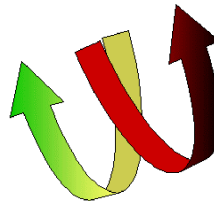


**WASSERVERFÜGBARKEIT SOWIE ÖKOLOGISCHE, KLIMATISCHE UND
SOZIOÖKONOMISCHE WECHSELWIRKUNGEN IM SEMIARIDEN
NORDOSTEN BRASILIENS**



WAVES

**Verbundprojekt WAVES
Schlußbericht**

Fachbereich Integrierte Modellierung

Zuwendungsempfänger: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.

Projektleiter: Dr. M.S. Krol

Förderkennzeichen: 01 LK 9713

Vorhabenbezeichnung: Integrierte Modellierung der Wirkungskette von Klima, Wasserverfügbarkeit und Migrationsdynamik in Ceará und Piauí, unter besonderer Berücksichtigung von Rückkopplungen und räumlichen Variabilitäten und Szenarienanalysen.

Laufzeit des Vorhabens: 01.08.1997 - 31.07.2001

Bearbeitung: Dr. M.S. Krol
Dipl. Biophys. A. Jaeger
Prof. Dr. A. Bronstert

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	1
2 Stand des Vorhabens	2
2.1 Einleitung und Fragestellung des Teilprojekts	2
2.2 Methodisches Vorgehen	2
2.3 Ergebnisse	4
2.3.1 Aufbau des integrierten Modells SIM (Semi-arid Integrated Model)	4
2.3.2 Modelle aus den anderen Fachbereichen und eigene Modellierung	9
2.3.3 Parametrisierungen und Datenbearbeitung	10
2.3.4 Anwendungen	11
2.3.5 Untersuchungen zu Skalierungsproblemen	16
2.3.6 Erstellung von integrierten Szenarien	18
2.4 Diskussion	19
2.5 Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten und brasilianischen Wissenschaftlern	22
2.5.1 Workshops der deutschen Projektseite	22
2.5.2 Bilaterale Projektaktivitäten	22
2.6 Bibliographie.....	22
2.6.1 Eigene Publikationen.....	22
2.6.2 Zitierte Literatur	23
3 Vergleich des Standes des Vorhabens mit der ursprünglichen Planung und Ausblick	24
4 Ergebnisse Dritter, die für das Vorhaben von Bedeutung sind.....	25
5 Angaben zu Erfindungen und Schutzrechten	25

1 Zusammenfassung

Das wichtigste Ergebnis des Fachbereichs Integrierte Modellierung ist das Modell **SIM** (**Semi-arid Integrated Model**). Es beschreibt dynamisch, systematisch und quantitativ die Wirkungskette von globalem Wandel, Wasserverfügbarkeit, Landwirtschaft und sozialen Vorgängen (hier insbesondere Migration) in den brasilianischen Bundesstaaten Ceará und Piauí.

Das Modell stellte eine konsistente Verknüpfung der Arbeiten der einzelnen Fachbereiche des WAVES-Projekts, die sich mit Prozeßbeschreibungen an der Makro- bzw. Mesoskala beschäftigen, dar. Verschiedene Module beschreiben das Klima, die wasserbezogenen Prozesse, die Landwirtschaft und die soziologischen und ökonomischen Themen. Die räumliche Auflösung ist das Munizip (insgesamt 332 Munizipien in Ceará und Piauí), die zeitliche Auflösung reicht von einem Tag bis zu einem Jahr, entsprechend der beschriebenen Prozesse. Es wurden Skalierungsfragen bearbeitet und Validierungs- sowie Sensitivitätsstudien durchgeführt.

Eine weitere Integrationsebene im WAVES-Projekt ist die Entwicklung von umfassend definierten, plausiblen, konsistenten und integrierten Szenarien der langfristigen Regionalentwicklung zur Analyse der Möglichkeiten von nachhaltigen Entwicklungen für die Nutzung von Boden und Wasser in Ceará und Piauí. In gemeinschaftlichen Arbeiten aller Projektgruppen wurden zwei Referenzszenarien erstellt, die verschiedene Bilder der möglichen zukünftigen Entwicklungen repräsentieren. Die Referenz- und Klimaänderungsszenarien konnten mit dem integrierten Modell SIM quantifiziert und damit die Folgen des globalen Wandels und der regionalen Politik in den Szenarien mit Hilfe von Indikatoren dargestellt werden.

Summary

The main result of the discipline "Integrated Modelling" is the model **SIM** (**Semi-arid Integrated Model**). It gives a systematic and interdisciplinary description and quantification of the causal chain of global change, water availability, agriculture and social processes (specifically migration) in the Brazilian federal states of Ceará and Piauí.

The model is a successful and consistent linkage of disciplinary contributions in WAVES, working at the macro- / mesoscale. Different modular contributions describe climate, water related processes, agriculture and sociological and economic themes. The spatial resolution is the municipio (332 municipios in Ceará and Piauí), time resolution ranges from one day to one year, depending on the process described. Scaling issues were addressed and studies of validation and sensitivity performed.

Further integrative activity in WAVES is the development of consistent integrated scenarios for analysing a possible sustainable use of soil and water resources in Ceará and Piauí. In a joint action of all project partners, two reference scenarios were developed, covering different themes of possible future developments. The reference scenarios and climate change scenarios were quantified using the integrated model SIM, simulating the impacts of global change and regional policy and generating indicators of scenario implications.

2 Stand des Vorhabens

2.1 Einleitung und Fragestellung des Teilprojekts

Die Wasserverfügbarkeit stellt in den semiariden Regionen der Erde einen entscheidenden Faktor der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklung dar. Unter Aspekten der globalen Änderungen kommt hinzu, daß auch vergleichsweise geringe Änderungen des Klimas eine deutliche Verschlechterung der Wasserverfügbarkeit bedeuten können und somit aufgrund der schon heute auftretenden Wasserknappheit erhebliche Auswirkung auf die natürlichen Potentiale und die gesellschaftlichen Bedingungen haben können.

Die Analyse dieses Zusammenhanges ist eine Vorbedingung zum Aufzeigen nachhaltiger Entwicklungspfade und stellt eine ausgesprochen multidisziplinäre Aufgabe dar. Für eine Problemanalyse und die Evaluierung möglicher Steuerungen ist eine problemorientierte Integration des vorhandenen Wissens erforderlich. Dabei berücksichtigt die Integration die wesentlichen Elemente der Kausalkette inklusive der Rückkopplungen.

Die Hauptziele dieses Teilprojekts sind die Formalisierung der Erkenntnisse der wichtigsten Prozesse und Zusammenhänge in einem integrierten Modell sowie die Analyse der gemeinsam vom Projekt erstellten integrierten Szenarien. Das integrierte Modell beschreibt dynamisch, quantitativ und geographisch explizit die Wirkungskette *globaler Wandel - Wasserverfügbarkeit - Lebensqualität - Migration* in den brasilianischen Bundesstaaten Ceará und Piauí. Das Modell beinhaltet Teilmodule der einzelnen Fachbereiche und kann verschiedene externe Randbedingungen berücksichtigen. Die erstellten Szenarien repräsentieren verschiedene Bilder der möglichen zukünftigen Entwicklungen.

In einer der wichtigsten globalen Studien über den Einfluß von Klimavariabilität auf die Landwirtschaft in tropischen semiariden Gebieten wird im Kapitel über den Nordosten Brasiliens geschlossen: „*there is evidently a lack of integrated climate – economy – society studies in Brazil. Given the magnitude of climatic impacts on the Brazilian economy and society, especially in Northeastern Brazil, research is recommended (..) that will lead to policies that increase resilience to drought*“ (Magalhães et al., 1988). Die Einschätzung von Auswirkungen möglicher politischer Eingriffe sowie die Analyse der Sensitivität auf globale Änderungsprozesse in Form von Szenarienstudien bilden prinzipielle Anwendungen der integrierten Studien.

2.2 Methodisches Vorgehen

Es wurde einer Modellierungs- und Integrationsstrategie gefolgt, die der anderer integrativer Studien im Global Change Bereich ähnelt, wie z. B. der des IMAGE Projektes (Alcamo, 1994). Ausgangspunkt der dynamischen integrierten Modellierung ist die Systemanalyse des Problems. Das Hauptergebnis der Vorphase war eine detaillierte Konzipierung des integrierten Modells. Dieses Konzept entstand aus einer systemtheoretischen Problemanalyse und enthält eine vorläufige Auflistung der dynamischen Prozesse, die im integrierten Modell beschrieben werden müssen; also derjenigen, die wichtig für die Problemstellung sind. Unterschieden werden dabei Prozesse, welche sich wechselseitig beeinflussen (interne Prozesse) bzw. Prozesse, die ebenfalls großen Einfluß auf das Systemverhalten haben, aber vom System selber kaum beeinflusst

werden (externe Prozesse). In Abbildung 1 ist die zugehörige Systemstruktur auf einer umfassenderen Ebene dargestellt.

Das Modellkonzept zeigt die zwei zentralen Schwerpunkte Wasser und Migration sowie die wichtigsten hypothetischen Zusammenhänge zwischen den beiden, die hauptsächlich über die Landwirtschaft verbunden sind.

Der Schwerpunkt Wasser ist in drei Aspekte aufgeteilt: physisches Angebot, Management inklusive Infrastruktur und tatsächliche Nutzung. In Abhängigkeit von den Klimavariationen sowie von dem Wassermanagement ändert sich das Angebot an natürlich vorkommendem Wasser und somit verschiedene Aspekte der Wassernutzung.

Auf der anderen Seite steht die Migrationsdynamik im Mittelpunkt, die stark durch Lebensqualität gesteuert wird. Die Lebensqualität setzt sich aus Indikatoren endogener Größen wie z. B. der Versorgung mit Trinkwasser oder auch der Beschäftigungssituation der Bevölkerung sowie extern beschriebener Größen (z. B. Technologieentwicklung) zusammen. Einen zentralen Verbindungspunkt zwischen diesen bildet die Landwirtschaft, die einerseits den dominanten Sektor der Wassernutzung darstellt und somit stark von der Wasserspeicherung sowohl im Boden als auch in den Aqüdes abhängig ist und andererseits die Versorgung mit Nahrung und das Einkommen der ländlichen Bevölkerung sicherstellen soll.

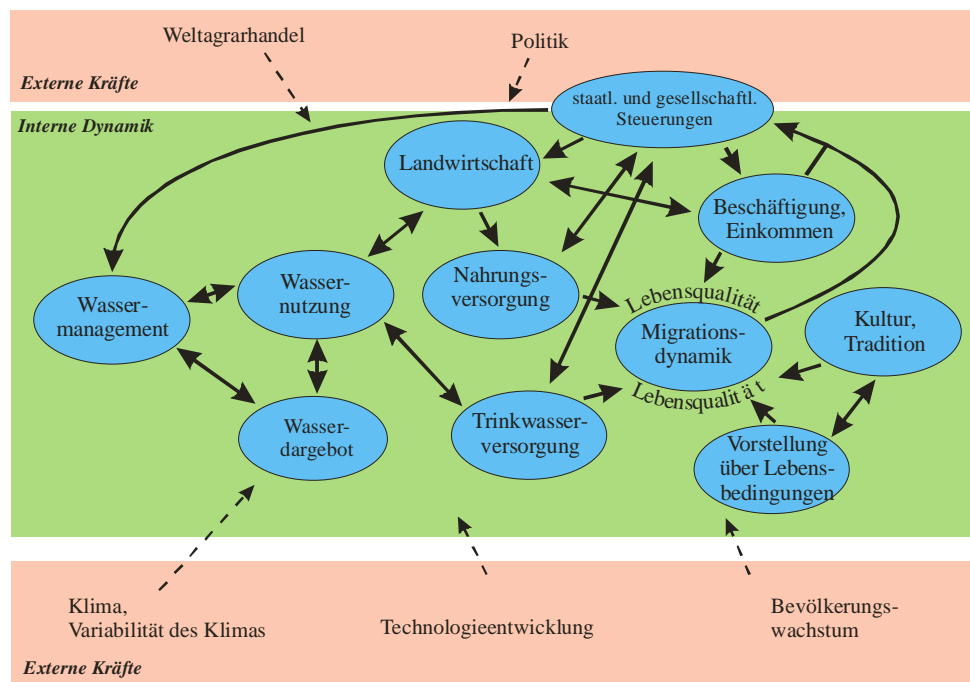


Abbildung 1: Systemanalyse der Zusammenhänge zwischen Wasserverfügbarkeit und sozialen Folgen.

Neben dieser Grobdarstellung wurden detailliertere Modellentwürfe vorbereitet, wobei die einzelnen Variablen sowie die wichtigsten abzubildenden Prozesse identifiziert wurden. Das Resultat waren eine Matrixdarstellung der Zusammenhänge und eine grafische Darstellung als ‚Spaghetti-Diagramm‘ (siehe Krol und Bronstert, 1997).

Zunächst wurde die Konzeptversion des Modells konkretisiert und eine Protoversion des integrierten Modells erstellt. Diese vorläufige Version enthält hypothetische Parametrisierungen der wichtigsten dynamischen Prozesse, die im Modell erfaßt werden müssen und bezieht sich auf die gesamte zu beschreibende Kausalkette und auf das gesamte Untersuchungsgebiet. Es