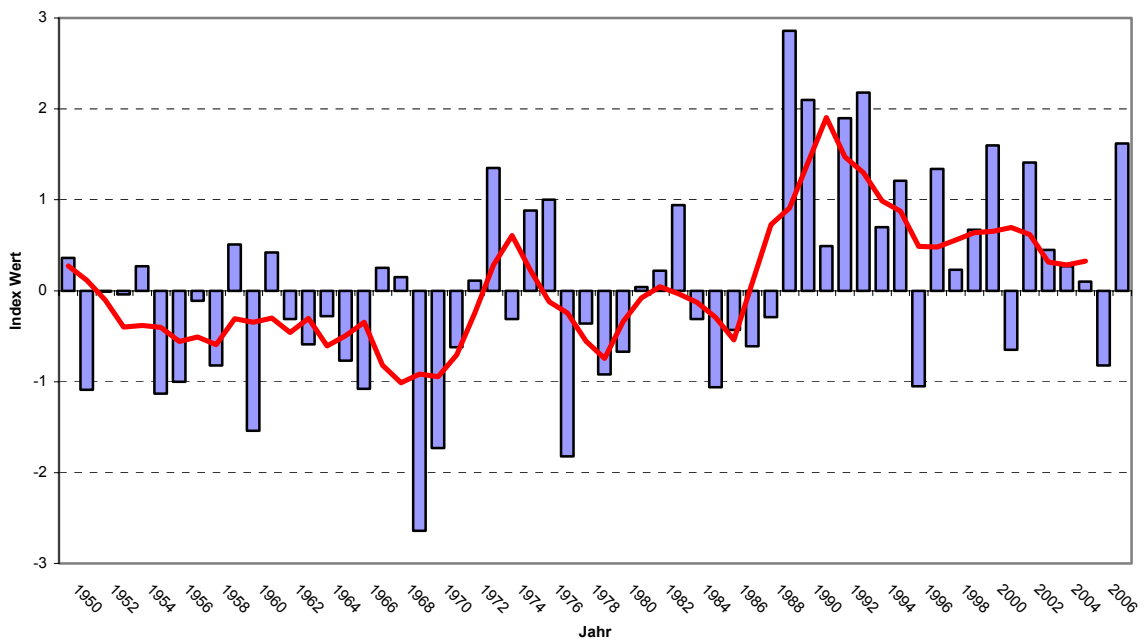


Abb1e) Arktische Oszillation (AO-Index) oder auch "Northern Annular Mode"-Index (NAM-Index) für Winter (DJFM). Der AO-Index ist definiert als die Zeitreihe des Entwicklungskoeffizienten der ersten empirischen Orthogonalfunktion (Hauptkomponenten-Analyse) der Anomalie des Luftdrucks auf mittlerem Meeresniveau für die Nordhemisphäre: 20°N-90°N. Verfügbar seit 1899. Rote Linie: 5-jähriges gleitendes Mittel.

Quelle: <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>. Darstellung: ©FU Berlin

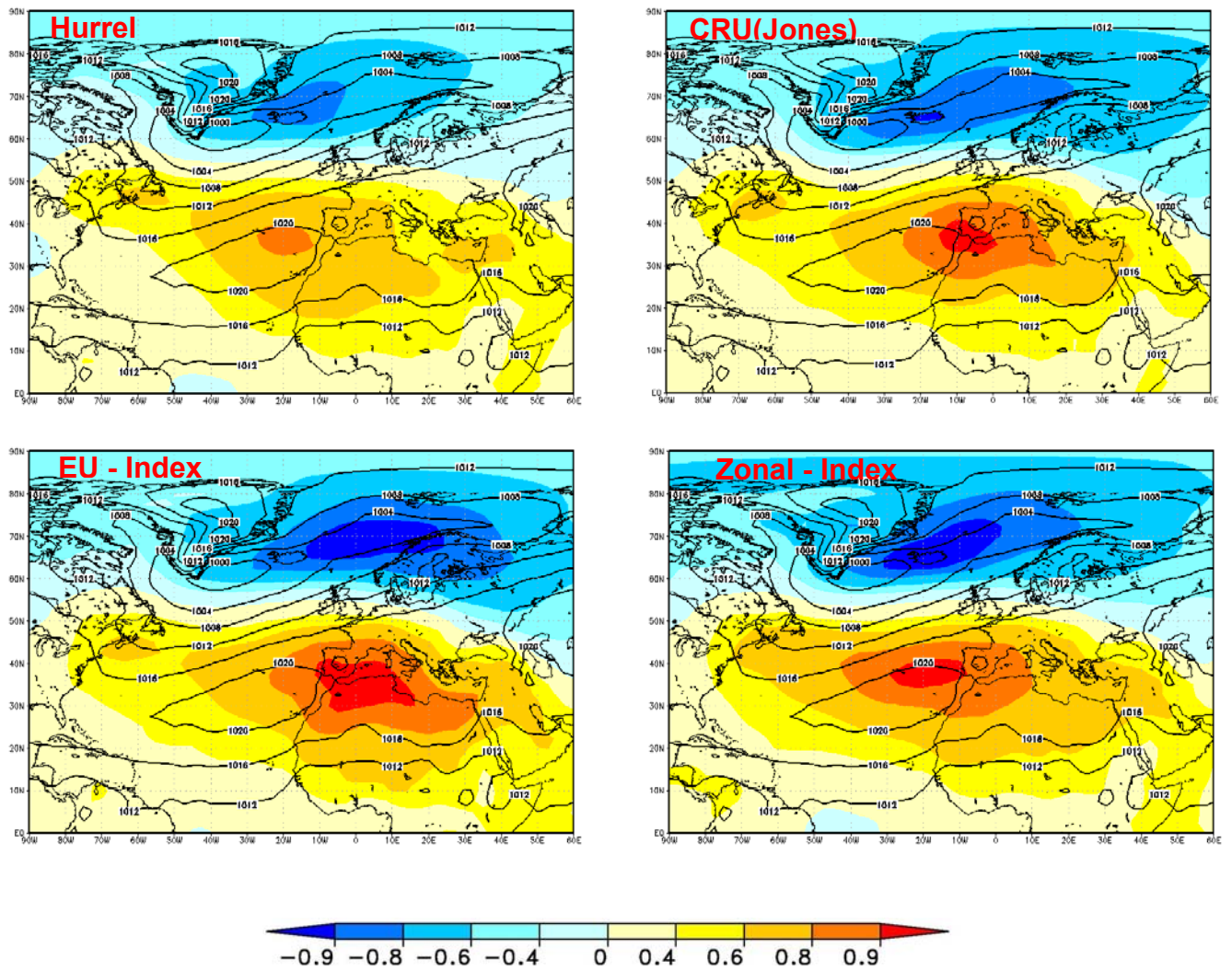


Abb. 2: Korrelationen ausgewählter Winter (DJFM) NAO-Indizes: a) Hurrell-NAO b) CRU-NAO, c) EU-index d) Zonal-index e) Mächel1 f) Mächel2 g) NAO-PC h) AO-PC mit MSLP. Zeitraum 1958-2002, Isolinien: mittlerer Bodenluftdruck.

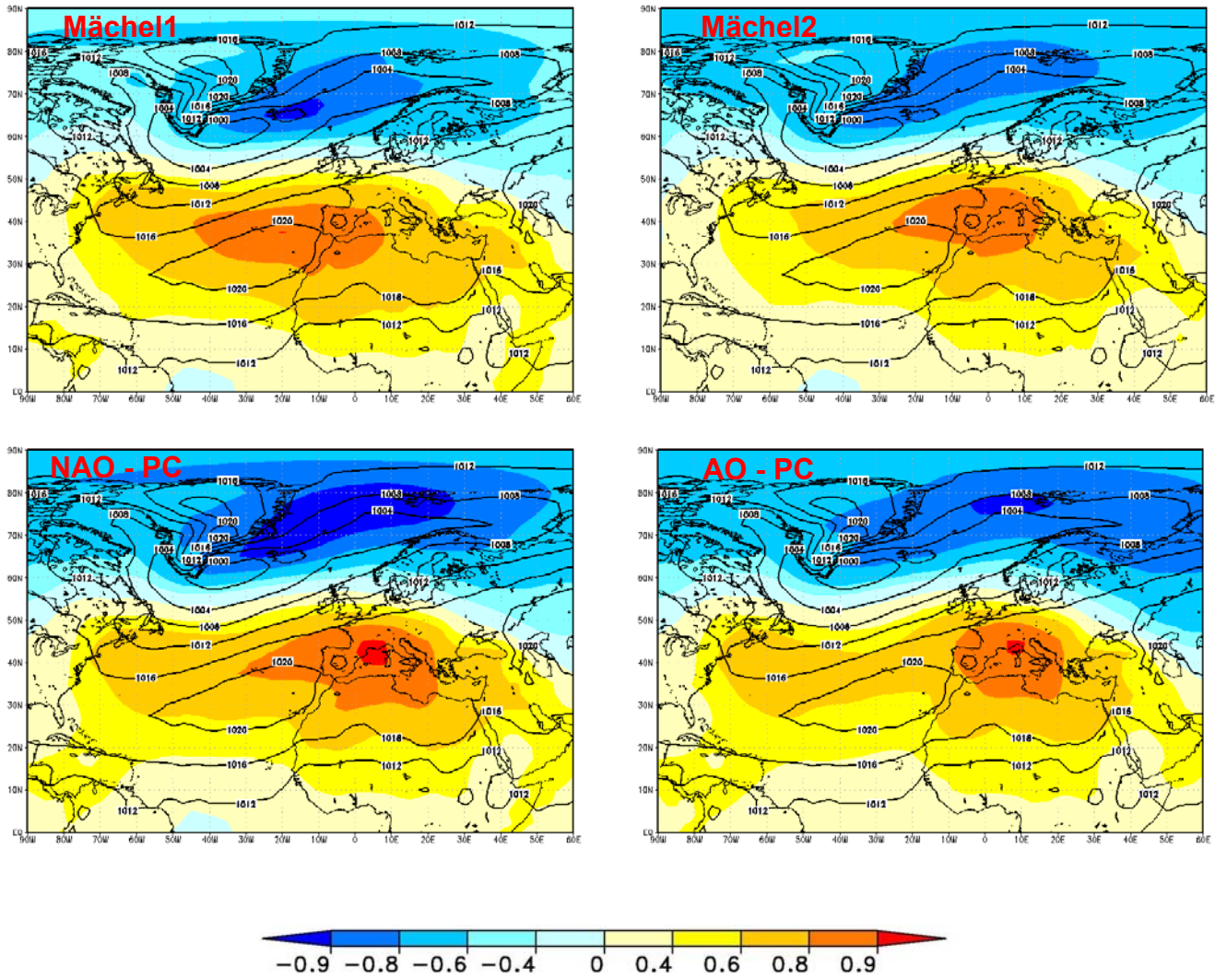


Abb. 2: Fortsetzung

Informationen zu den Autoren:

Dr. Gregor C. Leckebusch
Wissenschaftl. Assistent
Institut für Meteorologie, Freie Universität Berlin
Carl-Heinrich-Becker-Weg 6-10
12165 Berlin, Deutschland
gcl@met.fu-berlin.de
Tel.: +49 (0)30 838 71107

Dr. Alice Kapala,
Meteorologisches Institut, Universität Bonn
Auf dem Hügel 20
53121 Bonn, Deutschland
akapala@uni-bonn.de
Tel.: +49 (0)228 73 5199

Dr. Hermann Mächel
KU21 Projekt: KLIDADIGI
Deutscher Wetterdienst
Kaiserleistr. 44
63067 Offenbach am Main
Tel.: +49 69 8062-2413, FAX-Nr. +49 69 8062 3759

Dr. Joaquim G. Pinto
Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln
Kerpener Str. 13
50923 Köln, Deutschland
jpinto@meteo.uni-koeln.de
Tel.: +49 (0)221 470 3691

Dipl.-Met. Mark Reyers
Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln
Kerpener Str. 13
50923 Köln, Deutschland
mreyers@meteo.uni-koeln.de
Tel.: +49 (0)221 470 3678