

## Zurück in die Zukunft: Projekt PalMod

Durch den Einfluss des Menschen hat sich das Klima der Erde seit Beginn der Industrialisierung erheblich verändert. Folgen sind zum Beispiel die globale Erwärmung, der Rückgang der Eisbedeckung und der Meeresspiegelanstieg. Doch in der Vergangenheit gab es auch große natürliche Klimaänderungen. Dazu gehören das Kommen und Gehen der Eiszeiten und die abrupten Wechsel zwischen wärmeren und kälteren Jahrhunderten während der letzten Eiszeit. Die Ursache für diese Klimaänderungen ist die stark nichtlineare Reaktion des Erdsystems auf relativ kleine Änderungen der solaren Einstrahlung. Diese großen Klimaschwankungen mit komplexen Erdsystemmodellen zu simulieren, wird helfen, die langfristige Dynamik unseres Klimas besser zu verstehen, um mögliche künftige langfristige Klimatrends besser abschätzen zu können.

Im Rahmen des Projekts PalMod (**PaläoModellierung**), an dem das Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M) federführend beteiligt ist, verfolgen 18 wissenschaftliche Institutionen das Ziel, das Klimasystem und seine Variabilität im letzten Eiszeitzyklus mit komplexen Erdsystemmodellen zu untersuchen. Vor 20.000 Jahren war die globale Mitteltemperatur etwa 4 bis 5 Grad kälter als heute. Auf Nordamerika und Skandinavien lagen gigantische Eisschilde, so dass der Meeresspiegel um ca. 120 m niedriger war als heute. Die atmosphärische Konzentration von CO<sub>2</sub> war um mehr als ein Drittel gegenüber dem präindustriellen Wert erniedrigt. Diese Eisschilde sind innerhalb von 10.000 Jahren verschwunden und das Klima hat sich erwärmt. Die Wissenschaftler wollen dabei wichtige Fragen klären: Welche Prozesse dominieren die Desintegration der Eisschilde, die in schnellen Schüben passiert ist? Wie kann man den Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration erklären und wie rasch kann sich der globale Kohlenstoffkreislauf als Reaktion auf andere schnelle Klimaänderungen ändern und dadurch folglich die CO<sub>2</sub>- und Methan-Konzentration in der Atmosphäre ansteigen und absinken?

### **Wechselwirkung rascher und langsamer Klimafluktuationen**

Bisher wurden die Untersuchungen der Klimavariabilität auf langen Zeitskalen mit stark vereinfachten Klimamodellen und mit Erdsystemmodellen mittlerer Komplexität (EMIC – Earth system model of intermediate complexity) durchgeführt. Die stark vereinfachten Klimamodelle dienen eher dem konzeptionellen Verständnis der Klimadynamik und sind für die Vorhersage langfristiger Klimavariabilität nicht geeignet. EMICs hingegen können im Prinzip langfristige Prozesse vorhersagen, jedoch werden rasche Änderungen im Klimasystem, wie z.B. das Wetter, nicht explizit berechnet, sondern nur der Einfluss der raschen Änderungen auf die langsameren Klimabewegungen summarisch erfasst oder parameterisiert. Dabei wäre es interessant, die Wechselwirkung zwischen raschen und langsamen Klimafluktuationen direkt in einem Modell zu beschreiben.

Zum einen prägen die langsamen Klimasystemkomponenten wie Ozeane und Eisschilde die Bewegung der raschen Klimasystemkomponenten wie Atmosphäre und Meereis. Zum anderen beeinflussen schnelle Klimafluktuationen die langsamen Klimaänderungen. Neben möglichen deterministischen Rückkopplungen können sich auch zufällige Wetterfluktuationen zu einer Klima-anomalie aufsummieren, die im Ozean eine Temperatur-anomalie erzeugt, die bedingt durch das Gedächtnis des Ozeans wesentlich länger andauern kann als die ursprünglichen Wetterfluktuationen. Dieser Prozess wurde bereits in den siebziger Jahren von Professor Klaus Hasselmann, Gründungsdirektor des MPI-M, beschrieben (Hasselmann, Tellus 28, 1976). Interessant ist, dass langsame Klimafluktuationen auf Zeitskalen von mehr als 100 Jahren und rasche Klimafluktuationen jeweils eigenen Gesetzmäßigkeiten zu gehorchen scheinen. So zeigen die Spektren der Temperaturfluktuationen jeweils unterschiedliche Skalierungseigenschaften.

Allerdings sind beide Spektralbereiche nicht voneinander getrennt, sondern langsame und rasche Temperaturfluktuationen sind im Bereich von etwa 100 Jahren von gleicher Größenordnung. Das deutet darauf hin, dass langsame und rasche Klimafluktuation in direkter Wechselwirkung stehen. Und nur das Verständnis dieser Wechselwirkung wird den Klimawissenschaftlern erlauben, belastbare Abschätzungen für Klimaänderungen der nächsten Jahrhunderte zu liefern.

### **Was den Klimamodellen noch fehlt**

Den Übergang vom Wetter zu den langen Klimafluktuationen über viele Jahrhunderte und Jahrtausende direkt zu berechnen, stellt die Klimamodellierer vor große Herausforderungen. Bisher wurden Simulationen mit komplexen Klimamodellen nur über mehrere Jahrhunderte und in sehr wenigen Fällen über ein paar Jahrtausende durchgeführt. Für längere Rechnungen müssen die Modelle erheblich schneller gemacht werden. Neue Algorithmen müssen entwickelt werden.

An die Entwicklung der komplexen Erdsystemmodelle sind allerdings nicht nur hohe technische Anforderungen gestellt. Es fehlen in den Modellen noch potentiell wichtige physikalische und biogeochemische Prozesse. Eisschilde mit ihren langen Zeitskalen werden bei den üblichen Simulationen konstant vorgeschrieben. Durch interaktive Kopplung mit dynamischen Eisschildmodellen wird die Variabilität auf sehr langen Zeitskalen verstärkt. Und es wird möglich, in den Erdsystemmodellen die Rückkopplungen zwischen kontinentalen Eismassen, und der großskaligen Ozeanzirkulation zu untersuchen. Außerdem fehlen den jetzigen Modellen wichtige Wechselwirkungsprozesse des globalen Kohlenstoffkreislaufs, dem Meeresspiegel und dem Inlandeis, die möglicherweise die schnellen und asynchronen Änderungen im atmosphärischen Kohlendioxid und Methan während abrupter Klimaänderungen erklären könnten. Auch der Effekt von Kohlenstoff und Methan, gespeichert im Permafrost an Land und als Gashydrat in marinen Sedimenten, der die erdbahnabhängige Klimavariabilität verstärkt, ist in den Erdsystemmodellen noch nicht enthalten.

### **Geplanter Ablauf des Projekts**

PalMod soll diese Lücken im Wissen und in der Modellierung schließen. Mit den Ergebnissen aus den Modellstudien kann die Belastbarkeit von langfristigen Klimaprojektionen besser abgeschätzt und die Aussagekraft zukünftiger Klimasimulationen entsprechend verbessert werden. In der ersten, vierjährigen Projektphase werden die Klimaänderungen der letzten gut 20000 Jahre vom Höhepunkt der letzten Eiszeit bis in die jetzige Warmphase betrachtet. Dazu wurde das Erdsystemmodell des MPI-M (MPI-ESM-1.2) in einer sehr groben horizontalen Auflösung (bis zu 400 km weite Modellgitterzellen) mit einem Eisschildmodell (20 km Auflösung) gekoppelt. Derzeit wird die Güte des Modells anhand von Simulation und Rekonstruktion der Hochphase der letzten Eiszeit geprüft. Zukünftig sollen weitere Modellkomponenten hinzugefügt werden, die für die Langzeitsimulationen notwendig sind. Besondere Herausforderungen stellt das Einbinden von Modulen dar, welche die Dynamik des Permafrosts, der Torfbildung, der Kohlenstoffumsetzung im Torf und der Methan-Emissionen aus den Feuchtgebieten sowie die Verlagerung von Flüssen durch Änderung des Meeresspiegels und Bildung von Eisschilden darstellen können.

Parallel zu dieser Modellentwicklung werden Modellsimulationen mit dem MPI-ESM-1.2 in einer feineren horizontalen Auflösung (200 km weite Modellgitterzellen) für die letzten 8000 Jahre, also die jetzige Warmzeit des Holozäns, durchgeführt. Dabei liegt der Schwerpunkt der Auswertung auf der Analyse der terrestrischen und ozeanischen Komponenten des globalen Kohlenstoffkreislaufs und der Dynamik der Vegetationsbedeckung, insbesondere der Sahara, die zu Beginn des Holozäns erheblich grüner als heute war.

Das MPI-M nutzt das Projekt PalMod nicht nur um die Dynamik der großen Eisschilde und des terrestrischen und marinen Kohlenstoffs zu verstehen, sondern auch, um die Entwicklung des neuen Erdsystemmodells MPI-ESM 2 voranzutreiben.

### Über PalMod

Neben Forschern des MPI-M sind 16 deutsche Wissenschaftlergruppen und eine kanadische Gruppe in dem vom Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung (BMBF) geförderten Projekt vertreten. PalMod ist über 10 Jahre angelegt und soll seine Forschungsziele in drei Projektphasen erreichen. Die erste Phase startete im August 2015 und endet im Juli 2019. Professor Martin Claußen, Direktor am MPI-M und Leiter der Abteilung „Land im Erdsystem“, ist neben Professor Mojib Latif (GEOMAR, Kiel) und Professor Michael Schulz (MARUM, Bremen) einer der drei wissenschaftlichen Leiter des PalMod-Projekts, die zusammen mit Professor Victor Brovkin (MPI-M) und sechs Wissenschaftlern aus anderen Institutionen die PalMod-Steuergruppe bilden. Als weitere MPI-M Wissenschaftler sind beteiligt: Anne Dallmeyer, Mathias Heinze, Tatiana Ilyina, Marie Kapsch, Thomas Kleinen, Virna Meccia, Uwe Mikolajewicz, Thomas Riddick und Florian Ziemer.

### Weitere Informationen:

PalMod-Projektwebseite: [www.palmod.de](http://www.palmod.de)

### Kontakt:

Prof. Dr. Martin Claußen  
Max-Planck-Institut für Meteorologie  
Tel.: 040 41173 226 (Assistentin Sylvia Houston)  
E-Mail: [martin.claussen@mpimet.mpg.de](mailto:martin.claussen@mpimet.mpg.de)

Prof. Dr. Victor Brovkin  
Max-Planck-Institut für Meteorologie  
Tel.: 040 41173 339  
E-Mail: [victor.brovkin@mpimet.mpg.de](mailto:victor.brovkin@mpimet.mpg.de)

Dr. Tatiana Ilyina  
Max-Planck-Institut für Meteorologie  
Tel.: 040 41173 164  
E-Mail: [tatiana.ilyina@mpimet.mpg.de](mailto:tatiana.ilyina@mpimet.mpg.de)

Uwe Mikolajewicz  
Max-Planck-Institut für Meteorologie  
Tel.: 040 41173 243  
E-Mail: [uwe.mikolajewicz@mpimet.mpg.de](mailto:uwe.mikolajewicz@mpimet.mpg.de)

Dr. Tim Brücher  
Projektkoordinator PalMod  
GEOMAR Kiel  
Tel.: 0431 600 4075  
E-Mail: [info@palmod.de](mailto:info@palmod.de)