

Auswirkungen der Nordatlantischen Oszillation

Andreas Hense, Rita Glowienka-Hense

Januar 2008

Der NAO Index 1881–2000

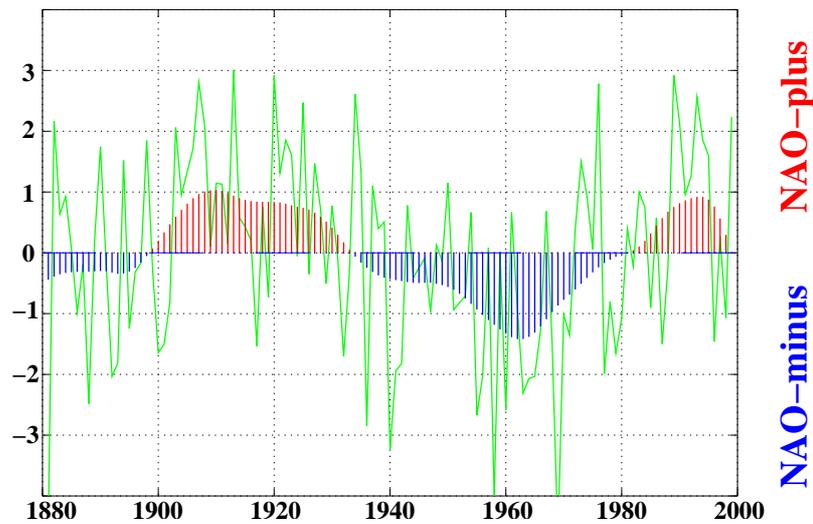


Abbildung 1: NAO Index nach Glowienka-Hense (1990), der explizit die meridionale Verschiebung von Azorenhoch und Islandtief bei gleichzeitiger Änderung der entsprechenden Zentraldrücke berücksichtigt, "Lagrange'scher" Index

1 Einleitung

Die Variabilität von Atmosphäre und Ozean im Nordatlantisch-Europäischen Raum wird entscheidend durch die Nordatlantische Oszillation (NAO) geprägt. Deren zeitliche Variabilität wird üblicherweise durch einen Index (z.B. Hurrell und van Loon, 1997) beschrieben. Der Standardindex greift die Luftdruckdifferenz zwischen zwei festen Punkten (Island und Azoren bzw. Lissabon) ab (Euler'scher Index). Allerdings haben verschiedene Untersuchungen gezeigt (Glowienka, 1985; Ulbrich und Christoph, 1999), dass die NAO kein räumlich stationäres Gebilde ist, sondern sich durch eine Verlagerung der Aktionszentren Islandtief und Azorenhoch in NE/SW Richtung auszeichnet (siehe auch Kapitel III). Diesem Umstand wird der Lagrange'sche Index gerecht, der am Meteorologischen Institut der Universität Bonn entwickelt wurde (Glowienka, 1985; Glowienka-Hense, 1990, Mächel et al., 1998) und der die Verschiebung in meridionaler Richtung explizit berücksichtigt. Details dieses Index und die Beziehungen zu den anderen Indices der NAO werden im Kapitel III durch Leckebusch et al. besprochen.

In Abb.(1) sieht man den Verlauf dieses Lagange'schen NAO Index zwischen 1880 und 2000. Dieser Index ist die Basis für alle, im folgenden beschriebenen statistischen Analysen, sofern nichts anderes erwähnt wird.

2 Daten

Die in diesem Beitrag analysierten Daten sind

- die monatsweise gemittelten, bodennahen Lufttemperaturen des Datensatzes, der an der Climate Research Unit (CRU) der University East Anglia in Norwich (UK) in einer $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ Auflösung (Mitchell and Jones, 2005) erstellt wurde,

- die monatsweise gemittelten Niederschlagssummen des CRU Datensatzes in einer $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ Auflösung,
- die monatsweise gemittelten ozeanischen Oberflächentemperaturen des Hadley Center in einer $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ Auflösung (Rayner et al, 2003),
- die monatsweise gemittelten bodennahen Windfelder interpoliert aus den Comprehensive Atmosphere Ocean Data Set COADS (Woodruff et al., 1987).

Wir haben dann eine Regressionsanalyse zwischen Jahreszeitenmitteln dieser Datensätze und dem NAO Index der Wintermonate Dezember bis Februar durchgeführt. Zur Vermeidung von systematischen Überschätzungen der Korrelationen haben wir die Regressionsanalyse im Kreuzvalidationsmodus laufen lassen. Üblicherweise treten optimistisch verzerrte (d.h. zu große) Korrelationen auf, wenn der gesamte Datensatz der Stichprobenlänge N zur Berechnung der Regression gemäß des üblichen Verfahrens der kleinsten Fehlerquadrat herangezogen wird. Bei der Kreuzvalidation werden $k = 3$ Abschnitte jeweils der Länge $L = 3$ Jahre (L ungerade) zufällig aus dem Datensatz ausgewählt, entfernt und die Regressionskoeffizienten auf den verbleibenden Daten (Trainingsdaten) $N - kL$ bestimmt. Mit den Regressionskoeffizienten werden für die zentralen Zeitpunkte der k Abschnitte der unabhängigen Daten (Testdaten) aus den NAO Indizes die entsprechenden Variablenwerte rekonstruiert. Dieser Vorgang wird 1000 mal wiederholt, bis für jedes Jahr des Gesamtzeitraums mindestens drei Realisierungen der rekonstruierten Variablen vorliegen. Diese können dann mit den Originalwerten der Beobachtungen verglichen werden, indem ein Korrelationskoeffizient und ein mittlerer Regressionskoeffizient zwischen der Originalbeobachtungen und den drei Realisierungen berechnet werden. Der Vergleich der mittels Regression aus der NAO ermittelten Änderungen der betrachteten Variable mit den tatsächlichen Beobachtungen findet somit auf einem unabhängigen Datensatz statt, da die Regressionskoeffizienten für die Realisierungen aus dem Trainingsdatensatz berechnet werden. Die Wahl der Zeitfensterlänge $L = 3$ und die Berechnung der Realisierung für das zentrale Jahr soll den Einfluss zeitlicher Korrelation von Jahr zu Jahr minimieren.

3 NAO und der bodennahe Klimazustand

Bevor wir die Klimawirkung der NAO in Europa betrachten, macht es Sinn, die Zusammenhänge zwischen der NAO im Winter und der bodennahen Lufttemperatur und dem Niederschlag zu betrachten. Die Wirkung NAO im Winter auf die nachfolgenden Jahreszeiten kann man durch ihren Einfluss auf Systeme mit einem längeren Gedächtnis als dem der Atmosphäre selbst verstehen. Geht man bei der Atmosphäre von Zeitskalen von $\sim 5-10$ Tagen aus, kommen in Mitteleuropa die ozeanische Temperaturen und die Bodenfeuchte auf dem Kontinent in Betracht, wobei letztere wegen der schlechten Datenlage nicht analysiert werden kann.

Abb.(2) zeigt die Ergebnisse der Regressionsanalyse mittels der NAO im Winter (DJF) für Wintertemperatur (a) und für die Frühjahrstemperatur MAM (b) jeweils an allen Gitterpunkten. Dargestellt sind als Konturlinien die erklärte Varianz (Mittelwert der Quadrate der drei Korrelationskoeffizienten aus den Kreuzvalidationsrealisierungen) der linearen Beziehung zwischen NAO und der lokalen Temperaturanomalie, sofern sie größer als 0.1 (entsprechend einem Korrelationskoeffizient von 0.3, was einem Signifikanzniveau der Nullhypothese Korrelation = 0 gegen die Alternativhypothese Korrelation > 0 von 5% entspricht) ist. Als farbige Schattierung erscheint die typische Temperaturanomalie bei einem NAO Index von +2, die aus den mittleren Regressionskoeffizienten bestimmt wird.

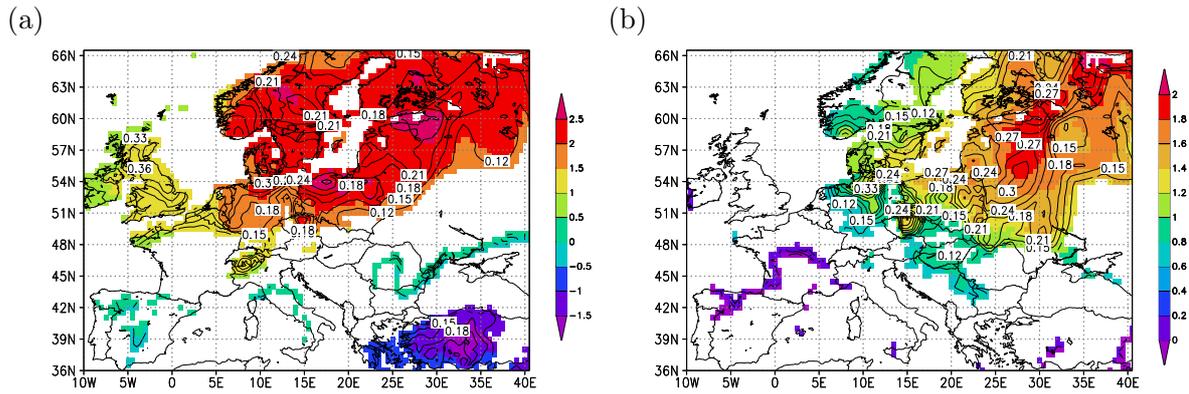


Abbildung 2: Ergebnisse der Regressionsrechnung zwischen dem NAO Index aus Abb.(1) und der bodennahen Lufttemperatur T_{2m} aus den CRU Daten. Die farbige Schattierung/Farbbalken stellt die Regressionskoeffizienten bei einem NAO Index von +2 (Einheit K) und die Konturlinien die erklärte Varianz der linearen Regression dar, (a) Regression NAO(DJF) vs. T_{2m} (DJF), (b) Regression NAO(DJF) vs. T_{2m} (MAM)

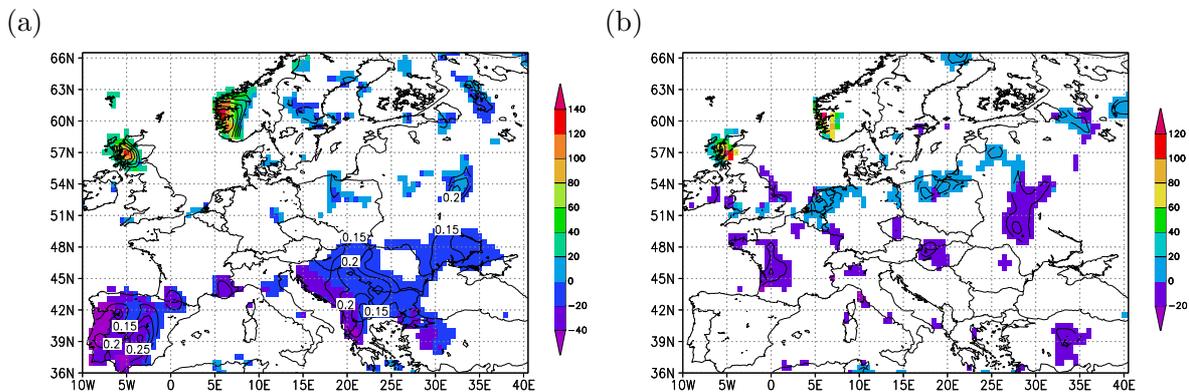


Abbildung 3: Ergebnisse der Regressionsrechnung zwischen dem NAO Index aus Abb.(1) und der Niederschlagssumme RR aus den CRU Daten. Die farbige Schattierung/Farbbalken stellt die Regressionskoeffizienten bei einem NAO Index von +2 (Einheit mm) und die Konturlinien die erklärte Varianz der linearen Regression dar, (a) Regression NAO(DJF) vs. RR(DJF), (b) Regression NAO(DJF) vs. RR(MAM)

Bei der nicht zeitverschobenen Regressionsanalyse zeigen sich deutliche Temperaturanomalien nördlich 50°N in Mittel- und Westeuropa sowie im Einzugsbereich der Ostsee. Bei einer Verschiebung von 3 Monaten kann man dann immer noch markante Zusammenhänge finden, die sich jetzt aber nur noch auf den Raum östlich von Dänemark/Norddeutschland erstrecken. So werden lokal noch erklärte Varianzen von über 30% (Korrelationen über 0.55) erreicht. Die analoge Analyse der Niederschlagsvariationen in Abb.(3) zeigt im Winter die klassische Beziehung übernormaler Niederschläge in Norwegen und Schottland mit deutlich unternormalen Niederschlägen im Mittelmeerraum im Fall der positiven NAO. Abb.(3b) zeigt dagegen anders als im Fall der Temperatur keine interpretierbaren Resultate zum Zusammenhang zwischen NAO im Winter und den Frühjahrsniederschlagsanomalien.

Erklärt werden können diese unterschiedlichen Korrelationsmuster zwischen den beiden Variablen durch den Einfluss der Nord- und Ostsee. Zur Verdeutlichung seien die Regressionsergebnisse bezüglich der ozeanischen Wasseroberflächentemperaturen SST gezeigt. In Abb.(4) sieht man für den Vergleich Winter-NAO und Winter-SST kein zusammenhängendes Muster im Bereich der

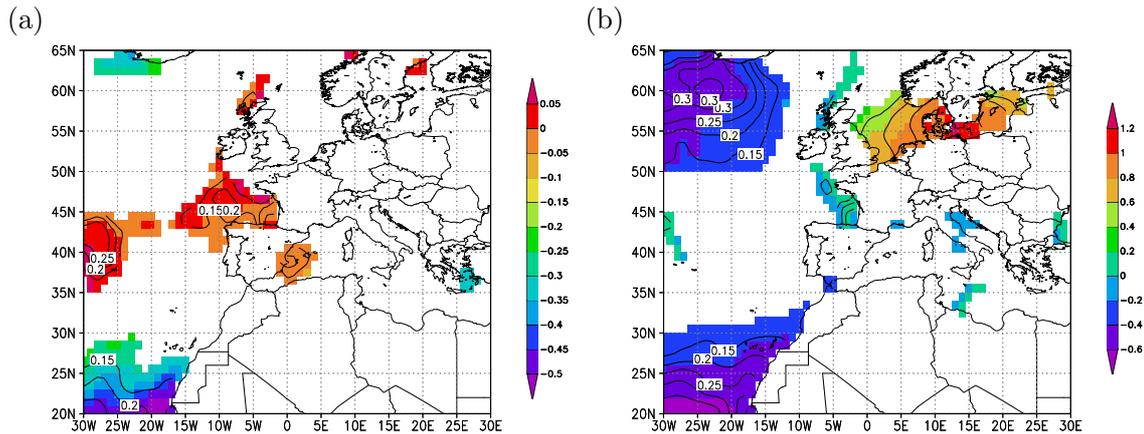


Abbildung 4: Ergebnisse der Regressionsrechnung zwischen dem NAO Index aus Abb.(1) und den ozeanischen Oberflächentemperaturen SST. Die farbige Schattierung/Farbbalken stellt die Regressionskoeffizienten für einen NAO Index von +2 (Einheit K) dar, die Konturlinien zeigen die erklärte Varianz der linearen Regression, (a) Regression NAO(DJF) vs. SST(DJF), (b) Regression NAO(DJF) vs. SST(MAM)

Nord- und Ostsee. Dies ist jedoch völlig anders drei Monate später. Im Fall einer positiven NAO im Winter haben sich Nord- und Ostsee deutlich erwärmt, wobei lokal z.B. in der Ostsee zwischen Schweden und Deutschland bis zu 30% der Gesamtvariabilität durch die NAO erklärt werden. Das atmosphärische Signal der Temperatur und Windanomalien (s.u.), die mit der NAO verknüpft sind, prägt sich erst im Laufe des Winters dem ozeanischen System auf, kommt dann aber wegen der Trägheit eine Jahreszeit später voll zur Geltung. Die atmosphärischen Temperaturanomalien in Abb.(2) kann man dann als Folge der mittleren Advektion in der westlichen Strömung über die anomal warme bzw. kalte Nord- und Ostsee verstehen. So gibt es z.B. auch kein signifikantes NAO-Signal der bodennahen Temperaturen (Abb.(2b)) im Frühjahr in Schottland, da dies stromauf der allgemeinen mittleren Strömung der Atmosphäre liegt.

Zur Interpretation der Beobachtungen der Ankunftszeiten der Zugvögel (siehe nächster Abschnitt) ist es auch notwendig, das typische NAO Signal im Windvektor der bodennahen Strömung zu präsentieren (Abb.(5)). Dargestellt sind die Regressionskoeffizienten für die zonale und meridionale Windkomponente als Vektor bei einem NAO Indexwert von +2 und das geometrische Mittel der erklärten Varianzen als Farbschattierung. Man erkennt nördlich der Breite 40°N eine anomale Südwestströmung, südlich davon eine Verstärkung der NO-Passate über dem Atlantik.

4 NAO und Phänologie

Die mit der NAO assoziierten Wintertemperaturen aber noch vielmehr die des Frühjahrs haben einen großen Einfluss auf phänologische Phänomene in Europa (zu allgemeinen Fragen bezüglich der Phänologie siehe Promet Jahrgang 33 Heft 1-2 von 2007). Insbesondere werden die frühen Entwicklungsstadien der Pflanzen, wie Blatt- und Blütenentwicklung, maßgeblich durch das Wärmeangebot im Spätwinter / Frühjahr gesteuert. So zeigen Menzel et al. (2005) einen massiven Einfluss des winterlichen NAO Zustands auf die Progressionsgeschwindigkeit verschiedener Frühjahrsstadien (von früh bis spät, klassifiziert an Hand spezifischer phänologischer Stadien) in Europa. Spätere Jahreszeiten wie Frühsommer, Sommer oder Herbst werden dagegen nicht mehr durch die Winter-NAO beeinflusst. Cook et al. (2005) modellieren die phänologische Entwicklung mit Hilfe einer gemeinsamen Auswertung von Satellitendaten und NCEP Reanalysen. Sie verwenden den Satelliten gestütz-

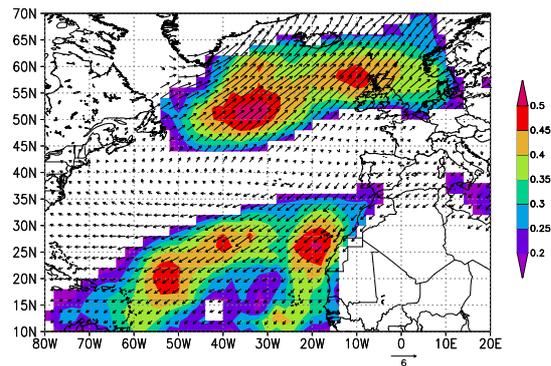


Abbildung 5: Ergebnisse der Regressionsrechnung zwischen NAO Index aus Abb.(1) und dem bodennahen Windfeld. Im Gegensatz zu den Abb.(2) bis (4) stellt die farbige Schattierung/Farbbalken die erklärte Varianz der linearen Regression und die Vektorpfeile die Regressionskoeffizienten der beiden Windkomponenten für einen NAO Index von +2 dar (Einheit m/sec, der Vergleichsvektor rechts unten entspricht 6 m/sec), Regression NAO(DJF) vs. Wind(DJF).

ten normalized difference vegetation index (NDVI) als indirektes Maß für den phänologischen Zustand und bestimmen Wärmesummen aus bodennahen Temperaturfelder der NCEP Reanalysen. Der Vergleich zeigt einen erheblichen Einfluss der NAO auf die frühe Vegetationsentwicklung. Beide Beobachtungen lassen sich gut mit den Ergebnissen in Abb.(2) vereinbaren. Dies bedeutet auch, dass sich der NAO Einfluss auf die Vegetationsentwicklung am bedeutendsten in Norddeutschland und Dänemark manifestieren sollte. So präsentieren Maak und v. Storch (1997) eine Analyse basierend auf kanonischen Korrelationen zwischen dem Blühdatum des Schneeglöckchens (*Galanthus nivalis*) an 74 Beobachtungsorten in Schleswig-Holstein und den monatsgemittelten Temperaturfeldern im Januar, Februar und März über Mitteleuropa. Das erste kanonische Korrelationsmuster der Temperaturwerte ist sehr ähnlich dem aus Abb.(2). Dies lässt die Vermutung zu, dass die Blühentwicklung des Schneeglöckchens auch von der NAO beeinflusst wird. Eine spezifischere Untersuchung findet man in Gormsen et al. (2005). Hier wird der Zusammenhang zwischen der winterlichen NAO und dem Blühdatum der Vogelkirsche (*Prunus avium*) sowie dem Beginn des Pollenflugs bei der Birke (*Betula*) untersucht. Dabei ist die Beziehung zwischen dem Blühdatum von *Prunus* und der NAO so groß, dass sogar eine Vorhersage des Blühbeginns durch den Winter-NAO Index möglich ist (Gormsen et al., 2005).

Aber auch die Gebiete in Abb.(2) mit geringeren erklärten Varianzen wie z.B. im europäischen Südosten (Raum Ungarn, Slowenien) werden durch entsprechende Einzeluntersuchungen gestützt. So zeigen Bergant et al. (2002) einen signifikanten Einfluss der NAO auf den Blühbeginn des Löwenzahns (*Taraxacum officinale*) für Beobachtungen an etwa 20 Orten in Slowenien auf.

Diese Beispiele beziehen sich alle auf botanische Phänologie. Es gibt jedoch auch umfangreiche Untersuchungen zum Verhalten von Tieren, insbesondere Zugvögeln bezüglich des NAO Status. Hüppop und Hüppop (2003) berichten, dass die mittlere Ankunftszeit von Zugvögeln auf Helgoland während ihrer Wanderung nach Skandinavien deutlich mit den Schwankungen der NAO zusammenhängt. So führt eine positive NAO Phase bei 23 von 24 untersuchten Vogelarten zu einer früheren Ankunftszeit in den Fallen der Vogelwarte Helgoland. Die Korrelationen mit der NAO sind deutlich stärker als mit der lokalen Temperaturvariation. Zugvögel mit langen Wanderungswegen werden stärker beeinflusst als die, die kurze und mittlere Entfernungen zurücklegen. Beides deutet darauf hin, dass es das großskalige atmosphärische Anomalienmuster ist, das die Dauer der Zugvogelwanderung modifiziert. Diese Ergebnisse sind robust, da Beobachtungen mindestens seit

1960 zum Teil sogar seit 1909 vorliegen. Vähätalo et al. (2004) finden vergleichbare Ergebnisse für Beobachtungen an 81 Zugvogelarten in Finnland für den Zeitraum 1970-1999.

Die Ursache ist vermutlich eine Kombination von Temperaturvariationen in den Überwinterungsgebieten und / oder den Windverhältnissen während der Wanderung. So ergibt Abb.(5) für alle Zugrouten im Westen ab der iberischen Halbinsel eine Rückenwindkomponente, die die frühere Ankunftszeit erklären könnte. In Cotton (2003) wird allerdings auch gezeigt, dass sowohl die Ankunftszeiten von Zugvögeln in Großbritannien als auch deren Abflugzeiten aus den Überwinterungsquartieren südlich der Sahara signifikant mit den afrikanischen Temperaturanomalien südlich von 20°N zusammenhängen, was in diesem Fall einen Einfluss der NAO ausschliesse.

5 NAO und aquatische Ökosysteme

Der letzte Abschnitt hat sich mit den Auswirkungen der NAO auf terrestrische Ökosysteme befasst. Aber so wie NAO bezogene Temperaturvariationen durch die damit verbundenen anomalen Energie- und Wasserflüsse die phänologischen Schwankungen erklären können, erzeugen die gleichen Variationen der atmosphärischen Zirkulation natürlich auch Änderungen in den kontinentalen Süßwassersystemen. Gerten und Adrian (2001) diskutieren anhand der drei Seen Müggelsee, Stechlinsee und Heiligensee die Effekte des winterlichen NAO Antriebs. Bei allen drei Seen werden die Temperaturen der oberen Wasserschichten im Spätwinter und im Frühjahr von der NAO beeinflusst. Dieser Einfluss verschwindet mit der Stabilisierung der oberen Wasserschichten im späten Frühjahr. Ein Überdauern des winterlichen Signals in den tieferen Wasserschichten hängt entscheidend von der Art der Durchmischung der Wassersäule ab: der relativ flache Müggelsee mit Durchmischungsvorgängen während des gesamten Jahres verliert schon mit dem Ende des Frühjahrs die winterliche NAO Information. Der ebenfalls flache, aber nur im Frühjahr (und Herbst) durch vertikale Mischungsprozesse beeinflusste Heiligensee kann das winterliche NAO Signal in der Wassertemperatur bis zum Sommer erhalten. Dagegen zeigt der sehr viel tiefere und ebenfalls nur im Frühjahr und Herbst durch die Mischungsvorgänge beeinflusste Stechlinsee eine signifikante Korrelation der Temperatur der tiefen Wasserschichten mit der NAO während des gesamten Jahres. Allerdings schwächt sich dieser Zusammenhang im Laufe des Jahres ab. Eine umfangreiche Diskussion des Einflusses der NAO auf Süßwasserseen in den mittleren Breiten der Nordhemisphäre findet sich in Straile et al. (2003). Die kohärente Entwicklung der Seetemperaturen in 12 tiefen europäischen Seen mit der NAO während der letzten 20 Jahre wird in Dokulil et al. (2006) dokumentiert. Als Ergebnis finden die Autoren einen erklärte Varianz des linearen Zusammenhangs von im Mittel ca. 30% (Korrelationskoeffizient ca. 0.55) für die Wassertemperaturschwankungen in europäischen Seen in Tiefen von 40 bis 100m.

Diese Temperaturschwankungen haben natürlich einen direkten Einfluss auf die Biologie in einem See. So berichten Weyhenmeyer et al. (1999) über die Variabilität des Phytoplanktons in Konzentration und Zusammensetzung in einem See in Südostschweden. Alle lokalen Parameter, die die Dynamik des Planktons bestimmen, wie Lufttemperatur, Aufbrechen der Eisdecke oder die Nährstoffflüsse werden in hohem Maße durch die NAO gesteuert, so dass auch letztlich die Planktonvariabilität von der winterlichen NAO Veränderlichkeit dominiert wird. Ein positiver NAO Zustand führt dabei tendenziell zu einem früheren Einsetzen der Phytoplanktonblüte im Frühjahr. Weyhenmeyer et al. (2002) präsentieren einen Überblick über 17 europäische Seen und deren beobachtete Phytoplanktonveränderlichkeit im Zusammenhang mit der NAO. Durance und Ormerod (2007) können sogar einen Einfluss auf die Artenzusammensetzung von wirbellosen Wassertieren in englischen Fließgewässern beobachten.

6 NAO und Land-und Fischereiwirtschaft

Die bisher beschriebenen Auswirkungen der NAO bezogen sich auf natürliche Systeme, die wenig oder gar nicht ökonomisch genutzt werden. Aber natürlich hat die NAO über ihre Modifikation der bodennahen Lufttemperatur auch einen Einfluss auf die Phänologie von Nutzpflanzen. Von besonderem Interesse sind dabei die landwirtschaftlichen Erträge. So haben Kettlewell et al (1999) und (2003) einen Zusammenhang zwischen der Winter NAO und der Qualität von Weizen in Großbritannien gefunden, der so deutlich ist, das man ihn zur Vorhersage nutzen kann (<http://www.harper-adams.ac.uk/groups/crops/wheat/>). Die Zuwachsraten von Biomasse bei Gras in Großbritannien und ihr Zusammenhang mit der winterlichen NAO einerseits und der sommerlichen Bodenfeuchte andererseits wird in Kettlewell et al. (2006) diskutiert. Immerhin kann der winterliche NAO Index etwa ein 20% der jährlichen Variabilität der Graswachstumsraten an dem betrachteten Standort in Mittelengland erklären. Allerdings ist dies wahrscheinlich spezifisch für Großbritannien, da entsprechende Zusammenhänge für Kontinentaleuropa nicht nachweisbar sind (Quian und Saunders, 2003).

Die Dokumentationen der Effekte der NAO auf ozeanische Ökosysteme und die Erträge aus dem Hochseefischfang sind außerordentlich vielfältig in der Literatur. Sie werden gut charakterisiert durch den einleitenden Satz in dem Überblicksartikel von Drinkwater et al (2003): "It is well known that fish respond to changes in ocean climate". So beschreiben Alheit et al.(2005) die kohärenten Verschiebungen in den ökologischen Systemen der Nord- und Ostsee. Es finden sich NAO induzierte Variationen des Phyto- und Zooplankton, des Benthos und der Fischbestände, hier insbesondere von Makrele, Kabeljau oder Hering. Variationen der Planktondichte und Zusammensetzung beobachtet man auch auf dem offenen Atlantik (Beaugrand et al., 2002). Vor dem Hintergrund der oben beschriebenen Änderungen der Wassertemperaturen und des Windfeldes sind diese Effekte aber verständlich. Noch mehr Details zum Einfluss der NAO auf den physikalischen Zustand des Nordatlantiks finden sich in Visbeck et al. (2003). Weitere Zusammenstellungen der Auswirkung der NAO finden sich in Ottersen et al. (2001) in einer sehr ausführlichen Tabelle.

7 NAO und Wasser-und Elektrizitätswirtschaft

Die größten Einflüsse der NAO auf den Niederschlag in Europa findet man in Norwegen und auf der Iberischen Halbinsel. Die Niederschlagsschwankungen in Norwegen sind so erheblich, dass nicht nur der Abfluss aus Flüssen und Stauseen signifikant mit der NAO-Variabilität zusammenhängt, sondern auch die Stromproduktion durch Wasserkraftwerke (Cherry et al., 2005). Diese Autoren zeigen aber auch noch, dass der Verbrauch von Energie in Norwegen im Winter deutlich von der NAO beeinflusst wird. Dies ist eine direkte Konsequenz der NAO-bezogenen Temperaturvariation in Norwegen. Den Einfluss der NAO auf das Wassermanagement (Inhalt und Abgabe von Wasserspeichern) entlang des spanischen Teils des Rio Tejo für den Zeitraum 1957-2003 untersuchen u.a. Lopez-Moreno et al.(2007). Sie führen dies auf die starke zwischenjährige Veränderlichkeit des Niederschlags über der iberischen Halbinsel infolge der NAO zurück: hohe winterliche Niederschläge bei NAO minus Lagen führen i.a. zu geringeren notwendigen Wasserabgaben aus den Speichern und umgekehrt, um durch Wassermanagement einen möglichst gleichmässigen Gebrauch in den Jahreszeiten Frühjahr und Sommer zu ermöglichen.

8 Zusammenfassung

Diese Zusammenstellung der Auswirkung der NAO auf Systeme höchst unterschiedlicher Natur zeigt die Bedeutung der NAO für Mensch, Tier und Pflanze in Europa auf. Ein tieferes Prozessverständnis der physikalischen Abläufe des NAO Zyklus könnte auch eine verbesserte Vorhersagbarkeit bedeuten. In diesem bislang noch hypothetischen Fall wäre eine Jahreszeitenvorhersage über 6 und mehr Monate von großem ökonomischen Interesse. Nicht hypothetisch ist dagegen eine kurzfristige Jahreszeitenvorhersage vom Winter in das kommende Frühjahr. Wenn Mitte bis Ende Februar der Zustand der winterlichen NAO abgeschätzt werden kann, sollte zumindest für Teile des nördlichen Mitteleuropas und Skandinaviens eine statistische Vorhersage der bodennahen Lufttemperaturanomalie und der daraus sich ergebenden Anomalien in der Biosphäre möglich sein.

9 Literatur

- Alheit J., C. Möllmann, J. Dutz, G. Kornilovs, P. Loewe, V. Mohrholz, and N. Wasmund (2005): Synchronous ecological regime shifts in the central Baltic and the North Sea in the late 1980s, *Journal of Marine Science*, 62, 1205-1215
- Beaugrand, G., P.C. Reid, F. Ibanez, J.A. Lindley, M. Edwards (2002): Reorganization of North Atlantic Marine Copepod Biodiversity and Climate, *Science*, 296, 1692-1694
- Bergant K., L. Kajfez-Boga, Z. Crepinsek (2002): The Use of EOF Analysis for Preparing the Phenological and Climatological Data for Statistical Downscaling - Case Study: The Beginning of Flowering of the Dandelion (*Taraxacum officinale*) in Slovenia, in: *Developments in Statistics* Andrej Mrvar and Anuska Ferligoj (Editors) Metodološki zvezki, 17, Ljubljana
- Cherry J., H. Gullen, M. Visbeck, A. Small, C. Uvo (2005): Impacts of the North Atlantic Oscillation on Scandinavian Hydropower Production and Energy Markets, *Water Resources Management*, 9, 673-691
- Cook B.I., T.M. Smith, M.E. Mann (2005): The North Atlantic Oscillation and regional phenology prediction over Europe, *Global Change Biology*, 11, 919-926, doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.00960.x
- Dokulil M.T., A. Jagsch, G.D. George, O. Anneville, T. Jankowski, B. Wahl, B. Lenhart, T. Blenckner, K. Teubner (2006): Twenty years of spatially coherent deepwater warming in lakes across Europe related to the North Atlantic Oscillation, *Limnol. Oceanogr.*, 51, 2006, 2787- 2793
- Drinkwater K.F., A. Belgrano, A. Borja, A. Conversi, M. Edwards, C.H. Greene, G. Ottersen, A.J. Pershing, H. Walker (2003): The Response of Marine Ecosystems to Climate Variability Associated With the North Atlantic Oscillation, in *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact* Geophysical Monograph, American Geophysical Union
- I. Durance and S.J. Ormerod (2007): Climate change effects on upland stream macroinvertebrates over a 25-year period, *Global Change Biology*, 13, 942-957, doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01340.x
- Gerten D. and R. Adrian (2000): Climate-driven changes in spring plankton dynamics and the sensitivity of shallow polymictic lakes to the North Atlantic Oscillation, *Limnol. Oceanogr.*, 45, 1058-1066
- Glowienka, R., (1985): Studies on the variability of Icelandic Low and Azores High between 1881 and 1983. *Beitr. Phys. Atmosph.* 58, 160-170.
- Glowienka-Hense, R. (1990): The North Atlantic Oscillation in the Atlantic European SLP. *Tellus* 42A (1990).
- Gormsen A.K., A. Hense, T.B. Toldam-Andersen, P. Braun (2005): Large scale climate variability and its effects on mean temperature and flowering time of *Prunus* and *Betula* in Denmark, *Theor. Appl. Climatol.*, 82, 41-50
- Hüppop O. und K. Hüppop (2003): North Atlantic Oscillation and timing of spring migration in birds, *Proc. R. Soc. Lond. B*, 270, 233 240

- Kettlewell PS, Sothorn RB and Koukkari WL. (1999) UK wheat quality and economic value are dependent on the North Atlantic Oscillation. *Journal of Cereal Science* 29, 205-209.
- Kettlewell PS, Stephenson DB, Atkinson MD and Hollins PD (2003) Summer rainfall and wheat grain quality: relationships with the North Atlantic Oscillation. *Weather* 58, 155-163.
- Lamont-Doherty Earth Observatory, (2008) <http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO/pamphlet.html>
- Lopez-Moreno J.I., Begueria S., Vicente-Serrano, S.M., Garcia-Ruiz, J.M.(2007): Influence of the North Atlantic Oscillation in central Iberia: Precipitation, streamflow anomalies, and reservoir management strategies, *Water Resource Research*, 43, W09411, doi:10.1029/2007WR005864.
- Maak K. und H. v. Storch (1997): Statistical downscaling of monthly mean air temperature to the beginning of flowering of *Galanthus nivalis* L. in Northern Germany, *Intern. J. Biometeorology*, 41, 5-12, doi 10.1007/s004840050046
- Mächel, H., Kapala, A. and Flohn, H., (1998): Behaviour of the Centres of Action above the Atlantic since 1881. Part I: Characteristics of Seasonal and Interannual Variability. *International Journal of Climatology*, 18, 1-22.
- Menzel A., T.H. Sparks, N. Estrella, S. Eckhardt (2005): "SSW - NNE" -North Atlantic Oscillation affects progress of seasons across Europe, *Global Change Biology*, 11,909-918, doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.00954.x
- Mitchell, T.D, Jones, 2005: An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids, *International Journal of Climatology*, 25,693 - 712, DOI:10.1002/joc.1181
- New, M., Hulme M., Jones Ph., (2000): Representing Twentieth-Century Space-Time Climate Variability. Part II: Development of 1901-96 Monthly Grids of Terrestrial Surface Climate. *Journal of Climate*, 13, 2217-2238.
- Ottersen G., B. Planque, A. Belgrano, E. Post, P. C. Reid, N. C. Stenseth (2001): Ecological effects of the North Atlantic Oscillation, *Oecologia*, 128,1-14 DOI 10.1007/s004420100655
- Paeth, H.; Hense, A.; Glowienka-Hense, R.; Voss, R., Cubasch, U. (1999): The North Atlantic Oscillation as an indicator for greenhouse-gas induced climate change. *Climate Dynamics*. 15, 953-960.
- Qian, B. D. und Saunders, M. A. (2003): Summer UK temperature and its links to preceding Eurasian snow cover, North Atlantic SSTs and the NAO. *J. Clim.* 16, 4108-4120.
- Rayner, N. A., Parker, D. E., Horton, E. B., Folland, C. K., Alexander, L. V., Rowell, D. P., Kent, E. C., Kaplan, A. (2003): Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century *J. Geophys. Res.* Vol. 108, No. D14, 4407 DOI 10.1029/2002JD002670
- Vähätalo A.V., Rainio K., Lehikoinen A. and Lehikoinen E. (2004): Spring arrival of birds depends on the North Atlantic Oscillation, *J. of Avian Biology* 35: 210-216
- Visbeck M., E.P. Chassignet, R. Curry, T. Delworth, B. Dickson, G. Krahnmann (2003): The Ocean's Response to North Atlantic Oscillation Variability, in *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact Geophysical Monograph*, American Geophysical Union
- Weyhenmeyer G.A., T. Blenckner, K. Petterson (1999): Changes of the plankton spring outburst related to the North Atlantic Oscillation, *Limnol. Oceanogr.*, 44, 1788-1792
- Weyhenmeyer G.A, R. Adrian, U. Gaedke, D.M. Livingstone, S.C. Maberly(2002): Response of phytoplankton in European lakes to a change in the North Atlantic Oscillation, *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 28, 1436-1439
- Woodruff, S.D., R.J. Slutz, R.L. Jenne, and P.M. Steurer, 1987: A comprehensive ocean-atmosphere data set. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 68, 1239-1250.