

**Wechselwirkungen zwischen
Klima und Landoberfläche
im Holozän**
- Modellstudien -

von Claudia Kubatzki

*Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)
Telegrafenberg
14412 Potsdam*

Dissertation zur Erlangung des Grades „Doktor der Naturwissenschaften“
am Fachbereich Geowissenschaften der Freien Universität Berlin

Abgabe: 4. September 2000
Disputation: 14. November 2000

Erstgutachter: Prof. Dr. M. Claussen

Zweitgutachter: Prof. Dr. M. Geb

Die vorliegende Dissertation wurde unter Betreuung von Prof. Dr. Martin Claussen am
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung angefertigt.

Sie ist nach den Regeln der neuen deutschen Rechtschreibung verfasst.

Teile der Arbeit wurden durch das EU-Projekt Nr. ENV4-CT97-0696 gefördert.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden Ergebnisse von Simulationen eines globalen Klimasystem-Modells mittlerer Komplexität für das Holozän präsentiert und die Belastbarkeit der Ergebnisse im Hinblick auf veränderte Versuchsdurchführungen und Parameterisierungen der Landoberfläche untersucht.

Die Beschaffenheit des Modells CLIMBER erlaubte es erstmalig, Simulationen unterschiedlicher Modellkonfigurationen (Komponenten: Atmosphäre, Ozean, Vegetation; letztere beide entweder veränderlich oder auf einen vorgegebenen Zustand festgesetzt) durchzuführen und so auf konsistente Art den Einfluss der verschiedenen Klima-Untersysteme wie auch Synergieeffekte abzuschätzen. Die jeweiligen Effekte werden anhand von Verstärkungsfaktoren verdeutlicht. Auch die hier präsentierten transienten Simulationen waren mit bisherigen Modellen so nicht möglich.

Gleichgewichts-Simulationen für 6000 Jahre vor heute zeigen - ähnlich wie andere Modelle - ein wärmeres und feuchteres Klima in der (sommerlichen) Nordhemisphäre, eine nordwärtige Ausdehnung borealer Wälder und eine weit verbreitete Vegetation im Gebiet der Sahara. Die Synergie, die sich durch wechselseitige Verstärkung von Vegetations-Schnee-Albedo-Effekt und Meereis-Albedo-Effekt vor allem in hohen nördlichen Breiten ergibt, bewirkt dort nahezu ganzjährig höhere Temperaturen, was das vermeintliche Biomparadoxon in den geologischen Daten auflöst. Sie führt außerdem durch Reduzierung des nordwärtigen Wärmetransportes im Atlantik zu einer Erwärmung der antarktischen Region. Die Subtropen sind von Synergieeffekten nur wenig beeinflusst.

Transiente Simulationen über die letzten 9000 Jahre zeigen einen allmählichen Rückgang der höheren Sommertemperaturen in der Nordhemisphäre wie auch einen entsprechend langsamen Rückzug der borealen Wälder. Einzig in Nordafrika kommt es durch die starke positive Wechselwirkung zwischen Niederschlägen und Vegetation zu einem abrupten Rückzug der Vegetation um 5500 Jahre vor heute.

Veränderungen der Bodenenergie- und -feuchtebilanzen zwischen zwei Simulationen werden außer auf atmosphärische Größen auch auf einzelne Parameter zurückgeführt. Diese bestimmen vor allem Differenzen zwischen den unterschiedlichen Oberflächentypen mit ihren gegebenenfalls veränderlichen Flächenanteilen. Daher wird hier neben Empfindlichkeitsstudien zu veränderten Versuchsdurchführungen zusätzlich der Einfluss dieser Oberflächenparameter im Modell untersucht:

- a) Auf unterschiedlich gewählte Anfangs- oder Randbedingungen reagiert vor allem das Meereis. Die Vegetation zeigt erst gegenüber unrealistischen Anfangsbedingungen eine gewisse Sensibilität. In der Sahara können so Unterschiede des Vegetationsanteils von bis zu 20% auftreten.
- b) Die Reaktion der Vegetation auf Veränderungen des Ozeans hängt für verschiedene Regionen Nordafrikas auf unterschiedliche Weise von den Einstrahlungsbedingungen ab.
- c) Die transienten Simulationen sind stabil gegenüber Änderungen der Anfangsbedingungen.
- d) Der Zeitpunkt von Vegetationsumbrüchen kann sich etwa durch Änderung der Randbedingungen in der Größenordnung von hundert Jahren verschieben.
- e) Es wird ein Hysterese-Effekt in der Größenordnung von wenigen hundert Jahren beobachtet.
- f) Die Vegetationsausbreitung in borealen Breiten und in den Subtropen ist jeweils vom Ozean sowohl in hohen als auch in niederen Breiten abhängig.
- g) In borealen Breiten zeigt sich eine gewisse Sensibilität des Modells vor allem gegenüber - im Rahmen der gegebenen Unsicherheiten - unterschiedlich gewählten Werten der Rauigkeitslänge und der Parameterisierung des Schneeanteils, weniger gegenüber dem Blattflächenindex. Differenzen des Vegetationsanteils betragen so weniger als 10%.
- h) In Nordafrika können die unterschiedlich gewählten Werte der Rauigkeitslänge hier Differenzen von bis zu 35% hervorrufen. Die Albedowerte in der Sahara beeinflussen deutlich auch das Klima im Sahel, das Klima in der Sahara wird stark von der Albedo in den zentralasiatischen Wüsten beeinflusst.

Mit Veränderungen der Oberflächenparameter ist es möglich, Abweichungen der Modellresultate von den Beobachtungsdaten zu verringern. Erst derartige - in den üblichen Darstellungen häufig vernachlässigte - Empfindlichkeitsstudien haben gezeigt, dass sich zwar quantitative Differenzen etwa in der Vegetationsbedeckung von einigen zehn Prozent ergeben können, die Modellresultate im Hinblick auf die Landoberfläche jedoch qualitativ belastbar sind.

Inhalt

Einleitung	1
I Grundlagen	7
1 Die Landoberfläche	7
1.1 Wechselwirkungen zwischen Klima, Böden und Vegetation	7
1.2 Bisherige Studien	9
1.3 Boreale Breiten und Nordafrika	11
2 Paläoklima	15
2.1 Geologische Methoden	15
2.2 Das Quartär	15
2.3 Vegetation im Holozän	25
3 Das Modell	27
3.1 Vor- und Nachteile bisheriger Klimamodelle	27
3.2 CLIMBER-2.1	28
3.3 Simulation des heutigen Klimas	38
II Simulationen des Holozäns	41
4 Aufbau der Untersuchungen	41
4.1 Gleichgewichts-Simulationen	41
4.2 Transiente Simulationen	42
4.3 Verstärkungsfaktoren	44
5 Ergebnisse der Gleichgewichts-Simulationen	49
5.1 Folgen der veränderten Erdbahnparameter	49
5.2 Folgen des veränderlichen Ozeans	52
5.3 Folgen der veränderlichen Vegetation	57
5.3.1 Boreale Breiten	57
5.3.2 Nordafrika	59
5.3.3 Diskussion	61
5.4 'Wechselwirkungen' zwischen Vegetation und Ozean: Synergie	62
5.4.1 Synergie und Biomparadoxon	62
5.4.2 Boreale Breiten	63
5.4.3 Nordafrika	63
5.4.4 Antarktis	65
5.5 Vergleich mit geologischen Befunden	66
6 Ergebnisse der transienten Simulationen	69

6.1 Folgen sich verändernder Erdbahnparameter	69
6.2 Folgen des veränderlichen Ozeans	70
6.3 Folgen der veränderlichen Vegetation	71
6.3.1 Boreale Breiten	72
6.3.2 Nordafrika	74
6.4 'Wechselwirkungen' zwischen Vegetation und Ozean: Synergie	78
6.4.1 Boreale Breiten	78
6.4.2 Nordafrika	80
6.5 Vergleich mit geologischen Befunden	80
6.6 Zusammenfassung: Simulationen des Holozäns	82
7 Empfindlichkeitsstudien: Versuchsdurchführung	85
7.1 Motivation	85
7.2 Unterschiedliche Anfangsbedingungen	85
7.2.1 Gleichgewichts-Simulationen	85
7.2.2 Transiente Simulationen	87
7.3 'Inverse' Simulationen	88
7.3.1 Gleichgewichts-Simulationen	88
7.3.2 Transiente Simulationen	91
7.4 Festsetzen auf holozäne Bedingungen	92
7.4.1 Gleichgewichts-Simulationen	92
7.4.2 Transiente Simulationen	93
7.5 Stabilität der simulierten Vegetationsunterschiede	97
7.5.1 Gleichgewichts-Simulationen	97
7.5.2 Transiente Simulationen	102
7.6 Zusammenfassung	103
III Darstellung der Landoberfläche	107
8 Prozesse in den Simulationen des Holozäns	107
8.1 Motivation	107
8.2 Veränderungen innerhalb der Oberflächentypen	112
8.2.1 Boreale Breiten	112
8.2.2 Nordafrika	117
8.3 Unterschiede zwischen den Oberflächentypen	121
8.3.1 Boreale Breiten	121
8.3.2 Nordafrika	124
8.4 Zusammenfassung	126
9 Empfindlichkeitsstudien: Parameterisierungen	129
9.1 Motivation	129
9.2 Unterschiede zwischen den Oberflächentypen	130
9.2.1 Beschreibung der Empfindlichkeitsstudien	130

9.2.2 Unterschiede zwischen Gras und Wüste	135
9.2.3 Unterschiede zwischen Gras und Bäumen	140
9.3 Veränderungen innerhalb der Oberflächentypen	145
9.3.1 Beschreibung der Empfindlichkeitsstudien	145
9.3.2 Stärkere Sensibilität	149
9.3.3 Geringere Sensibilität	154
9.4 Zusammenfassung	154
10 Überblick und Ausblick	157
Literatur	163

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Martin Claussen für sein Vertrauen und bei Andrey Ganopolski für viele Unterhaltungen über Gott und die Welt, wie auch bei Vladimir Petoukhov und Victor Brovkin und überhaupt beim gesamten CLIMBER-Team für die nette Atmosphäre und für dreieinhalb spannende und in tausendundeiner Hinsicht lehrreiche Jahre bedanken.

Mein besonderer Dank gilt zudem meinen Kollegen Ursula Werner, Uwe Böhm und Dietmar Gibietz, die mir jederzeit offen mit Rat und Tat zur Seite standen.

Dankeschön auch an Wolfgang Lucht für das freiwillige Korrigieren dieses Millennium-Werkes.

Von unschätzbarem Wert war und ist zu jeder Zeit die Unterstützung durch meine Eltern, meine Familie und durch Freunde und Bekannte.

Lebenslauf

Claudia Kubatzki

geboren am 15. Juli 1970 in Bad Harzburg

Eltern: Gunder Kubatzki und Brigitte Kubatzki, geborene Wyrzgol

Schule:

September 1973 - Juni 1977 Kindergarten Bad Harzburg

August 1977 - Juli 1981 Gerhart-Hauptmann-Grundschule Bad Harzburg

August 1981 - Juli 1983 Orientierungsstufe Bad Harzburg

August 1983 - Mai 1990 Niedersächsisches Internatsgymnasium Bad Harzburg

Abitur mit Note 1,5

Universität:

Oktober 1990 - Oktober 1996 Studium der Meteorologie, Universität Hamburg

Vordiplom mit Note gut

Diplom mit Note sehr gut

Diplomarbeit zum Thema: 'Numerische Experimente zu den globalen bio-geophysikalischen Wechselwirkungen während des Letzten Glazialen Maximums' bei Martin Claussen (damals Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg)

Praxis:

August 1993 Praktikum Agrarmeteorologische Beratungs- und Forschungsstelle Quickborn des Deutschen Wetterdienstes

Dezember 1994 - September 1995 Studentische Hilfskraft (Claussen, damals Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg)

Ende 1996 Werkvertrag 'Erstellung Modell-Datenbank Holozän' (Claussen, PIK)

Berufliche Tätigkeiten:

seit Februar 1997 Doktorandin am PIK

Hiermit versichere ich, die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Potsdam, den 01.09.00

Claudia Kubatzki