

**01 LD 0201 (Laufzeit des Projektes: 1.6.2002 -31.3.2006, vormals 01 LD 0009)**

Zwischenbericht für die Zeit 1.4.2002-31.03.2003

**KLIMAÜBERGÄNGE:  
URSACHEN UND RÜCKKOPPLUNGSMECHANISMEN FÜR  
EISZEITLICHE UND REZENTE KLIMASCHWANKUNGEN**

**Gerrit Lohmann,  
Klaus Grosfeld, Mihai Dima,  
Gregor Knorr, Vanya Romanova,  
Silke Schubert, Leslie Sütterlin, Lisa Könnecke**

*Universität Bremen, FB Geowissenschaften, Postfach 330 440, 28334 Bremen*

*gerrit.lohmann@dkrz.de, <http://www.palmod.uni-bremen.de/~gerrit/DEKLIM.html>*

## **1. Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse**

### **1.1 Ausführliche Darstellung der Ergebnisse**

Im Zeitraum des Projektes haben wir die interhemisphärischen Wechselwirkungen bei der Deglaziation untersucht. Die daraus entstandenen Arbeiten beschäftigen sich mit der Rolle des hydrologischen Kreislaufs für die großräumige thermohaline Zirkulation (THC) (Lohmann, 2003; Romanova et al., 2003), mit der Rolle des südlichen Ozeans für die Deglaziation (Knorr und Lohmann, 2003) und der Interpretation von Stellvertreterdaten (Rühlemann et al., 2003). Weiterhin wurde die Stabilität der Ozeanzirkulation in Abhängigkeit vom Hintergrundklima, d.h. Glazial, Interglazial, Interstadial und Stadial untersucht (Prange et al., 2002; Knorr und Lohmann, 2003; Romanova et al. 2003). Es zeigt sich, dass glaziale Ozeanzustände monostabil sind, welches erklärt, warum sich die Ozeanzirkulation in eiszeitlichen Zuständen trotz erheblicher Süßwassereinträge im Nordatlantik wieder erholen kann.

Außerdem haben wir die entscheidende Rolle der Tropen für Abschmelzvorgänge auf dem nordatlantischen Kontinent ausgearbeitet und veröffentlicht (Rodgers et al., 2003). Diese Studie zeigt eine atmosphärische Telekonnektion, die nur im Glazial aktiv ist. Dieser Beitrag wurde Anfang 2003 in Science von Richard Kerr ausführlich diskutiert. Rezente Klimaübergänge wurden in Ensemble-Simulationen mit dem Atmosphärenmodell PUMA

studiert (Grosfeld et al., 2003). Es zeigt sich eine gewisse Vorhersagbarkeit multidekadischer Klimaumschwünge (wie z.B. in den 70er Jahren zu beobachten), wenn die Meeresoberflächentemperatur bekannt ist. Konzeptionelle und reduzierte Modelle wurden sowohl für eiszeitliche (Knorr und Lohmann, in prep.) als auch für rezente Klimaschwankungen (Dima und Lohmann, 2003 a, b), erstellt, die ein prinzipielles Verständnis beobachteter Variationen im Klimageschehen liefern.

Weitere Arbeiten beschäftigen sich mit interozeanischen Fernwirkungen (Kiefer et al., 2002); der Detektion von Klimamoden in Beobachtungen, Modellen und Stellvertreterdaten (Dima et al., 2002; Rimbu et al., 2003 a.; Rimbu et al., 2003 b) und der Rolle solarer Variabilität auf das Klima (Lohmann und Rimbu, 2003; Dima und Lohmann, 2003 c; Dima et al., 2003). Methodische Schwerpunkte lagen in der Modellierung von Klimaübergängen (Knorr und Lohmann, 2003; Grosfeld et al., 2003; Lohmann, 2003), systematischen Untersuchungen zum Stabilitätsverhalten der THC (Prange et al., 2003; Romanova et al., 2003; Knorr und Lohmann, 2003; Dima und Lohmann, 2003 c) und der statistischen Analyse von Beobachtungs- und Stellvertreterdaten (Dima et al., 2003; Lohmann und Rimbu, 2003; Rimbu et al. 2003 a).

Im folgenden werden Teilaspekte der Arbeiten im Detail beschrieben.

### **Simulationen zum Klimaübergang in den 70er Jahren und Untersuchung multidekadischer Klimavariabilität in Modellen und Klimadaten**

Um Klimaschwankungen auf kurz- und langzeitigen Skalen untersuchen zu können ist es notwendig, die Komponenten des gewählten Erdsystemmodells auf ihre Anwendbarkeit hinsichtlich der Aufgabenstellung zu prüfen. Erst wenn feststeht, dass Klimaepochen, wie sie durch Beobachtungs- oder Stellvertreterdaten (sog. Proxydaten) belegt sind, auch durch das Klimamodell repräsentiert werden, können verlässliche Aussagen über Klimaübergänge oder schnelle Klimawechsel abgeleitet werden, die nicht oder nur unzureichend durch Daten belegt sind.

Zu diesem Zweck ist das im Projekt "Klimaübergänge" verwendete Atmosphärenmodell "PUMA" (Portable University Model of the Atmosphere) für den Beobachtungszeitraum der letzten 145 Jahre mit Meeresoberflächentemperaturdaten (sea surface temperature: SST) angetrieben (Kaplan et al., 1998), und die Ergebnisse mit Beobachtungs- und Proxydaten verglichen worden. Der Schwerpunkt der Untersuchungen ist auf den Bereich multidekadischer Variationen der Atmosphäre gelegt worden, da in diesem Periodenbereich ein Klimaübergang am Ende der 60er Jahre bis Anfang der 70er Jahre global beobachtet worden ist (Minobe, 1997). In dieser Epoche gab es einen Übergang von einer anomal warmen Phase in eine anomal kalte Phase im Nordatlantik, was weitreichende Konsequenzen für die großskalige Luftdruckverteilung über dem Nordatlantik und somit auch über Westeuropa gehabt hat. Die Atmosphäre reagiert demnach sehr sensitiv auf die mittlere Temperaturverteilung der Meeresoberfläche im Bereich des Nordatlantiks und nimmt charakteristische Zustände an, die ähnlich derjenigen der Nordatlantischen Oszillation (NAO) ist.

Die Meeresoberflächentemperaturdaten nach Kaplan et al. (1998) beinhalten monatlich gemittelte Anomalien der SST, wie sie aus verschiedenen Datensätzen zusammengestellt worden sind. Die Anomaliedaten wurden klimatologischen Mittelwerten der SST, wie sie vom Hadley Centre for Climate Prediction and Research (Rayner et al., 1996) zur Verfügung

gestellt werden, überlagert. Das Atmosphärenmodell wurde in einem sog. "Ensemble-Mode" betrieben, d.h. es wurden für dieselben Randbedingungen insgesamt sechs verschiedene Simulationsläufe basierend auf verschiedenen atmosphärischen Anfangsbedingungen durchgeführt. Durch diese Vorgehensweise kann der atmosphärische Rauschpegel unterdrückt werden und die zufällige Komponente der Klimavariabilität durch Betrachtung der mittleren Modellantwort gedämpft werden (Mehta et al., 2000).

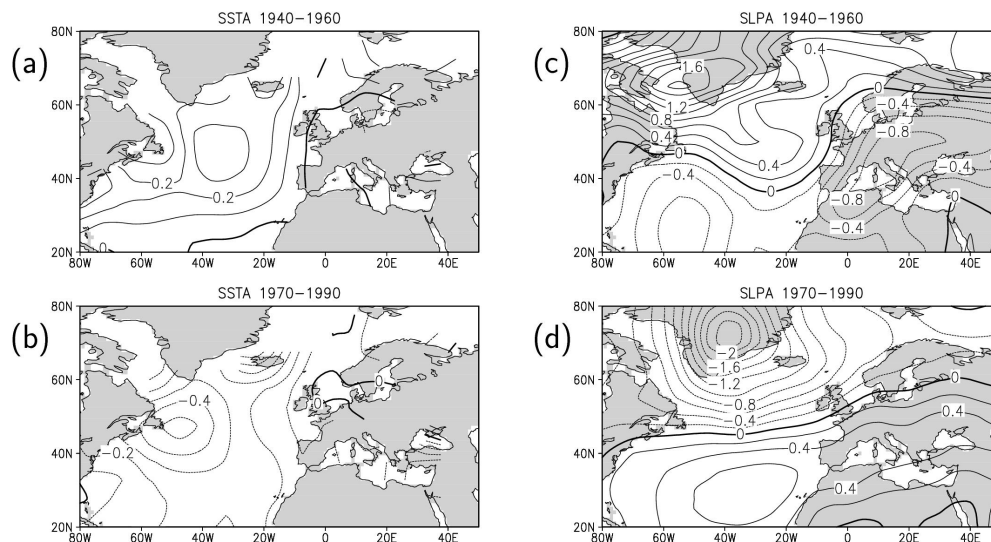


Abbildung 1: (a, b) Anomalie der Meeresoberflächentemperatur (in °C) (Kaplan et al., 1998) und (c, d) Anomalie des Luftdrucks auf Meeresniveau (in hPa) (Trenberth und Paolino, 1980) während der warmen Phase (1940-60) und der kalten Phase (1979-90) des Nordatlantiks.

In Abbildung 1 ist die typische SST Anomalie während der warmen (1940-1960) Phase (a) und der kalten (1970-1990) Phase (b) gezeigt. Der Nordatlantik ist durch ein monopoles großflächiges Muster gekennzeichnet, welches eine dipolare Luftdruckverteilung (c und d) in den entsprechenden Phasen nach sich zieht. Diese, auf Beobachtungen basierenden Daten

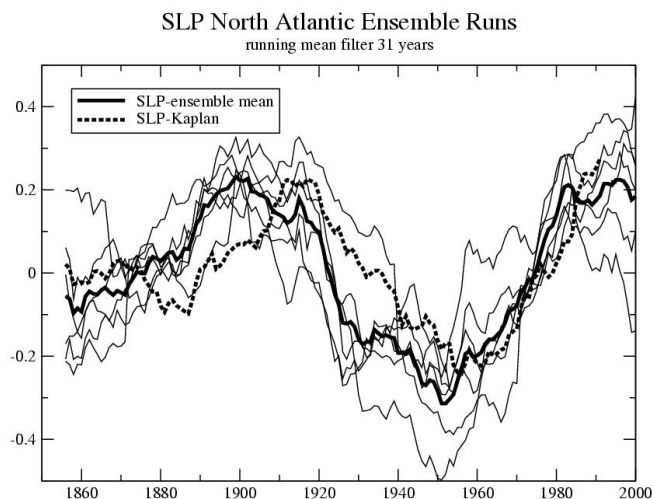


Abbildung 2: Indizes des Luftdrucks in Meeresniveau (in hPa) über dem Nordatlantik (0°N-40°N; 80°W-10°W), wie sie mit dem PUMA-Modell für den Zeitraum vom 145 Jahren simuliert worden sind. Die dicke Linie repräsentiert den Mittelwert aller sechs Ensemble-Läufe.

konnten durch das Atmosphärenmodell weitestgehend reproduziert werden. Es lässt sich eindeutig ein multidekadisches Klimasignal in den atmosphärischen Oberflächentemperaturen ableiten (Abbildung 2), das auf ein quasi-periodisches Signal im Periodenbereich von etwa 60-70 Jahren hindeutet. Aus den Modelldaten sind neben den direkten Modellantworten in Luftdruck und Temperatur auch weitere assoziierte Felder zu analysieren, die Rückkopplungsmechanismen für den Ozean als Antriebsfeld in positiver oder auch negativer Art darstellen.

In Abbildung 3 sind Felder des atmosphärischen Wärmeflusses und des Windschubs dargestellt. Beide Größen stellen unmittelbare Wirkungskräfte für den Ozean dar und spiegeln typische Felder für den Ozean wider. Während in der warmen Phase reduzierte Westwinde zu einem reduzierten Wärmefluss vom Ozean in die Atmosphäre und damit zu einer Erhaltung der anomal warmen SST führen, liefern verstärkte Westwinde in der kalten Phase einen erhöhten Wärmefluss. Dieser sorgt für eine Abkühlung der SST und erhält somit die kalte Phase. Folglich besteht eine positive Rückkopplung zwischen Ozean und Atmosphäre auf multidekadischer Zeitskala, die einen langperiodischen Klimamode erhalten kann.

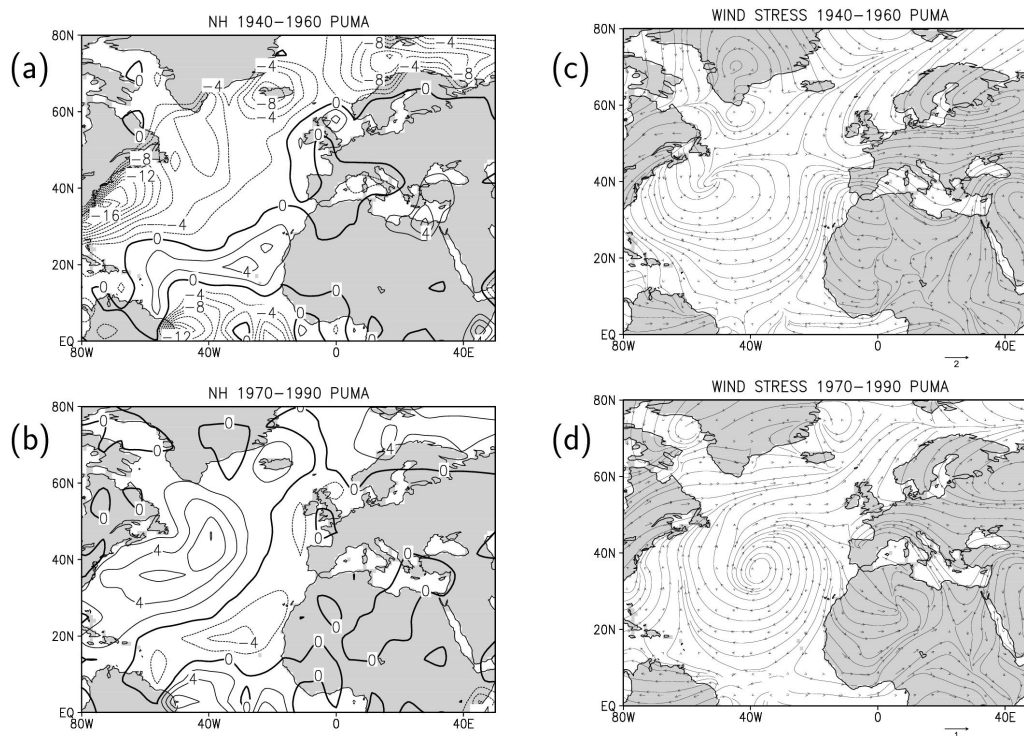


Abbildung 3: Anomalie des Netto-Wärmeflusses (in  $W/m^2$ ) während der warmen (a) und kalten (b) Phase des Nordatlantiks, sowie simulierte Windschubmuster (c, d) für dieselben Zeiträume.

Um die Modellergebnisse für eine längere Zeitbasis zu validieren, wurden Zeitreihen von unabhängigen Proxydaten untersucht. Die in Abbildung 4 gezeigten Zeitreihen stellen im Periodenbereich 50-100 Jahre gefilterte Datensätze einer Koralle aus dem Roten Meer (Felis et al., 2000), eines Sedimentkerns im Cariaco Becken auf dem Kontinentalschelf vor Venezuela (Black et al., 1999), sowie einer Multi-Proxy-Analyse von Mann et al. (1998) dar. Alle drei unabhängigen Zeitreihen liefern ein phasengleiches multidekadisches Signal über

Zeiträume der letzten 250 bis 800 Jahre und deuten auf eine persistente multidekadische Klimavariation hin. Die assoziierten Muster in der SST ergeben dieselbe monopolare Struktur für den gesamten Nordatlantik, wie sie sowohl in den Beobachtungsdaten, also auch in den Modellergebnissen gefunden wurden.

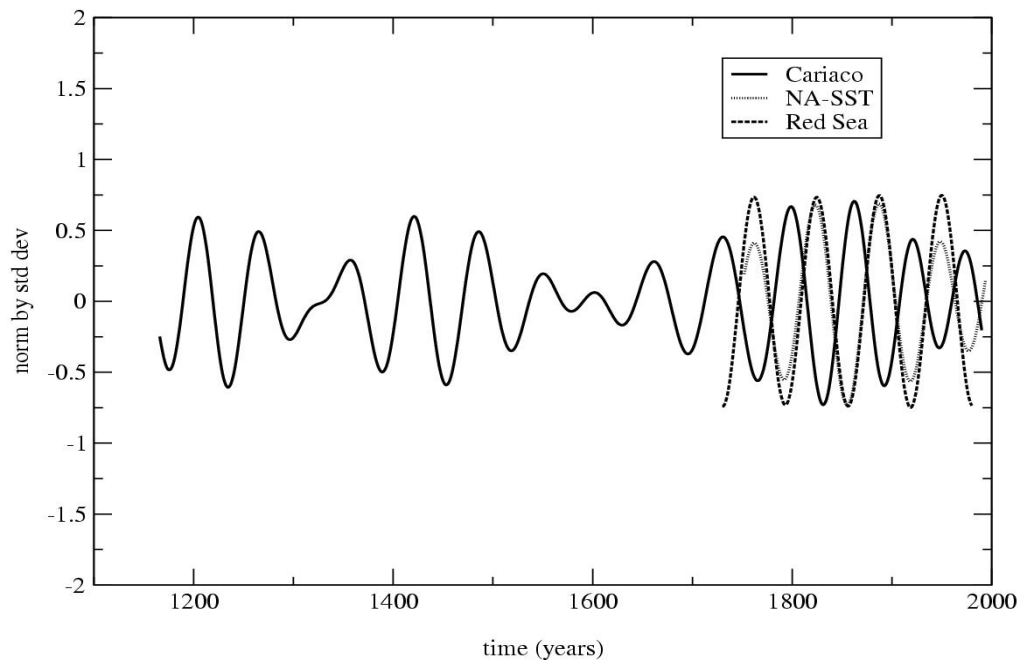


Abbildung 4: Zeitserien der Stellvertreterdatensätze aus dem Cariaco Becken (durchgezogene Linie), dem Roten Meer (gestrichelte Linie) und der nordatlantischen Meeresoberflächentemperatur (gepunktet) für die letzten 250 bis 800 Jahre.

Die kombinierte Interpretation von Modellergebnissen mit Beobachtungs- und Proxydaten lässt daher grundsätzlich auf die Anwendbarkeit des Atmosphärenmodells für Untersuchungen der Klimavariabilität auf multidekadischen Zeitskalen schließen. Obwohl das Modell auf einer physikalischen Formulierung mittleren Komplexität basiert, gibt es die wesentlichen Rückkopplungsmechanismen und Wechselwirkungsprozesse hinreichend gut wieder. Somit ist es insbesondere für die Untersuchung auf längerfristigen Zeitskalen (Jahrzehnte bis Jahrhunderte) geeignet, da die Integrationszeit des Modells solche Simulationszeiträume in realistischen Zeiträumen ermöglicht. Als weiteres wichtiges Ergebnis haben die Untersuchungen gezeigt, dass der im letzten Jahrhundert beobachtete Klimatrend durch globale Erwärmung einem deutlichen Signal auf multidekadischer Zeitskala überlagert ist. Die differenzierte Betrachtung und Trennung derartiger Prozesse ist notwendig, um physikalische Mechanismen, die zu schnellen Klimaänderungen bzw. -übergängen führen, beschreiben und sowohl in historischen wie auch zukünftigen Klimaentwicklungen identifizieren zu können.

### **Simulationen zum Klimaübergang Glazial-Interglazial**

Eisbohrkerne und Ozean Sedimentkerne zeigen, dass während der letzten beiden Deglaziationen die Erwärmung in der Südhemisphäre der Erwärmung in Grönland um mehr als 1000 Jahre vorauslief (Sowers und Bender, 1995; Petit et al., 1999). Die Deglaziation ist

außerdem durch Schmelzwasserflüsse in den Nordatlantik gekennzeichnet (Marshall und Clark, 1999), welche die atlantische Thermohaline Zirkulation (THC) abschwächen (Stocker und Wright, 1991). Dennoch kommt es während der Deglaziation zu einem Übergang von einer schwachen glazialen zu einer starken interglazialen atlantischen THC (Sarnthein et al., 1994).

Weiterführende Modellstudien hinsichtlich der Anfachung der ozeanischen Tiefenzirkulation am Ende der letzten Eiszeit haben gezeigt, dass eine graduelle Erwärmung im Südozean mit einhergehendem Meereisrückgang (Shemesh et al., 2002) eine abrupte Wiederherstellung der interglazialen ozeanischen Zirkulation bewirken kann (Abb. 5). Dieses Ergebnis wird durch eine Reihe von Untersuchungen mit einem interhemisphärischen Boxmodell bekräftigt, die gezeigt haben, dass die Stärke der THC auf eine Erwärmung in südlichen Breiten wesentlich sensibler reagiert, als auf äquivalente Veränderungen in der Nordhalbkugel. Diese komplementäre Beschreibung mit Hilfe eines Konzeptmodells des Klimaübergangs von einem schwachen THC Zustand während der Eiszeit zu einem starken nach der Eiszeit schafft ein grundsätzliches Verständnis für die Rolle des Ozeans bei der Deglaziation.

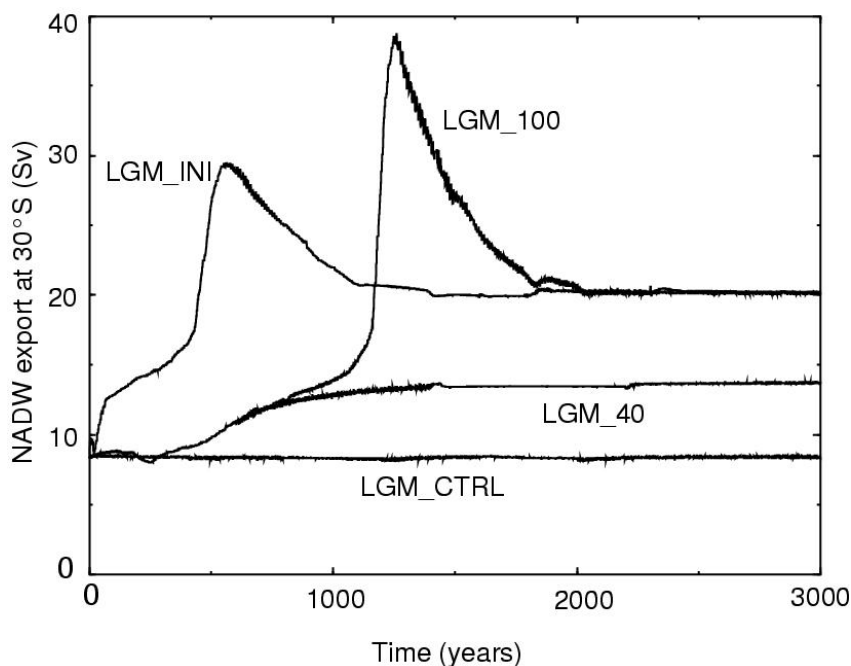


Abbildung 5: Zeitserien des nordatlantischen Tiefenwasserausstroms bei 30°S. Die Kurve LGM\_CTRL repräsentiert das Kontrollexperiment für den glazialen Zustand. Die anderen Kurven stellen unterschiedlichen Experimente zum Übergang von einem eiszeitlichen in ein interglazialen Zustand dar. In LGM\_100 werden die glazialen Hintergrundbedingungen südlich von 30°S auf heutige Werte in Temperatur, Meereis und Wind gesetzt. Dieser Übergang geschieht graduell innerhalb von 1500 Jahren. In Experiment LGM\_40 endet der Übergang nach 600 Jahren, welches einem Meereisrückgang von 40% entspricht. In Versuch LGM\_INI erfolgte die sofortige Umsetzung der Randbedingungen südlich von 30°S auf heutige Werte.

Experimente mit dem 3-D Ozeanmodell zeigen, dass durch eine graduelle Erwärmung im Südozean eine negative Dichteanomalie im Südozean entsteht, die anomale Geschwindigkeiten verursacht. Dieses erhöht den Massentransport über den Warm- und Kaltwasserweg des globalen ozeanischen Förderbandes (Gordon et al., 1992; Broecker, 1991). Der zunehmende Einfluss des Warmwasserweges bewirkt eine graduelle Erhöhung des Salzgehaltes des oberflächennahen Nordatlantiks, wohingegen die Temperaturanomalie

während des Transportes durch Wärmeabgabe an die Atmosphäre gedämpft wird. Dieser Prozess bereitet die Nordatlantische Tiefenwasserbildung vor (Gordon et al., 1992) und wird durch die Advektion von salzreichem Wasser in den nördlichen Atlantik verstärkt, welches zu einer graduellen Erhöhung der konvektiven Aktivität führt (Abb. 6). Die allmählich an Stärke gewinnende THC führt zu einem erhöhten ozeanischen Wärmetransport, der einen Meereisrückgang im Nordatlantik auslöst, welcher durch temporär aktive konvektive Prozesse verstärkt wird.

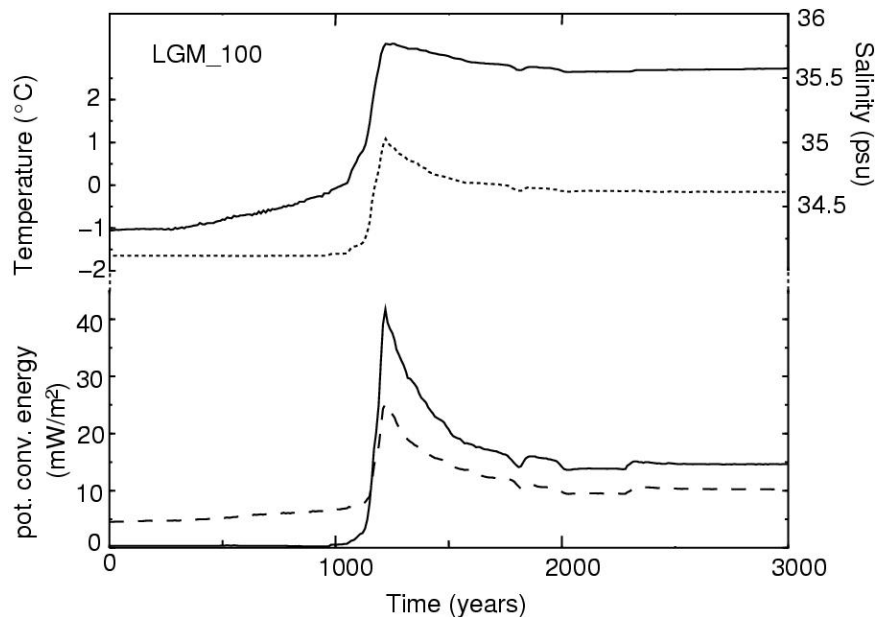


Abbildung 6: Die Zeitserien von Experiment LGM\_100 zeigen die Oberflächentemperatur (°C) (gepunktete Kurve) Oberflächensalzgehalt (psu) und den potentiellen Energieverlust durch Konvektion ( $\text{mW/m}^2$ ) zwischen  $55^\circ\text{N}$  und  $65^\circ\text{N}$  und zwischen  $40^\circ\text{N}$  und  $55^\circ\text{N}$  (gestrichelte Kurve).

Experimente, in denen der destabilisierende Effekt von Schmelzwasser in den Nordatlantik abgeschätzt wurde zeigen, dass die abrupte Wiederherstellung der atlantischen THC auch bei für Heinrich-Ereignisse typischen Süßwasserflüssen stattfindet. Die angefachte THC erhöht den maximalen Wärmetransport von 0.8 PW auf 1.6 PW und lässt die Temperaturen im Nordatlantik um bis zu  $6^\circ\text{C}$  ansteigen (Abb. 6), konsistent mit geologischen Daten (Bard et al., 2001). Diese signifikante Erwärmung könnte im Zusammenspiel mit anderen Effekten zur Reduzierung der nordhemisphärischen Eisschilde über Nordamerika und Skandinavien beitragen. Der von uns vorgeschlagene Mechanismus ist konsistent mit dem zeitlichen Ablauf süd- und nordhemisphärischer Klimaänderungen dokumentiert in Proxydaten. Die Ergebnisse wurden in Knorr und Lohmann (2003) dokumentiert und sollen wahrscheinlich nach minor revisions bei Natur veröffentlicht werden.

### Simulation des zweistufigen Übergangs vom letzten Hochglazial in das heutige Interglazial

Es soll der Frage nach der möglichen Rolle des marinen und terrestrischen Kohlenstoffkreislaufs im Speichern von Kohlenstoff bei der Deglaziation nachgegangen werden. Insbesondere die Modellierung von Kohlenstoffisotopen bietet hierbei eine ausgezeichnete Möglichkeit, Modellbefunde und Daten zu vergleichen und Mechanismen zu

detektieren. Im Ozeanmodell wurden passive Tracer, insbesondere die Isotope  $^{10}\text{Be}$  und  $^{14}\text{C}$ , implementiert. Schwankungen im radioaktiven Kohlenstoffisotop  $^{14}\text{C}$  sind sowohl mit Variationen in der kosmischen Strahlung und Modulationen im Erdmagnetfeld als auch mit Umverteilungen von Kohlenstoff im Klimasystem verbunden. Erste Experimente mit diesem Ozeanmodell, an das eine Ein-Box-Biosphäre gekoppelt wurde, zeigen die Wichtigkeit von THC Schwankungen während der Deglaziation. Verschiedene Schmelzwasser- und Antriebsszenarien werden zur Zeit durchgeführt.

## 2m temperature anomaly [°C]

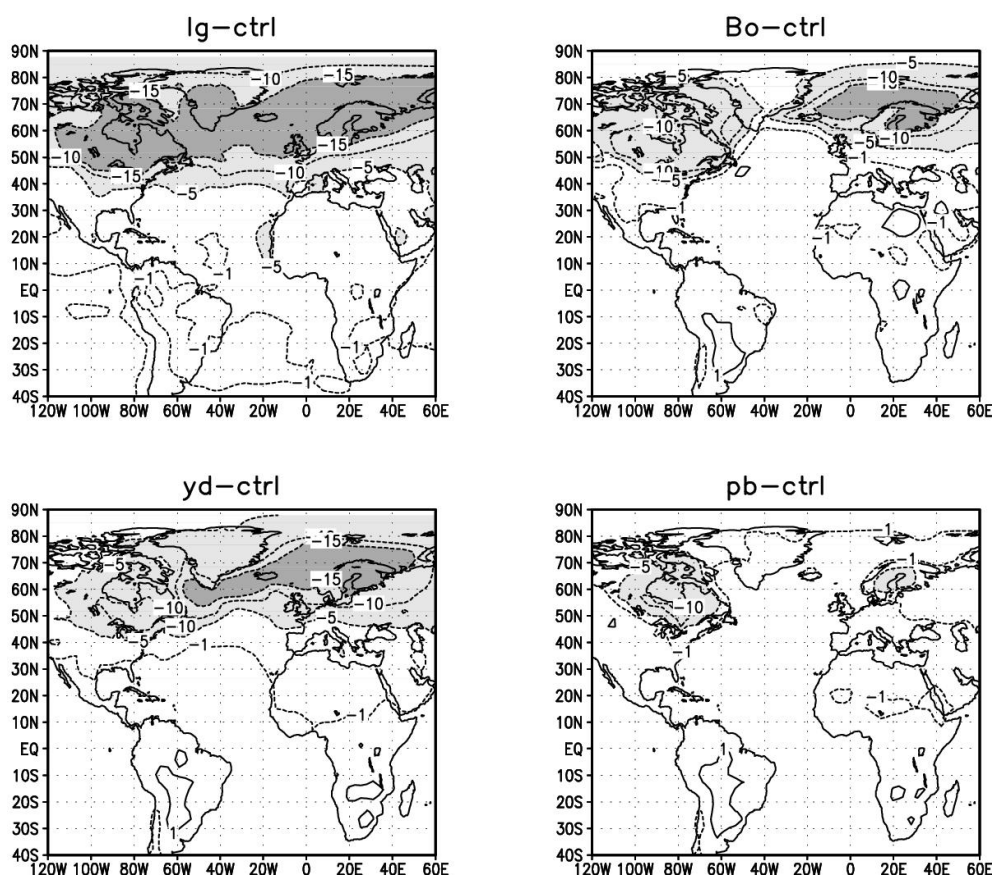


Abbildung 7: Gezeigt sind die 2 Meter-Temperaturanomalien von vier verschiedenen Modellläufen des ECHAM-Modells in T42-Auflösung. Es sind Jahresmittelwerte der letzten 10 gemittelten Jahre des Modelllaufs. Die Bezeichnungen der Modellläufe sind wie folgt: lg=late pleniglacial (15ky BP), Bo=Boelling (14ky BP), yd=younger dryas (12ky BP), pb=preboreal (11ky BP). 1ky BP = 1000 Jahre vor dem Jahr 1950 n. Chr..

Weiterhin soll der Frage nach der möglichen Rolle der Vegetation im Speichern von Kohlenstoff in einem räumlich expliziten Modell der terrestrischen Biosphäre nachgegangen werden (Sitch et al., in press; Kaplan et al., 2002). Nach dem Hochglazial hat wahrscheinlich der terrestrische Kohlenstoffkreislauf nach dem Kohlenstoffaustritt aus dem glazialen Ozean eine dämpfende Rolle im ansteigenden  $\text{CO}_2$  Gehalt bewirkt. Dafür verwenden wir den Antrieb von ECHAM Simulationen, die den zweistufigen Übergang abbilden. Abbildung 7 zeigt die 2 Meter Temperaturanomalie aus dem Modell für verschiedene Zeitpunkte während der Deglaziation. Das dynamische Vegetationsmodell LPJ (Sitch et al., in press; Kaplan et al., 2002) wird benutzt, um die terrestrische Biomasse während der letzten Deglaziation zu testen. Dieses wird in diesem Jahr durchgeführt werden.



## Technische Arbeiten im Projekt

Die Internetseite "Postprocessing Ocean" Adresse:<http://puma.dkrz.de/~silke> wurde weiter ausgebaut. Es gibt Programme zum Konvertieren von Modelldaten ins netCDF-Format. Dieses selbstbeschreibende Datenformat wird als input für FERRET (ein Analyse- und Plot-Programmpaket) gebraucht. Solche Programme gibt es für LSG-Modelldaten (Ozean) und HAMOCC-Modelldaten (Kohlenstoff-Kreislauf). Danach können die Daten visualisiert werden mit FERRET-Skripten, die ebenfalls auf dieser Seite vorhanden sind. Die vorhandenen FERRET-Skripte decken alle als Standard geforderten Plots ab. Sie sind gut dokumentiert und können deshalb auch für spezielle Anwendungen leicht abgeändert werden. Es gibt zu jeder Anwendung ein Beispielbild. In Zukunft soll die Seite um spezielle Anwendungen erweitert werden, die von Nutzern durch Änderung der vorhandenen Skripte entwickelt wurden.

## Zitierte Literatur:

Bard, E., F. Rostek, J. L. Turon and S. Gendreau, Hydrological impact of Heinrich events in the subtropical northeast Atlantic. *Science* **289**, 1321-1324, 2001.

Black, D.-E., L.-C. Peterson, J.-T. Overpeck, A. Kaplan, M.-N. Evans, and M. Kashgarian, Eight centuries of North Atlantic Ocean atmosphere variability. *Science*, **286**, 1709-1713, 1999.

Broecker, W. S., The Great Ocean Conveyor. *Oceanography* **4**, 79-89, 1991.

Felis, T., J. Pätzold, Y. Loya, M. Fine, A. H. Nawar, and G. Wefer, A coral oxygen isotope record from the northern Red Sea documenting NAO, ENSO, and North Pacific teleconnections on Middle East climate variability since the year 1750. *Paleoceanography*, **15**, 679-694, 2000.

Gordon, A. L., R. F. Weiss, W. M. Smethie Jr. and M. J. Warner, Thermocline and intermediate water communication between the South Atlantic and Indian Oceans. *J. Geophys. Res.* **97**, 7223-7240, 1992.

Kaplan, A., M.-A. Cane, Y. Kushnir, A. Clement, M. Blumenthal, and B. Rajagopal, Analyses of global sea surface temperature 1856-1991. *J. Geophys. Res.*, **103**, 18, 567-589, 1998.

Kaplan, J. O., I. C. Prentice, W. Knorr, and P. J. Valdes, Modelling the dynamics of terrestrial carbon storage since the Last Glacial Maximum. *Geophys. Res. Lett.* **29** (22), 2074, doi10.1029/2002GL015230, 2002.

Mann, M.-E., R.-S. Bradley, and M.-K. Hughes, Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries *Nature*, **392**, 779-787, 1998.

Marshall, J. S. and G. K. C. Clarke, Modelling North American freshwater runoff through the Last Glacial Cycle. *Quaternary Res.* **52**, 300-315, 1999.

Mehta, V.-M., M.-J. Suarez, J. Manganello and T.-L. Delworth, Ocean influence on the North Atlantic Oscillation and associated northern hemisphere climate variations: 1959-1993, *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 121-124, 2000.

Minobe, S., A 50-70 year climate oscillation over the North Pacific and over North America. *Geophys. Res. Lett.*, **24**, 683-686, 1997.

Petit, J. R. et al., Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* **399**, 429-436, 1999.

Rayner, N. A., E. B. Horton, D. E. Parker, C. K. Folland, and R. B. Hackett, Version 2.2 of the Global Sea Ice and Sea Surface Temperature data set, 1903-1994. *Clim. Res. Tech. Note.* **74**, Hadley Centre, U.K. Meteorol. Off., Bracknell, England, 1996.

Sarnthein, M. et al., Changes in east Atlantic deepwater circulation over the last 30,000 years : Eight time slice reconstructions. *Paleoceanography* **9**, 209-267, 1994.

Shemesh, A. et al., Sequence of events during the last deglaciation in Southern Ocean sediments and Antarctic ice cores. *Paleoceanography* **17**, 1056, doi: 10.1029/2000PA000599, 2002.

Sitch, S. et al., Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ Dynamical Vegetation Model. *Glob. Change Biol.* (in press)

Sowers, T. and M. Bender, Climate records covering the Last Deglaciation. *Science* **269**, 210-214, 1995.

Stocker, T. F. and D. G. Wright, Rapid transitions of the ocean's deep circulation induced by changes in surface water fluxes. *Nature* **351**, 729-732, 1991.

Trenberth, K. E., and D. A. Paolino, The northern hemisphere sea level pressure data set: Trends, errors and discontinuities, *Mon. Wea. Rev.*, **108**, 855-872, 1980.

## **1.2 Publikationen:**

### **a) Akzeptierte Beiträge:**

Claussen, M., Mysak, L.A., Weaver, A.J., Crucifix, M., Fichet, T., Loutre, M.-F., Weber, S.L., Alcamo, J., Alexeev, V.A., Berger, A., Calov, R., Ganopolski, A., Goosse, H., Lohmann, G., Lunkeit, F., Mokhov, I.I., Petoukhov, V., Stone, P., and Wang, Z., 2002: Earth System Models of Intermediate Complexity: Closing the Gap in the Spectrum of Climate System Models. *Climate Dynamics* **18**, 579-586.

Dima, M., N. Rimbu, I. Dima, 2002: Arctic Oscillation variability generated through inter-ocean interactions. *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 29, No. 14, pp. . (2002GL014717).

Kiefer, T., Lorenz, S., Schulz, M., Lohmann, G., Sarnthein, M., and Elderfield, H., 2002: Response of precipitation over Greenland and the adjacent ocean to North Pacific warm spells during Dansgaard-Oeschger stadials. *Terra Nova*, Vol. 14, 4, 295-300.

Lohmann, G., 2002: Meteorologische Interpretation geologischer Daten - neue Wege in der Paläoklimaforschung. *Promet* 28 (3/4), 147-152.

Lohmann, G., 2003: Atmospheric and oceanic freshwater transport during weak Atlantic overturning circulation. *Tellus A* (in press).

Monahan, A.H., Timmermann, A., and Lohmann, G., 2002: Comments on "Noise-Induced Transitions in a simplified model of the thermohaline circulation", *J. Phys. Oceanogr.* 32 (3), 1112-1116.

Prange, M., V. Romanova, and G. Lohmann, 2002: The glacial thermohaline circulation: stable or unstable? *Geophysical Research Letters* Vol. 29, No. 21, 2028, doi:10.1029/2002GL015337.

Prange, M., Lohmann, G., and A. Paul, 2003: Influence of vertical mixing on the thermohaline hysteresis: Analyses of an OGCM. *J. Phys. Oceanogr.*, (in press).

Prange, M., and G. Lohmann, 2003: Effects of mid-Holocene river runoff on the Arctic ocean-sea ice system: a numerical study. *The Holocene* 13(3), 335-342.

Rimbu, N., Lohmann, G., Felis, T., and Pätzold, J., 2003 a: Shift in ENSO teleconnections recorded by a Red Sea coral. *J. Climate*, Vol. 16, No. 9, 1414-1422.

Rimbu, N., Lohmann, G., Kim, J.-H., Arz, H. W., and Schneider, R., 2003 b: Arctic/North Atlantic Oscillation signature in Holocene sea surface temperature trends as obtained from alkenone data. *Geophysical Research Letters* Vol. 30, doi:10.1029/2002GL016570.

Rodgers, K., Lohmann, G., Lorenz, S., Schneider, R., and Henderson, G., 2003: A Tropical Mechanism for Northern Hemisphere Deglaciation. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, (in press).

Rühlemann, C., Mulitza, S., Lohmann, G., Paul, A., Prange, M., and G. Wefer, 2003: Abrupt warming of the intermediate-depth Atlantic Ocean in response to thermohaline circulation slowdown during the last deglaciation. *Pages Newsletter* (in press).

Schulz, M., 2002: The tempo of climate change during Dansgaard-Oeschger interstadials and its potential to affect the manifestation of the 1470-year climate cycle. *Geophys. Res. Lett.*, 29 (1), 10.1029/2001GL013277.

#### **b) Publikationen unter Begutachtung:**

Knorr, G., and G. Lohmann, 2003: Resumption of the Atlantic conveyor circulation via Southern Ocean warming during deglaciation. *Nature* (in revision).

Prange, M., and Lohmann, G., 2003: Comment on "Increasing river discharge to the Arctic Ocean." Science (in revision).

### **c) Eingereichte Publikationen**

Dima, M., and Lohmann, G., 2003 a: Fundamental and derived modes of climate variability. Part I: Concept and application to biennial variability. Tellus (submitted).

Dima, M., and Lohmann, G., 2003 b: Fundamental and derived modes of climate variability. Part II: Application to interannual variability. Tellus A (submitted).

Dima, M., and Lohmann, G., 2003 c: A solar influence on the THC? Earth and Planetary Science Letters (submitted).

Dima, M., and Lohmann, G., and I. Dima, 2003: Separation the modes linked to solar forcing from internal climate variability at decadal timescales: Evidences from instrumental, reanalysis, and proxy data. J. Geophys. Res. (submitted).

Grosfeld, K., G. Lohmann, N. Rimbu, F. Lunkeit, K. Fraedrich, 2003: Predictable Response of the Atmospheric Circulation on North Atlantic Multidecadal Variability, Journal of Climate (submitted).

Lohmann, G., 2003: Phase space invariances yield exactly soluble evolution equations. Nonlinear Processes in Geophysics (submitted).

Lohmann, G., and N. Rimbu, 2003: Climate signature of solar irradiance variations: Analysis of long-term instrumental and historical data. International Journal of Climatology (submitted).

Lohmann, G., Rimbu, N., and Schulz, M., 2003: Potential influence of astronomical variations on decadal and centennial climate variability. The Holocene (submitted).

Rimbu, N., Lohmann, G., Felis, T., and Pätzold, J., 2003: Climate conditions recorded in a coral record with seasonal resolution. International Journal of Earth Sciences (submitted).

Romanova, V., M. Prange, and G. Lohmann, 2003: On the stability of the glacial THC and its dependence on the hydrological cycle. Climate Dynamics (submitted).

## **1.3 Vorträge und Veranstaltungen:**

### **1.3.1 Lehre**

Einführung in die Paläoklimamodellierung, Vorlesung Universität Hamburg, SS 2002

Vortrag im Rahmen der Paläoklimavorlesung am Meteorologischen Institut Hamburg: Eis im Klimasystem. (Grosfeld)

Blockveranstaltung im Rahmen der Vorlesung: "Glazialgeophysik" an der Universität Münster zum Thema: "Grundlagen der numerischen Behandlung von eisdynamischer Prozessen". (Grosfeld)

Sommerschule "Natural Climate variability from 10,000 years to the present day" in Potsdam (12.-18.09.2002). Thema: Climate Models as Inferred from Data Analysis and Circulation Models

Doktorandenkurs NEBROC an der Universität Bremen und Hansewissenschaftskolleg Delmenhorst. Thema: Abrupt Climate Change

Beteiligung/Beantragung am EU Projekt PROPER im Rahmen von "Marie Curie Conferences and Training Courses"

Meteorologische Interpretation geologischer Daten, Vorlesung Universität Hamburg, SS 2003

### **1.3.2 Eingeladene Vorträge**

Mojib Latif Symposium am 3.12.2002 in Hamburg

DWD Kolloquium am 25.3.2003 in Hamburg

Kolloquium des FB Physik/Meteorologie am 25.4.2003, Universität Hannover

### **1.3.3 Veranstaltungen / Poster**

Teilnahme am DEKLIM-Kickoff-Meeting vom 25.-26. 02. 2002 in Bad Honeff

Grosfeld, K., N. Rimbu, G. Lohmann, and F. Lunkeit, 2002: Multidecadal variability simulated with an atmospheric general circulation model, Posterpräsentation beim AGU Fall Meeting, San Francisco, Dec. 2002.

Prange, M., V. Romanova, G. Lohmann, and K. Grosfeld, 2002: Stability properties of the glacial thermohaline circulation, Posterpräsentation beim AGU Fall Meeting, San Francisco, Dec. 2002.

Rühlemann, C., S. Mulitza, G. Lohmann, A. Paul, M. Prange, and G. Wefer, 2002: Tracing thermohaline circulation slowdown by temperature increase of the intermediate-depth Atlantic Ocean. Eos Trans. AGU, 83(47), Fall Meet. Suppl., Abstract PP62B-07.

Mehrere Poster und Vorträge auf dem DEKLIM Paläoklima-Treffen am 18./19.11.2002 in Bremen.

Mehrere Poster und Vorträge auf der EGS 2002, EGU/AGU 2003 in Nizza

#### **1.4 Organisation von Tagungen und Symposien:**

Symposium on "Culture-Climate-Catastrophe". German-American Frontiers of Science 2002 symposium, Irvine, USA. Alexander von Humboldt Stiftung und US National Academy of Sciences.

EGS 2002: Session NP 7: Open session on dynamical system concepts and their application in geophysics.

EGS 2002: Mitorganisator als Secretary for Atmospheric Sciences of the European Geophysical Society

Symposium on "Symposium on Coral reef health". German-American Frontiers of Science 2003 symposium, Irvine, USA. Alexander von Humboldt Stiftung und US National Academy of Sciences.

Mitarbeit in Organisation und Vorbereitung des DEKLIM Paläoklima-Treffens vom 18.-19.11.2002 in Bremen. (Lohmann, Grosfeld)

#### **1.5 Projekte**

Austauschprogramm "Connect" mit Martin Stute, Lamont, USA. (gefördert von der A. v. Humboldt Stiftung)

Mitantragsteller beim DFG Forschungsvorhaben "Miozäne Karbonatsedimentation: Beziehung zur Entwicklung der globalen thermohalinen Zirkulation" (Bickert, Lohmann, Wefer)

Antragsteller beim Wettbewerb Campusideen 03 (Lohmann, Könnecke). Erstellung einer interaktiven CD-ROM zum Thema "Kultur und Klima-Zusammenhänge in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft".

Initiierung einer Kooperation mit der Universität Bukarest, Rumänien.(Lohmann, Dima) Diplomarbeit und Wissenschaftleraustausch. Thema: Climate Modes detected in Coral data. Gefördert durch das DFG Forschungszentrum Ozeanränder Bremen.

#### **1.6 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Es gab intensive Kontakte mit Frank Lunkeit, Klaus Fraedrich (Univ. Hamburg), Stephan Lorenz, Marko Scholze (MPI Hamburg), Hubertus Fischer (AWI Bremen), Stefan Mulitza, Carsten Rühlemann, Matthias Prange, Norel Rimbu (Univ. Bremen).

Unser Ozeanmodell nahm an dem Modellvergleich der "Earth System Modells of Intermediate Complexity" (EMIC, Claussen et al., 2002) teil. Eine Veröffentlichung der ozeanischen Hysteresekurven ist geplant (Rahmstorf, pers. com.).

## **1.7 Mitarbeiterwechsel**

Mihai Dima arbeitete für 3 Monate (15.2.-15.5.02) im Projekt (Post Doc).

## **2. Vergleich des Stands des Vorhabens mit der ursprünglichen (bzw. mit Zustimmung des Zuwendungsgebers geänderten) Arbeits-, Zeit- und Ausgabenplanung**

Wegen Umbauten und Neuentwicklungen am Atmosphärenmodell PUMA wurde die gekoppelte PUMA-LSG Modellierung im zeitlichen Ablauf in das Jahr 2003 geschoben. Die meisten Simulationen wurden mit einem "hybrid-gekoppelten" Atmosphäre-Ozean-Modell durchgeführt (Prange et al., 2002, 2003; Knorr und Lohmann, 2003; Romanova et al., 2003; Rühlemann et al., 2003), in dem der hydrologische Zyklus, Windschub und Temperatur mit dem komplexen ECHAM-Modell gerechnet wird und Variationen um diesen Zustand mit Hilfe eines Energiebilanzmodells zugelassen werden. Es hat sich gezeigt, dass dieser Ansatz vielversprechend ist, da die Sensitivität der Ozeanströmung stark von dem klimatischen Hintergrundzustand abhängt (Romanova et al., 2003; Knorr und Lohmann, 2003). Die genaue Arbeits- und Zeitplanung hat sich durch neue Forschungsarbeiten und eine engere Anbindung an die Datenerheber verändert (siehe Darstellung der Ergebnisse). Die stärkere Ausrichtung auf Daten dient auch einem zentralen Anliegen von DEKLIM. Weiterhin wurden Simulationen mit dem ECHAM-Modell durchgeführt und analysiert (Lohmann, 2003; Lohmann und Lorenz, in prep.), welches erst für 2003 vorgesehen war.

## **3. Haben sich die Aussichten für die Erreichung der Ziele des Vorhabens innerhalb des angegebenen Ausgabenzitraums gegenüber dem ursprünglichen Antrag geändert?**

Nein.

## **4. Sind inzwischen von dritter Seite Ergebnisse bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind?**

Es wurden sehr große Fortschritte auf dem Gebiet der Erdsystemmodellierung bekannt. Ein Schwerpunkt des Projektes, die Interpretation von Paläodaten mit Hilfe von Modell- und Beobachtungsdaten, soll deshalb in dem Vorhaben weiter gestärkt werden.

## **5. Sind oder werden Änderungen in der Zielsetzung notwendig?**

Nein.

## **6. Fortschreibung des Verwertungsplans**

Es gibt keine Änderungen am Verwertungsplan. Der Nutzen und die Verwertbarkeit ergibt sich aus den wissenschaftlichen Publikationen und der Präsentationen. Die wissenschaftliche Anschlussfähigkeit ist gegeben.

Die Projektbeschreibung mit links zu den Ergebnissen befindet sich unter:

<http://www.palmod.uni-bremen.de/~gerrit/DEKLIM.html>

-Postprocessing Ozean:

<http://puma.dkrz.de/~silke>

-Dokumentation Atmosphäremodell:

<http://puma.dkrz.de/puma>