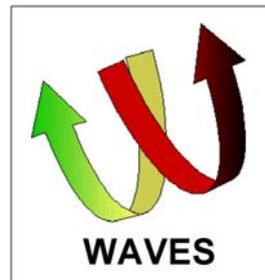


WASSERVERFÜGBARKEIT SOWIE ÖKOLOGISCHE, KLIMATISCHE UND SOZIOÖKONOMISCHE WECHSELWIRKUNGEN IM SEMIARIDEN NORDOSTEN BRASILIENS



Verbundprojekt WAVES

Fachbereich Landschaftsökologie und Regionalentwicklung

- Abschlussbericht 2001, Langfassung -

Zuwendungsempfänger: TU München-Weihenstephan

Förderkennzeichen: 01 LK 9702/0

Vorhabenbezeichnung: Grundlagen für ein
landschaftsökologisches Entwicklungskonzept in Nordost-Brasilien

Laufzeit des Vorhabens: 01.08.1997 - 31.10.2001

Berichtszeitraum: 01.08.1997 - 31.10.2001

Projektleitung: Prof. Dr. Ludwig Trepl

Bearbeitung: Dipl. Ing. Andreas Printz (TU-München, Lehrstuhl für Landschaftsökologie)
Dipl. Ing. Tanja Fugiel (TU-München, Lehrstuhl für Landschaftsökologie)
Dr. Ruth Lang (uismedia, Freising)
Dipl. Ing. Ulrich Voerkelius (Landschaftsökologie und Planung, Landshut)
Dipl. Ing. Dagmar Fuhr (GhK, Universität Kassel)

Freising-Weihenstephan, den 30.4.2002
TU München-Weihenstephan, Lehrstuhl für Landschaftsökologie
Am Hochanger 6, D - 85350 Freising
pepe@dec.loek.agrar.tu-muenchen.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Ziele des Vorhabens	1
2.1	Ziele der Projektphase	1
2.2	Ziel der integrierten regionalen Landnutzungssimulation (MOSDEL)	1
2.3	Ziel und Methodik der Wasserhaushaltsmodellierung	3
3	Stand des Vorhabens	4
3.1	MOSDEL	5
3.1.1	Datenerhebung und -aufbereitung	5
3.1.2	Technische Aspekte	5
3.1.3	Funktions- und Leistungsumfang von MOSDEL	6
3.1.3.1	Modellierung ökonomischer Nachhaltigkeits-/Risikogebiete	7
3.1.3.2	Modellierung hydrologischer Nachhaltigkeits-/Risikoflächen	9
3.1.3.3	Modellierung ökologischer Nachhaltigkeits-/Risikoflächen	11
3.1.3.4	Synopse der Modellierung von Nachhaltigkeits-/Risikoflächen	14
3.2	Wasserhaushaltsmodellierung	15
3.2.1	Anwendung des Modells auf das Focusgebiet Tauá	18
4	Kooperation mit den brasilianischen Partnern	19
4.1	Wissenschaftliche Kooperation	19
4.2	Administrative Kooperation	21
5	Ereignisse	24
6	Vergleich des Standes des Vorhabens mit der ursprünglichen Planung und Ausblick	26
7	Ergebnisse Dritter, die für das Vorhaben von Bedeutung sind	27
8	Angaben zu Erfindungen und Schutzrechten	27
9	Sonstiges	28
10	Sozio-ökonomische Bedingungen von Landnutzungsänderungen und Migrationsflüsse in Piauí und Ceará (Teilprojekt SOLAM)	29
10.1	Kooperation mit den brasilianischen Partnern	34
10.2	Informationssystem Hyper-WAVES	34
10.3	Ergebnisse Dritter, die für das Vorhaben von Bedeutung sind	35
10.4	Angaben zu Erfindungen und Schutzrechten	35
11	Literaturzitate	35
12	Veröffentlichungen	36
12.1	Veröffentlichungen des TP SOLAM (2000-2002)	36
12.2	Veröffentlichungen des FB Landschaftsökologie (1997-2002)	37
13	Liste der Abkürzungen	38

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: WAVES-Integrationspyramide	S. 1
Abb. 2: WAVES-Fachbereiche und ihre Integrationsebenen	S. 2
Abb. 3: MOSDEL/GIS – Infolayer	S. 5
Abb. 4: MOSDEL – Funktionsschema	S. 6
Abb. 5: Einkommen pro Kopf/Jahr der marktorientierten Betriebstypen in Distrikten und Landschaftseinheiten	S. 8
Abb. 6: Wasserbilanz unterschiedlicher Nutzergruppen in Distrikten und Landschaftseinheiten Tauás (1996)	S. 10
Abb. 7: Beispiel einer Gauß-Kurve zur Berechnung der Tragfähigkeit natürlicher Vegetation	S. 12
Abb. 8: Veränderung der Vegetationsklassenverteilung nach 5-Jahreslauf	S. 13
Abb. 9: WARIG – Menu für Modellgrundeinstellungen	S. 15

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bewertung der Vegetationstypen in Bezug zu ihrem Klimaxstandort (SUC_VALUE 1 und 2)	S. 12
Tabelle 2: WARIG – Beispiel einer Ergebnisausgabe	S. 16
Tabelle 3: Entwicklung der potenziellen landwirtschaftlichen Nutzfläche in der Untersuchungsregion zwischen 1996 und 2025 entsprechend den beiden Referenzszenarien Globalisierung und Dezentralisierung	S. 29
Tabelle 4: Entwicklung zur Anzahl der Betriebe je Betriebsgrößenklassen in der Untersuchungsregion zwischen 1996 und 2025 entsprechend den beiden Referenzszenarien Globalisierung und Dezentralisierung	S. 30
Tabelle 5: Entwicklung des Sektorales Bruttoinlandsproduktes in der Untersuchungsregion zwischen 1996 und 2025 entsprechend den beiden Referenzszenarien Globalisierung und Dezentralisierung	S. 31

Kartenverzeichnis

Karte 1: Ökonomische Nachhaltigkeits-/Risikogebiete	S. 9
Karte 2: Hydrologische Nachhaltigkeits-/Risikogebiete	S. 11
Karte 3: Ökologische Nachhaltigkeits-/Risikogebiete	S. 13
Karte 4: Aktuelle Vegetationstypenverteilung (Satellitenbild)	S. 14
Karte 5: Vegetationstypenverteilung nach 5-Jahreslauf	S. 14
Karte 6: Synopse der Nachhaltigkeits-/Risikogebiete	S. 14
Karte 7: Referenzgebiet Picos – Evapotranspiration, Oberflächenabfluss und Versickerung	S. 17
Karte 8: Flächen mit hohem Welkerisiko bei Zwischentrockenzeiten	S. 18
Karte 9: Zentrale Orte in den beiden Bundesstaaten Piauí und Ceará. Ausgangssituation 1996	S. 32
Karte 10: Entwicklung der Zentralen Orte entsprechend den Annahmen des Szenario A „Globalisierung“ in 2025	S. 32
Karte 11: Entwicklung der Zentralen Orte entsprechend den Annahmen des Szenario B „Dezentralisierung“ in 2025	S. 33
Karte 12: Entwicklung der Zentralen Orte unter optimalen Bedingungen der räumlichen Verteilung in 2025	S. 33
Karte 13: Übersicht über das Forschungsgebiet sowie über die räumlichen Schwerpunkte der Arbeitsgruppen	S. 39
Karte 14: Tauá – 3D-Ansicht mit Landschaftseinheiten	S. 40
Karte 15: Tauá – Marktzugänglichkeit durch Infrastruktur	S. 41
Karte 16: Tauá – Grundwassererneuerung und Wasserqualität	S. 42
Karte 17: Tauá – Klassifikation der Landnutzung und -bedeckung	S. 43
Karte 18: Tauá – 'Terrain Components'	S. 44

1 Einleitung

Vorliegender Abschlußbericht umfasst für den Fachbereich Landschaftsökologie die Hauptphase I und II (1997-2000 und 2000-2001).

In der Hauptphase II war der Fachbereich SOLAM (GhK, Universität Kassel) über einen F+E-Vertrag in den Fachbereich Landschaftsplanung und Regionalentwicklung integriert. Die Tätigkeiten dieser Arbeitsgruppe werden hier in einem eigenständigen Kapitel (10) dokumentiert. Erfolgskontrollbericht und Kurzfassung des Schlussberichts liegen gesondert vor.

2 Ziele des Vorhabens

2.1 Ziele der Projektphase

Ziel des Fachbereiches Landschaftsökologie in der Hauptphase war die Entwicklung eines regionalen, GIS-basierten Simulationsmodells, einschließlich eines darin integrierten Wasserhaushaltsmodelles. Während der Hauptphase I gelang es, einen Prototypen für die Modellregion Picos (Piauí) zu entwickeln. Für die Hauptphase II war die räumlich-inhaltliche Übertragbarkeit (konkret auf die Modellregion Tauá) der Modelle zu prüfen sowie Implementierungsmöglichkeiten vor Ort auszuloten.

2.2 Ziel der integrierten regionalen Landnutzungssimulation (MOSDEL)

Das Hauptziel für den Fachbereich Landschaftsökologie war die Entwicklung eines integrierten Modells für nachhaltige Landnutzung (MOSDEL = MOdel for Sustainable DEvelopment of Land Use). Damit sollte folgendes erreicht werden:

- **Entwicklung eines räumlich integrierten Modellansatzes auf der regionalen Ebene**

Der umfassende Forschungsansatz des WAVES-Projektes konnte weder räumlich noch inhaltlich von einer Einzeldisziplin hinreichend abgedeckt werden. (Das WAVES-Untersuchungsgebiet umfasste z.B. mit ca. 400.000km² eine Fläche in etwa der Größe Deutschlands, s. Karte 13.) Die Entwicklung innovativer Integrationstools stellt eine zentrale Herausforderung für die Nachhaltigkeitsforschung dar. In diesem Sinne sollte WAVES einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung integrierter Forschungsansätze liefern.

Die pyramidale Integrationsstruktur des MAB-Forschungsprojektes Berchtesgaden (Haber, 1993) wurde den Bedürfnissen des Forschungsverbundes WAVES angepasst. Die drei Integrationsebenen erwiesen sich dabei als geeignete Plattformen für den inhaltlichen Rahmen des heterogenen Forschungsverbundes von

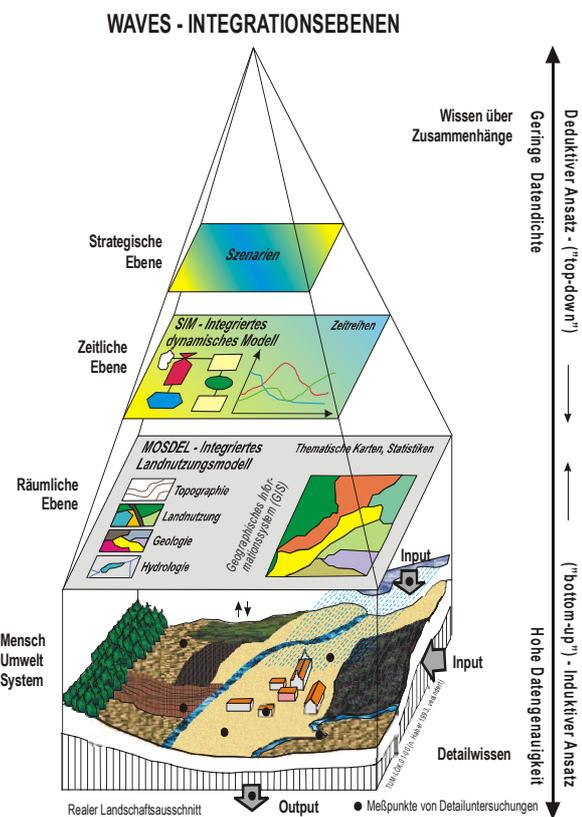


Abb. 1: WAVES-Integrationspyramide

WAVES. Abbildung 1 zeigt auf der Pyramidenbasis die Realität, welche durch die darüber liegenden Modellebenen abgebildet werden soll. Die oberste strategische Ebene wurde von der Szenario-Arbeitsgruppe durch Mitglieder verschiedener Fachbereiche gemeinsam betreut. Für die mittlere, zeitliche Ebene war der Fachbereich Integrierte Modellierung am PIK (Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung) zuständig. Der Fachbereich Landschaftsökologie war für die Integration auf der untersten, räumlichen Ebene verantwortlich. Nebenstehende Abbildung 2 zeigt die drei WAVES Integrationssebenen mit den jeweiligen Schwerpunkten der integrierenden Arbeitsgruppen (hervorgehoben durch dicke Pfeile). Die Kernthemen des Fachbereiches Landschaftsökologie sind in dunklem Grau, integrierte Fachinhalte in hellem Grau hinterlegt.

Auf der räumlichen Integrationsebene sollten einzeldisziplinäre und räumlich zuordenbare Untersuchungsergebnisse punktuell, lokal und regional arbeitender Fachbereiche digital in einem Geographischen Informationssystem erfasst werden. Damit sollten einerseits thematische Karten vom Untersuchungsgebiet zur Verfügung gestellt werden, andererseits waren die Grundlagen zu schaffen für eine weitere Aufbereitung (Skalierung und Aggregation) sowie Verknüpfungen in einer Datenbank mit hoher räumlicher Auflösung. Es sollte nicht nur eine hohe Datendichte und -qualität auf regionaler Ebene erzeugt werden (welche allerdings eine ‚conditione sine qua non‘ darstellt), sondern vor allem für semiaride Gebiete typische ökologische und (sozio-)ökonomische Wechselwirkungen modellhaft darstellbar werden.

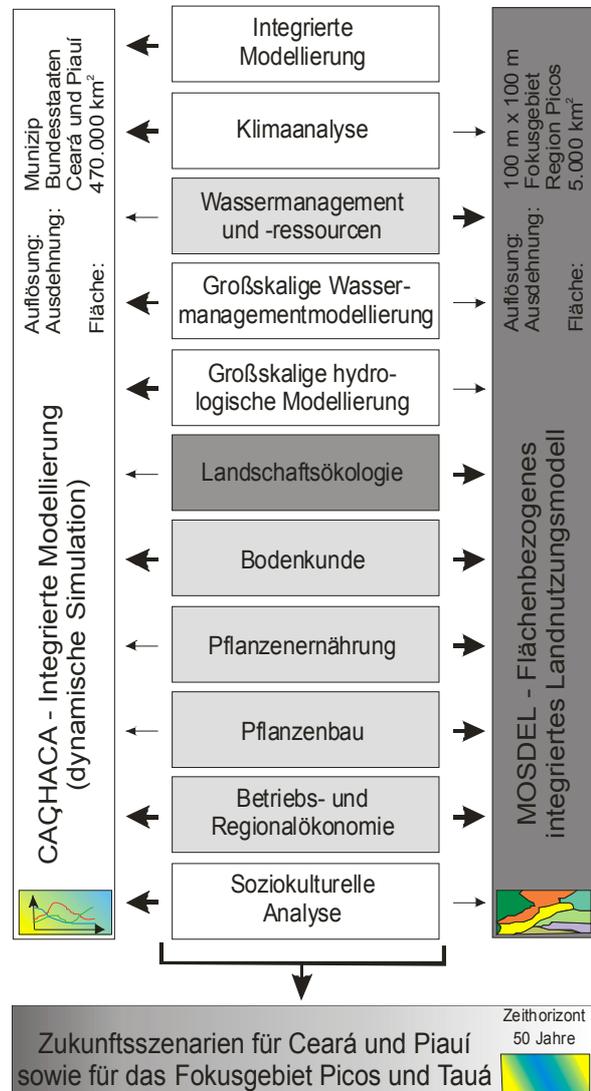


Abb. 2: WAVES-Fachbereiche und ihre Integrationsebenen

- **Simulation der Wechselwirkungen von Ökologie und Landnutzung**

Die Wirkungskette von Naturraumpotenzial, landwirtschaftlicher Produktivität und Wertschöpfung einschließlich ökologischer Folgewirkungen sollte für die zwei WAVES Referenzregionen Picos (Piauí) und Tauá (Ceará) modelliert werden. Durch die Gegenüberstellung und fachliche Verknüpfung ökosystemarer Standortfaktoren und Nutzungssystemen sollten die Veränderungen einzelner Faktoren (wie z.B. Klima oder Beweidung) in ihren Wechselwirkungen abschätzbar werden. Auch Szenarien mit komplexen Entwicklungsoptionen sollten berechenbar werden.

- **Entwicklung und Transfer eines angepassten einsatzfähigen Planungsinstrumentes**

Mit Hilfe transparenter Bewertungsverfahren sollten die durch das Modell errechnete Wirkungen auf ihre Nachhaltigkeit hin überprüfbar werden. Durch die Ausgabe unterschiedlicher Nachhaltigkeitsaspekte sollten Optimierungen unterschiedlicher Landnutzungsformen im jeweiligen Naturraum ermöglicht werden. Einem regionalen Akteur bzw. Behörde sollte somit ein multifunkti-

onales Planungsinstrument zur Verfügung gestellt werden, um z.B. möglichst flächenscharf Förderbedarf und -schwerpunkte bestimmen zu können. Das Modelldesign sollte Anpassungen an mögliche Nutzerinteressen ermöglichen sowie eine grundsätzliche Übertragbarkeit ermöglichen. Potenzielle Nutzer vor Ort waren zu ermitteln und für diese angepasste Lösungen bis hin zur Implementierung zu entwickeln.

Die drei Zielgruppen entsprechen in der dargestellten Reihenfolge in etwa der Chronologie von Vorphase, Hauptphase I und Hauptphase II.

2.3 Ziel und Methodik der Wasserhaushaltsmodellierung

Die Darstellung des Wasserhaushalts wurde im Vorhaben WAVES von verschiedenen Fachbereichen durchgeführt. Die großskalige Wasserhaushaltsmodellierung lag beim Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung, die zweidimensionale Modellierung des Bodenwasserhaushaltes wurde vom Fachbereich Bodenkunde an der Uni Hohenheim durchgeführt. Die Wasserhaushaltsmodellierung auf Landschaftsebene (für die Referenzregionen Picos und Tauá) erfolgte beim Fachbereich Landschaftsökologie an der TU-München.

Dafür waren verschiedene Voraussetzungen zu berücksichtigen. Um eine Abbildung des Wasserhaushaltes in der Fläche zu ermöglichen, muss das Modell für alle im Raum vorkommenden Kombinationen der Eingangsparameter Ergebnisse zur Verfügung stellen. Dies bedeutet im Falle des Focusgebietes Picos ca. 850 Rechenläufe pro Zeittakt. Eine weitere Randbedingung sind die begrenzt zur Verfügung stehenden Eingangsdaten für die Gesamtfläche. Unter den gegebenen Rahmenbedingungen wurde ein geeignetes Modell für eine flächenhafte Modellierung entwickelt.

Für diesen Ansatz wurde eine Kombination verschiedener Submodelle zugrunde gelegt. Als Basis dient das Modell SIMPEL, ein Speichermodell von Hörmann (Hörmann, G., 1999b). Zur Abschätzung des Oberflächenabflusses wurde ein Verfahren des U.S. Soil Conservation Service (USDA, 1972) eingesetzt. Damit war eine Koppelung der beiden Modelle notwendig. Die Teilmodelle und deren Umsetzung und Koppelung werden im folgenden beschrieben.

Die angewendete Version von SIMPEL hat in seinem Aufbau drei Speicher, den Interzeptionsspeicher, den Streuspeicher und den Bodenspeicher. Durch diese Kaskade wird sowohl überschüssiges Wasser, als auch nicht aus dem jeweiligen Speicher gedeckter Verdunstungsanspruch geleitet. Um das Verhalten des Bodenspeichers stärker an die realen Gegebenheiten anzupassen, ist der Ansatz nach Glugla (1969) implementiert, der eine Tiefenversickerung des Bodenwassers nicht erst bei „Überlauf“ des Speichers zulässt, sondern mit zunehmender Speicherfüllung eine zunehmende Versickerung errechnet. SIMPEL ist als Anwendung auf MS Excel programmiert.

Die hohe Anzahl notwendiger Modellläufe (ca. 850) für die flächendeckende Modellierung des Focusgebietes lassen es nicht zu das Modell in der vorliegenden Programmierung in EXCEL anzuwenden. Der Zugriff auf die verschiedenen Datensätze musste automatisiert werden. Dazu erfolgte eine Umsetzung auf die Programmiersprache von dBASE. Damit war vom Datenformat her ein direkter Zugriff auf Ergebnisse der Modellläufe aus ArcView möglich.

Eingangsparameter:

Die Flächendeckung der Eingangsparameter basiert auf den Geometrien der 'Terrain Components', der Landnutzungs- und -bedeckungsklassifizierung (Satellitenbildinterpretation) sowie dem digitalen Hö-

henmodell.

Eingehende Bodenparameter sind die Feldkapazität und der Permanente Welkepunkt, sowie die Durchwurzelungstiefe, die auch von der Vegetation abhängig ist. Die verwendeten Werte entstammen dem von der Arbeitsgruppe Bodenkunde aufgebauten Bodeninformationssystem SPICE und beziehen sich auf 'Terrain Components'. Die für die einzelnen 'Terrain Components' angewendeten Werte entstammen einem gemittelten Wert verschiedener Profildaten, die zu unterschiedlichen Flächenanteilen für die jeweilige Raumeinheit repräsentativ sind.

Die vegetationsabhängigen Parameter entstammen der diesbezüglichen Attributierung der durchgeführten Landnutzungs- und -bedeckungsklassifikation. Dies sind die Kapazität des Interzeptions- und Streuspeichers sowie vegetationsbedingten Einflüsse auf die Durchwurzelungstiefe.

Die Ermittlung der für das Modell notwendigen Eingangsgröße der potenziellen Evapotranspiration erfolgte nach Makkink (Hörmann 1999a), einer Abwandlung des Penman Verfahrens. Um eine Anpassung an die verschiedenen Landbedeckungen und Vegetationstypen zu erhalten, wurde der ermittelte Wert für die potenzielle Evapotranspiration durch einen jeweiligen Faktor modifiziert.

Der Oberflächenabflusses wurde entsprechend dem empirischen Verfahren des U.S. Soil Conservation Service (USDA, 1972) modelliert, im Weiteren als SCS-Verfahren bezeichnet. Die Programmierung erfolgte auf dem Grid Modul von ArcInfo™ und ist als eigenständige Anwendung menüeingebunden.

Eine genauere Beschreibung des Ansatzes ist dem Statusbericht (WAVES, Teil 2 Fachbereich Landschaftsökologie 31.1.2000) zu entnehmen

Die notwendigen Eingangsparameter sind die Bodenfeuchtegruppe und die CN-Werte. Die Zuordnung der Bodenfeuchtegruppen zu den 'Terrain Components' wurde von der AG Bodenkunde vorgenommen. Da für die im Untersuchungsgebiet vorherrschenden Vegetationstypen derzeit keine gemessenen CN-Werte vorliegen, wurden nach Literaturstudien Werte von vergleichbaren Vegetationseinheiten übertragen. Dabei wurden für die jeweiligen Maximalwerte Eckwerte bestimmt, zwischen denen die übrigen Landnutzungs- und Landbedeckungsklassen linear ermittelt wurden.

3 Stand des Vorhabens

Durch intensive Kooperation der deutsch-brasilianischen Arbeitsgruppen Landschaftsökologie ist es gelungen, eine umfangreiche und flächenscharfe GIS-Datenbank mit Inhalten aus dem interdisziplinären WAVES-Themenbereich aufzubauen. Mit hohem Aufwand mussten bundesstaatliche und regionale Daten zunächst aufgespürt, plausibilisiert und zumeist digital aufbereitet werden (s.a. Haber u.a., Trepl. u.a.: WAVES-Statusberichte der Vorphase 1996, und Hauptphase 2000). Selbst offizielle digitale Daten erforderten zeitintensive Nachbearbeitungen zur Überführung in eine konsistente Datenbank. Für den Nordosten Brasiliens können Umfang und Qualität dieser Datenbank als mustergültig bezeichnet werden. Auch außerhalb des Modells sind damit zahlreiche thematische und integrative Abfragen möglich (s. z.B. OLIVEIRA et al., 2002).

Da erklärtes Ziel des Fachbereiches Landschaftsökologie war, möglichst viele Inhalte des Projektverbundes im Modell zu integrieren, prägte der Prozess der Datenakquisition und der Diskussion über die Integration der Ergebnisse anderer Arbeitsgruppen das Modelldesign entscheidend. Die inhaltliche Ausrichtung des Projektverbundes hatte somit unmittelbare Auswirkungen auf die spezifischen Modellabfragen. Während der methodische Ansatz grundsätzlich übertragbar ist, sind die spezifischen Modelldetails und Abfragemöglichkeiten als WAVES-prototypisch zu betrachten.

3.1 MOSDEL

Die Prototypentwicklung von MOSDEL (Model for sustainable development of land use) wurde bereits ausreichend dokumentiert (vgl. Trepl, u.a. in WAVES-Statusbericht der ersten Hauptphase Bd. 1, Kap.5 sowie Bd. 2, Fachbericht Landschaftsökologie. Hohenheim, 2000 sowie Veröffentlichungen von Printz und Mörtl). Hierauf wird an dieser Stelle deswegen nicht weiter darauf eingegangen.

In der zweiten Hauptphase wurde MOSDEL zu einem ausgereiften Planungsinstrument weiterentwickelt und bei der Obersten Planungsbehörde des brasilianischen Bundesstaates Ceará einsatzfähig installiert. Nachfolgend werden in zusammenfassender Form die technischen und inhaltlichen Funktionen des Modells beschrieben. Für die Darstellung der administrativen Kooperation wird auf Kapitel 4.2 verwiesen.

3.1.1 Datenerhebung und -aufbereitung

Da bereits während der Hauptphase I eine intensive Kooperation mit dem brasilianischen Partner Landschaftsökologie in Ceará bestand, konnte schon zu Beginn der zweiten Hauptphase auf einen umfangreichen Datenbestand für die zweite Referenzregion Tauá zurückgegriffen werden. Dennoch mussten zahlreiche zusätzliche Geometrien aufgenommen sowie an die Modellbedürfnisse angepasst werden. Die neu hinzuge tretene Kooperation mit den cearensischen Staats- und Gemeindebehörden erwies sich in vieler Hinsicht als unverzichtbar für die Erschließung zuvor ungehobener Informationsschätze. Da sich brasilianische Versprechungen über eine Landnutzungsinterpretation der Tauá-Region jedoch trotz intensiver Bemühungen nicht materialisieren ließen, wurde diese Arbeit wie bereits in der Picos-Region außerplanmäßig vom Fachbereich Landschaftsökologie geleistet.

3.1.2 Technische Aspekte

MOSDEL basiert auf der AML-Programmiersprache des Geoinformationssystems (GIS) von ARC-INFO (Vers. 7.2.1, ESRI™). Dieses Programm ist derzeit einsetzbar auf UNIX und Windows (NT 4, 2000) – Systemen. Ein Modelldurchlauf (1-Jahressimulation) mit allen Abfrageoptionen benötigt auf Windows NT mit 900 MHz ca. 2,5h. Die benötigte Modellrechenzeit lässt sich in etwa linear mit der Erhöhung von Rechenleistung verkürzen. Ein Simulationsmodell der Komplexität von MOSDEL wäre noch vor wenigen Jahren aus technischen Gründen nicht durchführbar gewesen.

Zu Beginn des Modellaufs werden menügeführt Eckdaten zu Flächengrößen abgefragt. Das inhaltliche Verständnis des Modells vorausgesetzt, können hier innerhalb gewisser Grenzen Größen und Typen des Landnutzungsmanagements modifiziert werden, ohne Programmierkenntnisse besitzen zu müssen. Die Plausibilität der Eingaben (z.B. keine Überschreitung real existierender Flächenwerte) wird vor Beginn des Durchlaufs geprüft. Die Ergebnisse werden in der Regel in ASCII (Textdateien), teilweise auch in Form von Karten ausgegeben.

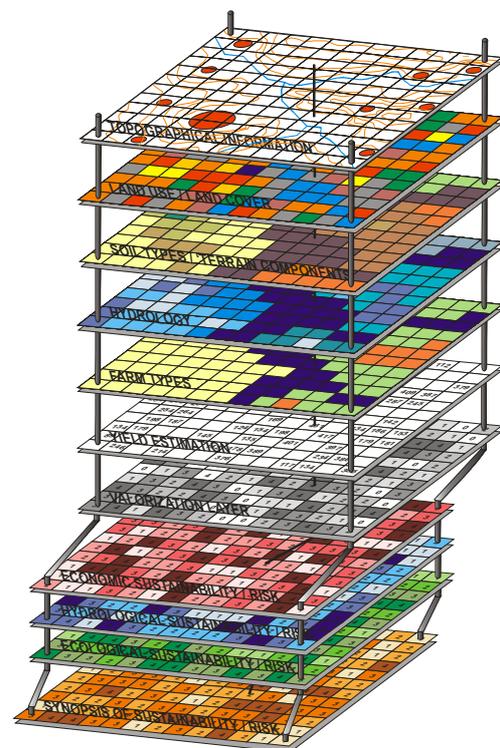


Abb. 3: MOSDEL/GIS - Infolayer

Die WAVES-Referenzregionen umfassen 3.000km² (Picos-PI) bzw. 4.000km² (Tauá-CE). Die Abgrenzung erfolgte durch vorhandene Gemeinde- bzw. Wassereinzugsgebietsgrenzen. Bei ausreichender Datenverfügbarkeit und Rechenleistung könnten theoretisch auch größere Gebiete im Modell erfasst

werden. Ist durch eine Flächenvergrößerung allerdings eine höhere Heterogenität des Naturraums bzw. daran angepasster Nutzungsformen zu erwarten, werden u.U. umfangreiche inhaltliche und programmiertechnische Anpassungen notwendig. An der Küste mit starkem touristischem Einfluss stehen beispielsweise ganz andere Fragestellungen im Vordergrund als in den WAVES-Referenzregionen im semiariden Hinterland.

Die räumliche Auflösung des Modells beträgt 1 ha (100m x 100m-Input und Output), die zeitliche Auflösung geht bis hin zu Tageswerten (z.B. Niederschlag, Input), ein Modellauf umfasst jeweils ein Jahr (Output).

3.1.3 Funktions- und Leistungsumfang von MOSDEL

Abb. 4 zeigt das MOSDEL-Funktionsschema mit den wichtigsten Eingangs- und Ausgabegrößen als Flussdiagramm. Die Eingangsgrößen werden aus den zwei Bereichen „Naturräumliche Standortbedingungen“ und „Landnutzungsmanagement“ abgeleitet. Unterschiedliche Inhalte werden als thematische Layer mit ihrem Flächenbezug in der Datenbank des Geographischen Informationssystems gehalten und mit den MOSDEL-Programmalgorithmen verknüpft (Abb. 3). Dadurch sind beispielsweise Überlagerungen oder Verschnitte möglich. Entsprechend werden aus der Verknüpfung von Standortbedingungen und Landnutzung landwirtschaftliche Erträge einerseits und andererseits der Ressourcenverbrauch (Wasser und Wald) errechnet. Daraus werden schließlich drei Nachhaltigkeitstypen sowie bei Bedarf eine integrierte Zusammenschau der Nachhaltigkeit abgeleitet. Hierfür wurden spezifische Programmmodule entwickelt, welche nachfolgend erläutert werden.

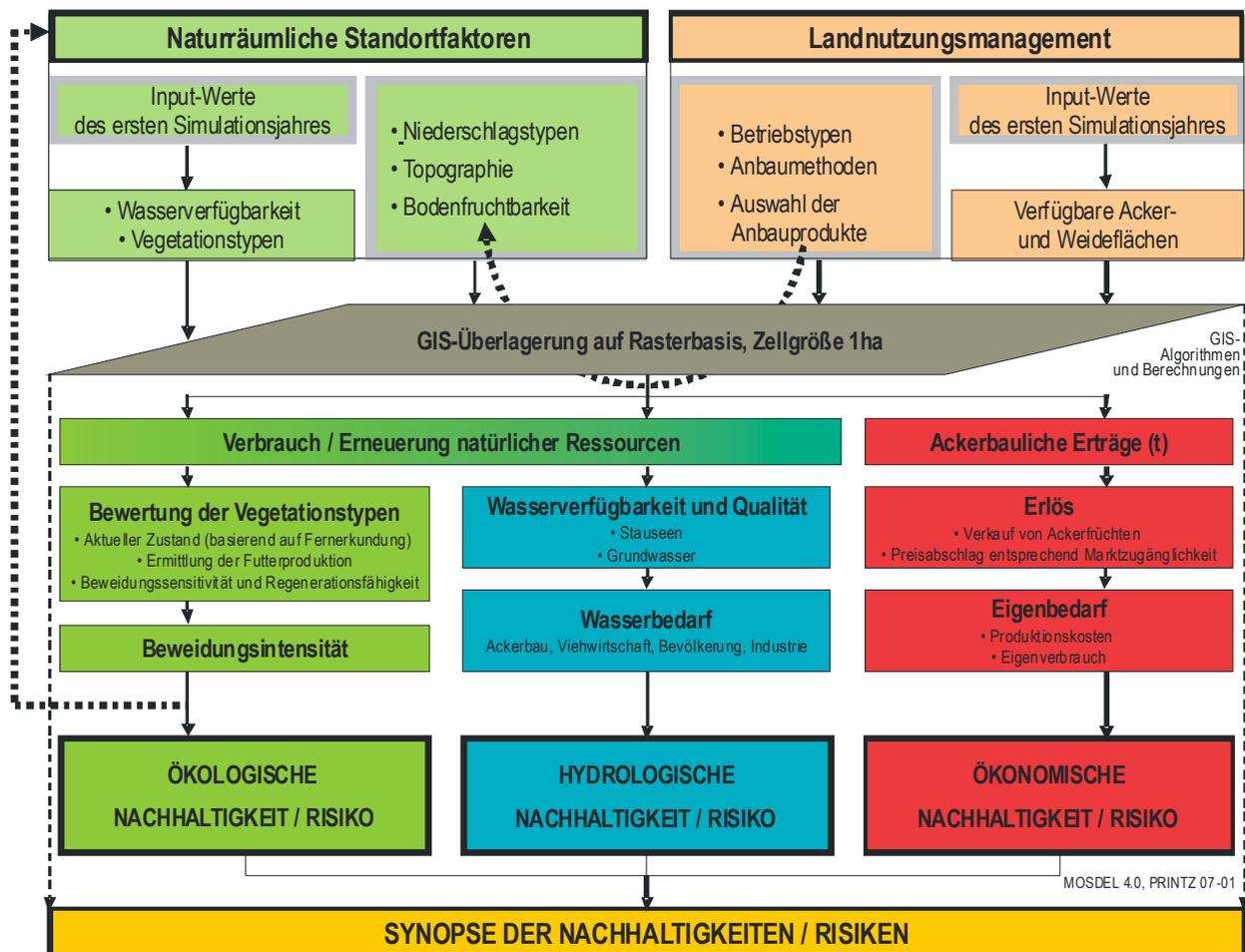


Abb. 4: MOSDEL - Funktionsschema

Eine Stärke von MOSDEL ist die relativ hohe räumliche Auflösung. MOSDEL-Ergebnisse können sowohl auf Gemeinde bzw. Distriktebene als auch auf Landschaftseinheiten sowie den jeweiligen Verschnittflächen abgebildet werden. Dadurch sind potenzielle Gunst- und Risikogebiete schnell und in bislang unbekannter Flächenschärfe lokalisierbar.

3.1.3.1 Modellierung ökonomischer Nachhaltigkeits-/Risikogebiete

Aufgrund begrenzter Projektmittel lag der Schwerpunkt bei der Modellierung der ökonomischen Hauptaktivität der ländlichen Regionen: Landwirtschaft. Hierfür wurden standörtlich angepasste Betriebstypen gebildet: Den unterschiedlichen Landschaftseinheiten (s. Karte 14) wurden spezifische betriebliche Ausprägungen (Betriebsfläche, Anbauprodukte, Beschäftigte, Technologieeinsatz, etc.) zugeordnet. Der große Vorteil dieses Ansatzes ist die Koppelung sozioökonomischer und naturräumlicher Daten in der Fläche. Da traditionelle Landwirtschaft (in Nordostbrasilien die Regel) ohne Einsatz von Fremdenergie und –kapital auskommen muss, sind (an Landschaftseinheiten gebundene) räumliche Muster spezifischer betrieblicher Anpassungen zur Ressourcenoptimierung auszumachen. So sind z.B. Bewässerungskulturen nur im Auenbereich zu finden, landwirtschaftliche Gunstandorte haben einen größeren ackerbaulichen Schwerpunkt statt der im Sertão üblichen Viehzucht, usw. In jeder Landschaftseinheit wurden zwei Betriebstypen gebildet: einen Subsistenztypus sowie einen eher marktorientierten Betriebstypus. Hierfür wurden einerseits Experteninterviews vor Ort und innerhalb des Projektverbundes, andererseits Eckdaten der amtlichen Landwirtschaftsstatistik verwendet. Da die Landwirtschaftsstatistik nur jeweils einen Wert pro Gemeinde aufweist, musste iterativ so auf die Betriebstypen in der Gemeinde disaggregiert werden, dass in der Summe der statistische Wert erhalten blieb.

Ackerbauliche Flächen konnten über die Satellitenbildinterpretation abgegrenzt werden (Landsat TM, s. Karte 17). Da in Tauá wegen des Aufnahmedatums der Satellitenbildszene degradierte Flächen (offener Boden) und abgeerntete Ackerflächen mit vertretbarem Aufwand nicht unterscheidbar waren, wurden degradierte Flächen pauschal bei der Ackerflächenverteilung einbezogen. Die zu erwartenden Ernten wurden je Niederschlagstypus, Technologieeinsatz und Bodeneigenschaften (‘Terrain Components’) von der SPICE-Datenbank (AG Bodenkunde, Univ. Hohenheim) differenziert zur Verfügung gestellt.

Die unterschiedlichen Anbauprodukte wurden mittels Zufallsverteilung den landwirtschaftlichen Flächen zugeordnet. Flächen mit Anbausequenzen in den Folgejahren ohne Brache wurden im Modell mit gestuften Produktionsrückgängen belegt, während Brache für eine rechnerische Erhöhung der Produktivität sorgte (im Rahmen des von SPICE vorgegeben Produktionswertes).

Die ermittelten landwirtschaftlichen Erträge (in t) wurden anhand des Preisspiegels des Marktes in Tauá bzw. überregionalen Preisdaten monetarisiert (AG Betriebsökonomie und Regionalökonomie). Der Eigenbedarf aus den betrieblichen Erträgen wurde vereinfacht für die beiden Hauptbetriebstypen (Subsistenz- und Marktbetrieb) in spezifischen Prozentsätzen abgezogen.

Da Infrastruktur und Marktnähe eine bedeutende Rolle für die Höhe des Erlöses landwirtschaftlicher Produkte spielen, wurden mittels einer so genannten Netzwerkanalyse Zonen unterschiedlicher Marktnähe (mit dem Zentrum der Markttorte Picos bzw. Tauá) gebildet (s. Karte 15). Die Straßenhierarchie bzw. Ausbauqualität wurde hierfür korreliert mit entsprechender Fahrgeschwindigkeit. Drei Hauptzonen wurden dann durch den Bedarf an Fahrzeit zum Marktzentrum definiert (< 20 Min., 20-60 Min., > 1h) und mittels GIS errechnet bzw. abgegrenzt. Die marginalen Zonen wurden mit wachsender Entfernung vom Marktzentrum mit Gewinnabschlägen belegt. Damit werden Verluste für Transportkosten bzw. durch Hofverkauf an Straßenhändler mit hohem Zwischengewinn berücksichtigt. Nach Abzug aller Verluste bzw. des Eigenbedarfs, wurde der Restbetrag durch die Anzahl der Beschäftigten bzw. wirtschaftlich abhängigen Personen geteilt.

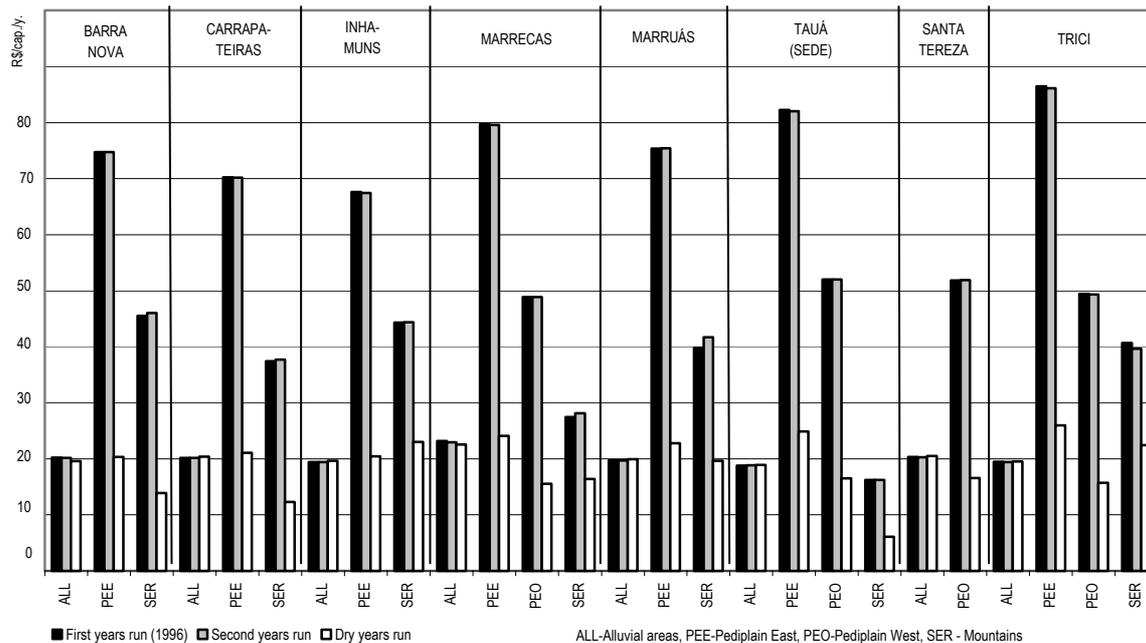


Abb. 5: Einkommen pro Kopf/Jahr der marktorientierten Betriebstypen in Distrikten und Landschaftseinheiten

Das Säulendiagramm (Abb. 5) zeigt ein Ergebnis der ökonomischen Nachhaltigkeit für marktorientierte Betriebstypen in Tauá. Auf der x-Achse sind die Landschaftseinheiten aufgetragen. Diese sind jeweils zu Distrikten gruppiert (die Namen der Distrikte sind am oberen Rand aufgetragen). Auf der y-Achse sind die Erträge (R\$/Kopf/a) für die jeweiligen Betriebe aufgetragen. Pro Landschaftseinheit werden drei betriebliche Ergebnisse gezeigt: Die schwarze Säule bildet das Ergebnis des WAVES-Referenzjahres (1996 mit mittlerem Niederschlag, 734mm) ab. Die zweite, graue Säule stellt das Ergebnis eines Folgejahres mit dem selben Niederschlagstyp ab. Hier werden Ertragsverluste durch verminderte Bodenfruchtbarkeit bei Verzicht auf Bracherotation ermittelt. Die Höhe der Ertragsverluste ist zugleich ein Indikator, wie intensiv die Flächen genutzt werden. Im vorliegenden Fall Tauá liegen offensichtlich noch genügend Flächen für die Zwischenschaltung einer Brache vor. Die Produktionseinbußen sind sehr gering, teilweise sind sogar Erhöhungen zu beobachtenden. Diese sind in der Zufallsverteilung der Anbauflächen begründet. Hier wurden im zweiten Lauf bessere Böden ausgewählt. Die dritte, weiße Säule ist das Ergebnis eines gesonderten Modellaufes eines trockenen Niederschlagstypus (157mm).

In allen Distrikten kann eine ähnliche ökonomische Erfolgsverteilung beobachtet werden: Betriebe der Landschaftseinheit PEE (östliche Beckenlandschaft) waren am erfolgreichsten, während die Betriebe im Bergland (SER) und der Auen (ALL) geringe Pro-Kopf-Erträge erzielten. Dies überrascht zunächst, wenn man weiß, dass die fruchtbareren Böden eigentlich in den Landschaftseinheiten ALL und PEO (Westliche Beckenlandschaft) zu finden sind. Tatsächlich sind diese Betriebe vom ha-Ertrag auch erfolgreicher, müssen ihre Gewinne jedoch durch mehr Personen teilen. Die Bevölkerungsdichte in diesen Gunststandorten liegt nämlich deutlich höher. Außerdem spielt natürlich die Marktnähe eine gewisse Rolle: Der Marktort Tauá (0%-Verlustzone) liegt in der Landschaftseinheit PEE, während die peripheren Berggebiete bis zu 20% Verluste hinnehmen müssen. Auf eine disparitäre Verteilung der Gewinne wurde sowohl aus wissenschaftlichen wie politischen Gründen verzichtet: ausreichend Datengrundlagen stehen nicht zur Verfügung und die Sensibilisierung und Emotionalität der öffentlichen Diskussion wäre verständlicherweise in diesem Punkt sehr hoch und würde zu sehr von den eigentlichen Modellaussagen ablenken.

Die durch das Modell errechnete Einkommenshöhe verdeutlicht die Realität der ruralen Verarmung (1R\$ ~ 0,5€) in Nordost-Brasilien, auch wenn hier nur ackerbauliche Produkte berücksichtigt wurden

(ca. $\frac{1}{3}$ des landwirtschaftlichen Einkommens in Tauá). Die übrigen $\frac{2}{3}$ wurden mangels Kompetenzen des WAVES-Projektverbund im Tierzuchtbereich nicht im Modell implementiert. Ferner muss auf die Untersuchungen u.a. von der WAVES-Arbeitsgruppe SOLAM darauf hingewiesen werden: hier wurde festgestellt, dass ein hoher Anteil der Bezüge im ruralen Raum von Renten und ausgewanderten Familienmitgliedern stammt.

Für eine Nachhaltigkeitsbewertung wurde die Differenz der Gewinnspanne ermittelt, welche in einem Trockenjahr im Vergleich zu einem durchschnittlichen Niederschlagsjahr durch MOSDEL errechnet wird. D.h. als besonders risikoträchtig (bzw. wenig nachhaltig) werden diejenigen Flächen bewertet, welche in Dürrezeiten mit besonders hohen Ausfällen rechnen müssen. Diese Gebiete sind in Dürrezeiten besonders von Hungersnot und Auswanderung betroffen. Andere Nachhaltigkeitsbewertungen sind natürlich denkbar und möglich. Mit der vorliegenden Bewertung wurde jedoch am besten den Bedürfnissen des SEPLAN-Programmes „Convivência com a seca“ (s.a. Kap. 4.2) entsprochen. Die dunklen Flächen entsprechen der höchsten Risikostufe auf der Karte.



Karte 1: Ökonomische Nachhaltigkeits-/Risikogebiete

3.1.3.2 Modellierung hydrologischer Nachhaltigkeits-/Risikoflächen

Hydrologische Nachhaltigkeit bzw. Risiken werden über eine Wasserbilanz, d.h. die Gegenüberstellung von Wasserverfügbarkeit und -bedarf für jeden administrativen Distrikt sowie Landschaftseinheit ermittelt.

Auf der Verfügbarkeitsseite werden drei hydrologische Ebenen berücksichtigt: Oberflächenabfluss, Bodenwassergehalt und Grundwasser. Klimaveränderungen werden im Modell durch unterschiedliche Niederschlagssequenzen (entsprechende Mischung der Klimatypen in mehrjährigen Modellläufen) abgebildet. Der Niederschlag wird in einem mehrschichtigen Kaskadenmodell (Oberflächenabfluss, Bodenwasser, Grundwasser) an unterschiedliche Speicher unter Berechnung der jeweiligen Verluste weitergereicht (s. Kapitel 2.3).

Das gekoppelte Bodenwasserhaushaltsmodell kann einerseits über pflanzenverfügbares Bodenwasser (bzw. das Unterschreiten der für Anbaukulturen lebensnotwendigen Grenze) Auskunft geben, sowie andererseits eine erste Abschätzung der Grundwassererneuerung abgeben. Diese wurde von der AG Wassermanagement und -ressourcen unter Einbezug von Felddaten und hydrogeologischen Daten in eine Abschätzung nachhaltiger Grundwassererneuerung ergänzt (berücksichtigt wurde dabei nur eine Grundwasserschicht).

Neben dem Grundwasser wurden ferner die empirischen Volumina der größeren Stauseen als Speicher einbezogen.

Zur räumlichen Zuordnung der Grundwassernutzung sowie der Mineralisierungshöhe wurde das Brunnenkataster der CPRM verwendet. Diesen Brunnen wurde jeweils ein 25 ha großes Wassereinzugsgebiet unterstellt (entspricht dem rechnerischen mittleren Einzugsgebiet eines Brunnen in Tauá), in wel-

chem eine spezifische Grundwassererneuerungsrate als nachhaltige Fördermenge definiert wurde (m^3/a , s.o. sowie Karte 16).

Im Sertão herrscht in der Regel kristallines Ausgangsgestein vor (die sedimentäre Schichtstufenlandschaft Piauí bzw. der Referenzregion Picos stellen diesbezüglich eine - hydrogeologisch günstige - Sondersituation dar). Geringe Speicherkapazität des Ausgangsgesteins und hohe Salinität sind hierfür typisch. Um z.B. der Versalzungsgefahr der Böden vorzubeugen, sollte gerade in semiariden Gebieten darauf geachtet werden, dass nur mit gering mineralisiertem Wasser bewässert wird. Deswegen wurden drei Mineralisierungsklassen ($< 500 \mu\text{S cm}^{-1}$, $500-1.500 \mu\text{S cm}^{-1}$, $>1.500 \mu\text{S cm}^{-1}$) gebildet und den Nutzungen Bewässerung, Trinkwasser, Viehtränke (in dieser Reihenfolge mit steigender Mineralisierung) „vernünftig“ zugeordnet. In der Realität häufig auftretendes „unvernünftiges“, bzw. notbedingtes Verhalten war mangels Daten nicht simulierbar.

Die Programmierung sieht den Transfer evtl. überschüssigen hochwertigen Wassers zu „niederwertigen“ Nutzungen in denselben räumlichen Einheiten vor (umgekehrt jedoch nicht). Somit können sowohl einzelne Nutzergruppen (schwarze und graue Säulen) als auch der Gesamtbedarf (weiße Säulen) in m^3/a bilanziert werden (Abb. 6). Auf der x-Achse sind die Landschaftseinheiten (gruppiert zu Distrikten) aufgetragen, während auf der y-Achse die positiven bzw. negativen Bilanzwerte aufgetragen sind. Die Alluvien, sowie die im Modell exklusiv dort implantierte Bewässerung wurde aus der Abbildung herausgenommen, da sonst die graphischen Dimensionen gesprengt worden wären. Deswegen ist auch die Bewässerungsbilanz dieser Nutzerfraktion in diesen Landschaftseinheiten zunächst immer positiv. Für den untersuchten Zeitraum (Referenzjahr 1996) wäre der Bedarf an Trinkwasser theoretisch vollständig zu decken gewesen. Eigentumsrechte und Verteilungsfragen führen jedoch häufig zu ganz anderen Realitäten. Die Datenverfügbarkeit reichte jedoch nicht aus, dies im Modell darzustellen. Das vorliegende Ergebnis könnte jedoch die Behörden ermutigen, eine entsprechend entschlossene Wasserpolitik und -verteilung zu betreiben.

Während der Bedarf an Trinkwasser für Menschen die kleinste Nutzerfraktion darstellt, ergeben sich beim Wasserbedarf für Tiere bereits häufig negative Bilanzen, welche z.T. auch nicht durch den Transfer aus den hochwertigen Wasserfraktionen kompensiert werden können. Hier fällt vor allem der durch hohe Viehdichte bekannte Distrikt Carrapateiras auf.

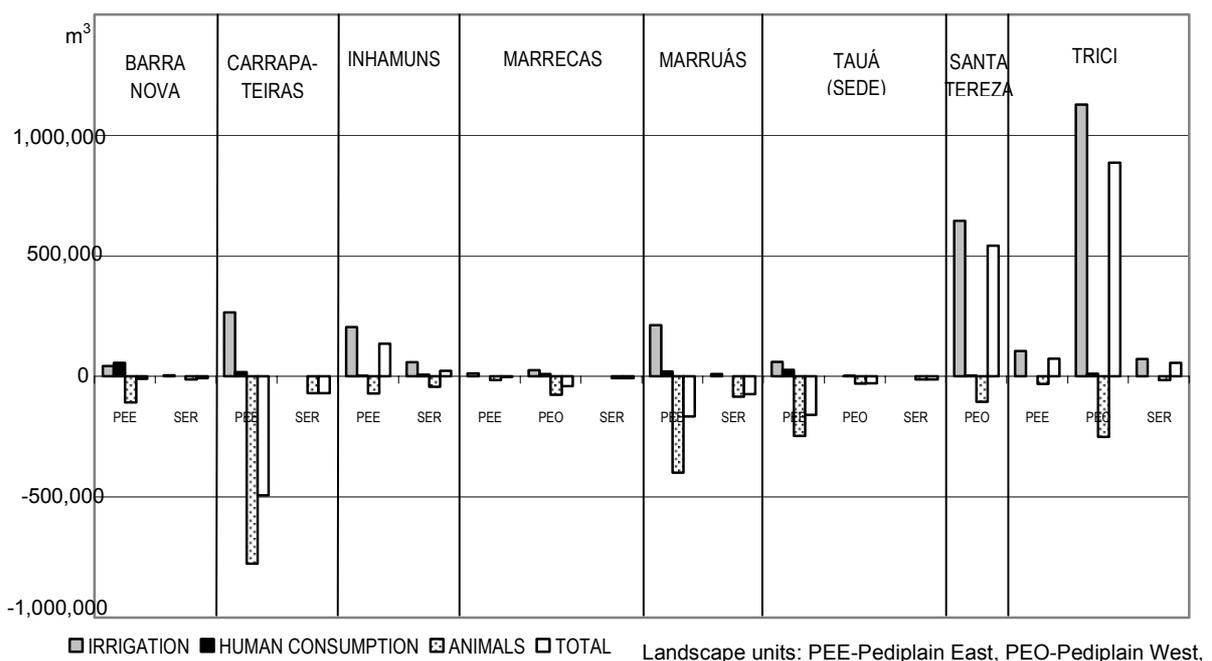
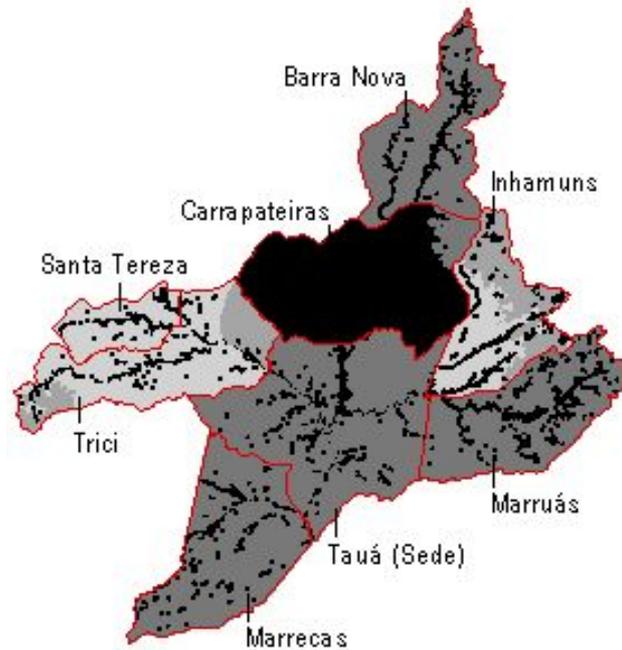


Abb. 6: Wasserbilanz unterschiedlicher Nutzergruppen in Distrikten und Landschaftseinheiten Tauás (1996)

Die Bilanz für die Bewässerung in den alluvialen Landschaftseinheiten war stark negativ. Hierfür gibt es eine Reihe von Gründen: Bewässerung ist mit Abstand die Nutzungsfraction mit dem höchsten Bedarf. Als nachhaltige Grundwassererneuerung wurden konservative 50% der durch die Modelle ermittelten Menge angenommen, um die Versalzungsgefahr der Böden zu minimieren. Die verwendeten Modelle berücksichtigen dabei nicht den Interflow - die Erneuerungsrate wird deswegen unterschätzt. Noch nicht ausgeschöpfte Grundwasserreserven sind demnach lokal in Auebereichen zu vermuten und könnten durch ergänzende Erhebungen genauso wie übernutzte Bereiche präzise identifiziert werden. Die derzeitige Auflösung ermöglicht „nur“ aggregierte Bilanzen auf Distriktebene. Eine Übersicht liefert Karte 2. Vier Risikoklassen (entsprechend der Wasserbilanz) wurden gebildet. Flächen mit steigendem hydrologischen Risiko (hohe negative Wasserbilanz) sind in der Karte durch dunkleren Grauwert gekennzeichnet.



Karte 2: Hydrologische Nachhaltigkeits-/Risikogebiete

3.1.3.3 Modellierung ökologischer Nachhaltigkeits-/Risikoflächen

Dieser Modellteil wurde speziell für die Region Tauá entwickelt. Eine Abschätzung der Erosionsgefährdung wurde zusammen mit dem brasilianischen Partner durchgeführt, aber nicht in die Modellierung einbezogen (s. OLIVEIRA et al. 2002). Aufgrund der Datensituation konzentrierte sich die Modellierung ökologischer Risiken auf weidebedingte Degradationsgefahr bzw. nachhaltige Waldnutzung. Im Sertão dient traditionell Waldweide als Hauptnahrungsquelle für extensive Viehzucht. Überweidungsprobleme sind fast überall zu beobachten - in Tauá haben sie bereits großflächige Ausmaße angenommen. Trotz dieser Situation gibt es äußerst wenig brauchbare Datengrundlagen für die Modellierung. Schlüsselgrößen für den Degradationsprozess wie z.B. „carrying capacity“ sind selten in zitierfähigen Quellen zu finden und zudem nicht differenziert für unterschiedliche Vegetationstypen. Einzeluntersuchungen über den Nährwert einzelner Waldbäume als Futterpflanzen sind zwar verfügbar, aber nicht in der Fläche extrapolierbar. Die Modellierung basiert daher auf „weichen“, ungesicherten Daten. Somit stand eher die Methodenentwicklung als die Entwicklung eines präzisen Prognoseinstrumentes im Vordergrund.

Zentrales Ziel war die Simulation der Entwicklung der aktuellen Vegetationstypen bei unterschiedlicher Dichte und Verteilung der Weidetiere. Hierfür waren zunächst alle relevanten Weidetiere (Rinder, Schafe, Ziegen) in einheitliche „tropische Großvieheinheiten“ (GVE) umzurechnen. Die Verteilung der Weidetiere Tauás wurde durch einen Experten des landwirtschaftlichen Beratungsdienstes EMBRAPA geschätzt. Im Modell (wie auch in der Realität) kann ein Teil des Futterbedarfs durch den Anbau von Futtergräsern und Ernterückständen zur Verfügung gestellt werden. Die von SPICE für die ‚Terrain Components‘ (s. Karte 18) in t/ha gelieferten Größen wurden in „gesättigte“ GVE umgerechnet. Nach Abzug dieser Größen verblieb ein Restfutterbedarf, welcher jeweils durch Waldweide befriedigt werden musste. Im Hinterland des Sertão ist der Zukauf externer, kostenintensiver Futterquellen weitgehend auszuschließen. „Ungesättigte“ Großvieheinheiten wurden somit per Zufallsverteilung auf alle Landnutzungseinheiten Wald und degradierte Flächen (welche noch nicht durch Ackernutzung belegt waren) der jeweiligen Distrikte verteilt. Verenden oder Verhungern von Tieren wurde nicht berücksichtigt.

Dem solchermaßen ermittelten Bedarf war ein Angebot der Vegetationstypen gegenüberzustellen sowie deren jeweiligen Veränderungen durch Über- und Unternutzung zu definieren. Acht Vegetationstypen aus der Interpretation des Satellitenbildes (aktuelle Landnutzung, s. Karte 17) wurden mit einem Startwert auf einer Skala von 0-100 eingeschätzt, wobei 100 für die reife Waldklasse vergeben wurde. Zwischen den Vegetationstypen wurde eine Sukzessionszeit angenommen (61 bzw. 51 Jahre von offenem Boden bis zur Klimax, welche jeweils auf der gesamten Fläche angenommen wurde). Die Stabilität oder „Verweilzeit“ eines Vegetationsstadiums wurde sowohl für die Regeneration als auch für die Degradationsanfälligkeit gleichgesetzt. Bei Über- oder Unterschreitung der definierten nachhaltigen Tragfähigkeit eines Vegetationstyps werden auf den jeweiligen Flächen Wertepunkte addiert oder subtrahiert. Wird dabei der definierte Wertebereich der Vegetationsklasse verlassen, wechselt der Vegetationstypus: er wird degradiert bzw. sukzessiert in die benachbarte Klasse.

Tabelle 1: Bewertung der Vegetationstypen in Bezug zu ihrem Klimaxstandort (SUC_VALUE 1 und 2)

Vegetationstypen	Klasse	Bewertung	
		SUC_VALUE1	SUC_VALUE2
Dichte Baumcaatinga mit 'Mata Seca' - Elementen	1	90-100	-
Dichte Baumcaatinga	2	80-90	90-100
Baum-Strauch - Caatinga	3	65-80	65-90
Dichte Strauch - Caatinga	4	55-65	55-65
Offene Strauch - Caatinga	5	32-55	30-55
Sukzession mit überwiegendem Holzanteil	9	30-32	28-30
Offene Böden m. vereinzelt Kakteen, Sträuchern u. Stauden	10	25-30	22-28
Offene Böden mit Felsen	11	0-25	0-22
Regenerationsjahre (von Klasse 11 bis 1 bzw. 2)		61	51

Als „nachhaltige“ Tragfähigkeit für den Caatinga-Vegetationstypus werden allgemein in der Diskussion 10 ha/GVE (0,1 GVE/ha) angenommen. Dabei wird in der Regel von einem reifen Bestandstypus ausgegangen. Um plausible Tragfähigkeitswerte für die übrigen Vegetationstypen zu erhalten, wurde die Funktion einer Gauß'schen Kurve entsprechend den Diskussion mit unterschiedlichen Experten angepasst. Da die Biomasse eines reifen Bestandes (dichter Wald mit einer ca. 20m hohen Baumschicht) mehrheitlich außerhalb der Reichweite von Weidetieren liegt, steigt der Tragfähigkeitswert in den aufgelichteten und gut geschichteten Vegetationstypen durch höhere Anteile zugänglicher Sträucher und Krautschicht zunächst (Peak der Kurve Vegetationswert 40-90) an. Bei weiterer Degradation fällt er jedoch fast auf null (offener Boden, s. Abb. 7).

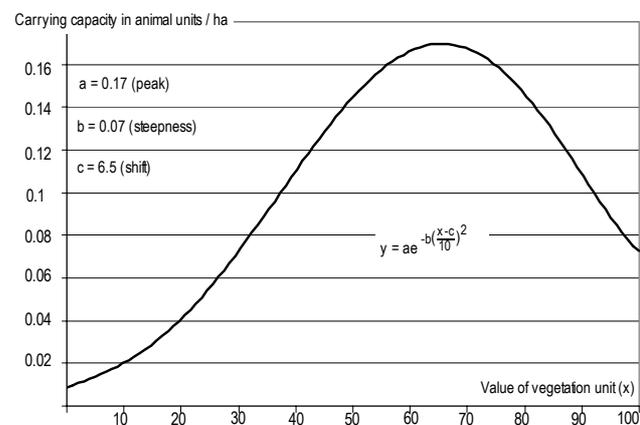


Abb. 7: Beispiel einer Gauß-Kurve zur Berechnung der Tragfähigkeit natürlicher Vegetation

Am Ende des Laufes werden die errechneten Vegetationstypen mit ihren Flächenanteilen je Landschaftseinheit und Distrikt tabellarisch (ASCII) ausgegeben und können statistisch mit den Ausgangswerten verglichen werden.

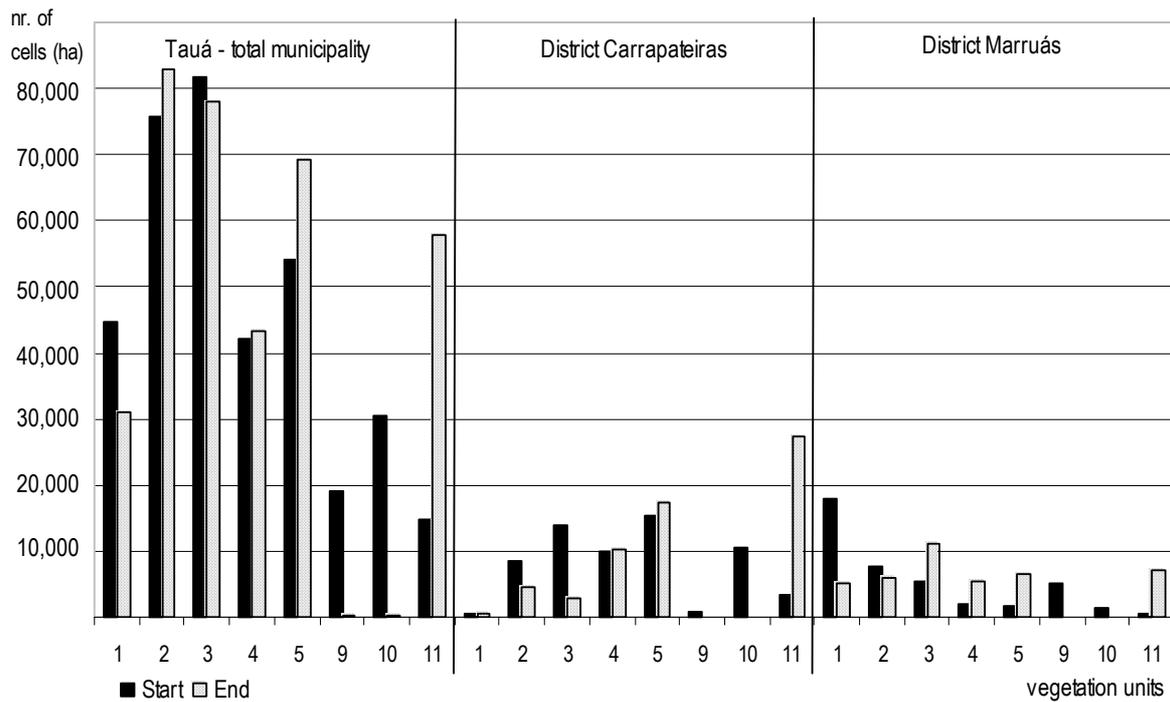


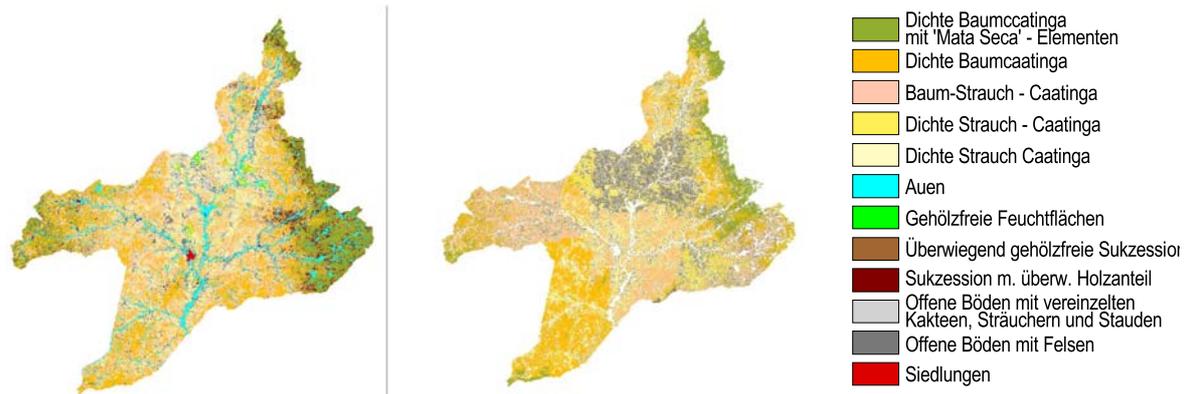
Abb. 8: Veränderung der Vegetationsklassenverteilung nach 5-Jahreslauf

Abb. 8 zeigt das Ergebnis eines 5-Jahreslaufes am Beispiel von drei Distrikten. Die schwarzen Säulen entsprechen der Verteilung der Vegetationsklassen entsprechend der Interpretation des Satellitenbildes (2000), die weißen Säulen stellen die Neuverteilung nach 5 Jahren dar, wobei die Höhe der Säulen der Anzahl der Zellen bzw. Flächensumme in ha entsprechen. Die ersten beiden Klassen auf der x-Achse entsprechen den reifsten Beständen (Dichte Baumcaatinga), während die Klassen 10 und 11 mehr oder weniger offenen Boden kennzeichnen. Allgemein kann eine Verschieben in der Klassenverteilung in Richtung der mittleren Klassen (4 und 5) beobachtet werden. Bemerkenswert ist jedoch die Zunahme der degradierten Klasse 11. Für die Nachhaltigkeitsbewertung wurden die beiden ersten und letzten Klassen zusammengefasst und die Veränderung ihres Anteils vor und nach dem Modellauf verglichen. Die Distrikte wurden anschließend in vier Nachhaltigkeitsklassen gereiht. Auf nebenstehender Karte wurde zunehmendes Degradationsrisiko in den Distrikten mit dunkleren Farben gekennzeichnet.



Karte 3: Ökologische Nachhaltigkeits-/Risikogebiete

Ein zusätzlicher visueller Eindruck ist durch die Ausgabemöglichkeit veränderter Vegetationskarten gegeben. Karte 4 zeigt die ursprüngliche Satellitenbildinterpretation (links) im Vergleich zur veränderten Vegetationskarte des oben beschriebenen Simulationsdurchlaufs (Karte 5). Hier fällt insbesondere der Distrikt Carrapateiras und Marruás durch weitreichende Degradation auf.

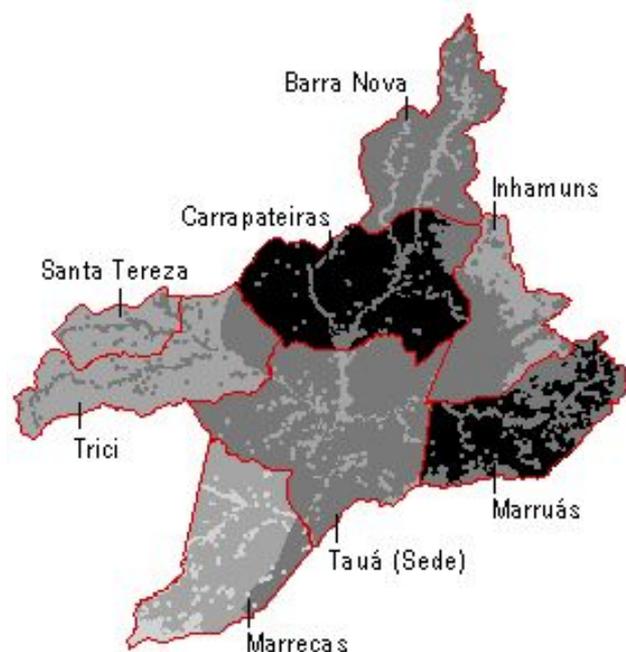


Karte 4 Aktuelle Vegetationstypenverteilung (Satellitenbild) **Karte 5:** Vegetationstypenverteilung nach 5-Jahreslauf

3.1.3.4 Synopse der Modellierung von Nachhaltigkeits-/Risikoflächen

Den beschriebenen Nachhaltigkeits- / Risikoflächen wurde ein Wert von 1-4 für jedes Nachhaltigkeitsthema zugewiesen. Die Summierung der Werte wurde wiederum in vier Synopsenklassen eingeteilt. Das Ergebnis für das Referenzjahr 1996 ist auf Karte 6 ersichtlich, wobei die dunklen Flächen die höchsten Risikoklassen sind. In den Gebieten mit akkumulierten Risiken kann von stark erhöhten Emigrationsraten zumindest in Dürrezeiten ausgegangen werden.

Es fällt auf, dass die Auenbereiche in fast allen Fällen ein geringeres Risiko gegenüber den angrenzenden Landschaftseinheiten aufweisen. Die hohen hydrologischen Risiken werden hier durch stabile ökonomische Produktionsbedingungen aufgefangen. Allerdings wurde im Modell noch keine Rückkopplung von Wassermangel mit ackerbaulichen Erträgen implementiert. Dennoch entspricht das Ergebnis weitgehend den Beobachtungen und den Expertenaussagen vor Ort.



Karte 6: Synopse der Nachhaltigkeits-/Risikogebiete

Im Gegensatz dazu sind die höchsten Risiken in der Landschaftseinheit PEE zu finden. Hier treffen Überweidung, geringe Niederschläge und unproduktive, versalzungsgefährdete Böden zusammen. Die Distrikte Carrapateiras und Marruás fallen als besonders gefährdet auf. Während die Ursachen in Carrapateiras vor allem in Überweidung und schlechten Standortbedingungen zu sehen sind, könnte die Situation in Marruás zumindest z.T. durch eine bessere Marktanbindung verbessert werden.

3.2 Wasserhaushaltsmodellierung

Wie geplant erfolgte die Umsetzung des Wasserhaushaltsmodells als GIS - Applikation für ArcView. Damit wurde das Ziel, das Wasserhaushaltsmodell in ein gängiges GI-System mit komfortable Nutzeroberfläche umzusetzen, erreicht. Die folgende Abbildung zeigt das Menu, das eine Reihe von Einstellungsmöglichkeiten anbietet.

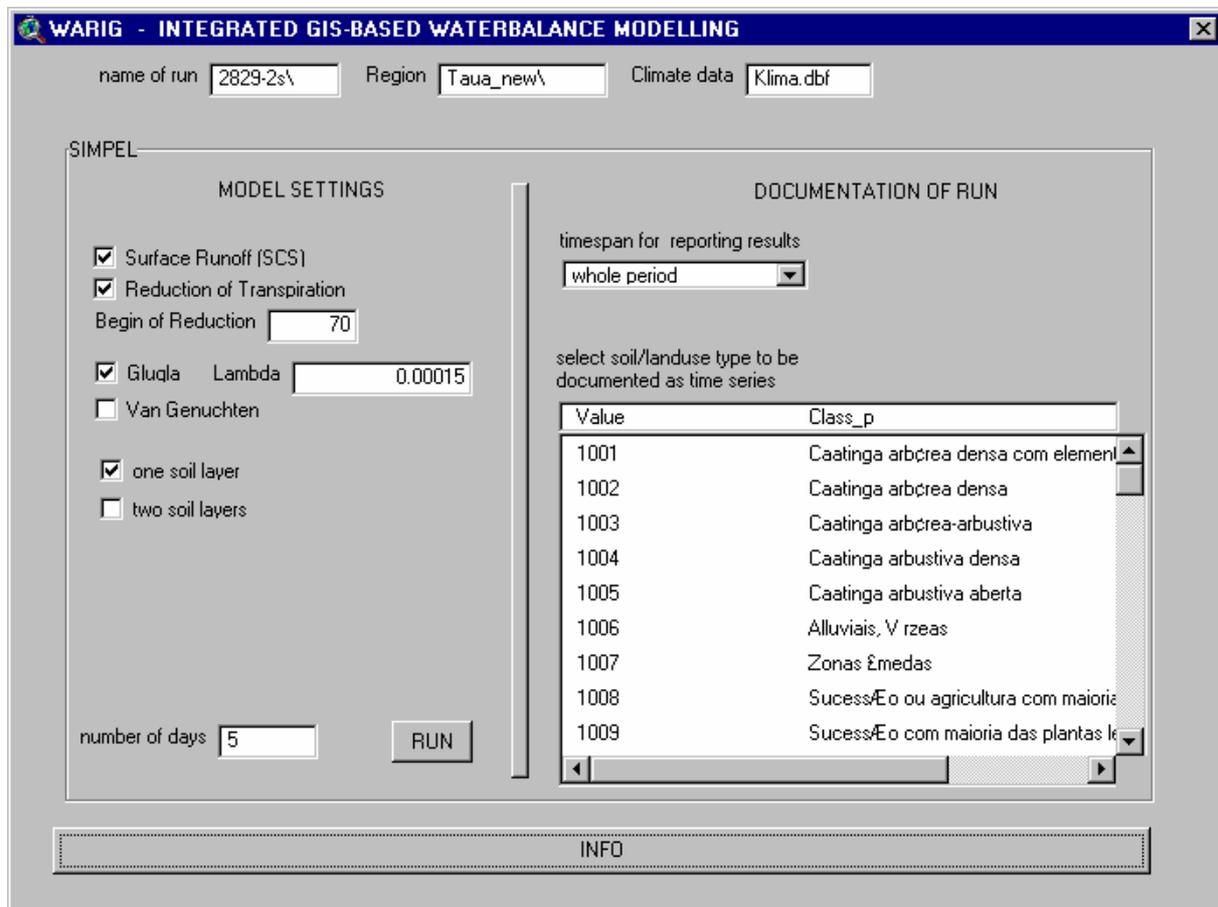


Abb. 9: WARIG – Menu für Modellgrundeinstellungen

In der obersten Zeile wird eine Name für den Modellauf vergeben, die Region als Raumbezug und der gewünschte Klimadatenatz festgelegt.

Im Bereich MODEL SETTINGS erfolgt die Auswahl verschiedener Module und Parameter für den Rechenlauf, welche im folgenden genannt werden. Die Berechnung des Oberflächenabflusses nach dem SCS Verfahren ist wählbar. Der implementierte Transpirationsreduktionsansatz gibt an, ob und ab welchem Bodenfeuchtgehalt (%) die Transpiration gedrosselt wird. Der zuschaltbare Gluqla-Ansatz, der eine mit dem Bodenfeuchtgehalt zunehmende Versickerung des Bodenwassers schon vor vollständiger Füllung des Bodenfeuchtspeichers zulässt, ist über den empirischen Lambda-Wert zu steuern.

Über die ursprüngliche Zielsetzung hinausgehend wurde alternativ zur Berechnung des Bodenwasserhaushaltes über das Speichermodell der Ansatz nach Van Genuchten implementiert. Dieser Modellierungsansatz konnte während der Projektlaufzeit nicht ausreichend validiert werden. Hier ist eine weitere Zusammenarbeit mit dem brasilianischen Partner geplant.

Weiterhin besteht die Auswahlmöglichkeit das Modell mit einer oder zwei Bodenschichten laufen zu lassen.

Es besteht die Möglichkeit den Modellauf auf eine bestimmte Anzahl von Simulationstagen einzugrenzen.

Im rechten Bereich DOCUMENTATION OF RUN sind verschiedene Ausgabeoptionen angeboten. Das Modell rechnet standardmäßig die Wasserbilanz über den gesamten Zeitraum (ein hydrologisches Jahr). Werden kleinere Auswertungsperioden erwünscht, können Zwischenergebnisse für Monate, Dekaden oder Wochen ausgegeben werden.

Weiterhin besteht die Möglichkeit für eine beliebige Anzahl von Standort-Nutzungs-Kombinationen, welche über eine Auswahlliste ausgewählt werden, die täglichen Zwischenergebnisse zu dokumentieren. Damit können hoch aufgelöste Zeitreihen simuliert werden.

Standardmäßig erfolgt auch eine Ausgabe, die bezogen auf die Modellaufperioden (Jahr, Monat, Dekade, Woche je nach Einstellung) die Ergebnisse für die ausgewählte Region als Summenwert/Mittelwert als Gebietsergebnisse dokumentiert (siehe Ausschnitt in Tabelle 2). Neben den Modelleinstellungen werden im gezeigten Beispiel die Monatswerte für Niederschlag, Oberflächenabfluss, aktueller Evapotranspiration, Seepage sowie die durchschnittliche Bodenfeuchte und Veränderung der Bodenspeicherfüllung angegeben.

```

Model version using two soil layers
Time of Model run: 18.11.2001 20.30.48.000
Run: c:\arcview\Projekte\WAVES_neu\bowamod\regions\taua_new\2829-2S-Monat\
-----
Climat date from clim2829.dbf
Surface Runoff:true
Reduction of Transpiration:true
with begin of reduction at 70% of soilwater
Glugla: true with lambda = 0.00015
Van Genuchten: false
-----

1928_11
midPrecSum   = 39.0005
midRunoff    = 0.520086
midEtaSum    = 7.94048
midSeepageSum = 4.66046
midSoilHumidity = 3.12391
Balance:     = 25.8795
=====

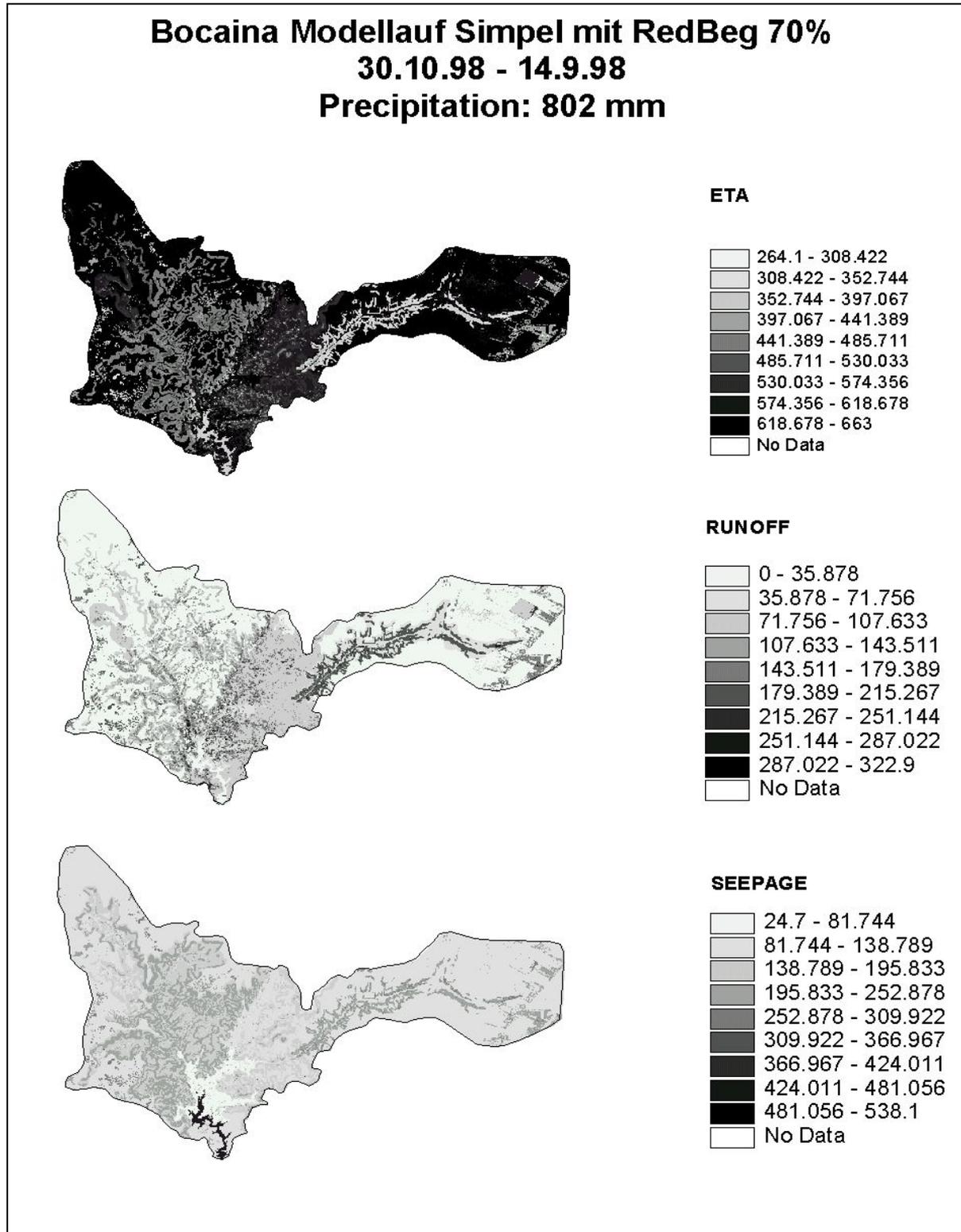
1928_12
midPrecSum   = 25.8004
midRunoff    = 0.042476
midEtaSum    = 51.2728
midSeepageSum = 0.277064
midSoilHumidity = 11.9087
Balance:     = -25.792

```

Tabelle 2: WARIG – Beispiel einer Ergebnisausgabe

Die Eingangsparameter für Nutzung/Landbedeckung sowie zu den Standorteinheiten erfolgen in Tabellenform. Gemäß der SCS-Oberflächenabflussberechnung wird in einer Matrix aus CN-Wert (Nutzungswert) und Bodenfeuchtegruppen (Standortparameter) ein Abflussbeiwert bestimmt. Weitere Größen sind die Feldkapazitäten, der permanente Welkenpunkt, die Schichttiefen, die Durchwurzelungstiefen etc. für die einzelnen Bodenschichten.

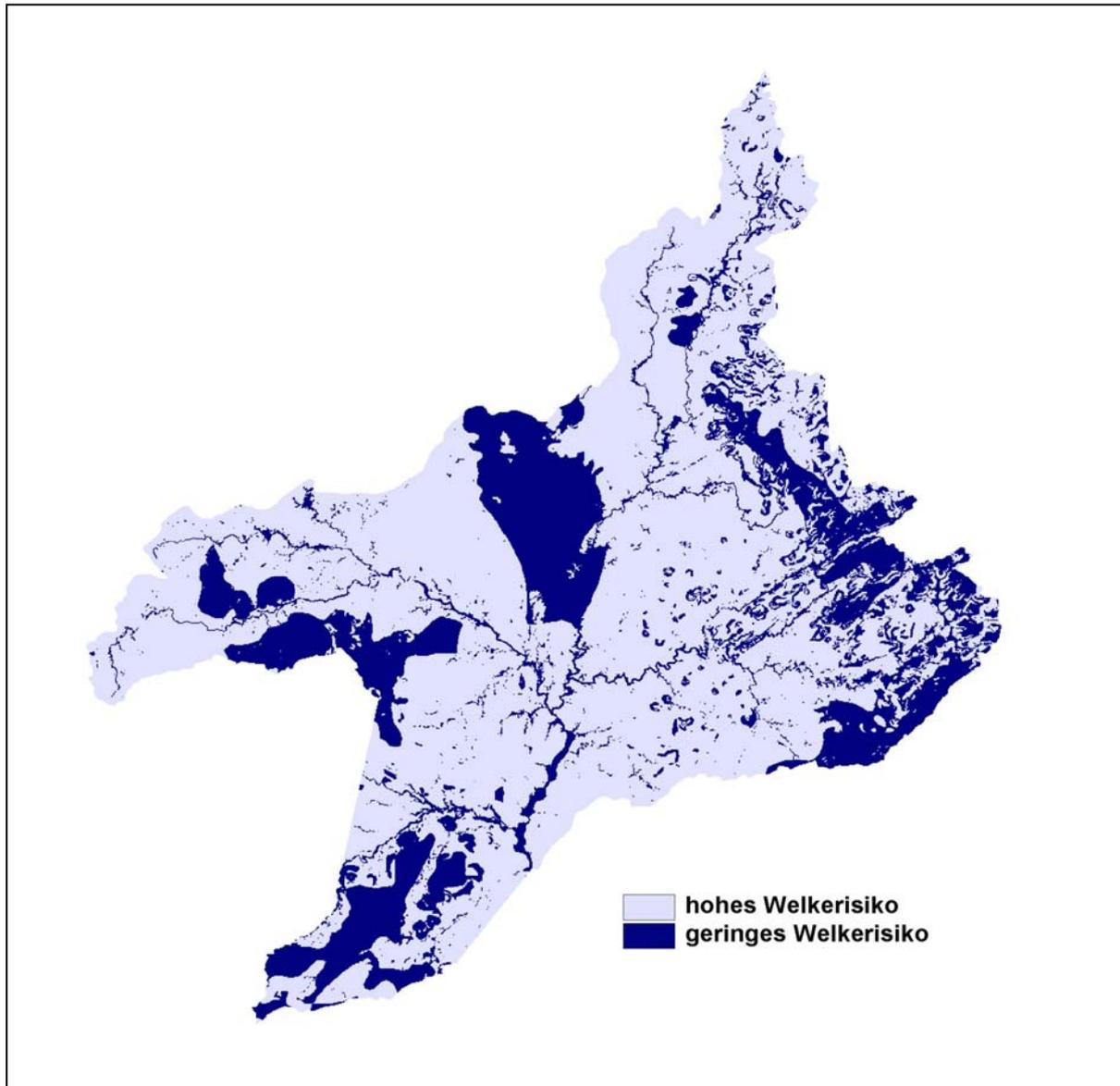
Durch die Einbindung in das GIS sind jederzeit die räumlichen Visualisierungen gewünschter Modellergebnisse möglich, wie Karte 7 zeigt.



Karte 7: Referenzgebiet Picos – Evapotranspiration, Oberflächenabfluss und Versickerung

3.2.1 Anwendung des Modells auf das Focusgebiet Tauá

Wie geplant erfolgte die Anwendung des Modells auf das Focusgebiet Tauá. Dies war von besonderer Bedeutung, da in dieser Projektphase Eingangsparameter zum Bodenfeuchtenhaushalt für MOSDEL benötigt wurden. Dies waren die Bodenfeuchtegehalte für fünf Simulationsjahre mit ausgewählten Klimadaten. Zusätzlich wurde ein Modul programmiert, das die Standorte auswies, auf denen in Jahren mit Zwischentrockenzeiten der Bodenwassergehalt unter einen Schwellenwert sank, welcher ein Absterben der angebauten Kulturen zur Folge hatte (siehe Karte 8).



Karte 8: Flächen mit hohem Welkerisiko bei Zwischentrockenzeiten

4 Kooperation mit den brasilianischen Partnern

Die bereits in der Vorphase bestehende Kooperation mit den Partneruniversitäten wurde weiter gepflegt und ausgebaut. Zusätzlich wurde in der Hauptphase II die Kooperation auf administrativer Ebene deutlich intensiviert.

4.1 Wissenschaftliche Kooperation

Die Zusammenarbeit mit den brasilianischen Partneruniversitäten wurde im Berichtszeitraum weiter verstärkt. Zahlreiche Exkursionen im Gelände, Vorträge und Schulungen, studentische Aufenthalte und Betreuungen vor Ort, gemeinsame Workshops und Veröffentlichungen führten zu einer sehr lebendigen und konstruktiven Kooperation.

Als ausgesprochen hilfreich hierfür erwiesen sich u.a. die Sachmittel des Aufstockungsantrages gegen Ende der Hauptphase I: die Motivation der unter schlechter Finanzierung leidenden Partner stieg erheblich durch die Übergabe von GPS, Altimeter sowie ARC-VIEW (GIS-Software).

UFPI/TROPEN – Teresina, Piauí. Projektleitung: Prof. Dr. Antônio Alberto Jorge Farias Castro

In Piauí wurden die Stipendiaten der UFPI/TROPEN bei ihren vegetationsökologischen Aufnahmen begleitet. Neben den vegetationsökologischen Erkenntnissen im engeren Sinne stellte der Fachbereich Landschaftsökologie eine gemeinsame Schnittstelle zum Bereich Bodenwasserhaushaltsmodellierung (Institut für Standortkunde, Universität Hohenheim) her, um das Verhalten des Bodenwasserhaushaltes unter natürlichen Waldbeständen unterschiedlicher Degradationsstufen besser bestimmen zu können. In diesem Zusammenhang sei auf die Dissertation von Dr. Dietrich Halm (2000) sowie auf die am selben Institut noch laufende Dissertation von Frank-Michel Lange verwiesen.

Die Laufzeit der Stipendiaten des Partners war mit der Hauptphase I beendet. Von einer weiteren Beantragung wurde wegen mangelhafter Finanzierung und Schwierigkeiten mit der wissenschaftlichen Koordination in Brasilien von unserem Partner abgesehen. Er stand jedoch weiterhin für informelle Kooperationen zur Verfügung.

Da die Implementierung der Modelle in Piauí wegen der schlechteren Personal- und Ausstattungssituation gegenüber Ceará vergleichsweise schwierig erschien, entschloss man sich zusammen mit der Arbeitsgruppe Pflanzenproduktion (Prof. Dr. Thomas Hilger, Joachim Herfort) einen Antrag bei der Volkswagenstiftung zu stellen. Nach einem Vortrag über EPIC (Herfort, Hohenheim) und MOSDEL (Printz, TUM) am TROPEN in Teresina konnten Interessenten für eine Kooperation gefunden werden. Gemeinsam mit dem TP SOLAM und einer Wissenschaftlerin des TROPEN (sowie Professorin der UFPI), Prof^a. Jaira Maria Alcoçaba Gomes wurde eine ‚Ökonomisch-ökologische Analyse der landwirtschaftlichen Entwicklungsregion (Pólo) Uruçuí-Gurguéia‘ durchgeführt. Die Finanzierung der Arbeit von Frau Alcoçaba wurde für ein Jahr vom FUNTEC-Fond (Fundo de Pesquisa, Difusão e Capacitação Tecnológica do Piauí) der Banco do Nordeste übernommen. Der Fachbereich Landschaftsökologie trug auch nach Ende der WAVES-Projektlaufzeit durch Eigeninitiative mit einer GIS-basierten landschaftsökologischen Analyse der Entwicklungspotenziale dieser im Südwesten Piaúis gelegenen Großregion bei. Trotz fortdauernder Kontakte sind derzeit keine weiteren Kooperationen vorgesehen.

UFC - Departamento de Geografia, Fortaleza, Ceará. Projektleitung: Prof^a. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira

Die Zusammenarbeit mit der brasilianischen Arbeitsgruppe Landschaftsökologie entwickelte sich besonders intensiv. Die Kenntnisse der Partner waren bei der allgemeinen Datenbeschaffung, bei der Interpretation der Satellitenbilder, der Disaggregation der Bodenkarte („Terrain Components“) sowie Abschätzungen zur Degradation sehr hilfreich. Das „Ground-truthing“ erfolgte gemeinsam vor Ort. Die Betreuung der jeweiligen studentischen Arbeiten erfolgte wechselseitig. Die Projektleiterin, Prof^a. de Oliveira, war während der Projektlaufzeit zweimal, jeweils anlässlich eines Workshops zu Besuch beim Lehrstuhl für Landschaftsökologie in Freising. Beide Aufenthalte führten zu einer Veröffentlichung (s. OLIVEIRA, PRINTZ; 2000 sowie OLIVEIRA et al. 2002, Hamburg) sowie einem Poster. Beide Aufenthalte wurden vom Internationalen Büro der DLR finanziert. Entsprechende Berichte über den Aufenthalt wurden dort übergeben. Die Aufenthalte waren zur Herstellung eines beiderseitigen interkulturellen Verständnisses der unterschiedlichen Arbeitsweisen sehr positiv, wenn nicht unabdingbar. Es bestehen weiterhin intensive Kontakte, wenngleich derzeit keine Kooperationsprojekte vereinbart sind.

INPE – São José dos Campos, São Paulo

Während der Hauptphase I wurde während mehrerer Aufenthalte bei INPE in unterschiedlichen Abteilungen das Programm WAVES vorgestellt und eine Kooperation des Fachbereiches Landschaftsökologie im Bereich GIS und Fernerkundung ausgelotet. Ein gemeinsam abgestimmter Antrag wurde bei der wissenschaftlichen Koordination in Brasilien zeitgerecht eingereicht. Nachdem der Antrag mehrfach verschleppt wurde und zwei Stipendiaten nach geraumer Wartezeit nacheinander absprangen, entstanden bei INPE berechtigte Zweifel am grundsätzlichen Kooperationswillen der WAVES-Koordination. Auch durch eine weitere Intervention eines DLR-Beauftragten zu Beginn der zweiten Hauptphase gelang es leider nicht mehr, das Fernerkundungs-Know-How der INPE in das Programm einzubinden. Die Lücke in der Fernerkundung musste somit mehrfach durch ein erhöhtes Engagement des Fachbereiches Landschaftsökologie geschlossen werden. Dies ist nicht nur wegen des Mehraufwandes bedauerlich. Der zu erwarten gewesene Technik- und Methodentransfer mit dem international renommierten Forschungsinstitut hätte den WAVES-Ergebnissen sowie der bilateralen und innerbrasilianischen Kooperation wertvolle zusätzliche Qualitäten verleihen können.

4.2 Administrative Kooperation

Da der Schwerpunkt der zweiten Hauptphase im Anwendungsbezug und Implementierung lag, wurde die Zusammenarbeit mit den brasilianischen Behörden im letzten Jahr erheblich verstärkt.

DHME – Teresina, Piauí. Projektleitung: Prof. Dra. Valdira de Caldas Brito Vieira

Die Zusammenarbeit mit der DHME bezog sich auf die Modellierung des Wasserhaushaltes. Bereits während der ersten Hauptphase wurde mit dem Partner Daten ausgetauscht (Frau Margarita Lopez-Gil, DHME) sowie grundsätzliche methodische Fragen abgestimmt. Hierzu diente auch ein Aufenthalt der Partnerin an der TUM. Das am Lehrstuhl für Landschaftsökologie entwickelte Bodenwasserhaushaltsmodell wurde beim brasilianischen Partner (DHME, Teresina-PI) im Laufe der Hauptphase II installiert. Dies erfolgte im Rahmen eines einwöchigen Aufenthalts in Teresina. Dazu wurde die grundsätzliche Funktionsweise des Modells erläutert und diskutiert. Eine Einweisung in den Aufbau der Datentabellen sowie verschiedener Modellaufparameter wurde gegeben. Abschließend wurden anhand verschiedener Modellläufe die verschiedenen Möglichkeiten der Ergebnisdokumentation und –auswertung getestet. Dies beinhaltete die Darstellung verschiedener Ergebnisparameter sowohl als Zeitreihen, als auch die räumliche Darstellung im GIS. Vom Partner wurde das Interesse an einer Weiterentwicklung des Modells bekundet und eine weitere Zusammenarbeit beschlossen.

SEMAR – Teresina, Piauí

Am Rande eines Workshops über Methodik der (ökologisch-ökonomischen = raumordnerischen) Zonierung des Nordostens (Metodologia do ZEE para a região Nordeste), konnte Kontakt zum Umweltminister des Bundesstaates Piauí hergestellt werden. Dieser äußerte großes Interesse am Einsatz von MOSDEL. Ein späterer Besuch an seinem Ministerium machte jedoch deutlich, dass weder Ausrüstung (Hard- und Software) noch Ausbildung an der dortigen Behörde dazu geeignet erscheinen, MOSDEL dort dauerhaft zum Einsatz zubringen. Im Juli 2001 wurde MOSDEL auf einer Schlussveranstaltung des WAVES-Projektes bei SEMAR nochmals vorgestellt und stieß bei den Vertretern der geladenen Fachbehörden auf lebhaftes Interesse. In der Schlussrede des Umweltministers wurden jedoch überraschenderweise in erster Linie die politischen Erfolge der Regierung hervorgehoben, welche nicht auf ausländische Forschungserkenntnisse angewiesen seien. Damit wurde deutlich, dass Implementierungsbemühungen in Piauí derzeit wenig sinnvoll sind.

SRH/ IPLANCE /SEPLAN – Fortaleza, Ceará

Eine dreiteilige Workshopserie mit der Landesregierung von Ceará diente der Entwicklung und Diskussion der integrierten WAVES - Szenarios sowie zur Auslotung eines möglichen Einsatzes der Modelle des WAVES-Projektverbundes. Der Fachbereich Landschaftsökologie war auf allen Workshops in der Diskussion sowie durch Vorträge über den Stand der Leistungsfähigkeit von MOSDEL incl. dem Bodenwasserhaushaltsmodell vertreten.

Der integrative WAVES-Ansatz entsprach dem Bedarf der obersten Planungsbehörde SEPLAN mit seinen übergeordneten koordinativen Aufgaben. Entsprechend wurden Vertreter aller untergeordneten Fachbehörden zu den jeweiligen Workshops verpflichtet. Während der Workshops wurde u.a. auch deutlich, dass interbehördliche Abgrenzungen noch nicht hinreichend geklärt waren. Dennoch trug die versammelte Fachkompetenz und Diskussionsbereitschaft der Teilnehmer zu sehr konstruktiven Ergebnissen der Workshops bei. SEPLAN zeigte vor allem an kurzfristig einsatzfähigen Planungstools erkennbares Interesse. Es stellte sich heraus, dass die Behörde ein Sonderprogramm zur präventiven Intervention von Dürreperioden (‘Convivência com a seca’ – ‚Zusammenleben mit der Dürre‘) vorbereitet hatte. Die ursprünglich auf vier Mustergemeinden bezogene Modellkonzeption wurde nach Kenntnisnahme des WAVES-Programmes um die Referenzgemeinde Tauá erweitert. Bei der Schlussvorstellung des Modells entwickelte sich eine ca. zweistündige angeregte Diskussion u.a. mit der SEPLAN –

Ministerin und dem Bewässerungsminister über die Praxistauglichkeit des Modells (die Vorstellung von MOSDEL wurde entgegen der Tagungsordnung auf Wunsch der Ministerin an erste Stelle gesetzt). Dabei wurde deutlich, dass die gewünschte Konkretisierungsebene (z.B. Förderung sinnvoller Bewässerungsflächen in Tauá) weitere Erhebungen benötigen würde. Dennoch wurde von Seiten verschiedener Ministeriumsvertreter ein sehr hohes Interesse für einen Einsatz des Modells geäußert. Die Finanzierung eines oder gar mehrerer deutscher Spezialisten für ein Training bei der Behörde wurde von verschiedenen Behördenvertretern als sehr realistisch erachtet. Dem Ministerium wurden vor der Abreise Kontaktadressen sowie eine ungefähre Kostenabschätzung (basierend auf BAT IIa) für ein einjähriges Training überreicht. Nachdem bis Frühjahr 2002 hierauf keine Reaktion erfolgte, ist davon auszugehen, dass diese Idee von brasilianischer Seite aus den Augen verloren wurde und nicht weiter verfolgt wird.

MOSDEL wurde bei IPLANCE (zentrale Statistikbehörde von Ceará, SEPLAN direkt untergeordnet) in Form einer CD einschließlich portugiesischem Handbuch übergeben, installiert und erläutert. Die Software (ARC-INFO) war jedoch nur auf einem alten, schlecht konfigurierten Rechner lauffähig. Entsprechend benötigte das Modell für einen Jahresdurchlauf ca. 11 Stunden. Personalstruktur und Know-how werden für die weitere Anpassung und den dauerhaften Einsatz des Modells nicht ausreichen.

Gemeindeverwaltung Tauá / Schule für Landwirtschaft / Technische Hochschule Tauá

In der Diskussion mit verschiedenen Gesprächspartnern vor Ort stellte sich heraus, dass in Tauá ein sehr hohes Interesse an den Forschungsergebnissen des WAVES – Projektes besteht. Daher wurde eine Abschlusspräsentation vor Ort als Teil der WAVES-Abschlusspräsentationen im Projektverbund durchgesetzt. Allen lokal und regional in Tauá arbeitenden Arbeitsgruppen sollte hierbei die Gelegenheit gegeben werden, ihre Ergebnisse auf einer Bürgerversammlung sowie Interessen- und Gemeindevertretern zu präsentieren. Leider wurde die Veranstaltung weder von der brasilianischen noch von der deutschen wissenschaftlichen Koordination unterstützt noch daran teilgenommen.

Die Organisation lag deswegen ausschließlich beim Fachbereich Landschaftsökologie (in bewährter bilateraler Kooperation) und wurde von zahlreichen, engagierten Kräften vor Ort unterstützt. Eine wertvolle Hilfe war die Finanzierung des Bustransfers (Fortaleza-Tauá) der deutschen und brasilianischen Wissenschaftlern durch den Projektträger DLR sowie die Präsenz einer Vertreterin (Frau Dr. Münzenberg). Die Technische Hochschule des Ortes stellte die Räumlichkeiten zur Verfügung, die Gemeinde sorgte für den Druck der Plakate, den Transfer interessierter Zuhörer innerhalb Tauás sowie für die Verköstigung und Getränke. Ohne das beherzte Engagements des Leiters der kommunalen Landwirtschaftsschule sowie eines im Ort ansässigen ehemaligen brasilianischen Energie- und Bergbauministers wären die notwendigen logistischen und persönlichen Verknüpfungen in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht möglich gewesen.

Die Veranstaltung wurde auf Plakataushängen und über das Lokalradio in der Region angekündigt. Der örtliche Radiosender strahlte im Vorfeld eine zweistündige Sondersendung über das WAVES-Projekt in Tauá aus. Dabei wurden vier (bilaterale) Vertreter des Fachbereiches Landschaftsökologie interviewt. Die Veranstaltung war ganztägig von ca. 300 interessierten BürgerInnen besucht. Darunter befanden sich neben der örtlichen Prominenz und politischen Vertretung (bis hin zu Vertretern im Staats- und Bundesparlament sowie der örtlichen Banken und Verbände) u.a. auch zahlreiche Schulklassen.

Interessierten Verbänden und Behörden wurden Kartengrundlagen (DIN A0) z.B. über Böden und Landnutzung sowie ein Sammelband einer Zusammenfassung der WAVES-Ergebnissen zur Verfügung gestellt (dieser wurde auch der anwesenden DLR-Vertreterin übergeben). Da der Informationsfluss aus der Wissenschaft zurück an die Betroffenen sonst offenbar unüblich ist, wurden diese Informationen besonders positiv aufgenommen.

Die Methodik und Ergebnisse von MOSDEL interessierten vor allem die Vertreter der örtlichen Banken und Vertreter im cearenischen Staatsparlament. Während von deutscher Seite der Einladung zum Umweltausschuss des Parlaments wegen mangelnder Finanzierung nicht nachgekommen werden konnte, werden die WAVES-Ergebnisse voraussichtlich noch 2002 in einem aufgewerteten Sammelband veröffentlicht (Kostenübernahme durch die Druckerei des cearenischen Parlaments).

5 Ereignisse

Während der Hauptphase I und II wurden folgende Tagungen organisiert bzw. Vorträge vom Fachbereich Landschaftsökologie gehalten:

- WAVES-Workshop, Organisation: *Räumliche Integration und Skalierung*. Vorträge: Prof. em. Dr. Dr. h.c. Haber: *Organisationsebenen und Raumhierarchien in der Umweltentwicklung*. Voerkelius: *Räumliche Integration und Skalierung im WAVES-Projekt*. Mörtl: *GIS als Instrument zur räumlichen Modellierung und Visualisierung*. Printz: *Methoden zur Operationalisierung der Zielgröße „Lebensqualität“ im WAVES-Projekt durch räumliche Hierarchisierung*. Freising, 04-98
- Deutscher Tropentag: *Integration of research results on the regional level in the WAVES Project* (Voerkelius). Berlin, 10-99
- DFG workshop (Deutsche Forschungsgemeinschaft) on Integration methodology for Global Change: *Spatial integration and scaling methods within the WAVES program*. Frankfurt, Germany, 01-99 (Printz)
- Scientific meeting of WAVES program: *O modelo MOSDEL como ferramenta de integração do programa WAVES*. Fortaleza-CE, Brazil, 04-99 (Printz)
- UFPI-TROPEN (Federal University of Piauı-Center of Environmental sciences of tropical ecotones of Northeast Bras), *Training der Mitarbeiter und Studenten der Forschungseinrichtung in GIS*. Teresina-PI, Brasilien, 04-99 (Printz u. Mörtl)
- UFPI-TROPEN (Federal University of Piauı-Center of Environmental sciences of tropical ecotones of Northeast Brazil): *Ecologia da paisagem e pesquisa integrada na região de referência de Picos-PI*. Teresina-PI, Brazil, 04-99 (Printz)
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Brazilian enterprise for research in agriculture and husbandry): *O modelo MOSDEL como ferramenta de planejamento de uso da terra*. Teresina-PI, Brasilien 11-99 (Printz)
- Organisation des *“Tages der Landwirtschaft und des Wassers“*. Training lokaler Bauern in nachhaltiger Landwirtschaft und Wassernutzung. Picos-PI, Brasilien, 11-99 (Printz)
- Organisation des III. Internationalen WAVES Workshops (Printz u.a.). Vortrag: *Integration of WAVES research results on regional scale by MOSDEL*. Freising 03-00 (Printz)
- German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems. Achievements and Prospects of Cooperative Research: *Integration of WAVES research results as a means for regional planning*. Hamburg, Germany, 09-00 (Printz)
- Workshop SEPLAN-SRH (Secretaria do Planejamento, Upper Planning Secretary of Ceará State-Secretaria Recursos Hídricos, Upper water resources management secretary of Ceará State): *MOSDEL - um modelo para a simulação de desenvolvimento sustentável do uso da terra no plano regional*. (Printz) *GIS based model for soil water balance on landscape level* (Voerkelius) Fortaleza-CE, Brasilien, 11-00
- FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) *GIS based model for soil water balance on landscape level* (Voerkelius) Fortaleza-CE, Brasilien, 11-00
- Workshop SEPLAN (Secretaria do Planejamento, Upper Planning Secretary of Ceará State): *Impactos de cenários dentro de uma região com baixa potencialidade de recursos hídricos - exemplo do município do Tauá modelado por MOSDEL*. Fortaleza-CE, Brasilien, 03-01 (Printz)
- Workshop series on applications in Geography: *Impactos de cenários dentro de uma região com baixa potencialidade de recursos hídricos - exemplo do município do Tauá modelado por MOSDEL*. Fortaleza-CE, Brasilien, 03-01 (Printz)
- UFC-Federal University of Ceará, Department of Geography: *GIS-Training für Mitarbeiter und Studenten des Institutes für Geographie*. Fortaleza-CE, Brasilien, 03-01 (Printz)
- Lokalradio Tauá (Radio Difusora dos Inhamuns): *Interview über Ziele und Ergebnisse des WAVES-Forschungsprogramms und des Fachbereichs Landschaftsökologie in der Region Tauá*. Tauá-CE, Brasilien, 06-01 (Printz)
- DIATAUÁ, Organisation einer Bürgerversammlung zur Präsentation der regionalen WAVES-Schlussresultate in Zusammenarbeit mit der örtlichen Gemeindeverwaltung, Universität und Landwirtschaftsschule (300 Teilnehmer); Vortrag: *MOSDEL – Modelo integrado para um desenvolvimento sustentável de uso da terra em Tauá*. Tauá-CE, Brasilien, 06-01 (Printz)
- Workshop SEPLAN (Secretaria do Planejamento, Upper Planning Secretary of Ceará State): *MOSDEL – Modelo integrado para desenvolvimento sustentável municipal e regional*. Fortaleza-CE, Brasilien 06-01 (Printz)

International Conference on Global Climate Change: regional impacts: MOSDEL – Modelo integrado para desenvolvimento sustentável municipal e regional. Fortaleza-CE, Brasilien, 06-00 (Printz)

SEMARH – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Environment and water resources secretary of Piauí State), *MOSDEL - Modelo integrado para desenvolvimento sustentável municipal e regional*. Teresina-PI, Brasilien 07-00 (Printz)

44th IAVS (International Association of Vegetation Science) Symposium: *Caatinga vegetation types and functions for land use modeling in Northeastern Brasilien*. Freising, 08-01 (Printz)

Die Teilnahme und Vorträge auf zahlreichen weiteren WAVES-Workshops wurden hier nicht detailliert aufgeführt.

Der Fachbereich Landschaftsökologie war fortlaufend bei der projektübergreifenden Arbeitsgruppe Szenarien durch Hrn. Printz vertreten. Hierfür wurden zahlreiche raumordnerisch relevante GIS-Abfragen durchgeführt (s.a. Kap. 10 SOLAM-Bericht)

Der Fachbereich Landschaftsökologie war während Hauptphase I in der Managementgruppe durch Hrn. Voerkelius vertreten.

Das BMBF-finanzierte Filmprojekt „Klima-Wasser-Mensch. Klimafolgenforschung im semi-ariden Nordosten Brasiliens“ wurde durch Ideen, Teilnahme und zur Verfügung gestellte digitale Daten und Bilder tatkräftig unterstützt.

Während der Laufzeit waren am Lehrstuhl für Landschaftsökologie in Weihenstephan nicht nur die direkten Projektpartner (Fr. López Gil und Fr. de Oliveira, finanziert durch Tagegelder des Internationalen Büros der DLR) zu Arbeitsbesuchen. Zahlreiche andere brasilianische Besucher interessierten sich für die Arbeit des Fachbereiches Landschaftsökologie vor Ort. Zu erwähnen sind z.B. der ehemalige brasilianische Energie- und Bergbauminister Vicente Fialho (Tauá, Fortaleza-CE) sowie der damalige Leiter der nationalen bodenkundlichen Forschung von EMBRAPA Antônio Ramalho Filho (Rio de Janeiro-RJ).

6 Vergleich des Standes des Vorhabens mit der ursprünglichen Planung und Ausblick

Alle angestrebten Ziele wurden trotz Übernahme unerwarteter Aufgaben (z.B. Satellitenbildinterpretation) erreicht.

Das Bodenwassermodell und MOSDEL konnten in der zweiten Hauptphase technisch und inhaltlich deutlich verbessert werden. Es gelang, beide Modelle bei den jeweils interessierten Behörden vor Ort zu installieren.

MOSDEL's Programmalgorithmen konnten in der zweiten Hauptphase deutlich gestrafft und in vieler Hinsicht inhaltlich ausgebaut und optimiert werden:

- Die benötigte Rechenzeit wurde deutlich gesenkt (hauptsächlich durch eine Verbesserung der Random-Programmierung zur Verteilung der Anbaufrüchte und Weideflächen).
- Die menugesteuerten Abfragen wurden optimiert und können in drei Sprachen (deutsch, englisch und portugiesisch) abgerufen werden.
- Der Ertragsrückgang durch Verminderung der Bodenfruchtbarkeit bei Wegfall der Brachepausen wurden berücksichtigt.
- Degradationswirkungen durch Überweidung können simuliert werden.
- Erlöse landwirtschaftlicher Produkte können in Abhängigkeit zur Marktnähe abgestuft mit Abschlägen dargestellt werden.
- Die Wasserverfügbarkeit kann räumlich und nutzerorientiert (für drei unterschiedliche Wasserqualitäten) differenziert dargestellt werden.
- Ergebnisse können, wo sinnvoll (z.B. Degradationswirkung), auch in Form von Karten ausgegeben werden.
- Die Methodik der Disaggregation einer großskaligen Bodenkarte durch Hangneigungsklassen in ‚Terrain Components‘ konnte auch in der Hauptphase II im Referenzgebiet Tauá effizient und erfolgreich angewandt werden (s. Karte 18). Dadurch konnte eine wertvolle Schnittstelle zu den detaillierten Anbauinformationen der Datenbank SPICE in räumlich hoch aufgelöster Form für das Modell geschaffen werden.

Mit MOSDEL wurde modellhaft für semiaride Regionen mit geringer Datendichte ein Planungstool für regionale Landnutzung entwickelt:

- Zugriff auf eine GIS-Datenbank mit umfangreichen Landnutzungsdaten (im wesentlichen mit aktuellen Daten aus den 90er-Jahren, mit den Themenbereichen des WAVES-Forschungsverbundes) für zwei WAVES-Referenzregionen (Picos ca. 3.000km², Tauá, ca. 4.000km²) mit einer vergleichsweise hohen Auflösung von 1ha.
- Abfragemöglichkeit des status quo sowie Auswirkungen unterschiedlicher Szenarios: durch Veränderung naturräumlicher Parameter („Global Climate Change“) bzw. veränderte Managementmethoden in der Landnutzung können sowohl ökologische als auch (sozio-)ökonomische Folgewirkungen abgeschätzt und bewertet werden. Somit können fundierte Aussagen zu drei Nachhaltigkeitsbereichen gemacht werden:

- ökonomische Nachhaltigkeit
- hydrologische Nachhaltigkeit
- ökologische Nachhaltigkeit

Das zentrale Ziel des WAVES-Forschungsprogramms, präventive Strategien zur Entwicklung nachhaltiger Lebensqualität vor dem Hintergrund des „Global Climate Change“ zu erarbeiten, konnte somit auf der regionalen Ebene in vollem Umfang erreicht werden. Gleichzeitig gelang es mit MOSDEL, einen methodischen Ansatz zur Integration zahlreicher einzeldisziplinärer Forschungsergebnisse des WAVES-Programmes zu schaffen. Die Herausforderungen der zweiten Hauptphase, Wissenstransfer und Modellanpassung für Implementierung wurden sowohl auf wissenschaftlicher wie administrativer Ebene aus Sicht des Fachbereichs Landschaftsökologie optimal eingelöst. Für eine langfristige Implementierung wäre vor Ort ein intensives technisches Training sowie die Moderation eines integrativen, behörden- und universitätsübergreifenden Zusammenarbeitsprozesses notwendig gewesen. Dieser Prozess fand wegen mangelnder Finanzierung nicht mehr statt. Mit MOSDEL konnte dennoch das technische und methodische Potenzial eines integrativen Planungsinstrumentes gezeigt werden.

7 Ergebnisse Dritter, die für das Vorhaben von Bedeutung sind

- keine -

8 Angaben zu Erfindungen und Schutzrechten

- keine -

9 Sonstiges

Fast allen Fachbereichen wurde kontinuierlich umfangreiches brasilianisches Daten- und Kartenmaterial (Statistiken, Studien, etc.) zur Verfügung gestellt (original und aufbereitet).

Im Rahmen des WAVES-Projektes wurden am Lehrstuhl für Landschaftsökologie der Technischen Universität München folgende Diplomarbeiten abgeschlossen:

- Hörauf, Martina – „Nachhaltige Landnutzung im Nordosten Brasiliens am Beispiel des Wassereinzugsgebietes des Stausees Bocaina im Bundesstaat Piauí“ (1999)
- Arnert, Ralf – „Konzeption und Umsetzung einer multimedialen Präsentation von Projektergebnissen am Beispiel des WAVES – Projektes“ (Hr. Arnert präsentierte einen ‚Preview‘ während des Weihenstephaner Workshops. Teil 2 der Arbeit, die Umsetzung in Form einer Multimedia-CD wurde dem BMBF/DLR zur Verfügung gestellt) (2000)
- Zellhuber, Andrea – „Bewertungsansätze für nachhaltige Landnutzung in Piauí, Nordost-Brasilien, auf der Grundlage einer Betriebstypologie“ (2000)

Alle Arbeiten wurden von Hrn. Printz und Hrn. Mörtl betreut. Frau Zellhuber und Frau Hörauf wurden zudem von Prof. Dr. Trepl, Herr Arnert von Prof. Dr. Schaller betreut.

Die Dissertation von Hrn. Printz: *„GIS-basierte regionale Landnutzungsmodellierung als Werkzeug für eine integrierte und nachhaltige Landnutzungsplanung im semiariden Nordosten Brasiliens“* ist zum Berichtszeitpunkt noch nicht abgeschlossen.

Während der ersten Hauptphase wurden schwerpunktmäßig von Herrn Dipl. Ing. Andreas Printz Gesamtkonzept und Kooperation, von Herrn Mörtl GIS und MOSDEL-Modellierung sowie von Herrn Voerkelius (Voerkelius Landschaftsökologie und Planung im Werkvertrag) das Wasserhaushaltsmodell bearbeitet. Aufgrund des Weggangs von Herrn Mörtl war eine kurzfristige Neubesetzung in den entsprechenden Bereichen notwendig. Dies gelang schließlich durch Splittung der Arbeitsbereiche in GIS (Dipl. Ing. Tanja Fugiel, Lehrstuhl für Landschaftsökologie) sowie Modellprogrammierung (Dr. Ruth Lang, uismedia Freising im Werkvertrag). Die Arbeitsbereiche von Herrn Printz und Herrn Voerkelius blieben im wesentlichen unverändert. Außerdem waren während des gesamten Zeitraums zahlreiche studentische Hilfskräfte meist für die Aufbereitung von Statistik-, GIS- und Satellitendaten tätig.

Das Teilprojekt SOLAM an der Universität Gesamthochschule Kassel wurde für die Hauptphase II als eigenständiger Bereich dem Fachbereich Landschaftsökologie angegliedert (s. nachfolgendes Kapitel 10).

Einen zusammenfassenden Überblick über die Ergebnisse des WAVES-Programmes gibt die gemeinsame Buchveröffentlichung:

Krol, M., Frischkorn, H.; de Araújo, J.C. and Gaiser, T. (Eds.), 2002. Global Change and Regional Impacts: Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society in Semi-Arid Northeast Brazil. Heidelberg, Berlin, New York.

Weiterführende allgemeine Informationen zu WAVES sind im Internet zu finden:

<http://www.usf.uni-kassel.de/waves/>

Die Arbeit des Fachbereiches Landschaftsökologie befindet sich auf der folgenden Homepage:

<http://www.loek.agrar.tu-muenchen.de/waves>

10 Sozio-ökonomische Bedingungen von Landnutzungsänderungen und Migrationsflüsse in Piauí und Ceará (Teilprojekt SOLAM)

Für das eigenständige Teilprojekt SOLAM wurde bereits zum Jahresende 2000 ein Abschlussbericht der Hauptphase vorgelegt, in der die Aktivitäten für den Zeitraum August 1997 bis Juli 2000 dargestellt wurden. Der hier vorliegende Bericht betrifft nur den Zeitraum der einjährigen Hauptphase II (August 2000 bis Juli 2001), die in Kooperation mit der Arbeitsgruppe Landschaftsökologie realisiert wurde.

Die Ziele und Aufgaben des TP SOLAM während der Hauptphase II orientierten sich an den übergeordneten Zielen von WAVES: Integrierte Modelle sowohl auf bundesstaatlicher Ebene (SIM) als auch für den Raum Picos und das Munizip Tauá (MOSDEL) als Instrumente zur Unterstützung von landnutzungs- und wasserbezogenen Planungen bereitzustellen und Szenarien einer nachhaltigen Entwicklung für die Untersuchungsregion zu entwerfen.

In der einjährigen Hauptphase II, standen für das Teilprojekt SOLAM - als Ergänzung zu bisherigen Arbeitsfeldern - Analysen zum Agrarstrukturellen Wandel bezogen auf eine veränderte Landnutzung in der Untersuchungsregion im Vordergrund.

In Kooperation mit den brasilianischen Partnern, Prof. Francisco Veloso, Prof. Washington Bonfim und Prof. Jaira Gomes (UFPI) wurden Abschätzungen über die zukünftige Entwicklung der Betriebsgrößen, der Besitzverhältnisse und der Produktivität in den einzelnen Betriebstypen sowie des Arbeitskräftepotenzials und -bedarfs sowohl auf regionaler Ebene als auch auf Fokusgebietsebene (Munizip Tauá und Region Picos) vorgenommen.

Die Ergebnisse der Analysen zur Landnutzung flossen in die integrierten Szenarien ein (siehe beispielhaft Tabelle 3 und Tabelle 4; zu den Szenarioannahmen vgl. auch Döll et al. 2000).

Tabelle 3: Entwicklung der potenziellen landwirtschaftlichen Nutzfläche in der Untersuchungsregion zwischen 1996 und 2025 entsprechend den beiden Referenzszenarien:

Szenario A *Globalisierung* (Küstenboom und Cash-Crop Produktion) und
Szenario B *Dezentralisierung* (Stärkung der regionalen Klein- u. Mittelzentren)

Szenario Region	Potenzielle landwirtschaftliche Nutzfläche (in 1.000 ha)			Gesamtveränderung der Flächen zw. 1996 u. 2025	
	1996	2025 RS A	2025 RS B	2025 RS A	2025 RS B
Teresina	21.877	10.938	10.938	- 50 %	- 50 %
Metropole Fortaleza	79.379	31.752	31.752	- 60 %	- 60 %
Küstengebiet	619.582	557.624	588.603	- 10 %	- 5 %
Süden von Piauí	1.102.558	1.157.686	1.212.814	+ 5 %	+ 10 %
Gebiet mit hoher potenzieller Wasserverfügbarkeit in Piauí	1.493.405	1.538.207	1.568.075	+ 3 %	+ 5 %
Gebiet mit hoher potenzieller Wasserverfügbarkeit in Ceará	881.191	907.627	925.251	+ 3 %	+ 5 %
Gebiet mit niedriger potenzieller Wasserverfügbarkeit in Piauí	530.046	424.036	477.041	- 20 %	- 10 %
Gebiet mit niedriger potenzieller Wasserverfügbarkeit in Ceará	940.136	752.109	846.123	- 20 %	- 10 %s

Tabelle 4: Entwicklung zur Anzahl der Betriebe je Betriebsgrößenklassen in der Untersuchungsregion zwischen 1996 und 2025 entsprechend den beiden Referenzszenarien:

Szenario A *Globalisierung* (Küstenboom und Cash-Crop Produktion) und
 Szenario B *Dezentralisierung* (Stärkung der regionalen Klein- u. Mittelzentren)

Szenario Region	Betriebsgrößenklasse	Anteil der Anzahl der Betriebe in der jeweiligen Betriebsgrößenklasse			Veränderung des Anteils zw. 1996 u. 2025 (gesamt in %)	
		aktuell 1996	2025 RS A	2025 RS B	2025 RS A	2025 RS B
Teresina	< 10 ha	86 %	89 %	89 %	3 %	3 %
	< 100 ha	11 %	10 %	10 %	- 9 %	- 9 %
	> 100 ha	3 %	1 %	1 %	- 67 %	- 67 %
Metropole Fortaleza	< 10 ha	83 %	89 %	89 %	7 %	7 %
	< 100 ha	13 %	10 %	10 %	- 23 %	- 23 %
	> 100 ha	4 %	1 %	1 %	- 75 %	- 75 %
Küstengebiet	< 10 ha	78 %	70 %	68 %	- 10 %	- 13 %
	< 100 ha	18,5 %	25 %	30 %	35 %	62 %
	> 100 ha	3,5 %	5 %	2 %	43 %	- 43 %
Süden von Piauí	< 10 ha	44 %	34 %	30 %	- 23 %	- 32 %
	< 100 ha	38 %	41 %	50 %	8 %	32 %
	> 100 ha	18 %	25 %	20 %	47 %	18 %
Gebiet mit hoher potenzieller Wasserverfügbarkeit in Piauí	< 10 ha	72 %	43 %	35 %	- 40 %	- 51 %
	< 100 ha	21 %	50 %	60 %	138 %	186 %
	> 100 ha	7 %	7 %	5 %	0 %	- 29 %
Gebiet mit hoher potenzieller Wasserverfügbarkeit in Ceará	< 10 ha	74 %	43 %	35 %	- 42 %	- 53 %
	< 100 ha	22 %	50 %	60 %	127 %	173 %
	> 100 ha	4 %	7 %	5 %	75 %	25 %
Gebiet mit niedriger potenzieller Wasserverfügbarkeit in Piauí	< 10 ha	52 %	52 %	45 %	0 %	- 13 %
	< 100 ha	40 %	40 %	50 %	0 %	25 %
	> 100 ha	8 %	8 %	5 %	0 %	- 38 %
Gebiet mit niedriger potenzieller Wasserverfügbarkeit in Ceará	< 10 ha	66,5 %	63 %	48 %	- 5 %	- 28 %
	< 100 ha	26 %	29 %	45 %	12 %	35 %
	> 100 ha	7,5 %	8 %	7 %	7 %	- 7 %

Ferner wurden die während der Hauptphase im Rahmen der Befragung von 200 ländlichen Haushalten in den beiden Fokusgebieten erhobenen Daten in Hinblick auf die Fragestellung zukünftiger Veränderungen der Landnutzung ausgewertet.

Eng verbunden mit den Analysen zur Entwicklung der Agrarstruktur sind die Arbeiten des Teilprojektes SOLAM zur zukünftigen wirtschaftlichen Entwicklung in der Untersuchungsregion. Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse zur möglichen Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes bis 2025 und die daraus resultierenden Abschätzungen zur sektoralen wirtschaftlichen Entwicklung auf Ebene der Szenarioregionen (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Entwicklung des Sektoralen Bruttoinlandsproduktes in der Untersuchungsregion zwischen 1996 und 2025 entsprechend den beiden Referenzszenarien:Szenario A *Globalisierung* (Küstenboom und Cash-Crop Produktion) undSzenario B *Dezentralisierung* (Stärkung der regionalen Klein- u. Mittelzentren)

Szenario Region	Sektor	Anteil des sektoralen Bruttoinlandsproduktes		
		aktuell 1996	2025 RS A	2025 RS B
Teresina	Agrarsektor	5 %	3 %	6 %
	Industrie + Handwerk	25 %	27 %	25 %
	Dienstleistungen	70 %	70 %	69 %
Metropole Fortaleza	Agrarsektor	2 %	1 %	1 %
	Industrie + Handwerk	28 %	19 %	24 %
	Dienstleistungen	70 %	80 %	75 %
Küstengebiet	Agrarsektor	20 %	22 %	21 %
	Industrie + Handwerk	24 %	25 %	24 %
	Dienstleistungen	56 %	53 %	55 %
Süden von Piauí	Agrarsektor	32 %	34 %	33 %
	Industrie + Handwerk	15 %	14 %	13 %
	Dienstleistungen	53 %	52 %	54 %
Gebiet mit hoher potenzieller Wasserverfügbarkeit in Piauí	Agrarsektor	26 %	26 %	28 %
	Industrie + Handwerk	12 %	10 %	17 %
	Dienstleistungen	62 %	64 %	55 %
Gebiet mit hoher potenzieller Wasserverfügbarkeit in Ceará	Agrarsektor	14 %	20 %	16 %
	Industrie + Handwerk	21 %	18 %	16 %
	Dienstleistungen	65 %	62 %	68 %
Gebiet mit niedriger potenzieller Wasserverfügbarkeit in Piauí	Agrarsektor	20 %	20 %	22 %
	Industrie + Handwerk	13 %	13 %	14 %
	Dienstleistungen	67 %	67 %	64 %
Gebiet mit niedriger potenzieller Wasserverfügbarkeit in Ceará	Agrarsektor	16 %	16 %	18 %
	Industrie + Handwerk	15 %	15 %	16 %
	Dienstleistungen	69 %	69 %	66 %

Da es für die Untersuchungsregion nur wenig Literatur zur zukünftigen wirtschaftlichen Entwicklung gibt und im WAVES-Projekt keine makroökonomische Arbeitsgruppe vertreten war, wurde die Abschätzung aufgrund von vollzogenen Entwicklungen für Gesamtbrasilien erstellt und zur Plausibilitätsprüfung den Mitarbeitern der Banco do Nordeste vorgelegt.

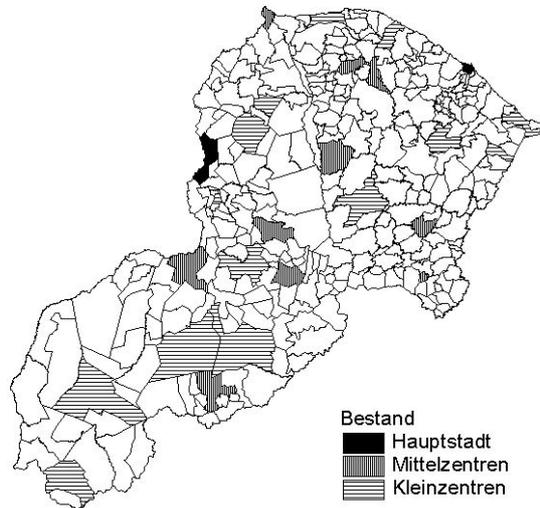
Gemeinsam mit dem Teilprojekt Landschaftsökologie wurde eine räumlich Verteilung der Entwicklungspotenziale unter Maßgabe der beiden Referenzszenarien „Globalisierung“ und „Dezentrale Entwicklung“ vorgenommen.

Hierzu wurden zunächst die Simulationsergebnisse des Migrationsmodells MigFlow herangezogen, um die Bevölkerungsentwicklung (Bevölkerungszahl und -dichte) entsprechend der infrastrukturellen und wirtschaftlichen Entwicklung abschätzen zu können.

In einem zweiten Schritt wurden die in Programmen und Entwicklungsplänen der Planungsbehörden der beiden Bundesstaaten Piauí und Ceará benannten und räumlich verorteten Projekte der Wirtschafts- und der Tourismusförderung sowie des Infrastrukturausbaus bezogen auf Bewässerungslandwirtschaft, Bildung (hier Universitäten der beiden Staaten Piauí und Ceará - Universidade Estadual do Ceará /

Piauí) und Gesundheit zusammengetragen und ihre potenziellen Wirkungen für die beiden Referenzszenarien analysiert. Die Ergebnisse beziehen sich jeweils auf die Muniziphauptstadt.

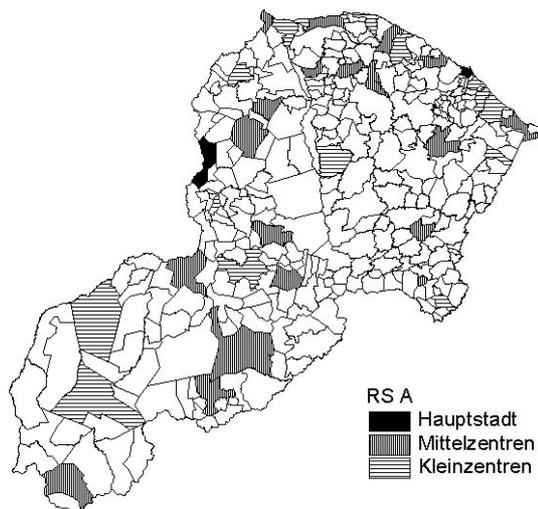
Die nachfolgende Karte 9 zeigt die Ausgangssituation in den beiden Bundesstaaten:



Karte 9: Zentrale Orte in den beiden Bundesstaaten Piauí und Ceará Ausgangssituation 1996

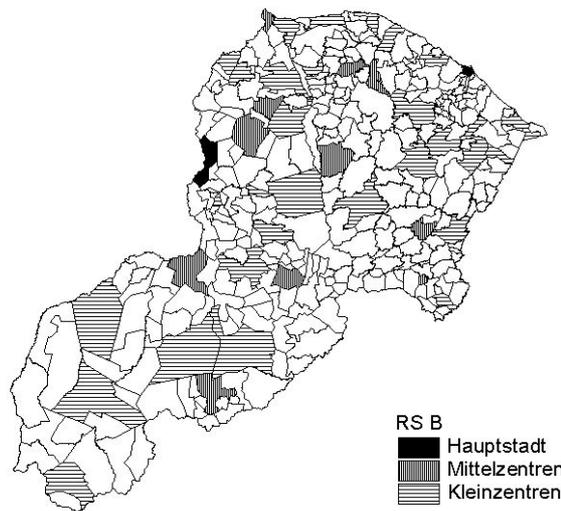
Karte 10 zeigt die potenziellen Wirkungen bis 2025 für das Szenario A „Globalisierung“:

Insbesondere in der Küstenregion findet eine starke Ausweitung der zentralen Orte statt, während der Sertão weitgehend an Anziehungskraft verliert. Die Zahl der Kleinzentren nimmt ab, dafür werden die wenigen Mittelzentren gestärkt.



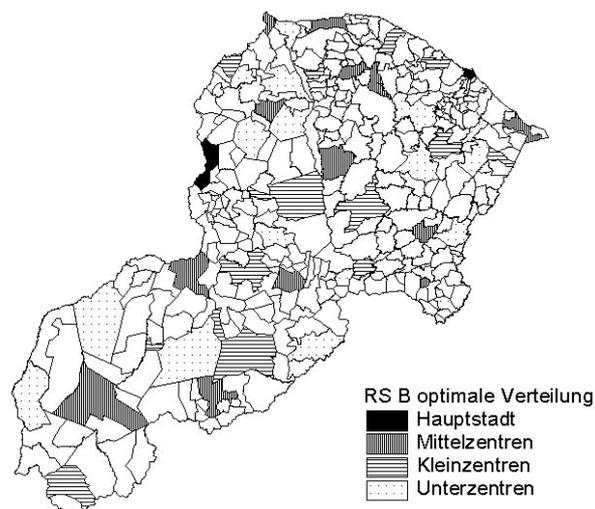
Karte 10: Entwicklung der Zentralen Orte entsprechend den Annahmen des Szenario A "Globalisierung" in 2025

Karte 11 zeigt die potenziellen Wirkung der geplanten staatlichen Projekte zu einer stärker dezentralen Entwicklung. Auch hier gibt es eine Stärkung der Gemeinden in der Küstenregion, allerdings ist insgesamt eine räumliche Verteilung der zentralen Orte eher gegeben.



Karte 11: Entwicklung der Zentralen Orte entsprechend den Annahmen des Szenario B "Dezentralisierung" in 2025

Karte 12 stellt eine optimale räumliche Verteilung zentraler Orte in der Region dar, wenn alle Gebiete gleichermaßen über eine notwendige Infrastruktur und wirtschaftliches Potenzial verfügen sollen. Hierzu wurde neben den Kategorien Mittel- und Kleinzentren noch die weitere Kategorie der Unterzentren eingeführt.



Karte 12: Entwicklung der Zentralen Orte unter optimalen Bedingungen der räumlichen Verteilung in 2025

10.1 Kooperation mit den brasilianischen Partnern

Gemeinsam mit der Kooperationspartnerin Prof. Gomes (UFPI) und der AG Landschaftsökologie wurde ein Forschungsantrag zur sozio-ökonomischen und ökologischen Entwicklung für die Uruçuí-Gurgueia-Region (Süd-Piauí) an die Fundação de Ciência e Tecnologia (FUNTEC) formuliert, dem auch stattgegeben wurde.

Weiterhin war das TP SOLAM bei folgenden Veranstaltungen vertreten:

- Treffen der Szenarien AG im Oktober 2000, im Januar 2001 und im April 2001; während diesen Treffen wurden die Referenzszenarien weiter konkretisiert und Konditionen für die Interventions-szenarien "Ausweitung der Bewässerungslandwirtschaft" und "Intensivierung des Cashew-Anbaus" formuliert.
- Szenarien-Workshops gemeinsam mit den Planungsbehörden in Ceará im November 2000 sowie im März und Juni 2001 und im Juni 2001 in Piauí

Die Vorstellung der Szenario-Ergebnisse riefen sowohl bei den von der Planungsbehörde von Ceará (SEPLAN) organisierten Workshops als auch bei der Banco do Nordeste (BNB) großes Interesse bei den beiden Institutionen hervor, welches in Abkommen über weitere Zusammenarbeit mündete.

Eine abschließende Präsentation der Ergebnisse der Szenariengruppe fand im Juni 2001 sowohl bei der Planungsbehörde von Ceará als auch von Piauí statt.

- Teilnahme am Tauá-Tag im Juni 2001
Präsentation von jeweils einem Poster zur Situation in der Landwirtschaft sowie zur Lebensqualität und Migration in der Untersuchungsgemeinde Tauá in portugiesischer Sprache
- Teilnahme am WAVES-Abschlussworkshop: GLOBAL CLIMATE CHANGE – REGIONAL IM-PACTS: Achievements of the German-Brazilian cooperative research on sustainable land and water management in Northeastern Brazil im Juni 2001 in Fortaleza

Im Rahmen des Abschlussworkshops im Juni 2001 in Fortaleza wurde - neben einem Vortrag zu Migration und Lebensqualität - jeweils ein Poster zur Situation in der Landwirtschaft sowie zur Lebensqualität und Migration in der Untersuchungsgemeinde Tauá in portugiesischer Sprache präsentiert.

10.2 Informationssystem Hyper-WAVES

Im Rahmen des WAVES-Projektes war eine intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit sowohl zwischen den einzelnen Teilprojekten als auch mit den brasilianischen Kooperationspartnern während der gesamten Projektlaufzeit angestrebt. Aufgrund der Projektstruktur war jedoch die räumlich engere Zusammenarbeit nur begrenzt zu realisieren. Um einen permanenten und auch über weite Entfernungen raschen Informationsfluss sicherzustellen, steht das in Kassel aufgebaute und gepflegte Informationssystem Hyper-WAVES via Internet als Kommunikations- und Mitteilungsmedium für den Austausch von Informationen, Daten und Modellen zur Verfügung (siehe <http://www.usf.uni-kassel.de/waves/>).

Darüber hinaus dient das Medium ebenfalls der breiteren Veröffentlichung von Ergebnissen. So wurden neben den Protokollen von deutschen und deutsch-brasilianischen Workshops, den Ergebnisprotokollen der Managementgruppensitzungen auch die Status- und Jahresberichte sowie die vorläufigen Ergebnisse des Projektes in deutscher und englischer Sprache veröffentlicht.

10.3 Ergebnisse Dritter, die für das Vorhaben von Bedeutung sind

- entfällt -

10.4 Angaben zu Erfindungen und Schutzrechten

Es wurden keine Patente angemeldet.

11 Literaturzitate

- Döll, P.; Fuhr, D.; Herfort, J.; Jaeger, A.; Printz, A.; Voerkelius, S. (2000): Szenarien der zukünftigen Entwicklung in Piauí und Ceará. Statusbericht der ersten Hauptphase des WAVES Programms. Kassel.
(http://www.usf.uni-kassel.de/waves/vorl_endbericht/3_szenarien.pdf)
- Glugla, G. (1969): Berechnungsverfahren zur Ermittlung des aktuellen Wassergehaltes und Gravitationswasserabflusses im Boden. Albrecht-Thaer-Archiv, 13(4): 371-376
- Hörmann, G. (1999a): Simpel - Speichermodelle zum Bodenwasserhaushalt; Ecosystem Research Center Kiel, Germany, <http://www.pz-oekosys.uni-kiel.de>
- Hörmann, G. (1999b): The SIMPEL soil water spreadsheets: defining the low end of hydrologic computing. Ecosystem Research Center Kiel, Germany, <http://www.pz-oekosys.uni-kiel.de>
- USDA (ed.), (1972): SCS National Engineering Handbook Section 4: Hydrology. USDA. Washington. Reprinted March 1985
- Halm, D. (2000): Soil water balance in the semiarid Northeast of Brazil – characterization, simulation, evaluation, and comparison of hydrological properties and processes in representative soils of the Picos region, Piauí, Stuttgart-Hohenheim
- Haber, W. (1993): Menschliche Einflüsse auf Hochgebirge. Biologie in unserer Zeit, Nr.5, 1993, S.276-285
- Haber, Duhme, Medeiros, Printz, Voerkelius: Statusbericht Landschaftsökologie in: WAVES-Statusbericht, Band I, Zusammenfassende Darstellung, Freising, 1996 (Bericht an Projektträger, unveröffl.)
- Haber, Duhme, Medeiros, Printz, Voerkelius: Statusbericht Landschaftsökologie in: WAVES-Statusbericht, Band II, Fachberichte, Freising, 1996 (Bericht an Projektträger, unveröffl.)
- Oliveira, V.P.V.d.; Printz, A.; Schmidt, S.; Bezerra, C.L.F. (2002): Sustainable use of natural resources in the municipality of Tauá-Ceará. In: Krol, M., Frischkorn, H. de Araújo, J.C. and Gaiser, T. (Eds.), 2002. Global Change and Regional Impacts: Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society in Semi-Arid Northeast Brazil. Heidelberg, Berlin, New York
- Trepl, Mörtl, Printz, Voerkelius: Verbundprojekt WAVES. Statusbericht der ersten Hauptphase. Band 1: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse. Stuttgart-Hohenheim, 2000
- Trepl, Mörtl, Printz, Voerkelius: Verbundprojekt WAVES. Statusbericht der ersten Hauptphase. Band 2: Berichte der Fachbereiche/Arbeitsgruppen. Statusbericht des Fachbereichs Landschaftsökologie. Stuttgart-Hohenheim, 2000

12 Veröffentlichungen

12.1 Veröffentlichungen des TP SOLAM (2000-2002)

Fuhr, D.; Döring, A.; Grebe, M. Matias, F. (2000). Quality of Life and Migration. Technical Aspects and Results of Social Modeling. Proceedings of the German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems in Hamburg, September 3-8, 2000. <http://www.usf.uni-kassel.de/waves/english/index.htm>

Fuhr, D. (2001). Ausmaß und Ursachen von Flucht und Migration. In: V. Linneweber (Hrsg.) Zukünftige Bedrohungen durch (anthropogene) Naturkatastrophen. Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge (DKKV). Bonn. S. 15-28

Fuhr, D. (2002). Quality of Life and Migration. Concepts and Results of the Socio-economic Survey in Tauá and Picos. In: Gaiser, T. et al (Ed.): Global Change and Regional Impacts: Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society in Semi-Arid Northeast Brazil. Heidelberg, Berlin, New York, 2002 (Springer Vrlg.) (im Erscheinen)

Krol, Maarten, Fuhr, Dagmar, Döring, Andreas (2002): Semi-arid Northeast Brazil: integrated modeling of regional development and global change impacts. Proceeding to the International Workshop on Environmental Change: Implications for Population Migrations. Wengen (CH) September 19 - 22, 2001, Wengen 2002 (im Erscheinen)

Im Rahmen des Teilprojektes SOLAM wurden drei Promotionsvorhaben zu den Themen "Modelle über den Umgang mit knappen Ressourcen und komplexen Umwelten", "Agrarstrukturwandel und Migration in Nordostbrasilien" und "Entwicklungsperspektiven für Nordostbrasilien" begonnen, deren Abschluss in Kürze erwartet wird.

12.2 Veröffentlichungen des FB Landschaftsökologie (1997-2002)

- Arnert, R.: Conception and realization of a Multimedia presentation for the WAVES project (2000). In: Printz (Ed.): Proceedings of the III. International WAVES Workshop in Freising-Weihenstephan. Freising: Technische Universität München, Lehrstuhl für Landschaftsökologie, p. 86-87.
- Castro, A.A.J.F.; Printz, A.; Mendes, M. R. d. A.; Soares, F.d.A.R.; Oliveira, J.O.S.; Albino, R.S.; Lange, F.-M.; Farias, R.R.S.d. (2002): Cerrado and Caatinga in the Picos area. In: Krol, M., Frischkorn, H.; de Araújo, J.C. and Gaiser, T. (Eds.), 2002. Global Change and Regional Impacts: Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society in Semi-Arid Northeast Brazil. Heidelberg, Berlin, New York.
- Döll, P.; Krol, M.; Fuhr, D.; Gaiser, T.; Herfort, J.; Höynck, S.; Jaeger, A.; Külls, C.; Mendiondo, M.; Printz, A.; Voerkelius, S.: Integrated scenarios of regional development in Ceará and Piauí. In: Krol, M., Frischkorn, H.; de Araújo, J.C. and Gaiser, T. (Eds.), 2002. Global Change and Regional Impacts: Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society in Semi-Arid Northeast Brazil. Heidelberg, Berlin, New York.
- Lang, R. (2000): A Virtual Flight over the WAVES Research Area Picos. In: Printz (Ed.): Proceedings of the III. International WAVES Workshop in Freising-Weihenstephan. Freising: Technische Universität München, Lehrstuhl für Landschaftsökologie, p. 88-89.
- Mörtl, S.; Printz, A.; Voerkelius, U. (2000): The GIS-based land use simulation model MOSDEL. In: Arbeitsstelle für Wissenschaftliche Weiterbildung, University of Hamburg: Program and abstracts of „German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems“ in Hamburg 3.-8.9.2000. Hamburg
- Oliveira, V.P.V.d.; Printz, A. (2000): Analysis of geoambiental structures and degraded areas in the municipality of Tauá. In: Printz (Ed.): Proceedings of the III. International WAVES Workshop in Freising-Weihenstephan. Freising: Technische Universität München, Lehrstuhl für Landschaftsökologie, p. 76-80.
- Oliveira, V.P.V.d.; Printz, A. (2001): Sustentabilidade dos recursos naturais e evidências de degradação / desertificação no município de Tauá-CE. Recife-PE, Brazil
- Oliveira, V.P.V.d.; Printz, A.; Bezerra, C.L.F.; Cruz, M.L.B.d.; (2002): Landscape Ecology Studies on degradation susceptibility in the semi-arid region of Inhamuns-Ceará (Brazil). In: Tagungsband zu „German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems“ in Hamburg am 3.-8.9.2000.
- Oliveira, V.P.V.d.; Printz, A.; Schmidt, S.; Bezerra, C.L.F. (2002): Sustainable use of natural resources in the municipality of Tauá-Ceará. In: Krol, M., Frischkorn, H. de Araújo, J.C. and Gaiser, T. (Eds.), 2002. Global Change and Regional Impacts: Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society in Semi-Arid Northeast Brazil. Heidelberg, Berlin, New York.
- Printz, A. (Hrsg.) (2000): *Proceedings of the III. International WAVES Workshop in Freising-Weihenstephan*. Freising: Technische Universität München, Lehrstuhl für Landschaftsökologie.
- Printz, A.; Mörtl, S.; Oliveira, V.P.V.d.; Voerkelius, U. (2000): Integration of WAVES research results on regional scale by MOSDEL. In: Printz (Ed.): Proceedings of the III. International WAVES Workshop in Freising-Weihenstephan. Freising: Technische Universität München, Lehrstuhl für Landschaftsökologie, p. 81-85.
- Printz, A.; Mörtl, S.; Voerkelius, U. (2000): Integration of WAVES research results as a means for regional planning. In: Arbeitsstelle für Wissenschaftliche Weiterbildung, University of Hamburg: Program and abstracts of „German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems“ in Hamburg am 3.-8.9.2000. Hamburg
- Printz, A. (2001): Zweite Phase des WAVES – Forschungsprogrammes. In: Mitteilungen – Vereinigung Weihenstephaner Universitätsabsolventen. Freising, p.12
- Printz, A.; Oliveira, V.P.V.d. (Eds.) (2001): Programa WAVES. Pesquisa para um desenvolvimento sustentável no município de Tauá-CE. Resumos e resultados selecionados (Versão preliminar). Fortaleza-CE
- Printz, A.; Mörtl, S.; Voerkelius, U. (2002): Integration of WAVES research results as a means for regional planning. In: Tagungsband zu „German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems“ in Hamburg am 3.-8.9.2000.
- Printz, A.; Mörtl, S.; Oliveira, V.P.V.d.; Voerkelius, U. (2002): Integration of the WAVES research results as a means for regional planning. In: Tagungsband zu „German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems“ in Hamburg am 3.-8.9.2000.
- Printz, A.; Lang, R. (2002): The GIS based model for sustainable development of land use (MOSDEL). In: Krol, M., Frischkorn, H. de Araújo, J.C. and Gaiser, T. (Eds.), 2002. Global Change and Regional Impacts: Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society in Semi-Arid Northeast Brazil. Heidelberg, Berlin, New York.
- Voerkelius, U.; Printz, A.; Mörtl, S.; Oliveira, V.P.V.d.; Castro, A.A.J.F.; Trepl, L.; Haber, W. (2000): Integration of research results on the regional level in the WAVES Project. In: Knowledge Partnership – Challenges and Perspectives for Research and Education at the Turn of the Millennium. Deutscher Tropentag on 14/15 October 1999 in Berlin. Humboldt Universität zu Berlin, Fachgebiet Tierzucht in den Tropen und Subtropen. Berlin. CD-Rom and print media.

Weitere Veröffentlichungen sind in Vorbereitung.

13 Liste der Abkürzungen

AG – Arbeitsgruppe

AML - ARC Macro Language™, Programmiersprache der GIS-Software ARC/INFO der Firma ESRI

ARCVIEW – GIS Desktop – Software der Firma ESRI

BMBF - Bundesministerium für Bildung und Forschung

CE – Bundesstaat Ceará

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

DHME - Departamento de Hidrometeorologia (Teresina - PI)

DLR/PT - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V./Projekträger

FUNTEC - Fundo de Pesquisa, Difusão e Capacitação Tecnológica

GIS - Geographisches Informationssystem

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (São José dos Campos - SP)

IPLANCE – Fundação Instituto de Pesquisa e Informação do Ceará (Fortaleza-CE)

MOSDEL - Model for sustainable development of land use

PI – Bundesstaat Piauí

SCS – U.S. Soil Conservation Service

SEMAR – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí (Teresina-PI)

SEPLAN - Secretaria do Planejamento do Estado do Ceará (Fortaleza-CE)

SOLAM - Sozio-ökonomische Bedingungen von Landnutzungsänderungen und
Migrationsflüssen in Piauí und Ceará (SOLAM)

SP – Bundesstaat São Paulo

TROPEN - Núcleo de Referência em Ciências Ambientais do Trópico Ecotonal do Nordeste (Teresina - PI)

UFC - Universidade Federal do Ceará (Fortaleza - CE)

UFPI - Universidade Federal do Piauí (Teresina - PI)

WARIG – Water availability model for the Rio Guaribas basin

MAB – Man and Biosphere

Übersicht über das WAVES - Forschungsgebiet

sowie über die räumlichen Schwerpunkte der Arbeitsgruppen



VORPHASE: 1994-1996

Bundesstaaten Piauí (PI) und Ceará (CE)

- Integrierte Modellierung
- Klimaanalyse und -modellierung

Bundesstaat Piauí

- Wassermanagement und -ressourcen
- Agrarökosysteme
- Landschaftsökologie

Referenzgebiete Picos-Region (PI) und Tauá (CE)

- Agrarökosysteme (Picos und Gilbués)
- Betriebsökonomie (Tauá)
- Soziokulturelle Analysen (Tauá)

HAUPTPHASEN I und II: 1997-2001

Bundesstaaten Piauí (PI) und Ceará (CE)

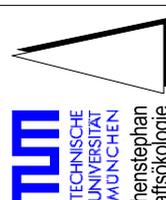
- Szenario-Arbeitsgruppe
- Integrierte Modellierung
- Klimaanalyse und -modellierung
- Großskalige Wassermanagementmodellierung (Bundesstaaten, ausgewählte Wassereinzugsgebiete)
- Sozio-ökonomische Bedingungen von Landnutzungsänderungen und Migrationsflüsse in Piauí und Ceará (SOLAM)
- Agrarökosysteme
- Regionalökonomie (Piauí, Ceará)
- Landschaftsökologie

Referenzgebiete Picos-Region (PI) und Tauá (CE)

- Wassermanagement und -ressourcen (Picosregion, Tauá sowie ausgewählte Munizipien)
- Agrarökosysteme (Referenzregion Picos und Tauá)
- Betriebswirtschaft (Referenzregion Picos, Tauá)
- SOLAM (Referenzregion Picos, Tauá)
- Landschaftsökologie (Referenzregion Picos und Tauá)

WAVES-eigene Messpunkte

- Meteorologische Stationen
- Abflussmessstationen

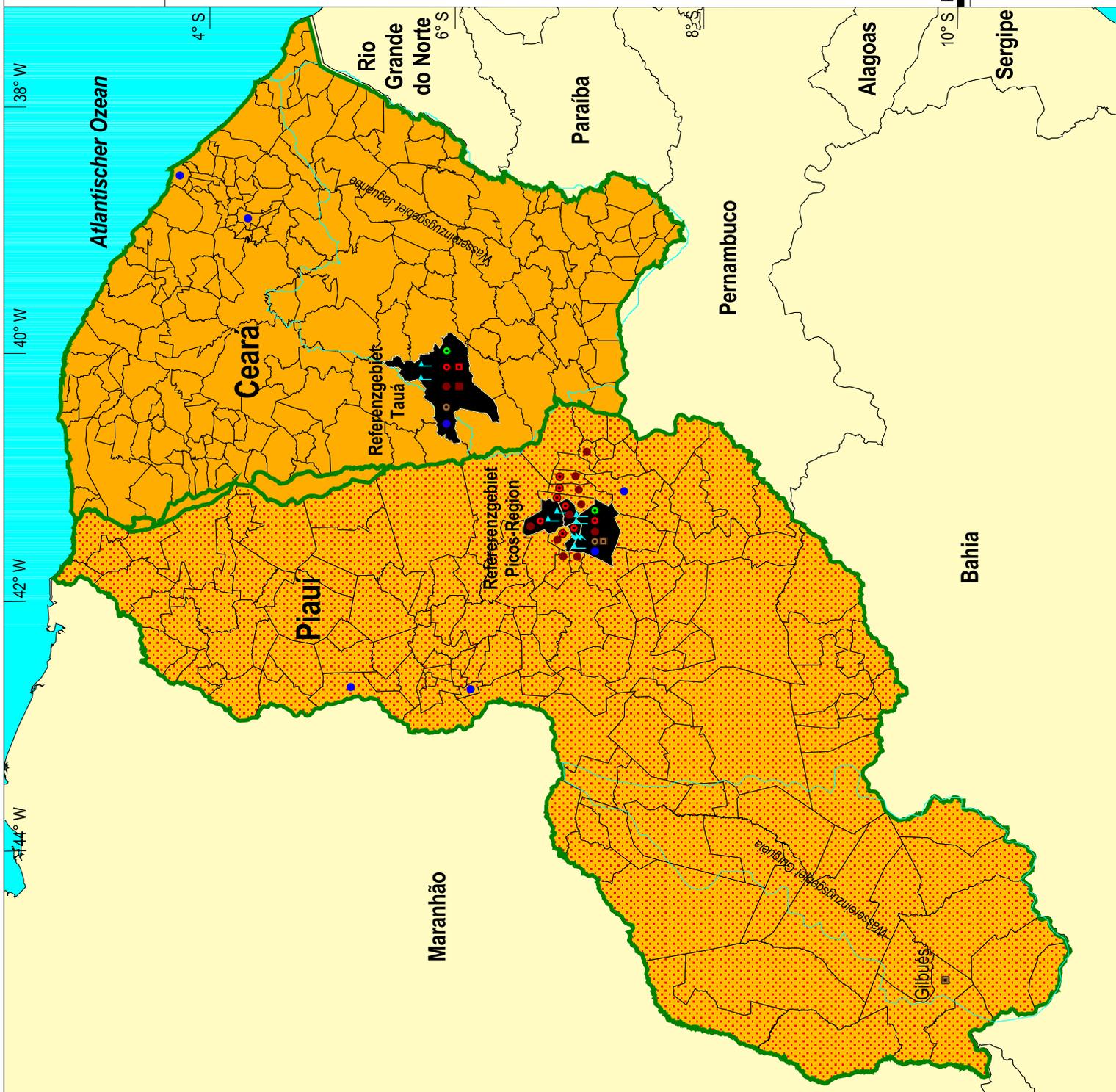


* Brasilianische Projektgruppen (ab 1998)
Deutsche Projektgruppen

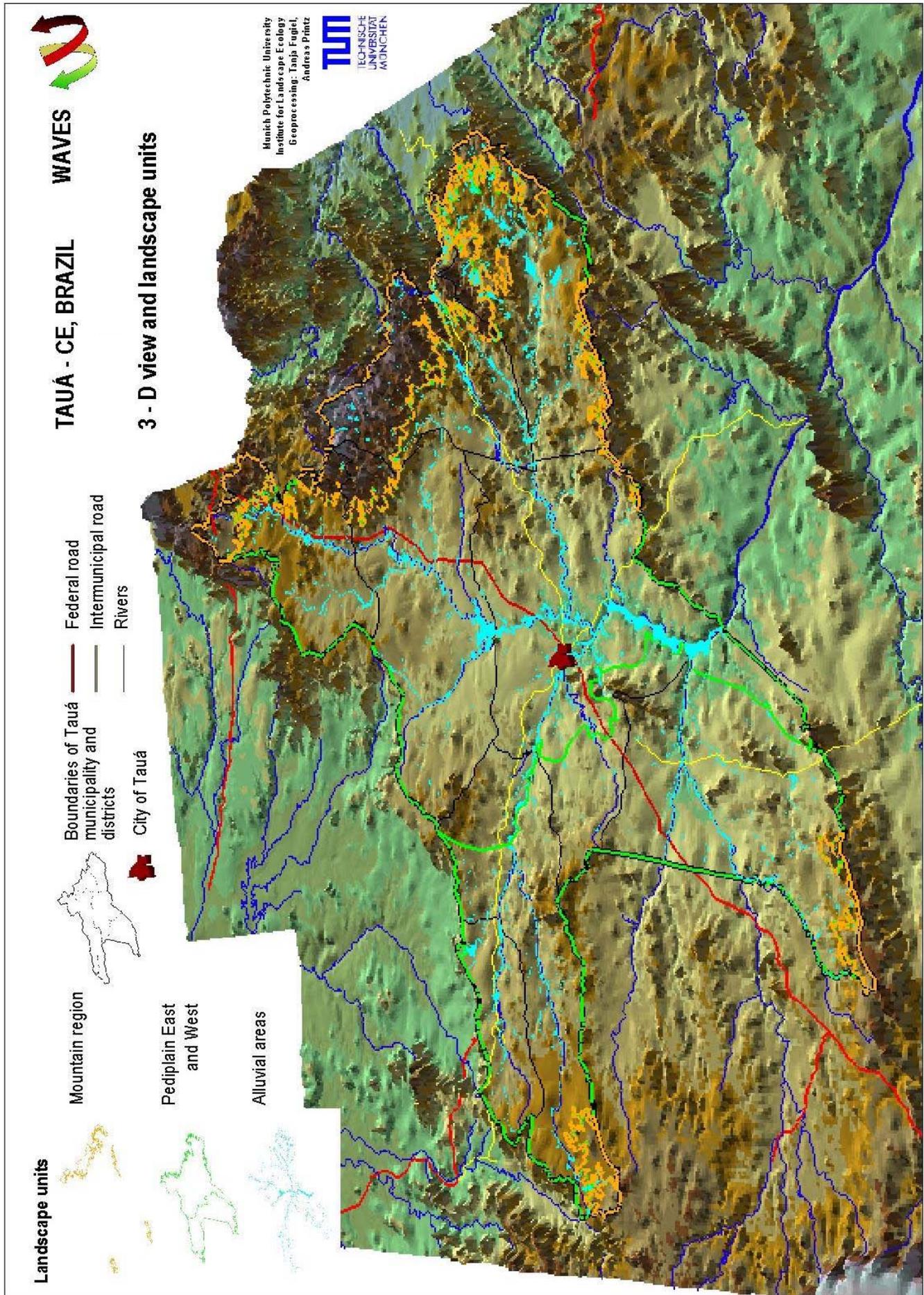
Maßstab 1:5.000.000

- Stand Juli '01 -

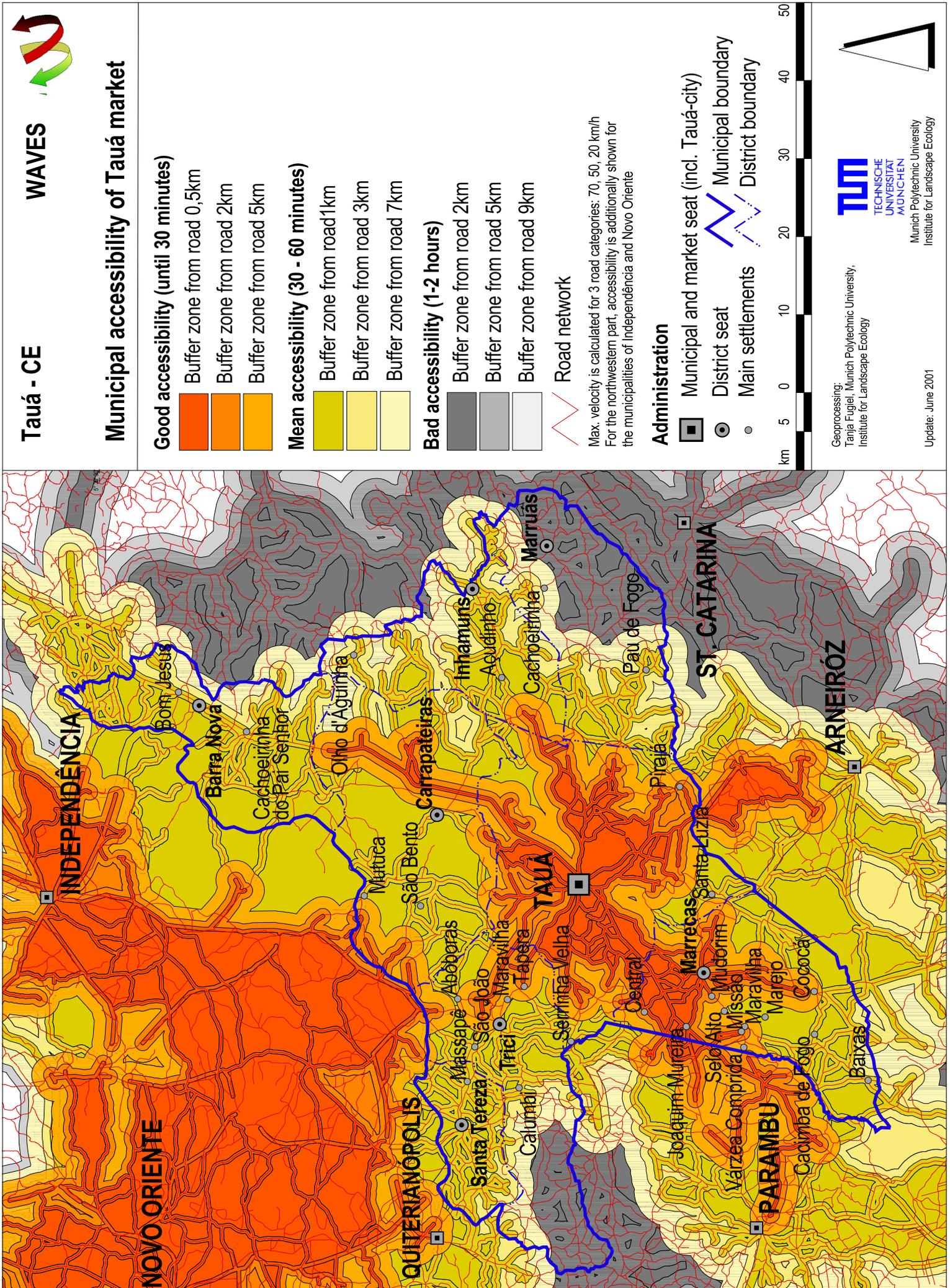
TU München-Weihenstephan
Lehrstuhl für Landschaftsökologie



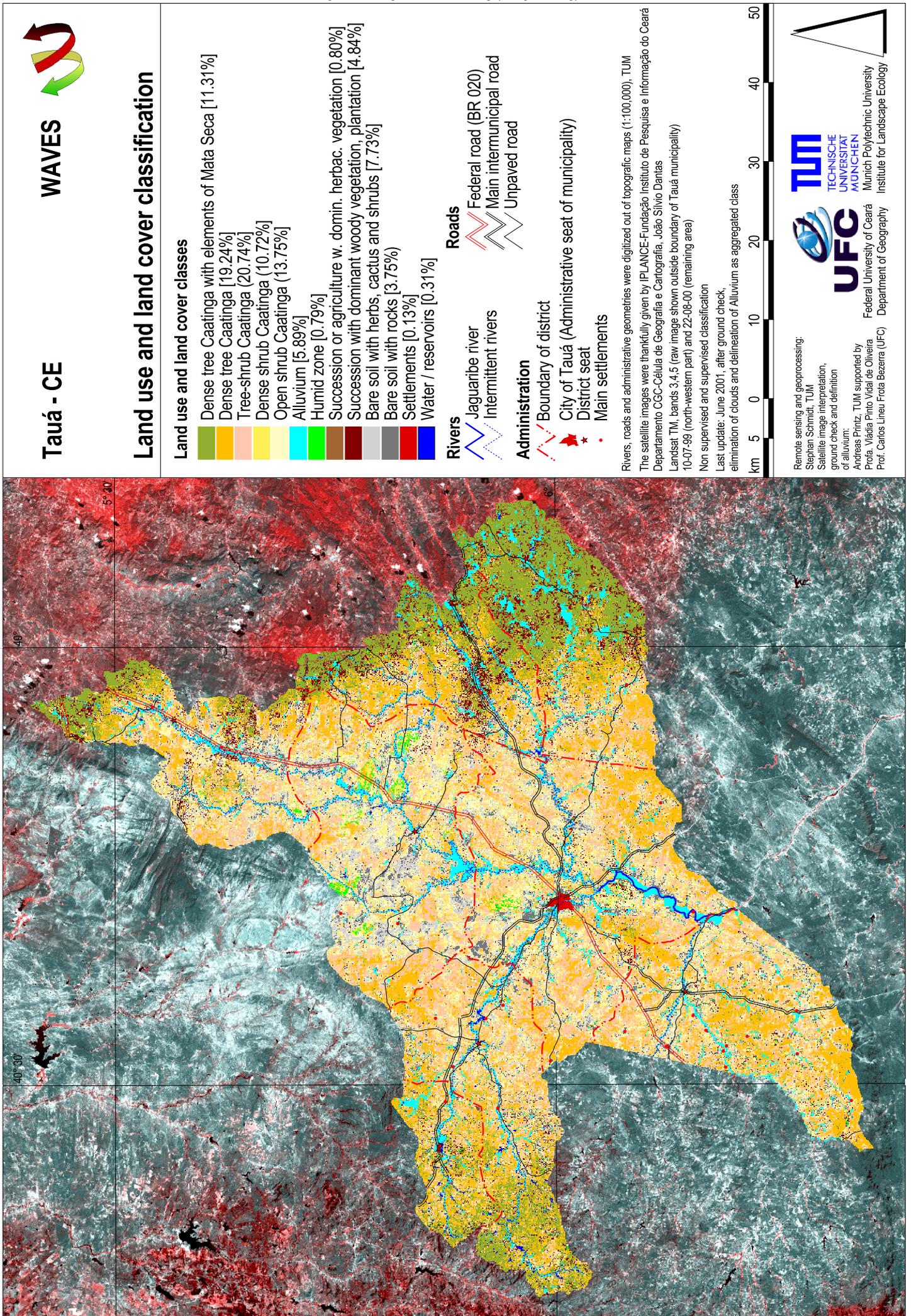
Karte 13: Übersicht über das WAVES-Forschungsgebiet sowie über die räumlichen Schwerpunkte der Arbeitsgruppen



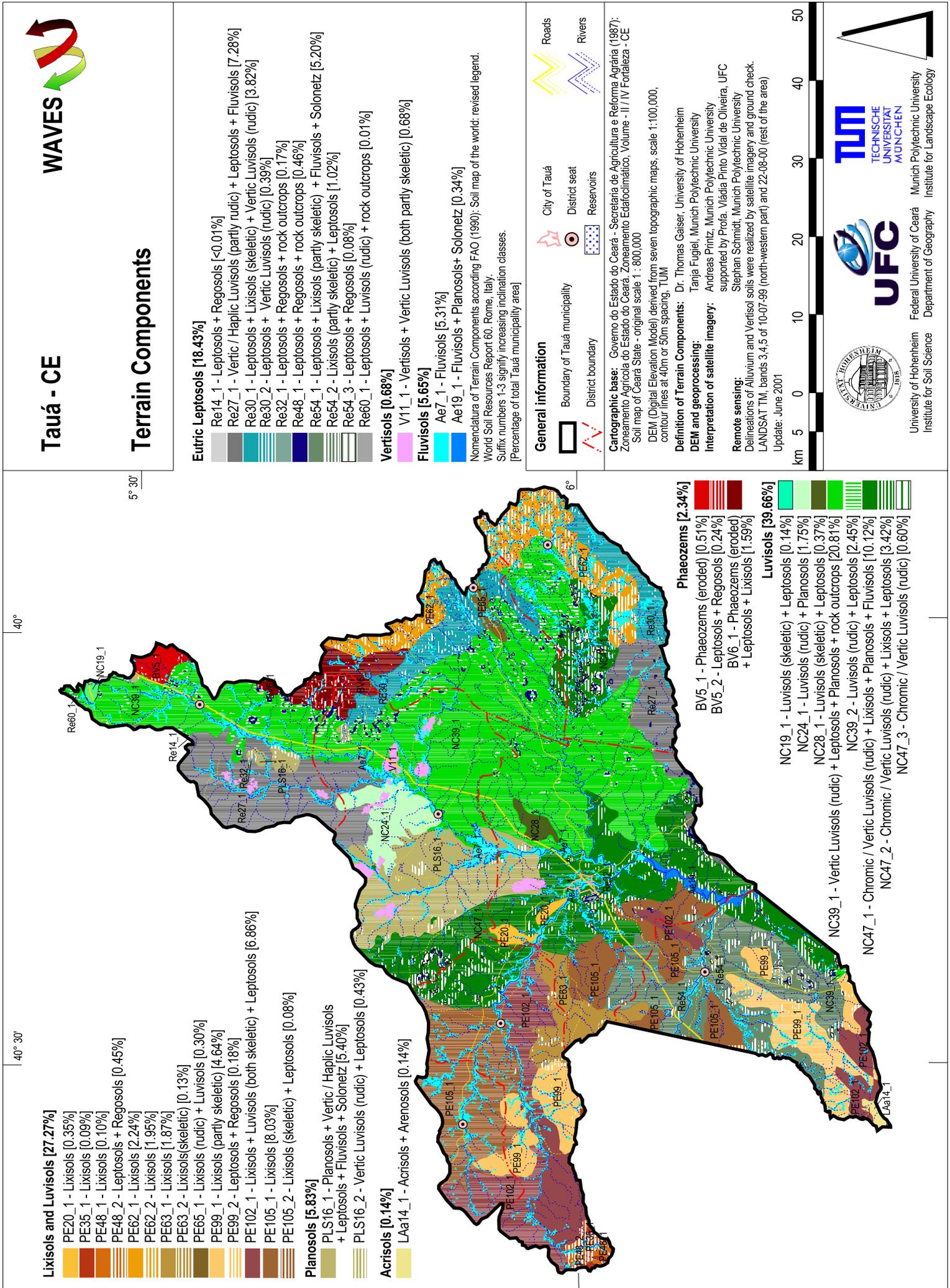
Karte 14: Tauá – 3D-Ansicht mit Landschaftseinheiten



Karte 15: Tauá - Marktzugänglichkeit durch Infrastruktur



Karte 17: Tauá - Klassifikation der Landnutzung und -bedeckung



Karte 18: Tauá - 'Terrain Components'