

# **DEKLIM Abschlussbericht**

**Zuwendungsempfänger:** Max-Planck-Institut für Biogeochemie

**Titel:** Past Climate Sensitivity and Variability

**Förderkennzeichen:** 01 LD 0043

**Gesamtlaufzeit:** 01.09.2001 – 31.08.2004

---

S.P. Harrison<sup>1,2</sup>, R. Schneider<sup>3</sup>, D. Barboni<sup>1,4</sup>, G. Bönisch<sup>1</sup>, K. Cohen<sup>1,5</sup>, R. Downey<sup>2</sup>, M. Jung<sup>1</sup>, R.B. Kayastha<sup>1</sup>, B. Mark<sup>1</sup>, A. Song<sup>1</sup>, A. Spessa<sup>1</sup>, J. Wohlfahrt<sup>1</sup>, Y. Lui<sup>1</sup>, Y. Li<sup>1</sup>

1: Max Planck Institut für Biogeochemie, Jena,

2: School of Geographical Science, University of Bristol, Bristol B S8 1SS, U.K.,

3: 7B5 Geowissenschaften, Universität Bremen, Bremen,

4: CEREGE, UMR6635, BP80, 13545 Aix-en-Provence, Cedex 4, France,

5: Department of Geography, University of Cambridge, Cambridge CB2 3EN, U.K.,

---

## **I. Kurzdarstellung**

### 1. Aufgabenstellung

Das Projekt konzentrierte sich auf die Rekonstruktionen vergangener und somit von heute abweichender globaler klimatischer Bedingungen. Der Hintergrund zu dieser Fragestellung war eine Verbesserung der Einschätzung von langfristigen Klimaprognosen. Durch die Entwicklung von immer komplexeren Klimamodellen einerseits, und der Synthese umfassender Beobachtungsdaten andererseits, wurden Computersimulationen und Rekonstruktionen der jüngeren geologischen Vergangenheit miteinander vergleichbar. Vor allem die Untersuchungen der Wechselwirkungen und der Variabilität innerhalb des Systems Erde werden weitere Forschungen bezüglich klimarelevanter Parameter unterstützen.

Der Projektfokus lag auf dem zeitlichen Abschnitt des letzten glazialen Maximums (LGM; 21 ka), sowie auf dem folgenden Interglazial des frühen (11 ka) und mittleren (6 ka) Holozän. Während des LGM herrschte ein völlig anderes globales Klimasystem mit deutlich geringeren Konzentrationen an Treibhausgasen und hohen Anteilen an Aerosolen, deutlich tieferen Meeresspiegel, anderen Strömungen, anderen Vegetationsverteilungen und großen flächigen Eisschilden. Die Zeit des frühen Holozäns ist eine Übergangsphase aus diesen glazialen Bedingungen in ein neues interglaziales Klimasystem, welches im mittleren Holozän mit veränderter solarer Einstrahlungsintensität und Saisonalität das so genannte Klimaoptimum erreicht und sich stabilisiert.

Durch diese speziellen Unterschiede der Rahmenbedingungen zu heute lassen sich 1. die Klimasensitivität durch Veränderung orbitaler Parameter besonders für die Tropen und die höheren Breiten validieren, 2. die Klimavariabilität zwischen jährlichen und dekadischen Schwankungen wie ENSO, NAO und tropischen Monsun im Bezug auf das allgemeine mittlere Klima analysieren, und 3. die Stärke und Auswirkungen von Rückkopplungseffekten zwischen der Landoberfläche und dem Ozean-Atmosphärensystem sowohl auf das mittlere Klima als auch auf die Variabilität bestimmen.

## 2. Voraussetzungen

Die bereits im Aufbau und zum Teil schon bestehenden, vor allem globalen Datensätze aus dem Palaeovegetation Mapping Project (BIOME6000: Prentice and Webb, 1998), der LGM Tropical Terrestrial Data Synthesis (Farrera et al., 1999) und die Global Lake Status Data Base (GLSDB: Kohfeld and Harrison, 2000) mit Relevanz für die ausgewählten Zeitscheiben dieses Projektes waren ein bedeutendes Startkapital. Hinzu kamen die optimalen logistischen und personellen Möglichkeiten am Institut für Biogeochemie Jena, die mit Kerstin Sickel als Programmiererin, Silvana Schott als technisch-graphische Redakteurin, Natalia Ungelenk als Bibliotheksassistentin und Gerhard Boenisch als Datenbankmanager unter der Leitung von Sandy Harrison vor Ort gegeben waren. Durch Sandy Harrison bestand ein Netzwerk von zahlreich wichtigen Kontakten zu nationalen und internationalen Arbeitsgruppen. Besonders hervorzuheben sind hierbei die Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe von Ralph Schneider aus Bremen (MARGO) sowie den PMIP und MOTIF Teilnehmern. Zum Schluss muss noch die Verbindungen mit dem MPI für Meteorologie in Hamburg und dem Deutschen

Klimarechenzentrum genannt werden, über die ein Zugriff auf außerordentliche Rechnerleistungen und -Zeiten gewährleistet war.

### 3. Planung und Ablauf

Die Schwerpunkte der Arbeiten lagen 1. bei der Zusammenstellung und dem Aufbau von Beobachtungsdaten und der Harmonisierung der verschiedenen Messreihen; 2. der Konzeption, dem Design und der Auswertung der Modellsimulationen, und 3. schließlich als Synthese von Daten und Simulationen die Evaluation der Ergebnisse und Vertiefung spezieller daraus entstandener Fragen.

Begonnen wurde mit dem Aufbau und der Zusammenstellung vorhandener Beobachtungsdatensätze.

Für den Aufbau der Vegetationsdaten wurden die bereits bestehenden Datensätze aus den Projekten BIOME6000 und LGM TROPICS übernommen und mit neu veröffentlichten Pollendaten ergänzt. Dabei wurde unter anderem auf die öffentlichen Datenbanken der European Pollen Data Base, North American Pollen Data Base, Latin American Pollen Data Base, African Pollen Data Base, Russian Pollen Data Base, Chinese Pollen Data Base und der SE Pacific Pollen Data Base zurückgegriffen.

Der Aufbau der Projektdatensätze gliederte sich in drei Zeitscheiben (LGM, frühes Holozän und mittleres Holozän). Zusätzlich wurde eine globale Standardisierung von Pflanzentaxa zu Pflanzen-Funktions-Typen (plant functional types), sowie Pflanzen-Funktions-Typen zu Biomschemata durchgeführt (Prentice et al., 1992). Diese Harmonisierung ermöglichte eine einheitliche Klassifizierung weltweiter Vegetationstypen und bot damit einen Vergleichmodus zu Modellsimulationen. Durch so genannte Vorwärtsmodellierung wird das Vegetationsmodell BIOME4 (Kaplan et al., 2003) asynchron mit den Ergebnissen der Paläoklimasimulation gekoppelt. Es werden potentielle natürliche Vegetationstypen (Biome) modelliert, die sich wiederum aufgrund der definierten PFTs mit den Pollenproxydaten vergleichen lassen.

Die Vegetationsrekonstruktionen erlaubten eine Abschätzung der räumlichen Veränderung der Biomegrenzen wie z.B. die boreale Baumgrenze, und ergaben somit Aussagen über klimatische Bedingungen wie Temperatur und Niederschlag (Farrera et al., 1999).

Die ozeanographischen Daten stützten sich auf Paläoindikatoren für Ozeantemperatur, Oberflächenstratifikation, Tiefseezirkulation und den Kohlenstoffkreislauf (z.B. Fischer und Wefer, 1999) bezüglich der drei Zeitscheiben. Schwerpunktmäßig wurden planktonische Foraminiferen, stabile Isotope, Zusammensetzungen von Spurenelementen und Alkenonesättigungsraten zur Bestimmung von Ozeanoberflächentemperatur (SST) und Salinität (SSS) ausgewertet. Sauerstoff- und Kohlenstoffisotope sowie Cadmium/Kalziumraten gaben Aufschluss über Tiefenwasserzirkulationen und den Kohlenstoffkreislauf. Auch hier wurden die unterschiedlichen Proxydaten zunächst harmonisiert und standardisiert, womit zeitrelevante Aussagen mit Modellsimulationen kombiniert werden konnten.

Die in diesem Projekt völlig neue Zusammenstellung von Schneefallgrenzdaten (snowline) zielte speziell auf die Analysen über das LGM. Auf Grund unterschiedlicher Feldmethoden bei der Datenerhebung wurden diese im Vorfeld evaluiert um die Rekonstruktionen der Schneegrenzen mit potentiellen Fehlern zu bestimmen.

All diese Daten wurden in der integrierten Datenbank ACCESS zusammengefasst und mit Ende dieses Projekts veröffentlicht.

Komplementär zur Aufarbeitung der Datensätze begannen die paläoklimatischen Modellsimulationen. Neben der Kontrollsimulation unter präindustriellen Bedingungen für 0 ka wurden Paläoklimasimulationen für 6 ka, 11 ka und LGM durchgeführt. Diese Simulationen wurden zunächst mit dem FOAM OAGCM Modell (fast-ocean-atmosphere-model) mit Standardkonfiguration durchgeführt. Anschließend folgten eine Berechnung mit FOAM-LPJ, was einem OAGCM mit gekoppelter dynamischer Vegetation entspricht, und schließlich eine Variante mit integriertem Staubkreislauf, dem FOAM-LPJ-DUST-Modell. Letzt genannte Kombination wurde nur für Kontroll- und LGM-Simulationen durchgeführt. Diese speziellen Kombinationen von Simulationsläufen dienten der genaueren Abschätzung von Vegetationsrückkopplungen und Staubeffekten. Alle Simulationen wurden nach den jeweiligen solaren Einstrahlungsparametern nach Berger (1978) spezifiziert. Die atmosphärischen Gaskompositionen wurden entsprechend der Eisbohrkerndaten bestimmt (Barnola et al., 1987; Raynaud et al., 1993; Chappelaz et al., 1997; Petit et al., 1999; Raynaud et al., 2000). Aufgrund der besonderen Umstände der Land-Ozean-Geographie und der speziellen Verteilung der Eismassen für das LGM wurden diese Experimente erst zu einem späteren Zeitpunkt, nach entsprechender Implementierung und Sensitivitätsanalysen, durchgeführt. Jede Simulation lief über ein Minimum von 150 Jahren. Die präindustrielle

FOAM OAGCM-Simulation startete von einem vorausgegangenen Kontrolllauf und alle weiteren 6 ka- und 11 ka-Simulationen starteten wiederum vom Jahr 120 aus diesem präindustriellen Simulationslauf um Spin-up-Probleme zu minimieren.

Als Synthese der vorausgegangenen Arbeitsschritte folgten die Modellanalysen und Evaluationen. Die gesammelten Paläodaten wurden nun benutzt um die Qualität der Modellsimulationen zu überprüfen. Schwerpunktmäßig wurde die Klimasensitivität in den tropischen und boreal/polaren Regionen, Rückkopplungseffekte für das Holozän und LGM und Klimavariabilitätsschwankungen analysiert.

#### 4. Wissenschaftlicher und technischer Stand

##### Klimasensitivität

Die Sensitivität des Klimas gegenüber dem geringeren CO<sub>2</sub> (Minimum ca. 185 ppmv) zur Zeit des letzten glaziale Maximums (LGM) ist eine fundamentale und weitgehend ungelöste Frage. Während CLIMAP (1981) für die Tropen für das LGM eine Abkühlung von 1.5°C annahm, deuteten die wenigen terrestrischen Untersuchungen in höheren Breiten, die bis Mitte der '80er Jahre vorlagen, auf einen deutlich höheren Temperaturabfall hin (Rind und Peteet, 1985). Spätere Arbeiten konnten die vielfältigen Einflüsse der solaren Einstrahlungsbedingungen während des LGM besser einschätzen und die atmosphärischen Konzentrationen der strahlungsreaktiven Gase konnten aus Eisbohrkernen ermittelt werden (Barnola et al., 1987; Raynaud et al., 1993; Chappellaz et al., 1997; Petit et al., 1999; Raynaud et al., 2000). Hinzu kamen große Fortschritte und Verbesserungen bei der Modellierung; speziell der Einfluss von Aerosolen (besonders mineralischer Staub) auf die Einstrahlungsbilanz (Tegen et al., 1996; Claquin et al. 1999; Sokolik und Toon, 1999) wurde besser verstanden.

Zahlreiche Durchbrüche in der Interpretation und der Synthese von marinen und terrestrischen Paläodaten sowie die Entwicklung neuer geotechnischer Techniken wie z.B. Messungen von Alkenonenratios zur Rekonstruktion von Ozeanoberflächentemperaturen (Rostek et al., 1993; Schneider et al., 1995; Bard et al., 1997; Rosell-Melé et al., 1998; Sonzogni et al., 1998; TEMPUS website: <http://nrg.ncl.uk:8080/CLIMATE/Tempus.html>) folgten. Anschließende Rekonstruktionen der Ozeanoberflächentemperatur ergaben eine Verminderung von ca. 3°C für den Bereich der Tropen verglichen mit heute und zum Teil signifikanten regionalen