

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

Projektleiter: Prof. Dr. Mojib Latif

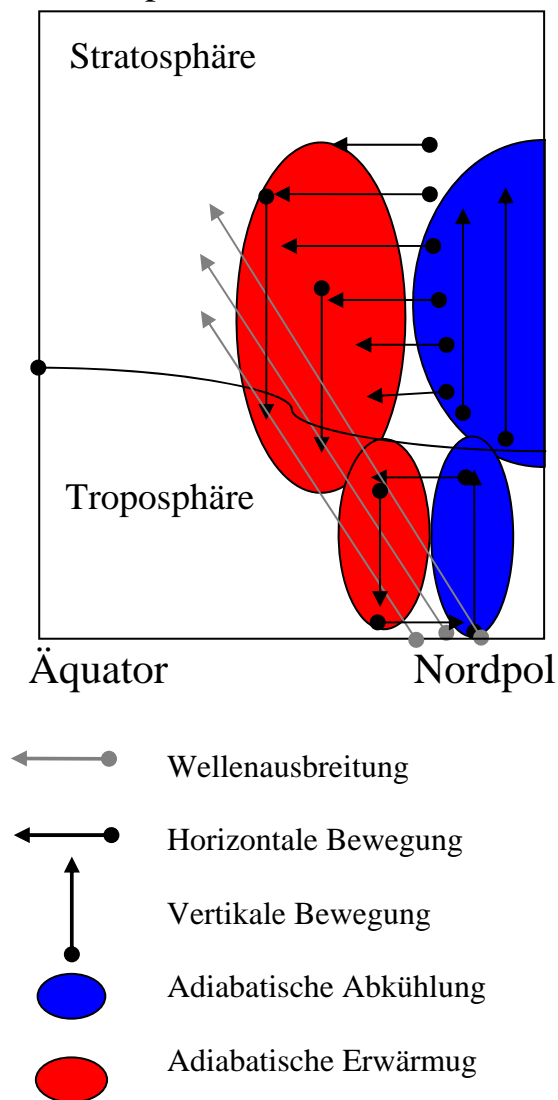
In dem Projekt wurden zahlreiche Studien zur Dynamik der Nordatlantischen Oszillation (NAO) durchgeführt. Dabei stand die Frage im Vordergrund, wie „niederfrequent“, d.h. langperiodische, Veränderungen der NAO angeregt werden können. Unter „niederfrequent“ werden hier die Zeitskalen von einigen Monaten 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

Raum ein enormes Vorhersagepotential auf den dekadischen Zeitskalen existiert, zumindest was die Meeresoberflächentemperatur angeht.

Bader, J., and M. Latif, 2005: In dieser Arbeit erklären wir, wie der Indische Ozean über seine SST die Atmosphäre der Nordhemisphäre beeinflusst. Dazu wurde eine Reihe von Experimenten mit einem gekoppelten Ozean-Atmosphäre Modell durchgeführt, indem Anomalien der SST im Indischen Ozean vorgegeben wurden. Es wird gezeigt, dass der Südasiatische Jet als Wellenleiter dienen kann und dadurch Anomalien bis in den nordatlantischen Raum übertragen werden können. Hierbei spielen sog. „circumglobale“ Fernwirkungen eine wichtige Rolle, die als Bindeglied zwischen Tropen und Extra-Tropen dienen.

Baquero-Bernal, A., and M. Latif, 2005: Um die Variabilität des Indischen Ozeans, die ihrerseits ja einen Einfluss auf die NAO ausübt, besser zu verstehen, haben wir uns Simulationen mit gekoppelten Ozean-Atmosphäre Modellen angesehen. Dabei wird ein beträchtlicher Teil der SST Variabilität durch Rossby Wellen erzeugt, die in der Region 5°S-10°S durch Windschubanomalien angeregt werden. Zu der Windanregung trägt im erheblichen Maße auch das El Nino/Southern Oscillation (ENSO) Phänomen bei, das die atmosphärische Zirkulation nicht nur über dem Pazifik sondern auch über den anderen beiden tropischen Ozeanen verändert.

Jungclaus, J., H. Haak, M. Latif, and U. Mikolajewicz, 2005: In dieser Studie wurde die multidekadische Variabilität im arktischen bzw. nordatlantischen Raum, die in einem gekoppelten Ozean-Atmosphäre Modell simuliert wird (siehe auch Latif et al. 2004), näher untersucht. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Frischwasserbilanz in der Arktis und der

Transport von Frischwasser in den Nordatlantik wichtige Beiträge zur multidekadischen Variabilität der THZ, und damit zur Variabilität des Oberflächenklimas des Nordatlantiks, liefern

Park, W., and M. Latif, 2005: Auch in dieser Arbeit ging es vor allem um die multidekadische Variabilität im Nordatlantik. Durch den Vergleich zweier gekoppelter Simulationen konnte der Effekt der Ozeandynamik auf die Variabilität im Nordatlantik herausgearbeitet werden. Dabei wurde das Atmosphärenmodell ECHAM einmal mit einem Deckschichtozean und einmal mit einem ozeanischen Zirkulationsmodell gerechnet. Wir konnten zeigen, dass die Muster in den beiden Simulationen deutlich verschieden sind und damit durch eine komplett andere Dynamik der Ozean-Atmosphäre Wechselwirkung bestimmt werden

Pohlmann, H., and M. Latif, 2005: In dieser Arbeit haben wir den Unterschied zwischen den Meeresoberflächentemperaturanomalien (SSTA) im tropischen Pazifik und im tropischen Atlantik hinsichtlich der Antwort der Atmosphäre untersucht. Dies geschah anhand von Ensemble-Integrationen mit dem atmosphärischen Zirkulationsmodell ECHM4. Ein wichtiges Ergebnis war dabei, dass sowohl SSTA im äquatorialen Pazifik wie auch im äquatorialen Atlantik einen Quadrupol im atmosphärischen Druckfeld erzeugen. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass der äquatoriale Atlantik im Sommer einen größeren Einfluss auf die Atmosphäre der mittleren Breiten ausübt als der Indo-Pazifik.

Bader, J., and M. Latif, 2006: In dieser Arbeit wurde der Einfluss der verschiedenen tropischen Ozeane auf den Niederschlag über dem westlichen Afrika und über der Sahel Region untersucht. Dabei ergab sich, dass entgegen der bisherigen Annahme, Veränderungen im Niederschlag Westafrikas nicht notwendigerweise durch eine Verlagerung bzw.

Intensivierung der Innertropischen Konvergenzzone (ITCZ) zustande kommen, sondern durchaus auch vom tropischen Atlantik und tropischen Indischen Ozean gesteuert werden können. So kann die Kombination von Meeresoberflächentemperaturanomalien in den beiden tropischen Ozeanen zu Niederschlagsmustern führen, die etwa wie eine Verlagerung oder eine Intensivierung der ITCZ aussehen.

Latif, M., M. Collins, H. Pohlmann, and N. Keenlyside, 2006: Bei dieser Arbeit handelt es sich um eine Übersichtsarbeit. Es werden die Mechanismen für dekadische Klimavariabilität im atlantischen Raum diskutiert und die Vorhersagbarkeit dieser Schwankungen erörtert. Insgesamt hat man große Fortschritte im Verständnis der dekadischen Klimavariabilität in den letzten Jahren erzielt. Da insbesondere der Nordatlantik eine wichtige Rolle in der Generierung der Variabilität spielt und damit das Gedächtnis des gekoppelten Systems im trägen Ozean liegt, existiert auch entsprechend hohes dekadisches Vorhersagbarkeitspotential.

Latif, M., H. Pohlmann, and W. Park, 2006: Bei dieser Arbeit handelt es sich auch um eine Übersichtsarbeit. Allerdings werden nur Ergebnisse, die mit dem gekoppelten Modell ECHAM5-MPIOM erzielt wurden, beschrieben. Die Resultate zeigen neben der Existenz der oben beschriebenen dekadischen Vorhersagbarkeit, dass eine mögliche anthropogene Änderung der nordatlantischen thermohalinen Zirkulation durch die starke interne multidekadische Variabilität für einige Jahrzehnte lang maskiert werden kann. Bei der Betrachtung des Klimas im nordatlantischen Raum für die nächsten Hundert Jahre muss man daher ein kombiniertes Anfangswert/Randwert Problem betrachten.

Pohlmann, H., F. Sienz, and M. Latif, 2006: Die starke multidekadische Variabilität im Bereich des Atlantiks hat auch signifikante Auswirkungen auf das Klima Europas. So ist etwa die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Oberflächentemperatur über Europa starken

Schwankungen unterworfen, abhängig davon in welcher Phase der thermohalinen Zirkulation (THZ) man sich befindet. So ist die Wahrscheinlichkeit für milde Winter deutlich erhöht, wenn die THZ anomal stark ist.

Aus dem Projekt hervorgegangene Publikationen

Bader, J., and M. Latif, 2003: The impact of decadal-scale Indian Ocean sea surface temperature anomalies on Sahelian rainfall and the North Atlantic Oscillation, *Geophys. Res. Lett.*, 30, doi:10.1029/2003GL018426

Paeth, H., M. Latif, and A. Hense, 2003: Global SST influence on twentieth century NAO variability. *Clim. Dyn.*, 21(1), 63-75.

Latif, M., E. Roeckner, M. Botzet, M. Esch, H. Haak, S. Hagemann, J. Jungclauss, S. Legutke, S. Marsland, U. Mikolajewicz, and J. Mitchell, 2004: Reconstructing, monitoring, and predicting multi-decadal-scale changes in the North Atlantic thermohaline circulation with sea surface temperature. *J. Climate*, 17, 1605-1614.

Pohlmann, H., M. Botzet, M. Latif, A. Roesch, M. Wild, and P. Tschuck, 2004: Estimating the decadal predictability of a coupled AOGCM. *J. Climate*, 17, 4463-4472.

Bader, J., and M. Latif, 2005: North Atlantic Oscillation response to anomalous Indian Ocean SST in a coupled GCM. *J. Climate*, 18, 5382-5389.

Baquero-Bernal, A., and M. Latif, 2005: Wind-driven Rossby waves in the tropical South Indian Ocean with and without an active ENSO. *J. Phys. Oceanogr.*, 35, 729-746.

Jungclauss, J., H. Haak, M. Latif, and U. Mikolajewicz, 2005: Arctic-North Atlantic interactions and multidecadal variability of the thermohaline circulation. *J. Climate*, 18, 4013-4031.

Park, W., and M. Latif, 2005: Ocean dynamics and the nature of air-sea interactions over the North Atlantic, 18, 982-995.

Pohlmann, H., and M. Latif, 2005: Atlantic versus Indo-Pacific influence on Atlantic-European climate. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L05707,doi:10.1029/2004GL021316.

Bader, J., and M. Latif, 2006: Combined Tropical Oceans Drive Anomalous Sub-Saharan West African Rainfall. *J. Climate*, in press.

Latif, M., M. Collins, H. Pohlmann, and N. Keenlyside, 2006: A review of predictability studies of Atlantic sector climate on decadal timescales.. *J. Climate*, in press.

Latif, M., H. Pohlmann, and W. Park, 2006: Predictability of the North Atlantic Thermohaline Circulation. In: "Predictability of Weather and Climate", T. N. Palmer and R. Hagedorn (Eds.), in press.

Pohlmann, H., F. Sienz, and M. Latif, 2006: Influence of the multidecadal Atlantic meridional overturning circulation variability on European climate. *J. Climate*, in press.