

# **Abschlussbericht Förderkennzeichen 01LD0030 “Dynamik der niederfrequenten Änderungen in der NAO“**

**Projektleiter: Prof. Dr. Mojib Latif**

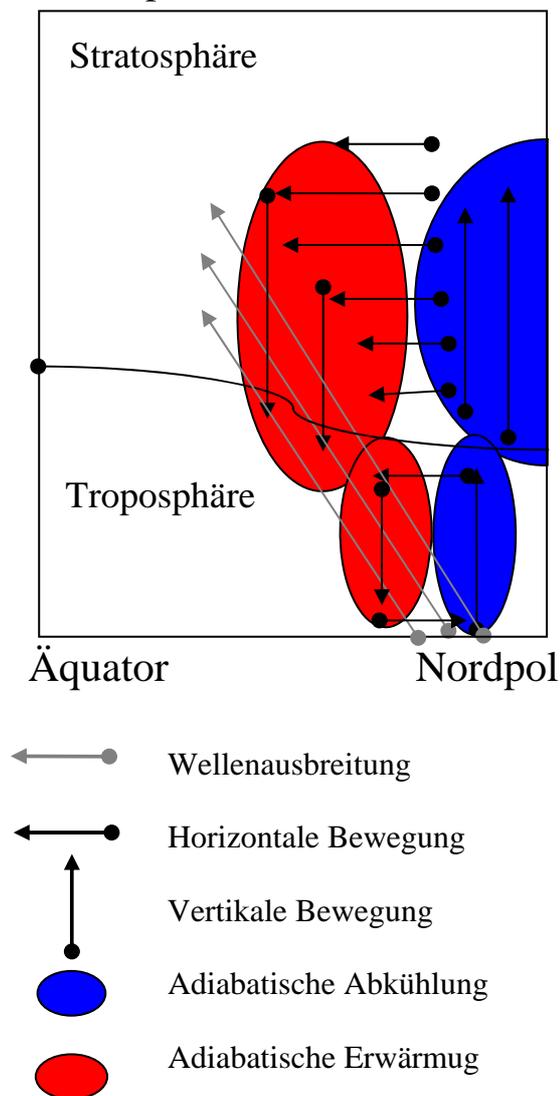
In dem Projekt wurden zahlreiche Studien zur Dynamik der Nordatlantischen Oszillation (NAO) durchgeführt. Dabei stand die Frage im Vordergrund, wie „niederfrequent“, d.h. langperiodische, Veränderungen der NAO angeregt werden können. Unter „niederfrequent“ werden hier die Zeitskalen von einigen Monaten bis hin zu Jahrzehnten verstanden, also die Zeitskalen, die deutlich über die Wetterzeitskalen hinausgehen. Es wurde eine Reihe von Publikationen im Rahmen des Projekts erstellt, die im folgenden kurz beschrieben werden. Die Publikationen sind entweder bereits erschienen oder noch im Druck. Diese beziehen sich vor allem auf den ozeanischen Einfluss auf die NAO. Es wurde auch im Rahmen einer Doktorarbeit der stratosphärische Einfluss auf die NAO untersucht, der in diesem Bericht zuerst kurz beschrieben wird.

## **Einfluss der Stratosphäre**

Es wurde unter anderem die Dynamik des Einflusses der Stratosphäre auf die Troposphäre im Zusammenhang mit dem Northern Annular Mode (NAM, Thompson and Wallace, 1998; 2000) untersucht. Dafür wurde die Mittlere Atmosphäre Version des ECHAM5-Modells (MECHAM5) mit einem Deckschichtozeanmodell gekoppelt. Das Modell gibt die beobachteten vertikalen Strukturen des NAM und des NAM-Index (NAMI) wieder. Unter Anwendung des winterlichen 10hPa-NAMI wurde eine Lag-Composite-Analyse (zwischen -

60 und 60 Tagen) durchgeführt. Diese zeigt eine signifikante Zunahme und abwärts gerichtete Ausbreitung sowohl der positiven Anomalien des zonal gemittelten Zonalwinds als auch der Abkühlung in der polaren Atmosphäre während der Verstärkungsphase des NAMI. Bei Lag 0, wo der NAMI maximal ist, sind die Wind- und Temperaturanomalien sowohl in der Troposphäre als auch in der Stratosphäre zu finden. Ab Lag 0 aufwärts schwächen sich die beiden Anomalien zusammen mit dem NAMI stark ab.

### Die Anomalien der meridionalen Zirkulation in der Maturationsphase des NAMI



Um die Entwicklung der Wind- und Temperaturanomalien während der unterschiedlichen NAMI- Phasen dynamisch zu erklären, wurden weitere Analysen unter Anwendung der Impuls- und Wärmehaushaltsgleichungen in der TEM-Form (Transformed Eulerian Mean) sowie des Refraktionsindex durchgeführt. Aus diesen Analysen ließ sich Folgendes schließen: In der NAM-Verstärkungsphase werden die positiven Windanomalien in der mittleren und unteren Stratosphäre durch eine positive Anomalie des Wellen-Forcings verursacht und gegen eine negative Anomalie des Coriolis-Forcings (Äquatorwärtsbewegung) aufrechterhalten. Die positive Anomalie des Wellen-Forcings zeigt sich durch die Divergenz des Eliassen-Palm-Flusses (EP-Fluss) und wird durch eine positive Anomalie der äquatorwärts gerichteten Ablenkung der troposphärischen stationären Wellen verursacht. Die Anomalie der Äquatorwärtsbewegung (negatives Coriolis-Forcing) führt aus Kontinuitätsgründen zu einer positiven Anomalie der Vertikalbewegung in der unteren und mittleren polaren Stratosphäre und damit auch zu einer adiabatischen Abkühlung, was die Temperaturanomalien in diesem Bereich erklärt. Die positive Anomalie der Vertikalbewegung in der unteren und mittleren polaren Stratosphäre führt durch Anheben der Tropopause zu einer positiven Anomalie der Vertikalbewegung in der Troposphäre nördlich der Ferrel-Zelle. Dies führt zu einer adiabatischen Abkühlung, welche die Temperatur-Anomalie in diesem Bereich erklärt. Die positive Anomalie der Vertikalbewegung nördlich der Ferrel-Zelle führt aus Kontinuitätsgründen zu einer positiven Anomalie der Bewegung äquatorwärts (polwärts) in der oberen (unteren) Troposphäre und damit auch zu einer Verstärkung der Ferrel-Zelle. Die positiven Windanomalien in der unteren Troposphäre werden durch die positive Anomalie des Coriolis-Forcings (Äquatorwärtsbewegung) verursacht und gegen die negative Anomalie des Wellen- und Residual-Forcings aufrechterhalten. Die positiven Windanomalien in der oberen Troposphäre werden hauptsächlich durch die positive Anomalie des Residual-Forcings

verursacht und gegen die negative Anomalie des Coriolis-Forcings (Polwärtsbewegung) aufrechterhalten.

Die Analyse des Refraktionsindex zeigt ein positives Feedback zwischen den stratosphärischen Windanomalien und der meridionalen Ablenkung der troposphärischen stationären Wellen. Somit führt die Abschwächung der Windanomalien ab Lag 0 zur Abschwächung der Anomalie der äquatorwärtigen Ausbreitung der troposphärischen Wellen und damit auch zur Abschwächung des Wellen- und Coriolis-Forcings in der mittleren und unteren Stratosphäre sowie in der oberen Troposphäre. Aus Kontinuitätsgründen schwächen sich die Vertikalbewegungen in der polaren Stratosphäre und in der Troposphäre ab und damit auch die adiabatische Abkühlung. Dies erklärt die Abschwächung der Temperaturanomalien in der NAM-Abnahmephase.

## **Einfluss des Ozeans**

**Bader, J., and M. Latif, 2003:** Im Rahmen dieser Arbeit konnten wir zeigen, dass auch die Meeresoberflächentemperatur des Indischen Ozeans die mittleren Breiten im allgemeinen und die NAO im speziellen beeinflussen kann. Insbesondere haben wir mit Hilfe von gezielten Modellexperimenten demonstriert, dass der Aufwärtstrend der NAO in den letzten Jahrzehnten zumindest teilweise auf die Erwärmung des Indischen Ozeans zurückgeführt werden kann. Ein Einfluss des Indischen Ozeans auf die Atmosphäre der mittleren Breiten wurde bisher nicht diskutiert und diese Arbeit stellt daher einen wichtigen Fortschritt im Verständnis langperiodischer Schwankungen der NAO dar.

**Paeth, H., M. Latif, and A. Hense, 2003:** In dieser Arbeit wurde ein atmosphärisches Zirkulationsmodell mit beobachteten globalen Meeresoberflächentemperaturen angetrieben. Die Simulationen erfolgten im Ensemble-Modus, sodass man den Einfluss der Randbedingungen und der internen (chaotischen) Variabilität trennen kann. Das wesentliche Ergebnis dieser Studie besteht darin, dass die Variabilität der NAO auf den kurzen (interannualen) Zeitskalen im wesentlichen durch die interne, und damit nicht vorhersagbare Variabilität, dominiert wird, während auf den längeren (dekadischen) Zeitskalen ein deutlicher Einfluss der Randbedingungen zu verzeichnen ist. In sofern konnten wir zeigen, dass auf den dekadischen Zeitskalen ein gewisses Vorhersagepotential existiert.

**Latif, M., E. Roeckner, M. Botzet, M. Esch, H. Haak, S. Hagemann, J. Jungclaus, S. Legutke, S. Marsland, U. Mikolajewicz, and J. Mitchell, 2004:** Es wurde eine Simulation mit einem gekoppelten Ozean-Atmosphäre Modell ausgewertet, welche beträchtliche multidekadische Variabilität in der Meeresoberflächentemperatur (SST) des Nordatlantiks aufweist. Es konnte gezeigt werden, dass die multidekadische SST Variabilität durch Veränderungen der thermohalinen Zirkulation (THZ) zustande kommen. Die SST kann daher als Fingerabdruck für die Veränderungen der THZ dienen, um den Zustand der THZ, insbesondere eine etwaige Abschwächung infolge des anthropogenen Klimawandels, überwachen zu können.

**Pohlmann, H., M. Botzet, M. Latif, A. Roesch, M. Wild, and P. Tschuck, 2004:** Wir haben mit dem gleichen gekoppelten Ozean-Atmosphäre Modell klassische Vorhersagbarkeitsstudien durchgeführt, um das dekadische Vorhersagepotential abzuschätzen. Dabei wurde ausgehend von einer Kontrollsimulation das gekoppelte Modell mit kleinen Abweichungen neu gestartet und aus der Divergenz der Trajektorien das Vorhersagepotential abgeschätzt. Es konnte gezeigt werden, dass gerade im nordatlantischen