

**Endbericht zum Vorhaben
Diagnose, mittelfristige Vorhersagbarkeit und
Auswirkungen der Nordatlantischen
Oszillation im europisch-atlantischen Raum:
Raum-zeitliche Dynamik der NAO
Förderkennzeichen 01LA9860/2**

Meteorologisches Institut Universität Bonn

Juni 2000

1 Darstellung der Projektdurchführung

1.1 Aufgabenstellung, Voraussetzungen, Planung und Ablauf

Im Antrag des Projektes waren die Ziele und Aufgaben für drei wissenschaftliche Mitarbeiter (50 % BAT IIa) formuliert worden. Diese betrafen

- die statistisch - dynamischen Untersuchungen zur raum-zeitlichen Struktur der Nordatlantischen Oszillation (NAO) auf Zeitskalen von 10 bis 100 Tagen.
- die statistisch - dynamischen Untersuchungen zum Einfluss steigender Treibhausgas (THG-) Konzentrationen auf das raum-zeitliche Verhalten der NAO.

Das erste Ziel wurde dabei noch einmal unterteilt in die Auswertung von Beobachtungs- und Simulationsdaten einerseits und nichtlineare Systemstudien mit Hilfe vereinfachter Zirkulationsmodelle andererseits.

Genehmigt wurden zwei wissenschaftliche Mitarbeiterstellen (50% BAT IIa), so dass eine Konzentration der Ziele und des Arbeitsplanes erfolgen musste. Hierzu wurde die nichtlineare Systemstudie mit Hilfe des reduzierten ECHAM3 Modells, das am Institut für Atmosphärenphysik in Kühlungsborn entwickelt wurde und wird, ersatzlos gestrichen. Tragischerweise starb auch noch Ende 1997 unser Kollege Prof. Dr. H.-D. Schilling, der als Experte vor Ort für niedrigdimensionale, vereinfachte Systeme mit im Antrag erwähnt wurde. Bei der Analyse der Beobachtungs- und Simulationsdaten wurde desweiteren der Schwerpunkt auf die Auswertungen der beobachteten Tageswerte gelegt, da andere Arbeiten innerhalb der Arbeitsgruppe Klimadynamik am Meteorologischen Institut (Friederichs, 2000) gezeigt haben, dass langfristige Änderungen der NAO mit Amplituden vergleichbar denen aus Beobachtungen in einem langjährigen Kontrolllauf des ECHAM3-T21/LSG Modells nicht auftreten. Um die raum-zeitliche Struktur der NAO auf Zeitskalen zwischen 10 und 100 Tagen zu beschreiben, wurden deshalb verschiedene multivariate statistische Ansätze für die Beobachtungsdaten geprüft, mit denen aus den täglich vorliegenden Bodendruckwerten seit 1. Januar 1881 das intrasaisonale Verhalten der realen langfristigen NAO Variabilität sowie auch anderer Strukturen im europäisch - atlantischen Raum untersucht wurde. Diese Arbeiten erfolgten natürlich in enger Absprache mit dem zweiten NAO Projekt (Auswirkungen der NAO im atlantisch -europäischen Raum: Bedeutung natürlicher Klimavariabilität am Beispiel des Obstbaus, 01 LA9849/5) und in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Speth/Ulbrich am Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität zu Köln (IGM-Köln). Die Analyse der erzeugten täglichen Indexwerte erfolgte mit Hilfe klassischer Spektralanalyse, nichtlinearen Methoden der Zeitreihenanalyse (Mandelbrot, 1983) und einer im Rahmen einer Diplomarbeit (Berner, 1999) entwickelten Methode der Schätzung von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen im Phasenraum der Indexwerte. Hierdurch können nun längere Zeitreihen als z.B. in der Arbeit Corti et al. (1999) genutzt werden, die Änderungen in der Wahrscheinlichkeitsdichte grossräumiger Klimavariabilität als ein Resultat der steigenden THG Konzentrationen postulieren.

Das zweite Ziel zum Einfluss steigender THG Konzentrationen auf die raum-zeitliche Dynamik der NAO auf Zeitskalen von Jahren bis mehreren Jahrzehnten konnte noch wesentlich erweitert werden dank der engen Kooperation mit der Arbeitsgruppe Speth/Ulbrich

am IGM Köln und der Modellbetreuungsgruppe (MBG) von Dr. Ulrich Cubasch am (damaligen) DKRZ. So wurde in Zusammenarbeit mit der MBG (Dr. R. Voss) ein Ensemble von vier Szenario Simulationen für den Zeitraum 1880-2050 mit dem ECHAM3-T21 / LSG Modell erstellt. Diese Vorgehensweise hat sich als dringend notwendig erwiesen, um zufällige Variationen bei der Bestimmung von *climate-change* Signalen insbesondere auf der regionalen Skala von den durch steigende THG Konzentrationen erzeugten Änderungen statistisch einwandfrei abzutrennen. In Zusammenarbeit mit dem IGM-Köln (Dr. M. Christof) konnten auch noch weitere *climate - change* Modellsimulationen mit dem ECHAM4-T42 / OPYC Modell ausgewertet werden, die dann schliesslich in einer Arbeit zum systematischen Vergleich der NAO / Arktischen Oszillation AO von drei climate-change Ensemble Simulationen mündeten (in Zusammenarbeit mit Dr. John Fyfe Canadian Climate Center in Victoria und Dr. Katherine Senior and Ruth McDonald vom Hadley Center of Climate Prediction and Research in Bracknell):

- ECHAM3-T21 - LSG, 4 Realisierungen 1880-2050
- HadCM2, 4 Realisierungen 1860 - 2100
- CCC, 3 Realisierungen 1900 - 2099.

Intensiver Austausch zur Variabilität der NAO / AO fand auch mit französischen Arbeitsgruppen statt insbesondere mit Dr. Laurent Terray CERFACS in Toulouse. So nahm Herr Dipl.Geogr. H. Paeth als einziger ausländischer Wissenschaftler teil an zwei französischen Informationstreffen zur Variabilität im nordatlantisch-europäischen Raum.

Die verwendete Fachliteratur wird in der eingehenden Darstellung der Einzelergebnisse aufgeführt.

2 Eingehende Darstellung

In den folgenden beiden Unterabschnitten werden die erzielten Ergebnisse zu den beiden oben angegebenen Zielen detailliert dargestellt. Mitaufgeführt sind Vorträge und Poster, in denen die Ergebnisse einem breiten wissenschaftlichem Publikum vorgestellt wurden. Im Rahmen der Arbeiten zum zweiten Ziel (THG Einfluss auf die NAO) wurden bereits zwei Publikationen zur Veröffentlichung akzeptiert bzw. sind bereits erschienen. Eine dritte Arbeit über den Vergleich der NAO/AO Reaktionen auf steigende THG Konzentrationen in drei Klimamodellen ist unmittelbar vor dem Abschluss. Die Arbeit über den THG Einfluss auf die NAO wird wahrscheinlich Bestandteil des Kapitels 9 "Projections of Future Climate Change" des Third Assessment Report des IPCC.

Die Arbeiten mit den täglichen NAO Indexwerten deuten auf ein komplexes Verhalten bezüglich der Vorhersagbarkeit hin, so dass z.Z. für eine optimistische Betrachtung der Vorhersagemöglichkeiten wenig Anlass besteht.

NAO-bedingte Trendwerte und Bestimmtheitsmass: SLP
Analysedaten 1949-1994, Jahresmittelwerte

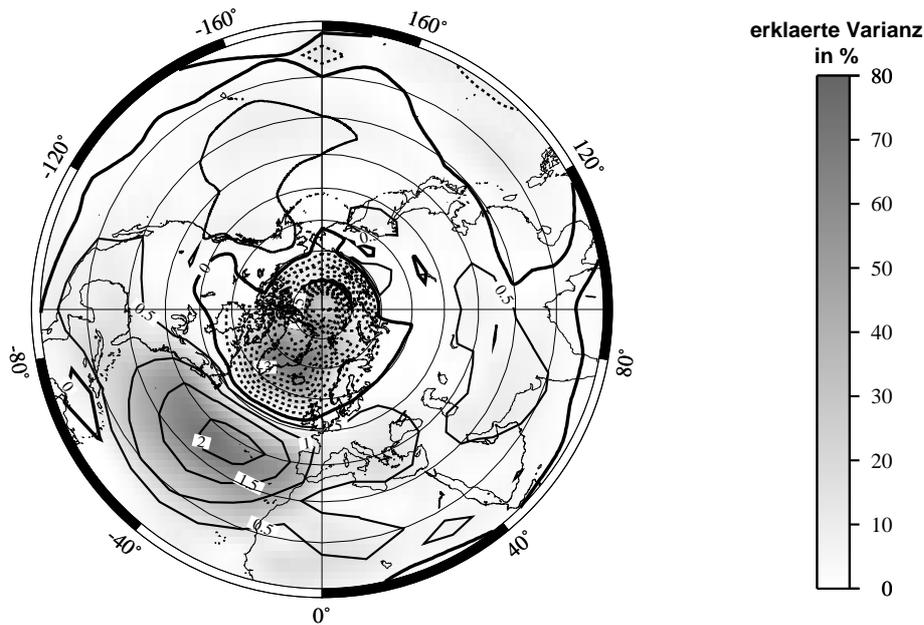


Abbildung 1: Typische räumliche Struktur der Nordatlantischen Oszillation im Bodendruckfeld, die Konturlinien stellen den Koeffizienten der linearen Regression zwischen Bodendruck und NAO Index dar, multipliziert mit der zweifachen Standardabweichung des NAO Index, so dass eine typische Bodendruckanomalie (Einheiten in hPa) dargestellt ist, die im Fall eines positiven NAO Index vorliegt. Die schattierten Flächen geben die durch die lineare Regression erklärable Varianz in % an.

2.1 Raum-zeitliche Dynamik der NAO auf Zeitskalen 10 - 100 Tage

Dr. Olaf Stein, *Meteorologisches Institut der Universität Bonn*

Die statistische Erfassung der NAO Dynamik auf der subsaisonalen Zeitskala erfolgte durch Auswertung der täglichen Bodendruckfelder im atlantisch-europäischen Raum $70^{\circ}W - 60^{\circ}E$ und $20^{\circ}N - 70^{\circ}N$. Während auf räumlich kleinen Skalen (etwa einzelner Tiefdruckgebiete) diese Daten nicht unproblematisch sind, interessieren hier die tägliche Variation großskaliger Felder, die auch durch eine vergleichsweise grobe Erfassung durch Beobachtungsstationen noch gut beschrieben werden können.

2.1.1 Daten und räumliche Filterungen

Es wurden deshalb zwei verschiedene Verfahren angewandt, diese grossräumigen Variationen aus den Daten zu extrahieren. Im ersten Fall wurde ausgehend von der Jahreszeitskala (speziell der Winter Dezember - Januar) das typische Muster der NAO im Bodendruck definiert. Hierzu wurde der NAO Index DJF nach Glowienka (1985) mit den beobachteten Winterfelder des Bodendrucks im oben beschriebenen Sektor korreliert. Die Abb.(1) zeigt das Feld des Regressionskoeffizienten ausgedrückt als typische Bodendruckanomalie im Fall

einer positiven Anomalie des NAO Index von 2 Standardabweichungen. Schattiert unterlegt ist der lokal durch diese lineare Regression erklärte Varianzanteil der Gesamtvariationen des Bodendrucks an dem entsprechenden Gitterpunkt. In einem zweiten Schritt wird dann das Feld der Regressionskoeffizienten auf die täglichen Bodendruckwerte projiziert, so dass für jeden Wintertag zwischen 1. Dezember und 5./6. März (insgesamt 96 Tage zu Anwendung einer Fast Fourier Transformation) der Jahre 1881/82 bis 1993/94 der Anteil bestimmt wird, der im Jahreszeitenmittel optimal mit dem NAO Index korreliert ist. Die wesentliche Voraussetzung, die mit dieser Methode gemacht wird, ist die Stationarität der NAO Struktur im Raum. Um diese Voraussetzung zu lockern und die NAO Dynamik auch mit den restlichen Variabilitätsanteilen im atlantisch-europäischen Raum in Bezug zu setzen, wurde in einem zweiten Ansatz aus tiefpassgefilterten Bodendruckfeldern (cut-off Perioden ca. 7 Tage) Empirische Orthogonalfunktionen berechnet. Dabei zeigte sich, dass die typische NAO Mode (z.B. Abb.1 oder Glowienka-Hense, 1990) sich als robuste 1. EOF etabliert, sofern cut-off Perioden oberhalb von 7 Tagen verwendet werden. Die Amplituden der ersten drei EOF's der tiefpassgefilterten Bodendruckreihen bestimmt durch Projektion auf die ungefilterten Tageswerte stellen dann den zweiten Datensatz dar, mit dem die täglichen Bodendruckfelder räumlich komprimiert werden und die zeitliche Dynamik der NAO untersucht werden kann. Beide Datensätze sind auf Anfrage erhältlich. Größere Probleme gab es bei der Berücksichtigung von räumlichen Lücken (Gitterpunkte ohne Werte) in beiden Ansätzen. Während sich nach längerem Experimentieren bei der ersten Methode (stationäre NAO Struktur) ein least-squares Verfahren als das beste herausstellte, wurden im zweiten Verfahren (EOF's aus tiefpassgefilterten Daten) die besten und stabilsten Resultate erzielt, wenn man sich auf die vollständig vorhandenen Daten zurückzog (minimales Gitter). Dadurch erhält man knapp 12000 Tageswerte im ersten Fall, während sich mit dem zweiten Verfahren aus immerhin noch etwa 10000 Tagen (Dezember - Februar) die Amplituden der EOF's schätzen liessen.

2.1.2 Zeitreihenanalyse

Neben den Standardanalyseverfahren (Berechnung der Autokorrelation, Spektren) angewandt auf jedes Wintersegment von 96 Tagen wurden die Daten, die nach der ersten Methode gewonnen wurden, einer sogenannten rescaled - range oder R/S Analyse unterworfen (Mandelbrot, 1975,1983). Hierbei wird aus den Daten der sogenannte Hurst - Exponent $H \in]0, 1]$ (Hurst, 1955) extrahiert, der für stochastische Systeme mit kurzem Gedächtnis (wie weissem oder rotem Rauschen) den Wert $= 0.5$ annimmt. In stochastische Systeme mit sehr langem Gedächtnis oder mit nichtperiodischen Zyklen findet man den Hurst-Exponenten $H > 0.5$. Persistenz ist dann nicht beschränkt auf kurze Zeitskalen (wie beim roten Rauschen) sondern kann sich auch mittelfristig und langfristig bemerkbar machen. Nichtperiodische Zyklizitäten (gewonnen z.B. aus Spektral- oder Trendanalysen) lassen sich dann grundsätzlich nicht auf längere Zeiträume extrapolieren. Hurst (1955) hat für lange Reihen von Abflussmessungen Werte zwischen 0.5 (beim Rhein) und 0.9 (beim Nil) gefunden.

Abb.2 fasst die spektralanalytischen Betrachtung zusammen. Die Abbildung links oben zeigt die mittleren Spektren von je zwanzig 96 Tage Wintersegmente des Zeitraums 1881 - 1994, in denen der mittlere Winter (DJF) NAO Index besonders positiv (Index high) bzw. besonders negativ (Index low) war. Der Jahresgang ist aus den einzelnen Jahren mit Hilfe einer Polynomannpassung entfernt worden. Im Frequenzbereich $\frac{1}{48} - \frac{1}{16}d^{-1}$ ist das mittlere low-