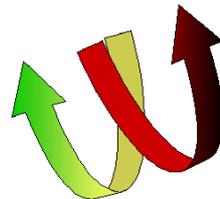


**WASSERVERFÜGBARKEIT SOWIE ÖKOLOGISCHE, KLIMATISCHE UND
SOZIOÖKONOMISCHE WECHSELWIRKUNGEN IM SEMIARIDEN
NORDOSTEN BRASILIENS**



WAVES

**Verbundprojekt WAVES
Statusbericht der ersten Hauptphase**

**Fachbereich Agrarökosysteme
Arbeitsgruppe Bodenkunde**

Zuwendungsempfänger: Universität Hohenheim

Projektleiter: Prof. Dr. Karl Stahr

Förderkennzeichen: 01 LK 9708

Vorhabenbezeichnung: Potentiale der pflanzlichen Produktion in den Bundesstaaten Piauí und Ceará und Modellierung des Bodenwasserhaushaltes im Verbundprojekt WAVES

Laufzeit des Vorhabens: 01.08.1997 - 31.07.2000

Berichtszeitraum: 01.08.1997 - 31.12.1999

Bearbeitung: Dr. Thomas Gaiser
Dipl. Geol. Dietrich Halm
Dr. Luiz Gonzaga Rebouças Ferreira
José Carvalho Cordeiro

Stuttgart, den 1. Februar 2000
Institut für Bodenkunde und Standortslehre
70593 Stuttgart

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung / Summary	2
2 Stand des Vorhabens.....	4
2.1 Einleitung und Fragestellung des Teilprojekts.....	4
2.2 Methodisches Vorgehen	4
2.3 Ausgewählte Ergebnisse (gegliedert nach räumlichen Ebenen).....	9
2.3.1 Ergebnisse auf der Makroskala (Bundesstaaten von Piauí und Ceará).....	9
2.3.3 Ergebnisse auf der Mikroskala.....	14
2.4 Diskussion (Antworten auf die Fragestellung und offene Fragen).....	16
2.5 Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten und brasilianischen Wissenschaftlern.....	19
2.6 Bibliographie	21
2.6.1 Eigene Publikationen	21
2.6.2 Zitierte Literatur.....	22
3 Vergleich des Standes des Vorhabens mit der ursprünglichen Planung und Ausblick.....	23
4 Ergebnisse Dritter, die für das Vorhaben von Bedeutung sind	23
5 Angaben zu Erfindungen und Schutzrechten.....	23
Anhang.....	30

1 Zusammenfassung / Summary

Die Arbeitsgruppe Bodenkunde hat innerhalb des Gesamtprojektes die Aufgabe, Modelle zur Abschätzung des Bodenwasserhaushalts auf der Feldskala zu überprüfen sowie die Ertragspotentiale von verschiedenen Kulturpflanzen auf gesamtstaatlicher Ebene zu erfassen.

Die Arbeiten zum Bodenwasserhaushalt auf vier, vorwiegend extensiv genutzten, Standorten in der Fokusregion Picos konnten weitgehend abgeschlossen werden. Das Simulationsmodell HILLFLOW erwies sich nach vorhergehender Kalibrierung, auf allen Standorten als geeignet, um den Bodenwasserhaushalt hinreichend genau abzubilden. Die Modellergebnisse dienen zur Eichung des Bodenwassersmoduls im mesoskaligen Landnutzungsmodell MOSDEL (FB Landschaftsökologie). Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf vergleichbare Standorte mit ähnlicher Nutzung bleibt noch zu überprüfen. Ebenso ist zu klären, ob das Modell im Vergleich zu Pflanzenwachstumsmodellen auf intensiv genutzten Standorten (Düngung, Bewässerung etc.) ähnlich gute Ergebnisse liefert.

Zur regionalen Erfassung der Ertragspotentiale wurde in der ersten Hauptphase in Zusammenarbeit mit anderen Arbeitsgruppen (AG Pflanzenbau, AG Klimaanalyse) eine Standortdatenbank aufgebaut, die als Grundlage für die Entwicklung des Bodeninformationssystems SPICE (Soil and Land Resource Information System for the States of Piauí and Ceará) für die Bundesstaaten Piauí und Ceará dienen soll. Die Datenbank enthält neben flächendeckenden Bodendaten auch Informationen über die ökologischen Ansprüche von Kulturpflanzen sowie über Klimaparameter. Die Standortdatenbank ist derart strukturiert, dass sie die zum Teil erhebliche Variabilität des Geländes und der Böden soweit als möglich berücksichtigt. Mit Hilfe der Datenbank konnte in der ersten Hauptphase ein Überblick über die Bodenausstattung der insgesamt 332 Munizipien in Piauí und Ceará erhalten werden (ackerbauliche Eignung, Bodenqualitätsklassen, Bewässerungseignung etc.). Darüber hinaus wurden auf der Basis des momentanen Datenstandes erste Auswertungen für den Bereich Bodenwasserhaushalt (Feldkapazität, nutzbare Wasserkapazität, maximale Durchwurzelungstiefe, Kulturpflanzenspezifische Durchwurzelungstiefe) sowie für die Abschätzung der Flächenerträge von 13 Kulturpflanzen in Abhängigkeit von Witterung, Boden und Anbauintensität gemacht. Sowohl die Rohdaten als auch die Ergebnisse der Auswertungen dienen als Eingangsgrößen für das Landnutzungsmodell MOSDEL (FB Landschaftsökologie) und das integrierte Regionalmodell SIM (FB Integrierte Modellierung). Die Standortdatenbank hat sich somit in der ersten Hauptphase als Datengrundlage für eine Vielzahl von Anwendungen und als Mittel zur Regionalisierung erwiesen, das in der zweiten Hauptphase zu einem leistungsfähigen, benutzerfreundlichen Bodeninformationssystem weiterentwickelt werden soll.

Summary

Within the joint research project WAVES the working group Soil Science has the task to test soil water balance models at the field scale and to assess the yield potentials of several crops at the regional scale covering the states of Piauí and Ceará.

The investigations concerning the soil water balance at four, mainly extensively used, sites in the Picos region, are being concluded. The simulation model HILLFLOW was found to be suitable to describe the soil water dynamics adequately on all sites, when being calibrated. The results of the simulations were used to calibrate the soil water module in the land use model MOSDEL (FB Landscape Ecology). Further investigations have to be made concerning the transferability of the results to other sites under similar land use. Furthermore, it has to be

tested whether the performance of the model is also adequate at intensively used sites (fertilization, irrigation), compared to specific crop growth models.

In order to assess the yield potentials at the regional scale, the working group Soil Science established in the first project phase a soil and terrain digital data base in cooperation with other working groups (AG Crop Production, AG Climate Analysis), which constitutes the basis for the development of the Soil and Land Resources Information System for the States of Piauí and Ceará (SPICE). The data base contains soil and terrain data covering both states as well as ecological requirements of several crops and weather data. The specific structure of the data base is able to consider the spatial variability of soils and terrain at different scales. Due to the data base it was possible in the first project phase to get an overview over the soil distribution within each of the 332 municípios of Piauí and Ceará (including soil quality classes and potential suitability for crop production or irrigation). Moreover, preliminary data processing was performed, on the basis of the actual data stock, to supply data to the water modelling groups (field capacity, available water capacity, maximum rooting depth, crop specific rooting depth) and to the economic model (yield per hectare of 13 crops in relation to climate, soil and cropping intensity). Raw data as well as processed data served as input to the land use model MOSDEL (FB landscape Ecology) and the integrated regional model SIM (FB Integrated Modelling). The soil and terrain data base has proved to be a reliable data source to many applications and an upscaling tool of point related simulation results. In the second project phase, the data base should be improved towards an internet accessible, easy-to-use land resource information system.

2 Stand des Vorhabens

2.1 Einleitung und Fragestellung des Teilprojekts

Das Ziel des Verbundprojektes WAVES ist das Aufzeigen nachhaltiger Entwicklungspfade natürlicher und sozialer Systeme für die Bundesstaaten Piauí und Ceará sowie die Entwicklung von Methoden der integrierten regionalen Modellierung, die als Instrument für die Identifizierung nachhaltiger Managementstrategien auf regionaler Ebene dienen soll. Dazu werden im Fachbereich „Agrarökosysteme“ der Zusammenhang zwischen landwirtschaftlicher Produktion, Wasserverfügbarkeit und Nährstoffverfügbarkeit untersucht und ihr Wandel als Reaktion auf gerichtete Klimaänderungen abgeschätzt.

Innerhalb des Fachbereichs „Agrarökosysteme“ hat die Arbeitsgruppe „Bodenkunde“ die Aufgabe die Produktionspotentiale für die wichtigsten Kulturpflanzen flächendeckend (d.h. für die Bundesstaaten Piauí und Ceará) zu erfassen sowie den Bodenwasserhaushalt an ausgewählten Standorten in der Region Picos zu untersuchen, geeignete Bodenwasserhaushaltsmodelle zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen. Außerdem soll die AG „Bodenkunde“ Möglichkeiten zur Regionalisierung der Ergebnisse aus den einzelnen Arbeitsgruppen entwickeln. Die Ergebnisse aus dem Fachbereich Agrarökosysteme dienen zum einen als Eingabegrößen für das ökonomische Modul des Integrierten Regionalmodells SIM (Ertragspotentiale von 13 Kulturpflanzen in Abhängigkeit von Boden, Klima und Management) sowie zur punktuellen Überprüfung der Ausgabeparameter bzw. der Güte der Modellansätze des mesoskaligen hydrologischen Moduls im Landnutzungsmodell MOSDEL. Die Regionalisierung der Ergebnisse der Ertragsmodelle des Fachbereichs Agrarökosysteme soll darüber hinaus weitere Eingabegrößen (Wasserverbrauch der bewässerten Kulturen in hoher zeitlicher Auflösung in Abhängigkeit von Klima, Boden und Management) für das Wassermanagementmodul von SIM liefern.

2.2 Methodisches Vorgehen

Aufbau der Standortdatenbank

Zur regionalen Erfassung der Ertragspotentiale der wichtigsten Kulturpflanzen wurde in der ersten Hauptphase mit dem Aufbau einer Standortdatenbank sowie, in Zusammenarbeit mit der AG Pflanzenbau und der AG Pflanzenernährung, einer Kulturpflanzendatenbank begonnen. Für die Fragestellung des Gesamtprojektes war es von höchster Bedeutung, dass trotz des relativ kleinen Bearbeitungsmaßstabs (1:500.000 bis 1:1.000.000) eine Datenstruktur gewählt wird, die es erlaubt, die auf einer Fläche von ca. 400.000 km² vorhandene Variabilität von Boden- und Geländeeigenschaften so weit als möglich zu erfassen. Hier bot sich nach Sichtung der Datenlage der von der FAO vorgeschlagene SOTER Ansatz an (FAO 1993).

Der SOTER Ansatz betrachtet die Landschaft als ein Mosaik aus, durch die Geomorphologie und das Ausgangsgestein charakterisierte, Landschaftseinheiten (Terrain Units), die aus einer Kombination von Terrain- und Bodenkomponenten bestehen, die hierarchisch aufgebaut sind (Abbildung 1). In der SOTER Datenstruktur wird diese hierarchische Landschaftsgliederung in einer relationalen Datenbank abgebildet. Jede Bodenkomponente wird in der Datenbank in der Regel durch einen Satz von mehreren Profilen, mindestens aber durch ein Referenzprofil, charakterisiert. In Abhängigkeit von der Datenverfügbarkeit werden in der Flächendatenbank Karten der Landschaftseinheiten (1:250.000 bis 1:1.000.000), der Terrainkomponenten (1:50.000 bis 1:250.000) oder der Bodenkomponenten (<1:50.000) gespeichert. Im Falle der Bundesstaaten Piauí und Ceará konnte auf Bodenkarten im Maßstab 1:1.000.000 (Piauí, EMBRAPA/SNCLS 1983) bzw. 1:600.000 (Ceará, SUDENE 1972) zurückgegriffen werden.

Diese Karten wurden durch den Fachbereich Landschaftsökologie digitalisiert und der Arbeitsgruppe zur Verfügung gestellt. Bei den auf den Bodenkarten ausgegliederten Karteneinheiten handelt es sich in der Regel um Landschaftseinheiten, die sich in eine oder mehrere Terrainkomponenten mit wiederum einem oder mehreren Bodenkomponenten unterteilen lassen (subskalige Variabilität). Die **geschätzten** Flächenanteile der Terrain- und insbesondere der Bodenkomponenten sind den Erläuterungen zu den Bodenkarten (EMBRAPA /SNCLS 1986, SUDENE 1973) zu entnehmen. Allerdings werden bei den Schätzungen nur Bodenkomponenten mit einem Flächenanteil >15% an der Kartiereinheit berücksichtigt. Böden mit einem Flächenanteil <15% werden nur als sogenannte „Einschlüsse“ ohne Angabe des Flächenanteils aufgelistet. Die Erläuterungen zu den Bodenkarten enthalten außerdem die detaillierte Beschreibung von mindestens einem Referenzprofil pro Bodenkomponente sowie die Ergebnisse der chemischen und physikalischen Bodenanalysen. Dieser Datenbestand ergänzt durch weitere Profile und Analysedaten aus Cordeiro (1985), SUDEC (1980), SUDENE/BGR (1976) und eigenen Profilaufnahmen (Weiß 1995, Marohn 1998, Halm 1999) diente als Grundlage für den Aufbau der Standortdatenbank.

Nachdem das Konzept für die Datenstruktur der Boden- und Geländedaten in Abstimmung mit den brasilianischen Partnern entwickelt war, wurde diese in einem Multiuserdatenbanksystem (DB2) implementiert und mit der Dateneingabe begonnen.

Da der Standort außerdem ganz wesentlich durch die klimatischen Verhältnisse charakterisiert wird, wurden für das Pflanzenwachstum bzw. für die anzukoppelnden Pflanzenwachstumsmodelle wichtige Klimaparameter wie Niederschlag, Globalstrahlung (oder Sonnenscheindauer), Minimumtemperatur, Maximumtemperatur, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung (Monats- oder Tageswerte) nach der durch die FAO (1993) vorgeschlagenen Struktur in die Standortdatenbank aufgenommen (Graef 1998).

Aufbau der Kulturpflanzendatenbank

Neben der Standortdatenbank musste für die Erfassung der Produktionspotentiale des weiteren eine Datenbank für die wichtigsten Kulturpflanzen etabliert werden. Gemäß der von der AG Betriebs- und Regionalökonomie ermittelten wirtschaftlichen Bedeutung handelt es sich dabei um die folgenden Kulturpflanzen: Cowpea, Mais, Maniok, Cashew, Reis, Baumwolle, Tomate, Mango, Kokospalme, Banane, Zuckerrohr und Honigmelone, wobei es sich außer bei den ersten vier Kulturen um vorwiegend bewässerte Kulturen handelt. Außerdem sind einige Futtergräser (aus denen beispielhaft Pennisetum spp. ausgewählt wurde) von außerordentlicher Bedeutung für die Tierhaltung. Die Standortsansprüche dieser Kulturpflanzen wurden aus Sys et al. (1993) entnommen, anhand von Expertenwissen und Sekundärliteratur überprüft und dann gemäß der von Sys et al. (1993) vorgegebenen Datenstruktur in die Datenbank aufgenommen.

Erfassung der Produktionspotentiale

Zur Abschätzung der Produktionspotentiale in Abhängigkeit von Boden, Klima und Management bietet die Datenbanken im Moment zwei Möglichkeiten:

1. die Methode der „Land Suitability Classification“ (ITC/LSC Methode)
2. die Simulation der Ertragsbildung durch das Pflanzenwachstumsmodell EPIC (siehe AG Pflanzenbau und AG Pflanzenernährung)

Im Allgemeinen erlauben die im Simulationsmodell berücksichtigten ertragsbeeinflussenden Prozesse (Witterung, Nährstoffdynamik, Wasserdynamik, Düngung, Bewässerung etc.) sowie ihre zeitliche Auflösung (Tagesbasis) eine sehr detaillierte Beschreibung der Ertragsbildung und

des Wasserbedarfs der Kulturpflanzen. Eine einfache Schnittstelle zur Standortdatenbank wurde eingerichtet, so dass es technisch möglich ist Ertragssimulationen für die gesamte Fläche der beiden Bundesstaaten auf der Basis der Bodenkomponenten und eine Aggregation der Simulationsergebnisse auf verschiedene räumliche Einheiten in der Datenbank durchzuführen. Jedoch können im Moment wegen noch bestehender Lücken bei der physiologischen Charakterisierung der Kulturpflanzen nur für acht der dreizehn oben genannten Kulturpflanzen Simulationen durchgeführt werden. Daher wird im Moment noch für die Abschätzung der Erträge der Kulturpflanzen als Zulieferung zum Integrierten Modell die Methode der Land Suitability Classification verwendet.

Die Methode der Land Suitability Classification ist prinzipiell eine qualitative Methode, um die Eignung eines gegebenen Standortes für eine bestimmte Kulturpflanze zu ermitteln (FAO 1983). In ihrer Weiterentwicklung schlagen Sys et al. (1991) jedoch die Möglichkeit eines parametrischen Ansatzes vor, der bei Kalibrierung an realen Ertragsdaten quantitative Aussagen bezüglich der Ertragsbildung zulässt (ITC/LSC Methode) (Graef 1998). Dieser parametrische Ansatz wurde als Datenbankabfrage formuliert und in die Standortdatenbank implementiert (siehe Dokumentation zur Standortdatenbank unter <http://www.usf.uni-kassel.de/waves>). Die Kalibration der Methode erfolgte anhand von beobachteten Erträge von sechs Kulturpflanzen (Mais, Cowpea, Baumwolle, Tomate, Maniok und Reis) auf sechs verschiedenen Standorten in den Fokusregionen Picos und Tauá (Ferric Luvisol, Alumi-Haplic Acrisol, Chromi-Ferric Luvisol, Ferric Acrisol, Eutric Fluvisol, Stagni-Haplic Solonetz). Die Korrelation zwischen dem Ertragsindex und dem Standortindex war, mit ($R^2 = 0.70$) für eine Abschätzung der Erträge auf regionaler Ebene zufriedenstellend (Abb.2). Allerdings bedurfte es zuvor einer Anpassung der Standortansprüche von Cowpea an die traditionell verwendeten Sorten (Gaiser et al. 1999a und Gaiser et al. 1999b).

Für die Ertragsabschätzungen wurden zusammen mit der AG „Betriebs- und Regionalökonomie“ fünf Intensitätsniveaus der pflanzlichen Produktion definiert (siehe Band I Kapitel 4 und Zwischenbericht AG Betriebs- und Regionalökonomie). In Absprache mit der AG Pflanzenbau, der AG Betriebs- und Regionalökonomie und dem FB Landschaftsökologie wurden vier Klimastationen (Picos, Tauá, Floriano und Granja) und vier Jahre (1929, 1942, 1957 und 1974) mit charakteristischen Niederschlagsverläufen ausgewählt (Tab.1). Die vier Klimastationen stehen repräsentativ für die vier agroökologischen Zonen (Meio-Norte, Sertão, Cerrado und Litoral, vgl. Band I, Kapitel 4.3). Die vier Jahre stehen in der Region Meio-Norte repräsentativ für Jahre mit

- sehr geringem Gesamtniederschlag (1942)
- durchschnittlicher Niederschlagsmenge und -verteilung (1929)
- durchschnittlicher Niederschlagsmenge, aber mit Zwischentrockenzeiten (1957)
- sehr hoher Niederschlagsmenge (1974)

Außerdem wurden Flächenerträge für das Referenzjahr 1996 berechnet, die in die Kalibrierung des ökonomischen Moduls des Integrierten Regionalmodells SIM eingingen. Insgesamt wurden Flächenerträge für 13 Kulturpflanzen in Abhängigkeit von Klima (4 Stationen x 5 Jahre), Boden (5 Bodenklassen, Tab.A2, Anhang) und Anbauintensität (5 Intensitätsstufen, Tab.2) nach der ITC/LSC Methode geschätzt.

Tabelle 1: Niederschlagsmenge (mm) an den Referenzklimastationen in den Jahren 1928/29, 1941/42, 1956/57 und 1973/74

Agroökologische Region	Meio-Norte	Sertão	Cerrado	Litoral
Referenzstation	Picos	Tauá	Floriano	Granja
1929	832	626	1359	1511
1942	478	212	1237	269
1957	722	738	1611	1130
1974	996	1110	1864	1844
Langjähriges Mittel	802	602	1102	1190

Tabelle 2: Kurzbeschreibung der Intensitätsstufen des Ackerbaus (vgl. Band 1, Kapitel 4.4)

Intensitätsstufe	Kurzbeschreibung
SIMPLE	Regenfeldbau ohne Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln sowie Maschinen
TRACTOR	mechanisierter Regenfeldbau ohne Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln
MODERN	mechanisierter Regenfeldbau mit Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln
IRRLOW	Bewässerungsfeldbau mit geringem Einsatz an Dünge- und Pflanzenschutzmitteln
IRRHIGH	Bewässerungsfeldbau mit intensivem Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmittel (genaue Definition siehe Kapitel 4.4. Ökonomie)

Schätzung der maximalen und der kulturpflanzenpezifischen Wasserspeicherkapazität des Bodens

Auf Nachfrage aus dem FB Wasserressourcen und dem FB Landschaftsökologie wurde in der Datenbank ein Abfragealgorithmus zur Abschätzung der Wasserspeicherfähigkeit (Feldkapazität minus permanenter Welkepunkt) implementiert, der sowohl die maximal mögliche Durchwurzelungstiefe (die in der Regel für die natürliche Vegetation maßgeblich ist) als auch die unterschiedliche Durchwurzelungstiefe von Kulturpflanzen (Cashew, Cowpea, Maniok, und Mais) berücksichtigt. Dazu wurden zunächst der volumetrischen Wassergehalt bei Feldkapazität (pF 2,5) bzw. am permanenten Welkepunkt (pF 4,2) in Abhängigkeit vom Tongehalt bzw. der Tonmineralzusammensetzung über Pedotransferfunktionen horizontweise für jedes Bodenprofil in der Datenbank berechnet (Tab. 3 und 4).

Tab 3: Pedotransferfunktionen zur Berechnung des volumetrischen Wassergehalts ($100 \text{ m}^3/\text{m}^3$) bei Feldkapazität (pF 2,5) in Abhängigkeit vom Tongehalt und von der Tonmineralzusammensetzung (Ct, Clay, Silt, Sand = Total carbon, clay, silt and sand content in %)

Tongehalt (%)	KAK _{Ton} (mmol kg ⁻¹)	
	≤24	>24
≤40	$0,333 \text{ Ct} + 0,581 \text{ Clay} + 0,126 \text{ Silt}^1$	$0,115 \text{ Ct} + 0,62 \text{ Clay} + 0,264 \text{ Silt}^1$
>40	$4,046 + 0,404 \text{ Clay} + 0,426 \text{ Silt}^2$	$25,76 - 0,2 \text{ Sand} + 0,36 \text{ Clay} + 0,51 \text{ Ct}^3$

¹ Gaiser et al. 1999a ² Tomasella und Hodnett 1998 ³ Rawls et al. 1992

Tab 4: Pedotransferfunktionen zur Berechnung des volumetrischen Wassergehalts ($100 \text{ m}^3/\text{m}^3$) am permanenten Welkepunkt (pF 4,2) in Abhängigkeit vom Tongehalt und von der Tonmineralzusammensetzung (Ct, Clay, Silt, Sand = Total carbon, clay, silt and sand content in %)

Tongehalt (%)	KAK _{Ton} (mmol kg ⁻¹)	
	≤24	>24
≤40	0,086 Ct + 0,338 Clay + 0,047 Silt ¹	0,327Clay + 0,083 Silt ¹
>40	0,91 + 0,396 Clay + 0,15 Silt ²	2,6 - 0,5 Sand + 0,27 Ct ³

¹ Gaiser et al. 1999a ² Tomasella und Hodnett 1998 ³ Rawls et al. 1992

Vor der Berechnung der Wasserspeicherkapazität des Profils wurden die volumetrischen Wassergehalt noch horizontweise um den Kies- und Steingehalt bereinigt. Die Wasserspeicherkapazität errechnet sich durch Aufsummierung der Produkte aus bereinigten volumetrischen Wassergehalten (FK-PWP) und den Mächtigkeiten der Horizonte bis zur Durchwurzelungstiefe. Für die Abschätzung der Durchwurzelungstiefe der natürlichen Vegetation bzw. ausgewählter Kulturpflanzen wurde ein weiterer Abfragealgorithmus eingebaut, mit dessen Hilfe standortsabhängig die Durchwurzelungstiefen für Maniok, Cashew, Mais und Cowpea abgeschätzt wurden.

Schätzung des Anteils an potentiell bewässerbaren Standorten

Auf Anfragen aus der AG „Großskalige Wassermanagementmodellierung“ und auf Grundlage der bis dato vorhandenen Bodeninformation in der Bodendatenbank wurde nach FAO (1979) ein Abfragealgorithmus für die Ermittlung der potentiell bewässerbaren Böden formuliert und der Anteil der Flächen pro Munizip flächendeckend für beide Bundesstaaten ermittelt.

Untersuchung und Simulation des Bodenwasserhaushalts auf Feldebene in der Region Picos

Untersuchungen zum Bodenwasserhaushalt wurden seit 1997 in der Region Picos auf vier Standorten durchgeführt:

- Haplic Arenosol unter Maniok (Mi1)
- Ferric Alisol unter natürlicher Vegetation (Pi1)
- Ferrali-Haplic Acrisol unter extensiver Weide (Pi2)
- Mollic Fluvisol unter Mais bzw. Unkrautbrache (Pi3)

Auf allen Standorten wurde kontinuierlich der Bodenwassergehalt und die Saugspannung mittels Time Domain Reflectometry (TDR) bzw. Tensiometern gemessen. Das Bodenwasserhaushaltsmodell HILLFLOW (Bronstert 1994) wurde kalibriert und validiert, um den Bodenwassergehalt und die Saugspannung zu simulieren und die Bilanzgrößen des Bodenwasserhaushalts zu quantifizieren. Die Wasserbewegung wird in HILLFLOW mit der Richards-Gleichung gelöst, wobei die ungesättigte Darcy-Gleichung zwischen benachbarten Bodenelementen berechnet wird. Die Wassergehalts/Wasserspannungs- und Wassergehalts/hydraulische Leitfähigkeitsbeziehungen werden mit dem van Genuchten Ansatz parametrisiert. Eine Kalibrierung der TDR-Bodenwassergehalte wurde mit gravimetrischen Wassergehalten für die fünf Segmenttiefen der TDR-Sonden auf jedem der vier Standorte durchgeführt. Mit dieser Eichung konnte der mittlere absolute Fehler (m) zwischen TDR- und gravimetrischem Wassergehalt von 5,1 auf 2,2 Vol% reduziert werden. Der mittlere absolute Fehler m zwischen simulierten (ϕ_s) und beobachteten (ϕ_b) Werten wurde nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\phi_{si} - \phi_{bi})^2}{n-1}}$$

2.3 Ausgewählte Ergebnisse (gegliedert nach räumlichen Ebenen)

Da das Teilprojekt Bodenkunde auf allen drei im Verbundprojekt definierten Maßstabsebenen (Bundesstaatenebene (Makroskala), Focusregion Picos (Mesoskala) und Feld- bzw. Betriebsebene (Mikroskala)) gearbeitet hat, ist die Darstellung der Ergebnisse entsprechend der räumlichen Ebenen gegliedert.

2.3.1 Ergebnisse auf der Makroskala (Bundesstaaten von Piauí und Ceará)

Aufbau der Datenbank und Datenzulieferung an andere Fachbereiche

Im Berichtszeitraum wurde im Teilprojekt Bodenkunde mit dem Aufbau einer Standortdatenbank als Grundlage für die Entwicklung des Bodeninformationssystems SPICE (**S**oil and **L**and **R**esources **I**nformation **S**ystem for the states of **P**iauí and **C**eará) für die beiden Bundesstaaten Piauí und Ceará begonnen. Dies war notwendig, da

- Mehrere Teilprojekte flächendeckend Information über die Verteilung und die Variabilität der Böden benötigen
- Die Transformation von Punktdaten (bzw. punktbezogenen Simulationsergebnissen) aus einzelnen Teilprojekten auf die Fläche der Munizipien, als die gemeinsame räumliche Bezugsebene, nur über eine entsprechend detaillierte Raumdatenbasis möglich ist

Außerdem wuchs im Laufe der ersten Hauptphase innerhalb des Projektes der Bedarf an aus den Rohdaten abgeleiteten Informationen zu spezifischen Fragestellungen wie Oberflächenabfluss-, Sickerungs- oder Verdunstungsberechnungen. Dafür stellte die Standortdatenbank Schlüsselparameter wie relative topographische Lage der Landschaftseinheit, Hangneigung, mittlere Wasserspeicherkapazität, mittlere maximale Durchwurzelungstiefe sowie pflanzenspezifische Durchwurzelungstiefe etc. für andere Fachbereiche zur Verfügung (Tab.5).

Momentan (Stand Dezember 1999) sind in der Standortdatenbank an Bodeninformation über 600 Terrainkomponenten mit ca. 1100 Bodenkomponenten gespeichert. Zu den Bodenkomponenten sind Profildaten mit Informationen über mehr als 900 Bodenhorizonte abgelegt (siehe Tab. A1, Anhang). Die Bodeninformation deckt die Bundesstaaten Piauí und Ceará (mit unterschiedlicher Detailliertheit) vollständig ab. Hinzu kommen die vom FB Klimaanalyse gelieferten Klima- und insbesondere Niederschlagsdaten (7 Stationen mit unterschiedlicher zeitlicher Auflösung und Dauer der Niederschlagsaufzeichnung).

In der Kulturpflanzenbank sind momentan die ökologischen Ansprüche für dreizehn Kulturpflanzen (Cowpea, Mais, Maniok, Cashew, Reis, Baumwolle, Tomate, Mango, Kokospalme, Banane, Zuckerrohr, Honigmelone und Perlhirse) als Grundlage für die Ertragsabschätzungen nach der ITC/LSC Methode gespeichert. Insgesamt enthält die Datenbank über 2000 Einträge zu diesen dreizehn Kulturpflanzen (Tab. A1, Anhang).

Tabelle 5: Übersicht über die von der AG Bodenkunde gelieferten Parameter an andere Fachbereiche als Eingabegrößen in die fachbereichsspezifischen Module der integrierten Modelle

Modell (Submodul/ räumlicher Bezug)	Fachbereich bzw. Arbeitsgruppe	Parameter
SIM (HYMO/Landschaftseinheit)	Großskalige hydrologische Modellierung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Relative topographische Lage von Landschaftseinheiten ▪ Hangneigung ▪ Feldkapazität ▪ Permanenter Welkepunkt ▪ Maximale Durchwurzelungstiefe ▪ Kulturspezifische Durchwurzelungstiefe
SIM (NoWUM/Munizip)	Großskalige Wassermanagementmodellierung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Potentiell bewässerbare Fläche
SIM (EPIC/Bodenkomponente)	Agrarökosysteme	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 10 bodenchemische und -physikalische Parameter
SIM (RASMO/Munizip)	Betriebs- und Regionalökonomie	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Potentiell bewässerbare Fläche ▪ Anteil nicht ackerbaulich nutzbarer Fläche ▪ Anteil der Bodenklassen pro Munizip ▪ Ertragsschätzungen für jede Bodenklasse in Abhängigkeit von Klimatyp, Kulturpflanze und Management (in Kooperation mit AG Pflanzenernährung und AG Pflanzenbau)
MOSDEL (WARIG / Landschafts- / Bodenkomponente)	Wasserressourcen und -management / Landschaftsökologie	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maximale Durchwurzelungstiefe ▪ Kulturpflanzenspezifische Durchwurzelungstiefe ▪ Klassifizierung der Böden in hydrologische Gruppen ▪ Wassergehalt bei Feldkapazität ▪ Wassergehalt am Permanenten Welkepunkt
MOSDEL (Terrainkomponente)	Landschaftsökologie	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anteil der Bodenklassen pro Landschaftskomponente ▪ Schätzung des mittleren Ertragsniveaus pro Landschaftskomponente in Abhängigkeit von Klimatyp, Kulturpflanze und Management (in Kooperation mit AG Pflanzenernährung und AG Pflanzenbau)

Methoden der Skalierung und Regionalisierung für die Datenzulieferung an die Integrierten Modelle (mit Fachbereich Landschaftsökologie)

Generell besteht in der Standortdatenbank die Möglichkeit die auf Basis der Referenzprofile und Bezugsklimastationen berechneten Flächenerträge auf verschiedenen räumlichen Ebenen zu aggregieren (Bodenkomponenten, Terrainkomponenten, Terrain Einheiten). Da die beiden Integrierten Modelle SIM (Fachbereich Integrierte Modellierung) und MOSDEL (Fachbereich Landschaftsökologie) auf verschiedenen Maßstabsebenen arbeiten, ergaben sich unterschiedliche Ansätze und Möglichkeiten der Skalierung und der Regionalisierung der Ergebnisse der Ertragsabschätzungen (vgl. Erfassung der Produktionspotentiale).

Für das mesoskaligen Integrierte Modell MOSDEL

Für das mesoskalige Modell MOSDEL wurde in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Landschaftsökologie eine Konzeptkarte der Terrainkomponenten (Bodengesellschaften) in der Region Picos im Maßstab 1:200.000 erstellt (Datengrundlage Bodenkarte Piauí 1:1 Mio., digitales Höhenmodell (1:100.000), Geologische Karte von Piauí). Aufgrund dieser Konzeptkarte der Terrainkomponenten in Zusammenhang mit der für die Region Picos angelegten Bodendatenbank und der satellitengestützten Landnutzungsklassifizierung aus dem Jahr 1996 konnten die auf der Ebene der Landschaftskomponenten aggregierten Flächenerträge direkt räumlich zu-

geordnet werden. Die Aggregation der Profilergebnisse erfolgte durch Mittelung innerhalb der Bodenkomponenten und Bildung des gewichteten Mittelwertes über alle Bodenkomponenten innerhalb einer Terrainkomponente.

Für das makroskalige Integrierte Modell SIM

Wegen der geringeren räumlichen Auflösung und der Operationalisierbarkeit der ökonomischen Berechnungen musste im Integrierten Regionalmodell SIM für die Regionalisierung der Ertragschätzungen ein anderer Weg beschritten werden. In Zusammenarbeit mit der AG Betriebs- und Regionalökonomie wurde ein Abfragealgorithmus formuliert, der zum einen die Vielzahl der Boden- und Terrainkomponenten in der Standortdatenbank auf sieben Bodenklassen reduziert, die gleichzeitig jedoch noch ein Mindestmaß an ökologischer Variabilität repräsentieren sollten (Tab. A3, Anhang). Daraufhin wurde in Zusammenarbeit mit dem FB „Landschaftsökologie“ durch Verschneidung der Bodenkarten von Piauí und Ceará mit den Munizipiengrenzen und Zuordnung der Anteile der Bodenklassen in den Karteneinheiten der Anteil der sieben Bodenklassen in jedem Munizip bestimmt (vgl. Zwischenbericht Band I, Abbildung 4.1.3.4). Ebenso wurde der Anteil der potentiell bewässerbaren Böden in jedem Munizip geschätzt (vgl. Zwischenbericht Band I, Abbildung 4.1.3.4). Parallel zur Ermittlung der Anteile der Bodenklassen in den Munizipen wurden die durchschnittlichen Flächenerträge in den sieben Bodenklassen durch Aggregation der Ergebnisse sämtlicher Profile in Ceará bzw. in Piauí für fünf ausgewählte Jahre (1929, 1942, 1957, 1974 und 1996) berechnet (siehe folgenden Abschnitt „Abschätzung der Flächenerträge auf regionaler Ebene“). Hierbei wurden im ersten Ansatz nur vier Bezugsklimastationen (Picos, Tauá, Floriano und Granja) für das Gesamtgebiet berücksichtigt. In der zweiten Projektphase muss die Charakterisierung der räumlichen Klimavariabilität durch eine größere Anzahl von Klimastationen verstärkt in die Ertragsberechnungen eingehen.

Ein Hauptproblem auf dieser Maßstabsebene stellt die Abschätzung des Anteils der einzelnen Bodenklassen an der (aus der Statistik bekannten) ackerbaulich genutzten Fläche dar. Da flächendeckend für die beiden Bundesstaaten keine weiteren Informationen verfügbar waren, wurde die Annahme getroffen, dass der Anteil der einzelnen Bodenklassen an der ackerbaulich genutzten Fläche ihren Anteilen am Gesamtmunizip entspricht. Um den Einfluss dieses Verfahrens auf die Ergebnisse des ökonomischen Regionalmodells zu untersuchen, wurde im Munizip Picos, für das eine satellitengestützte Landnutzungsklassifikation für das Zensusjahr 1996 vorlag, die aus der Satellitenbildinterpretation abgeleitete Verteilung der Bodenklassen auf der ackerbaulich genutzten Fläche ermittelt und ihren Anteilen am Gesamtmunizip gegenübergestellt (Tab.8, Diskussion). Tabelle 8 zeigt eine deutliche Diskrepanz zwischen den beiden Verfahren, die sich auch auf die Ergebnisse der ökonomischen Berechnungen niederschlägt (Tab.9, Diskussion).

Abschätzung der Flächenerträge auf regionaler Ebene (mit UFC sowie AG Pflanzenbau, AG Pflanzenernährung und AG Betriebs- und Regionalökonomie)

Für die Jahre 1929, 1942, 1957, 1974 und 1996 wurden für die vier agroökologischen Zonen (Meio-Norte, Sertão, Cerrado und Litoral) für 13 Kulturpflanzen (inklusive der Nebenprodukte) mit Hilfe der ITC/LSC Methode die mittleren Flächenerträge in den 5 Bodenklassen in Abhängigkeit von der Anbauintensität berechnet. Zusammengenommen ergab dies 1861 Ertragswerte. Im Anhang (Tab. A5) sind auszugsweise die mittleren Erträge über alle Regionen und Bodenklassen für das Jahr 1996 für die einzelnen Kulturpflanzen (inkl. deren Nebenprodukte) und Anbauintensitäten dargestellt. Parallel dazu wurden in Zusammenarbeit mit dem FB Landschaftsökologie der Anteil der Bodenklassen pro Munizip bestimmt (siehe oben). Mit diesen Eingabedaten konnte dann das ökonomische Modul des Integrierten Regionalmodells die

landwirtschaftliche Produktion in Abhängigkeit von den monetären Input/Output-Relationen pro Munizip berechnen.

Vergleicht man die mittleren Flächenerträge mit den Durchschnittserträgen der Kulturpflanzen im Jahr 1996 in der Statistik, so stellt man fest, dass bei den Kulturen des Regenfeldbaus, außer bei Mais, die Mittelwerte der Ertragsschätzungen recht gut mit den Durchschnittserträgen aus der Statistik übereinstimmen (Abb. 3). Bei den traditionell bewässerten Kulturen ist die Übereinstimmung insbesondere bei Banane, Futtergras, Melone, Tomate und Kokospalme weniger gut. Dies könnte zum einen daran liegen, dass die angewandte Methode für diese Kulturen noch nicht angepasst wurde. Es ist aber auch möglich, dass z.B. Bananen in den meisten Fällen nur in sehr extensiver Weise zum Eigenverbrauch angebaut werden und daher die Zahlen aus der Statistik nur bedingt den tatsächlichen durchschnittlichen Flächenerträgen entsprechen.

Zwar handelt es sich bei den Ertragsschätzungen um vorläufige Werte, die noch der weiteren Verbesserung insbesondere durch die Anwendung der getesteten Ertragsmodelle bedürfen, dennoch können damit bereits wichtige Trends und Tendenzen aufgezeigt werden. So zeigt eine Analyse der Maiserträge im Vergleich von vier Jahren mit sehr unterschiedlicher Niederschlagsmenge und -verteilung, dass es in der Region Meio-Norte vom Gesamtniederschlag her gesehen etwas unterdurchschnittlichen Jahr 1957 (Tab. 1) tendenziell zu ebenso starken Ertragseinbußen bei Mais kam wie im „Dürrejahr“ 1942 (Abb. 4a). Dagegen brachte das „Dürrejahr“ 1942 im Bereich der Referenzstation Floriano in der Cerrado Region für den Maisertrag im Vergleich der vier Jahre das beste Ergebnis (Abb. 4b). Dies zeigt, dass für eine Interpretation der Folgen von Klimaveränderungen bzw. -variabilität eine regionale Betrachtung unabdingbar ist. Ebenso wird daran die Bedeutung einer hohen räumlichen Auflösung der Klimainformation für die Ertragsschätzungen auf regionaler Ebene sichtbar. Die Bodenklassen reagieren relativ gleichgerichtet auf die unterschiedlichen Witterungsverläufe in den einzelnen Jahren, jedoch lässt sich in den Bodenklassen 4 und 5 ein überproportional starker Ertragsrückgang in Problemjahren (1942 und 1957 in der Region Meio-Norte) feststellen. Innerhalb der Jahre ist in der Cerrado Region außerdem eine deutliche Abstufung zwischen den Bodenklassen 4 und 5 sowie den übrigen Bodenklassen bezüglich ihres Ertragspotentials für Mais zu erkennen. Diese Abstufung kommt in der Region Meio-Norte nur in den Jahren 1929 und 1974 zum Ausdruck. Ebenso gleichgerichtet reagieren die unterschiedlichen Bodenklassen auf Veränderungen in der Anbauintensität. So erhöht beispielsweise der Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln (Anbauintensität „Modern“) den Cowpeaertrag in allen Bodenklassen um das Zwei- bis Fünffache (Abb. 5a). Dies gilt auch für das Problemjahr 1942, allerdings bewegt sich dann das Ertragsniveau auf einem niedrigeren Level (Abb. 5b). Im Jahr 1942 sind die Erträge zudem in der Intensitätsstufe „Irrlow“ tendenziell höher als in der Intensitätsstufe „Modern“, während im „feuchteren“ Jahr 1929 das Gegenteil zutrifft. Dies deutet daraufhin, dass die verwendete Schätzmethode die Tatsache, dass je nach Wasserversorgung entweder das Wasser oder die Nährstoffe stärker ertragslimitierend wirken, berücksichtigt (vgl. Zwischenbericht AG Pflanzenernährung).

2.3.2 Ergebnisse auf der Mesoskala

In der Fokusregion Picos wurde in Zusammenarbeit mit dem FB Landschaftsökologie eine Konzeptkarte der Terrainkomponenten erstellt. Dies bedeutet im Vergleich zu den Arbeiten auf der Makroskala in der nur die Landschaftseinheiten (Terrain Units) räumlich definiert sind, einen deutlichen Schritt in Richtung höherer räumlicher Auflösung und damit auch der Möglichkeit besser räumlicher Zuordnung von Informationen über Boden, Witterung und Ertrag.

Ermittlung der nutzbaren Wasserkapazität der Böden auf regionaler Ebene (mit FB Landschaftsökologie)

Für die einzelnen Bodenkomponenten innerhalb der Terrainkomponenten wurde auf Grundlage der in der Standortdatenbank vorhandenen Bodeninformation unter anderem der durchschnittliche Wassergehalt bei Feldkapazität (definiert bei pF_{2,5}) und am permanenten Welkepunkt (pF_{4,2}) sowie die durchschnittliche nutzbare Wassermenge in Abhängigkeit von der Vegetation berechnet. Dabei wird deutlich, dass der mittlere Gehalt an verfügbarem Wasser in den Terrainkomponenten mit 4 bis 6 Volumenprozent äußerst gering ist. Nur in Ausnahmefällen (Terrainkomponenten unter Einfluss von basischem Tiefengestein) steigt die nutzbare Wasserkapazität auf Werte zwischen 10 und 12 Volumenprozent. Berechnet man jedoch die Mengen an verfügbarem Wasser über die durchwurzelbare Profiltiefe bzw. den Wurzelraum der natürlichen Vegetation, so erkennt man, dass die von mächtigen Decksandschichten überlagerten Hochflächen westlich und östlich des Guaribastals sowie die Alluvialflächen im Itaim- und Guaribastal bzw. deren Zuflüssen eine hohe bis sehr hohe nutzbare Wasserkapazität besitzen (Abb.6). In diesen Terrainkomponenten könnte potentiell ein Viertel bis die Hälfte des Jahresniederschlags als verfügbares Wasser gespeichert werden. Jedoch wird in trockenen Jahren unter natürlicher Vegetation der größte Teil des Niederschlags entweder durch Interzeption aufgefangen oder aus den oberen Bodenschichten sofort wieder transpiert, so dass nie das gesamte Bodenprofil bis zur Feldkapazität aufgefuehctet wird. Außerdem profitieren nur die natürliche Vegetation und unter Umständen mehrjährige Kulturen von der hohen Wasserspeicherfähigkeit auf diesen Flächen. Cowpea zum Beispiel als annuelle Kultur kann auf den Hochflächen nur einen Bruchteil des im Boden gespeicherten verfügbaren Wassers ausnutzen (maximal 75 mm) (Abb.7).

Berechnung der mittleren Ertragsindices auf Ebene der Terrainkomponenten (mit UFC sowie AG Pflanzenbau, AG Pflanzenernährung und AG Betriebs- und Regionalökonomie)

Die durchschnittlichen Ertragsindices sind in den Terrainkomponenten auf Decksanden für die mehrjährigen Kulturen wie Cashew oder Maniok höher als für annuelle Kulturen wie z.B. Mais (Abb. 8 und 9). Dies liegt allerdings nicht nur an der besseren Ausnutzung des gespeicherten Bodenwassers durch mehrjährige, tiefwurzelnde Arten, sondern auch an der größeren Anpassungsfähigkeit von Cashew (und Maniok) an die sehr geringen pH-Werte und die hohe Aluminiumsättigung in diesen Terrainkomponenten. Über die Ertragsindices für die in der Region Picos wichtigsten Kulturpflanzen (Cowpea, Cashew, Maniok, Mais, Mango, Tomate und Banane) wurden mittlere Erträge in den Terrainkomponenten für die einzelnen Referenzjahre 1929, 1942, 1957, 1974 und 1996 berechnet, die dann im Landnutzungsmodell MOSDEL zur Abschätzung der Autosuffizienz der Nahrungsmittelproduktion bzw. zur Berechnung der Einkommen der für die Region typischen Betriebsformen verwendet wurden (vgl. Zwischenbericht des FB Landschaftsökologie und Band I, Kapitel 5).

2.3.2 Ergebnisse auf der Mikroskala

Die Untersuchungen auf der Mikroskala teilen sich in zwei Komplexe:

- a. Untersuchung und Simulation des Bodenwasserhaushalt auf charakteristischen Standorten in der Region Picos
- b. Bodenkundliche Charakterisierung der Versuchsstandorte (Picos- Universität Hohenheim, Tauá - Universidade Federal do Ceará) im Fachbereich Agrarökosysteme

Die Auswertung der Untersuchungen zum Bodenwasserhaushalt und die Eichung des Bodenwasserhaushaltsmodells HILLFLOW in den Vegetationsperioden 1995/95 und 1996/97 auf vier Standorten in der Region Picos ergaben unterschiedlich gute Anpassungen. Verglichen mit gemessenen Wassergehalten zeigten simulierte Wassergehalte in sandigen Böden (Mi1, Pi1 und Oberboden Pi2) hohe Genauigkeiten mit Korrelationskoeffizienten (r) zwischen 0,58 und 0,78 und mittlerem absolutem Fehler (m) zwischen 2,8 und 6,7 Vol%. Die Verläufe der Bodenfeuchte konnten mit der Simulation genau abgebildet werden wenn van Genuchten-Parameter nach Bohne et al. (1993) benutzt wurden (Halm 2000). Für aus Laborkurven bestimmte van Genuchten-Parameter waren die m-Werte höher. Wegen eines Einflusses von Randeffekten auf TDR-Messungen in den Unterböden von Pi2 (Spalt- und Lagerungsdichteinfluß) und Pi3 (wahrscheinlich erhöhte Salinität) war r niedriger (0,14-0,52) und m höher (6,5-8,8 Vol%). Die simulierten Wasserspannungen zeigten generell niedrigere Genauigkeiten zwischen gemessenen und simulierten Werten (r zwischen 0,21 und 0,73, m zwischen 113 und 450 hPa), die größtenteils durch den Hysteresis-Effekt, der im Modell nicht berücksichtigt wird, erklärt wurden (Halm 2000)

Die Modell-Bilanzen zeigten in Pi1, Pi2 und Pi3 deutliche Unterschiede zwischen den beiden untersuchten hydrologischen Jahren, obwohl die Gesamtniederschlagssummen in beiden Jahren ähnlich hoch waren (Tab. 6). Jedoch war die Verteilung der Niederschläge im zweiten Jahr ungleichmäßiger mit höheren Niederschlagsintensitäten. Dadurch war im zweiten Jahr die Interzeption auf allen Standorten geringer und die simulierte Sickerung in 120 cm um 36-217 mm höher.

Tabelle 6: Vergleich der Komponenten des Bodenwasserhaushaltes (in mm) auf den vier untersuchten Standorten in den Jahren 1995/96 und 1996/97

Bilanzkomponente	Mi1 ¹		Pi1 ²		Pi2 ^{3a}		Pi2 ^{3b}		Pi3 ⁴	
	95/96	96/97	95/96	96/97	95/96	96/97	95/96	96/97	95/96	96/97
Niederschlag	923	822	698	720	667	720	667	720	667	720
Interzeption	144	85	110	57	119	51	150	92	70	55
Akt. Evapotransp.	517	471	492	545	541	644	553	631	406	328
Akt. Transp.	426	350	377	423	443	536	489	560	290	200
Akt. Evapor.	91	121	115	122	98	108	64	71	116	128
Sickerung in 120 cm Tiefe	+58	-8	-2	-26	-86	-109	-131	-137	+55	-16
Bodenwasservor-rat	218	288	100	144	93	136	98	134	137	354

¹ = unter Maniok ² = unter Gras ^{3a} = ohne natürlicher Caatinga Vegetation (cut) ^{3b} = mit natürlicher Caatinga Vegetation ⁴ = unter Mais

Die beiden Standorte Pi1 und Pi2 hatten die geringsten Sickerungsanteile, vermutlich wegen der extensiven Nutzung (ständige Vegetationsdecke während der Regenzeit) und der Tonakkumulation im Unterboden (Tab. 7). Allerdings besitzt auch Pi3 eine Schicht, mit geringerer Wasserleitfähigkeit, hat aber einen ähnlich hohen Sickerungsanteil wie das ebenfalls ackerbaulich genutzte Decksandprofil in Mi1, so dass, im Vergleich zu Pi1 und Pi2, die ackerbauliche Nutzung ausschlaggebend für den höheren Sickerungsanteil in Pi3 und Mi1 zu sein scheint. Die relativen Anteile der Sickerung sind auf den beiden ackerbaulich genutzten Standorten Mi1 und Pi3 etwa doppelt so hoch.

Tabelle 7: Vergleich der Bodenwasserbilanzen der vier untersuchten Standorte (Mittel über zwei hydrologische Jahre (1995/96 und 1996/97) in % des Niederschlags)

Bilanzkomponente	Mi1 ¹	Pi1 ²	Pi2 ³	Pi3 ⁴
Niederschlag	100	100	100	100
Interzeption	13	16	18	10
Akt. Evapotranspiration	56	67	86	54
Akt. Transpiration	44	52	76	36
Akt. Evaporation	12	15	10	18
Sickerung in 120 cm Tiefe	30	16	17	30
Bodenwasservorrat	+1	+1	-21	+6

unter Maniok ² = unter Gras ³ = unter natürlicher Caatinga Vegetation ⁴ = unter Mais

Die Wasserversorgung der Pflanzen auf jedem Standort wurde entsprechend den berechneten zeitlichen Verläufen des Verhältnisses aus potentieller (Etp) und aktueller Evapotranspiration (Eta) (=Pflanzenkoeffizienten K_c) bewertet. Während der ersten Regenzeit war K_c auf jedem der Standorte über eine nicht unterbrochene Periode von 3 Monaten (März bis Mai 1996) hoch (0,5-1). Der Pflanzenwasserbedarf war in dieser Zeit ausreichend gedeckt. In der zweiten Regenzeit traten drei ausgeprägte Zwischentrockenzeiten mit niedrigen K_c -Werten auf (Dauer von ± 1 Monat), in denen der Wasserbedarf auf allen vier Standorten nicht mehr gedeckt werden konnte (Wasserstress).

Eine Bewertung der Standorte zeigte, dass alle vier Standorte durch hohe ET_p - und TR_a -Raten, niedrige bis mittlere Speicherkapazitäten und sich schnell ändernde K_c -Werte bei unregelmäßig verteilten Niederschlägen mit eingeschalteten Zwischentrockenzeiten charakterisiert sind. Jedoch fielen die simulierten Bodenwassergehalte während beider Regenzeiten in allen vier Böden nicht unter den permanenten Welkepunkt (PWP). Die hydrologischen Hauptkriterien für eine Bewertung waren: nFK_{316} , Anzahl von Tagen mit $K_c < 0,5$ (Wasserstress-Kriterium), Sickerung in 120 cm und TR_a (aktuelle Transpiration).

Der Ferralic Arenosol Mi1 unter Maniok zeigte die geringste Anzahl von Tagen mit $K_c < 0,5$ (Abb. 10). TR_a war niedriger als auf Pi1 und Pi2, was zu einer höheren Sickerung in 120 cm aber auch zu einer geringeren Biomasseproduktion führte (Tab.7). Mit einer niedrigen nFK_{316} und schlechten chemischen Eigenschaften ist Mi1 nicht geeignet für anspruchsvollere Kulturpflanzen sondern nur für solche Arten, die gut an Wasserstress und hohe Al-Sättigungen angepasst sind, wie z.B. Maniok oder Cowpea. Auch der Haplic Acrisol Pi1 unter dünnem Grasbewuchs ist hydrologisch nur für wasserstress- und Al-tolerante Kulturen geeignet. Auf dem Standort gab es weniger Tage mit $K_c < 0,5$ als in Pi2 und Pi3, TR_a war mittel und die Sickerung in 120 cm war nur halb so hoch wie in Mi1, was durch niedrige LAI und ein Kurzhalten des Grasses durch regelmäßigen Schnitt bedingt wurde (Abb.10). Daher war die Wasserversorgung des

Standorts unter extensiv genutzter Grasweide genügend. Jedoch limitieren eine niedrige nFK_{316} und ungünstige chemische Eigenschaften den Standort für anspruchsvolle Pflanzen wie Mais. Der Lixi-Ferric Alisol unter natürlicher Caatinga-Vegetation zeigte von allen Standorten den höchsten Wasserverbrauch durch TR_a und die niedrigste Sickerung in 120 cm, verursacht durch hohe LAI's zwischen 3 und 5. Daher war die Wasserausnutzung für die Biomasseproduktion der Caatinga ausreichend hoch. Jedoch traten die meisten Tage mit K_c -Werten $<0,5$ auf (Abb.10). Dies zeigt, dass Wasserstress unter Caatinga häufig war. Der Anbau von weit gepflanzte Kulturpflanzen mit niedrigeren TR_a -Raten (niedrigeren durchschnittlichen LAI-Werten) wären unter Umständen an diesem Standort möglich, zumal die nFK_{316} mit 113 mm deutlich höher als in Mi1 und Pi1 liegt ist und die chemischen Bedingungen besser sind. Der Mollic Fluvisol Pi3 unter Mais kann nach den ungenauen Simulationsergebnissen nicht sicher bewertet werden. Der Standort zeigte häufig kurzfristiges Auftreten von Wassersättigung im Oberboden, was auf eine gute Wasserversorgung desselben, hauptsächlich im initialen Wachstumsstadium, hindeutet. Die Sickerung in 120 cm war hoch aber wurde von der Simulation wahrscheinlich überschätzt. Die TR_a war zwar niedrig, aber die Anzahl von Tagen mit $K_c <0,5$ war in der Wachstumsperiode der Maispflanzen dennoch hoch. Daher scheint die Wasserversorgung für eine optimale Biomasseproduktion auch auf diesem Standort nicht ausreichend zu sein, obwohl an diesem Standort die hydrologischen und chemischen Bedingungen mit einer nFK_{316} von 111 mm und Basensättigungen $>70\%$ gut sind.

Die Modellergebnisse dienten zur Eichung der Bodenwassersimulationen im mesoskaligen Landnutzungsmodell MOSDEL (vgl. Zwischenbericht FB Landschaftsökologie)

2.4 Diskussion (Antworten auf die Fragestellung und offene Fragen)

In der ersten Projektphase wurden durch die Arbeitsgruppe Bodenkunde die Voraussetzungen für eine flächendeckende Erfassung der Produktionspotentiale in den Bundesstaaten Piauí und Ceará geschaffen. Es wurde eine Standortdatenbank aufgebaut, die in ihrer Struktur, entsprechend dem Arbeitsmaßstab soweit als möglich, die Variabilität von Boden und Klima, als wesentliche ertragsbeeinflussende Faktoren erfasst und als Informationssystem anderen Anwendern schnell zur Verfügung stellt. Jedoch hat sich anhand der ersten Ergebnisse der Ertragschätzungen gezeigt, dass die Standortdatenbank in ihrem Inhalt noch weiter zu detaillieren ist. Insbesondere ist sie um Klimadaten in höherer zeitlicher Auflösung zu ergänzen (siehe Abschnitt 2.3.1), da vier Referenzklimastationen für ein Gebiet von 400.000 km^2 bei weitem nicht ausreichend sind, um die bekanntermaßen hohe zeitliche und räumliche Klimavariabilität dem Arbeitsmaßstab (Munizipien) entsprechend abzudecken. Außerdem ist eine Präzisierung der flächenmäßig relativ kleinen aber ackerbaulich bedeutenden Flussniederungen dringend notwendig. In einzelnen Munizipien Ceará's (Meruoca, Guaramiranga, Alcantras, Mulunga, Pacoti) war die Eichung des ökonomischen Moduls des Integrierten Regionalmodells nur möglich, wenn solche Alluvialstandorte flächenmäßig präzisiert wurden. Insbesondere im Austausch von Eingabegrößen für das ökonomische Modul ergaben sich Schwachstellen aber auch interessante Lösungswege bei der Erarbeitung von Regionalisierungsmethoden. So konnte im Munizip Picos im Zusammenspiel mit dem ökonomischen Modell die Bedeutung der Zuordnung von Bodenklassen zu der ackerbaulich genutzten Fläche im Bezug auf die ökonomischen Berechnungen demonstriert werden. Im Munizip Picos konnte mit Hilfe der satellitenbildgestützten Landnutzungsklassifikation durch den Fachbereich Landschaftsökologie die ackerbaulich genutzte Fläche bestimmten Terrainkomponenten und damit bestimmten Bodenklassen zugeordnet werden. Ein Vergleich der so geschätzten Anteile der Bodenklassen an der ackerbaulich genutzten Fläche (Datensatz 1) mit dem in allen anderen Munizipien angewandten Verfahren (Bodenklassenverhältnis auf der ackerbaulich genutzten Fläche = Bodenklassenverhältnis auf

der Munizipgesamtläche, Datensatz 2) zeigt, dass die beiden Verfahren deutlich unterschiedliche Ergebnisse produzieren. (Tab.8).

Die unterschiedlichen Anteile der Bodenklassen in beiden Schätzverfahren bewirken im ökonomischen Modul u.a. andere Marginalwerte für die landwirtschaftlich nutzbare Fläche. Der Marginalwert für eine Bodenklasse sagt aus, um wie viel der Deckungsbeitrag in einem Betrieb bzw. in einer Betriebsgrößenklasse ansteigen würde, wenn noch ein weiterer Hektar von dieser Bodenklasse für den Ackerbau zur Verfügung stände. Insbesondere die Verminderung der Marginalwerte in der Betriebsgrößenklasse >100 ha auf Null bei der Simulation mit Datensatz 1 (satellitengestützte Abschätzung des Anteils der Bodenklassen an der ackerbaulich genutzten Fläche) im Vergleich zu Datensatz 2 (Bodenklassenverhältnis auf der ackerbaulich genutzten Fläche = Bodenklassenverhältnis auf der Munizipgesamtläche) deutet auf eine Verbesserung des Simulationsergebnisses durch das satellitenbildgestützte Verfahren im Hinblick auf eine stärkere Annäherung an die Realität hin (Tab.9).

Tabelle 8: Vergleich zweier Verfahren zur Abschätzung der Anteile der Bodenklassen an der ackerbaulich genutzten Fläche im Munizip Picos

Bodenklasse	DATENSATZ 1	DATENSATZ 2
	Anteile an der ackerbaulich genutzten Fläche geschätzt aus Satelliteninterpretation und der Annahme, dass Bodenklasse 5 Anbaupriorität hat	Anteil an der Munizipfläche = Anteil an der ackerbaulich genutzten Fläche
1	1,1	0,2
2	15,9	27,3
3	16,8	27,5
4	19,5	0,9
5	45,5	20,0
N	1,2	24,1
Summe	100,0	100,0

Ein Vergleich der Ertragsschätzungen nach der ITC/LSC Methode mit beobachteten Erträgen auf Feldebene (Abb.2) ergab eine zufriedenstellende Korrelation für die getesteten Kulturen (Mais, Cowpea, Maniok, Reis, Baumwolle und Tomate). Die Güte der Ertragsschätzungen für diese Kulturen wurde, außer für Tomaten, auch auf der Makroebene bestätigt (Abb. 3). Die Methode lässt sich jedoch, wie Abbildung 3 zeigt, nicht ohne weiteres auf die übrigen der ökonomisch bedeutenden Kulturen übertragen und bedarf noch einer Verbesserung bzw. sollte in der nächsten Projektphase schrittweise durch die Ergebnisse aus den Pflanzenwachstumsmodellen ersetzt werden. Ein weiteres Problem der ITC/LSC Methode besteht darin, dass der Wasserbedarf für die Bewässerungskulturen sowie das Wasserangebot für die Kulturen des Regenfeldbaus (Zwischentrockenzeiten!!) nur sehr ungenau oder gar nicht bestimmt werden können. Außerdem kann die Methode bisher nicht mit den Bodenwasserberechnungen des Integrierten Modells verknüpft werden, so dass in der nächsten Projektphase in Zusammenarbeit mit den AG Pflanzenbau und AG Pflanzenernährung die dynamischen Pflanzenwachstumsmodelle verbessert und zur Extrapolation in das Bodeninformationssystem eingebaut werden sollten.

Mit dem Ziel der Weiterentwicklung und Verbesserung der Pflanzenwachstumsmodelle sollten auch die Untersuchungen zum Bodenwasserhaushalt fortgesetzt werden. In der ersten Projektphase konnten das physikalisch basierte Bodenwassermodell HILLFLOW an vier Standorten

auf Feldebene angepasst und validiert sowie die wesentlichen Bilanzkomponenten quantifiziert werden (Tab.6 und 7). Außerdem wurden mit Hilfe des Bodenwassermodells kritische Perioden für die Wasserversorgung der Pflanzen identifiziert (Abb.10). Auf einem der vier Standorte (Pi3, Mollic Fluvisol) traten technische Probleme bei den Bodenwassermessungen mit den TDR Sonden auf, so dass nur die Ergebnisse der Simulation der Bodenwasserspannungen überprüft werden konnten und damit die Berechnungen zur Bodenwasserbilanz für diesen Standort mit Vorsicht zu betrachten sind. Zudem fehlt eine Kopplung zu den Pflanzenwachstumsmodellen EPIC und ALMANAC. Hier kann das Modell HILLFLOW auf den getesteten Standorten als Maßstab für die Simulationsergebnisse der mit empirischen Ansätzen (Speicherzellenmodelle) arbeitenden Pflanzenwachstumsmodelle dienen.

Tabelle 9: Vergleich der im ökonomischen Modell berechneten Marginalwerte für 1 ha Fläche (in R\$) in den einzelnen Bodenklassen und Betriebsgrößenklassen bei Anwendung verschiedener Verfahren der Abschätzung der Anteile der Bodenklassen an der ackerbaulich genutzten Fläche

Betriebsgröße (ha)	Bodenklasse	Als Eingabegröße verwendeter Datensatz	
		Datensatz 1	Datensatz 2
>100	1	.	1
>100	2	.	.
>100	3	.	.
>100	4	.	132
>100	5	.	66
10-100	1	.	4
10-100	2	.	.
10-100	3	19	.
10-100	4	73	9
10-100	5	.	507
<10	1	10	68
<10	2	.	9
<10	3	10	9
<10	4	141	1667
<10	5	.	68

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass in der ersten Projektphase das Potential der Standortdatenbank aufgezeigt wurde, in Verbindung mit Klimadaten und Informationen zu den ökologischen Ansprüchen von Kulturpflanzen als Datengrundlage für eine Vielzahl von Anwendungen zu dienen. Insbesondere konnte sie als Werkzeug zur Erfassung von Ertragspotentialen auf der Makroskala und zur Regionalisierung der Ergebnisse des Fachbereichs Agrarökosysteme eingesetzt werden. In der zweiten Projektphase sollte die Datenbank zu einem leistungsfähigen, benutzerfreundlichen Informationssystem weiterentwickelt werden. Das Simulationsmodell HILLFLOW erwies sich nach vorhergehender Kalibrierung auf vier Standorten als geeignet, um den Bodenwasserhaushalt über zwei Vegetationsperioden hinreichend genau abzubilden. Die Modellergebnisse dienten zur Eichung der Bodenwassersimulationen im mesoskaligen Landnutzungsmodell MOSDEL. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf vergleichbare Standorte mit ähnlicher Nutzung bleibt noch zu überprüfen. Ebenso ist zu klären, ob das Mo-

dell im Vergleich zu Pflanzenwachstumsmodellen auf intensiv genutzten Standorten (Düngung, Bewässerung etc.) ähnlich gute Ergebnisse liefert.

2.5 Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten und brasilianischen Wissenschaftlern

Zusammenarbeit mit brasilianischen Wissenschaftlern innerhalb des Fachbereichs Agrarökosysteme

Der Fachbereich „Agrarökosysteme“ hat innerhalb des Verbundprojektes WAVES die Aufgabe den Zusammenhang zwischen landwirtschaftlicher Produktion, Wasserverfügbarkeit und Nährstoffverfügbarkeit zu untersuchen und ihren Wandel als Reaktion auf gerichtete Klimaänderungen abzuschätzen. Dazu werden zum einen Modelle des Pflanzenwachstums und der Ertragschätzung unter den vorherrschenden ökologischen und anbautechnischen Bedingungen in Feldversuchen getestet und bei Bedarf angepasst. Zum Anderen wird ein Bodeninformationssystem aufgebaut, das als Werkzeug für die Regionalisierung der Ergebnisse der Modellsimulationen benötigt wird. Zum Zweck der Regionalisierung müssen die Feldversuche auf verschiedenen Standorten durchgeführt werden, die möglichst eine weite Spannbreite der ökologischen Bedingungen in Piauí und Ceará abdecken. In diesem Sinne erfolgte eine klar definierte Arbeitsteilung zwischen den deutschen und brasilianischen Projektpartnern. Die Partner an der Universidade Federal do Ceará (UFC) sind für die Durchführung der zur Modellüberprüfung notwendigen Feldarbeiten in der Region Tauá zuständig, während die Arbeitsgruppen an der Universität Hohenheim für die Versuche in der Region Picos verantwortlich zeichnen (Tab.11).

Die Arbeitsgruppe Bodenkunde arbeitet schon seit über drei Jahren mit Partnern an der UFC zusammen. In der ersten Projektphase wurde an der UFC für die Arbeitsgruppe um Prof. Luiz Gonzaga Rebouças Ferreira ein Seminar zur Einführung in das Modellsystem EPIC gehalten. Darauf aufbauend wurden durch Dr. Thomas Gaiser Übungen zur Anwendung von EPIC mit Daten aus den Feldversuchen der UFC in Tauá bzw. auf der Versuchsstation der UFC in Fortaleza durchgeführt. Dies führte gleichzeitig zu Informationsaustausch und gemeinsamen Diskussionen über die Versuchsergebnisse in Tauá und Picos (Tab.11). Die Versuchsergebnisse an allen Standorten fanden Eingang in die Eichung der ITC/LSC Methode (siehe Abschnitt 2.3 und Abb.2). Aus der bisherigen Zusammenarbeit konnten zwei Veröffentlichungen erstellt werden (Gaiser et al. 1999a, Hilger et al. 1999). Weitere gemeinsame Publikationen über die Versuchs- und Simulationsergebnisse sind in Vorbereitung. Technisch unterstützte die AG Bodenkunde die Feldversuche der UFC in Tauá durch die bodenkundliche Charakterisierung der Versuchsstandorte (Cachoeirinha Sede und Cachoeira do Pai Senhor) sowie durch die gemeinsame Nutzung von Meßgeräten (TDR Gerät, Klimastation etc.) (Tab.11). Diese Daten fließen in die Kalibrierung und Validierung der Pflanzenwachstumsmodelle (siehe Zwischenberichte der AG Pflanzenbau und der AG Pflanzenernährung) für das Integrierte Regionalmodell SIM und das Landnutzungsmodell MOSDEL ein.

An der Universidade Federal do Piauí (UFPI) besteht seit ca. fünf Jahren eine informelle Zusammenarbeit mit dem Leiter des Bodenkundelabors José Carvalho Cordeiro, der die Arbeitsgruppe Bodenkunde durch die Möglichkeit der Mitbenutzung des Labors unterstützt. Außerdem wurde eine gemeinsame Publikation über die Bedeutung der Tonmineralzusammensetzung für die Abschätzung der Wasserspeicherfähigkeit von Böden angefertigt (Gaiser et al. 2000), wofür Herr Cordeiro umfangreiches Datenmaterial zur Verfügung stellte, das in die Standortdatenbank aufgenommen und dort verarbeitet wurde. Im Oktober 1999 wurde mit der Arbeitsgruppe von Prof. Antonio Alberto Jorge Faria Castro (FB Landschaftsökologie, UFPI) eine gemeinsame Untersuchung zum Wasserhaushalt der natürlichen Vegetation in einem Transekt im Wasser-

einzugsgebiet des Bocaina Stausees (Region Picos) begonnen. In dieser Studie wird eine detaillierte vegetationskundliche Aufnahme einschließlich Biomassebildung der Caatinga Vegetation durch die Gruppe der UFPi durchgeführt. Parallel dazu wird durch die AG Bodenkunde eine Bodenkarte im Maßstab 1:5.000 angefertigt, die Hauptbodentypen standortkundlich charakterisiert und, während der Regenzeit, der Bodenfeuchteverlauf in den Hauptbodentypen verfolgt. Da die Arbeiten erst im Oktober 1999 anliefen, liegen noch keine Ergebnisse vor. Diese Untersuchungen bilden zusammen mit den Wasserstandsmessungen im Bocaina Stausee durch den Fachbereich Wassermanagement und -ressourcen die Grundlage für die Überprüfung der Simulationsergebnisse des Wasserhaushaltsmoduls im Landnutzungsmodell MOSDEL.

Tabelle 11: Übersicht über die Aufgabenverteilung im Fachbereich Agrarökosysteme

Standort	Tauá	Picos
Bodentypen	Solo Aluvial Eutrófico Podzólico Verm.-Amarel. Eutr.	Latossolo Amarelo Podzólico Verm.-Amarel. Eutr. Solo Aluvial
Standortcharakterisierung	UniHo (AG Bodenkunde)/ UFPi ¹	
Pflanzenphysiologie und -wachstum	UFC ¹	UniHo ¹ (AG Pflanzenbau) UFPi (FB Landschaftsökologie)
Pflanzennährstoffe	(UFC)	UniHo ¹ (AG Pflanzenernährung)
Bodenwasserhaushalt	(UFC)	UniHo ¹ (AG Bodenkunde)
Evaluierung der Ergebnisse/ Überprüfung der Simulationsmodelle	Gemeinsame Workshops und Arbeitstreffen	

¹ UFC = Universidade Federal do Ceará, UFPi = Universidade Federal do Piauí, UniHo = Universität Hohenheim

Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten

Auf die Zusammenarbeit mit anderen Fachbereichen innerhalb des WAVES Projektes wurde in den einzelnen Abschnitten bereits eingegangen. Die Beteiligung der einzelnen Fachbereiche an den Ergebnissen der AG Bodenkunde wurde in den Zwischenüberschriften des Abschnitts 2.3 (Ergebnisse) erwähnt. Herauszustellen sind insbesondere die Zulieferung von Boden- und Ertragsdaten sowohl für meso- als auch makroskalige Anwendungen (Tab.5). Dabei handelt es sich zum einen um Daten aus eigenen Erhebungen und Literaturrecherchen (Boden- und Geländedaten), zum anderen um Rechenergebnisse, die auf Zuarbeiten der deutschen und brasilianischen Partner aus dem FB Agrarökosysteme (Universidade Federal do Ceará, Universität Hohenheim mit der AG Pflanzenbau und der AG Pflanzenernährung) sowie auf Datenzulieferung aus dem FB Klimaanalyse und dem FB Landschaftsökologie beruhen. Die Verzahnung der Arbeiten der AG Bodenkunde mit den anderen Fachbereichen und den integrierten Modellen ist in Abbildung 11 dargestellt.

2.6 Bibliographie

2.4.1 Eigene Publikationen

- Barros de, I., Gaiser, T., Herfort, J. and Roemheld, V. (1999). Identification of nutrient limitations for development and production of Cowpea (*Vigna unguiculata*) Intercropped with maize on a Alumi-Haplic Acrisol. In: Knowledge Partnership: Challenges and perspectives for research and education at the turn of the millenium. Conference on Tropical and Subtropical Agriculture and Forestry, 14-15 October 1999. Berlin, Germany. (accepted)
- Gaiser T. & Hilger T.H. (1997). Simulation der Ertragsbildung von Trockenreis auf stark verwitterten tropischen Böden (Simulation of yield performance of upland rice on highly weathered tropical soils). Mitteilungen Dtsch. Bodenkundl. Gesell. 85(II):891-894.
- Gaiser T. & Stahr K. (1997). Testing a minimum data set of crop requirements as a basis for land evaluation. In: Van de Sand, M und Greiling, J. (eds.), Technischer Fortschritt im Spannungsfeld von Ernährungssicherung und Ressourcenschutz. Band 2. Universität Hohenheim. S. 1-6.
- Gaiser T. (1997). Studie über die Eignung des Modellsystems EPIC für die Datenzulieferung an die Prototypversion des Integrierten Regionalmodells IREMO (The suitability of the EPIC model for providing input data to the prototype version of the integrated regional model IREMO). Investigation on behalf of the Potsdam Institut für Klimafolgenforschung e.V. unpublished. 29p.
- Gaiser T. (1998). Dürre, Hunger und Landflucht am Rande des brasilianischen Dürrepolygons. Geospektrum 1 (6): 27.
- Gaiser, T., Graef, F. und Cordeiro, J.C. (2000). Water retention characteristics of sandy soils with contrasting clay mineral composition in semi-arid tropical regions. Australian Journal for Soil Research. (accepted).
- Gaiser, T., Hilger, T.H., Ferreira, L.G.R., Herfort, J., Barros, I. and Stahr, K. (1999a) : The soil and terrain information system SPICE for estimating yield potentials at a regional scale in the states of Piauí and Ceará (Brazil). In: Knowledge Partnership: Challenges and perspectives for research and education at the turn of the millenium. Conference on Tropical and Subtropical Agriculture and Forestry, 14-15 October 1999. Berlin, Germany. (accepted)
- Gaiser, T., Marohn, C., Bach, B. and Stahr, K. (1999b). Standortsbewertung im semi-ariden Nordosten Brasiliens (Land evaluation in the Northeast of Brazil). Mitteilungen Dtsch. Bodenkundl. Gesell. 91(2):981-984.
- Halm D., Gaiser T. & Stahr K. (1997). Meßwertkorrektur und Kalibrierung von TDR-Sonden in Abhängigkeit von der Bodenart und der Lagerungsdichte (Correction of soil moisture measurements and calibration of TDR sensors in relation to texture and bulk density). Mitteilungen Dt. Bodenkundl. Gesell. 85(I):93-96.
- Halm, D. (2000). Soil water balance in the semi-arid Northeast of Brazil - characterisation, simulation, evaluation, and comparison of hydrological properties and processes in representative soils of the Picos region, Piauí. Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim. Dissertation. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte.
- Halm, D., Gaiser, T. and Stahr, K. (1999). Soil water balance modeling in the semiarid Northeast of Brazil. Mitteilungen Dtsch. Bodenkundl. Gesell. 91(1):161-163.
- Halm, D., Gaiser, Th., Stahr, K. (1999). Does magnetite influence TDR measurements? J. Plant Nutr. and Soil Sci. 162(6):661-666.
- Hilger, T.H., Gaiser, T., Herfort, J., Ferreira, L.G.R., Leihner, D. E. (1999). Calibration of EPIC for simulation of crop growth in NE-Brazil. In: Knowledge Partnership: Challenges and perspectives for research and education at the turn of the millenium. Conference on

Tropical and Subtropical Agriculture and Forestry, 14-15 October 1999. Berlin, Germany (accepted)

- Marohn, C. (1998). Standortkundliche Charakterisierung unterschiedlicher landwirtschaftlicher Betriebe im semi-ariden Nordosten Brasiliens zur Ermittlung angepasster Landnutzungsformen. Diplomarbeit. Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortlehre. 122 S.
- Weiss, U (1995). Verbreitung und Standortseigenschaften von Böden in zwei ausgewählten Kleinlandschaften in Piauí (NO Brasilien). Diplomarbeit. Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortlehre. 115 S.

2.4.2 Zitierte Literatur

- Bohne K. (1993). Möglichkeiten und Grenzen der Simulation des Wasser- und Stofftransports in mineralischen Substraten mit Hilfe von Modellen. Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung 37:40-47.
- Bronstert A. (1994). Modellierung der Abflußbildung und der Bodenwasserdynamik von Hängen. Mitt. des Instituts für Hydrologie und Wasserwirtschaft Nr. 46, Universität Karlsruhe.
- CEPRO (1990). Atlas do Piauí. Fundação Instituto Brasileiro de Geografica e Estatistica, IBGE, Rio de Janeiro. 26 S.
- Cordeiro J.C. (1985). Classificação de terras para irrigação semi-árido da bacia do Canindé. Fundação Universidade Federal do Piauí, Teresina, Brazil. 343 S.
- EMBRAPA/SNCLS (1983). Mapa exploratório - reconhecimento de solos do Estado do Piauí. EMBRAPA, Rio de Janeiro.
- EMBRAPA/SNLCS (1986). Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado do Piauí. EMBRAPA, Rio de Janeiro. 782 S
- FAO (1976). A framework for land evaluation. Soils Bulletin 32. FAO, Rome. 72 S.
- FAO (1979). Land evaluation criteria for irrigation. World Soil Resources Report No.50, FAO, Rome. 219 S.
- FAO (1983). Guidelines: Land evaluation for rainfed agriculture. FAO Soils Bulletin 52. Rome. 237 S.
- FAO (1993). Global and national soils and terrain digital databases (SOTER): Procedures manual. World Soil Resources Reports 74. FAO, Rome. 115 p.
- Graef, F. (1998). Evaluation of agricultural potentials in semi-arid SW-Niger. Institut für Bodenkunde und Standortlehre, Universität Hohenheim. Dissertation. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte Nr.54. 217 S.
- Hargraeves G.H. (1974). Climatic zoning for agricultural production in Northeast Brazil. Utah State University. 6 p.
- IPLANCE (1995). Atlas do Ceará. Fortaleza, Ceará. 64 S.
- Lenthe H.-R. (1987) Förderung der Landwirtschaft in semiariden Gebieten des NO (Piauí) Brasiliens. Bodenkundlicher Endbericht. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover. 226 S.
- Rawls, W.J., Ahuja, L.R. und Brakensiek, D.L. (1992). Estimating soil hydraulic properties from soils data. In: M.Th. van Genuchten et al. (eds.) Indirect methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils. Univ. of California, Riverside. S. 329-340.
- SUDECO Levantamento de reconhecimento semidetalhado dos solos da região dos Inhamuns - Salgado. Parte I (Iguatu). Superintendencia do Desenvolvimento do Estado do Ceará, Fortaleza. 192 S.
- SUDENE (1972). Mapa exploratório - reconhecimento de solos do Estado do Ceará (1:600.000). Superintendencia do Desenvolvimento do Nordeste. Recife.

- SUDENE (1973). Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado do Ceará. Volume I. Superintendencia do Desenvolvimento do Nordeste. Recife. 301 S.
- SUDENE (1973). Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado do Ceará. Volume II (Descrição de perfis de solos e análises). Superintendencia do Desenvolvimento do Nordeste. Recife. 502 S.
- SUDENE/BGR (1976). Pesquisas hidrogeológicas, pedológicas e agro-econômicas para aproveitamento da região centro-leste do Piauí. Parte IV, Anexos, Volume 3: Métodos de trabalhos pedológicos e descrição dos perfis. Superintendencia do desenvolvimento do Nordeste. Recife.
- Tomasella J. und Hodnett M.G. (1998) Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian Amazonia. *Soil Sci.* 163(3).190-202.
- Weller, U., Igué, M. und Stahr, K. (1997). Das Boden-Informationssystem Benin (BENSOTER) als Werkzeug der Agrarplanung. *Mitteilungen Dtsch. Bodenkundl. Gesell.* 85(2): 1275-1278.

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

Die geplanten Arbeiten wurden technisch und inhaltlich im beantragten Rahmen durchgeführt. Die angestrebten Ergebnisse konnten erreicht werden. Lediglich in einzelnen Bereichen kam es durch technische Probleme zu Verzögerungen, die zu Datenausfällen und notwendigen Nacharbeiten führten.

So kam es in der Vegetationsperiode 1998/99 zu einem Ausfall des TDR Messgerätes (Januar bis April 1999), der erst nach drei Monaten behoben werden konnte. Dadurch konnte erst gegen Ende der Vegetationsperiode 1999 mit den Bodenfeuchtemessungen in den Feldversuchen der AG Pflanzenernährung und der AG Pflanzenbau begonnen werden. Die Messung der Bodenwasserspannung auf den seit 1995 angelegten Messfeldern waren davon jedoch nicht berührt und konnten uneingeschränkt fortgesetzt werden. Durch den zeitweisen Ausfall des Datenbankservers sowie nicht eingeplante, zusätzliche Datenanforderungen von Seiten anderer Fachbereiche kam es zu einer Verzögerung der Dateneingabe in die Standortdatenbank, so daß für die Erstellung des Zwischenberichts für den Bundesstaat Piauí im Vergleich zu Ceará nur sehr grob aufgelöste, aber flächendeckende, Bodeninformation verfügbar war.

4 Ergebnisse Dritter, die für das Vorhaben von Bedeutung sind

siehe Literatur (Weller et al. 1998, Graef 1998, Tomasella und Hodnett 1998)

5 Angaben zu Erfindungen und Schutzrechten

Es wurden keine neuen Erfindungen gemacht. Schutzrechte wurden weder angemeldet noch erteilt.

Abbildungen

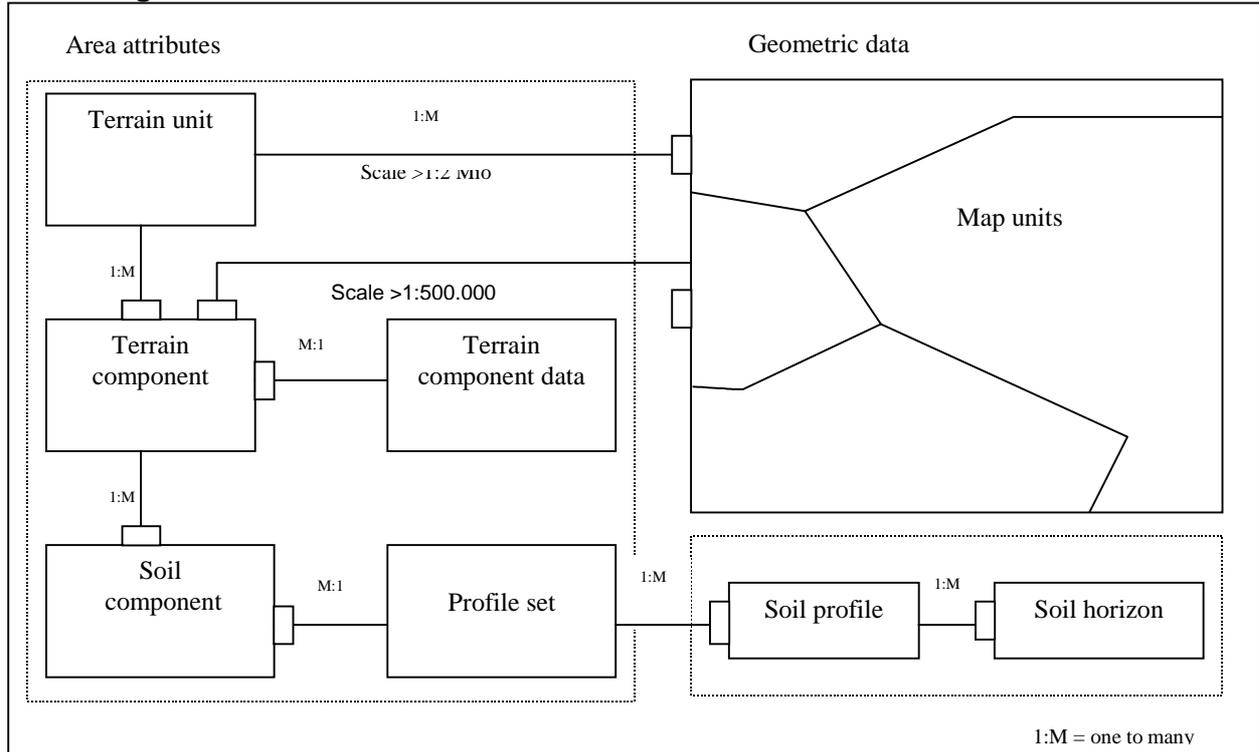


Abbildung 1: Die Struktur der Bodendatenbank gemäß dem SOTER Ansatz

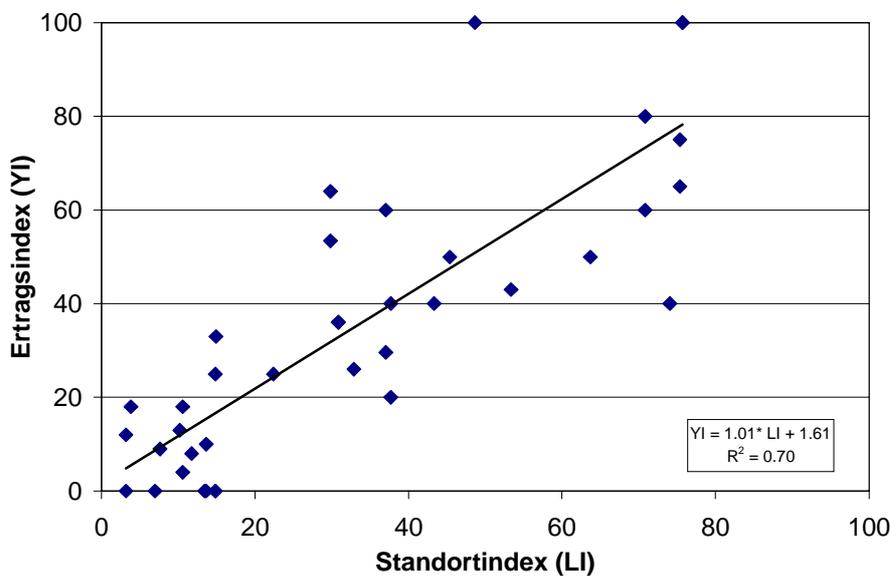
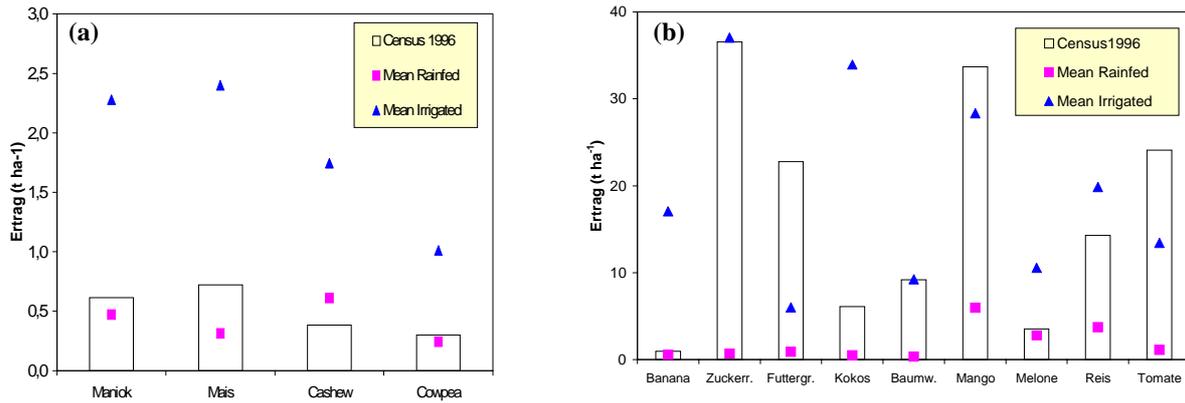


Abbildung 2: Standortindices berechnet nach der ITC/LSC Methode im Vergleich zu Ertragsindices von sechs verschiedenen Kulturen unter on-farm Bedingungen in den Fokusregionen Picos (PI) und Tauá (CE) (Gaiser et al. 1999a)



Anmerkung: Maniokertrag=Ertragx10, Reis- und Baumwollerträge=Ertrag/10

Abbildung 3: Vergleich der mittleren Flächenerträge für das Jahr 1996 über alle Regionen und Bodenklassen aus den Ertragsschätzungen nach der ITC/LSC Methode mit den Durchschnittserträgen aus der Statistik (Census Agropecuario, IBGE 1996) (a) Regenfeldbau, Mean Rainfed=Mittel aus den Intensitätsstufen „Simple“ und „Tractor“ (b) Bewässerungsfeldbau

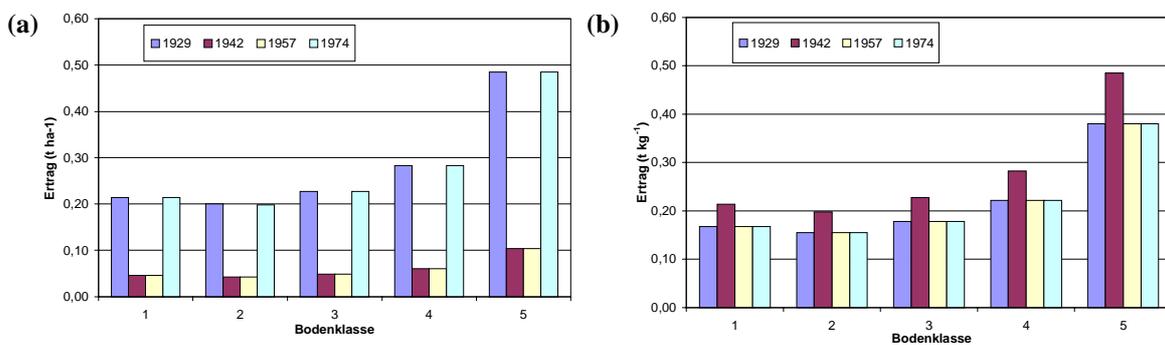


Abbildung 4: Variabilität der mittleren Flächenerträge von Mais bei traditionell extensivem Anbau (Anbauintensität „simple“) in Abhängigkeit von Jahr und Bodenklasse (a) in der Cerrado Region (Station Floriano) (b) in der Region Meio-Norte (Station Picos)

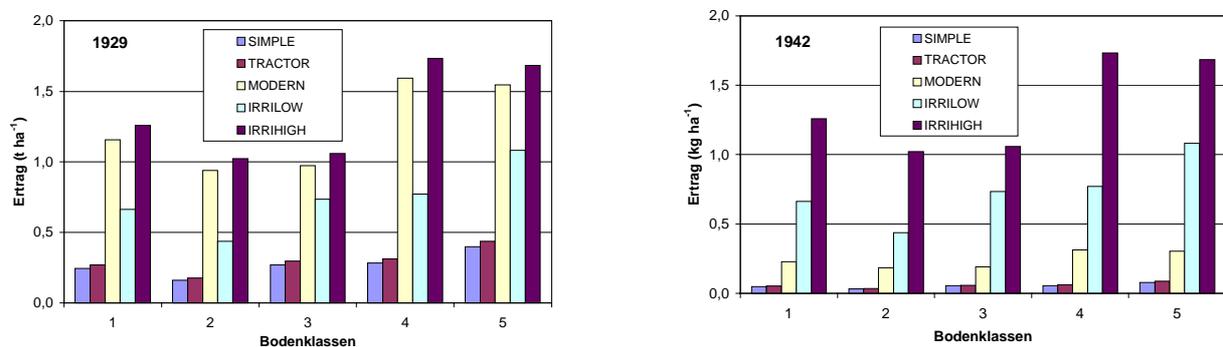


Abbildung 5: Einfluss der Anbauintensität auf die Ertragsschätzungen von Cowpea in Abhängigkeit vom Jahr und der Bodenklasse in der Sertão-Region

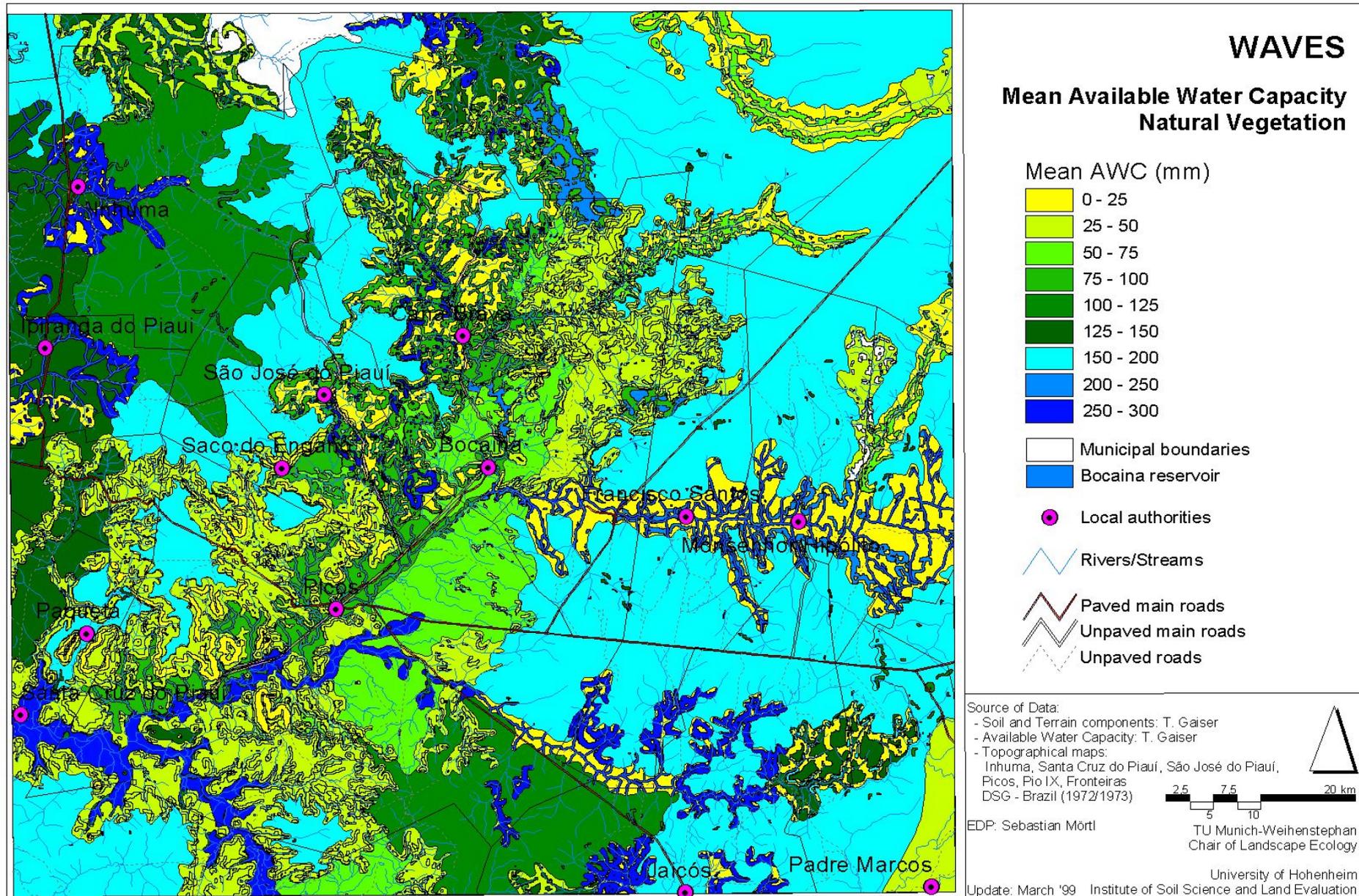


Abbildung 6: Mittlere nutzbare Wasserkapazität (in mm) der in der Region Picos ausgegliederten Terrainkomponenten für die natürliche Vegetation

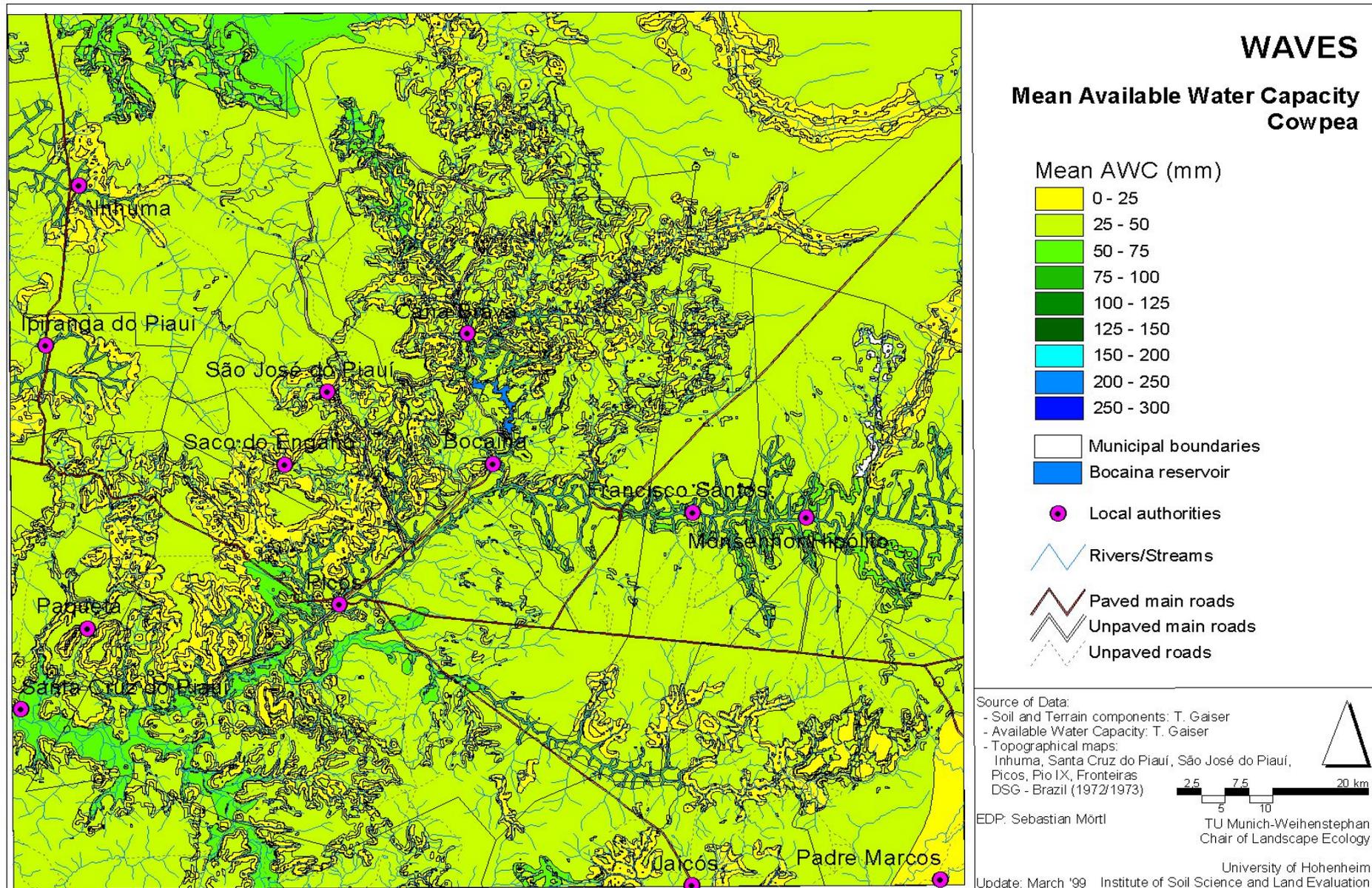


Abbildung 7: Mittlere nutzbare Wasserkapazität (in mm) der in der Region Picos ausgegliederten Terrainkomponenten für Cowpea

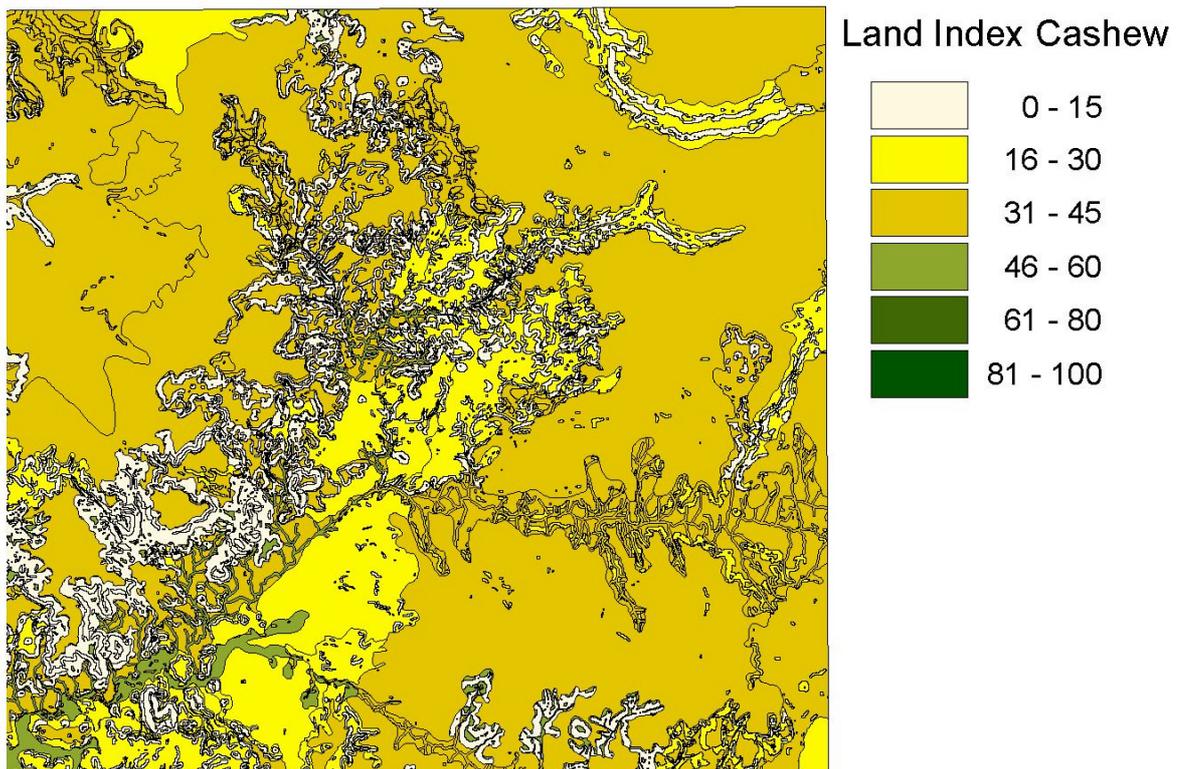


Abbildung 8: Mittlere Ertragsindizes (100 = potentiell möglicher Ertrag) der in der Region Picos ausgegliederten Terrainkomponenten für Cashewanbau

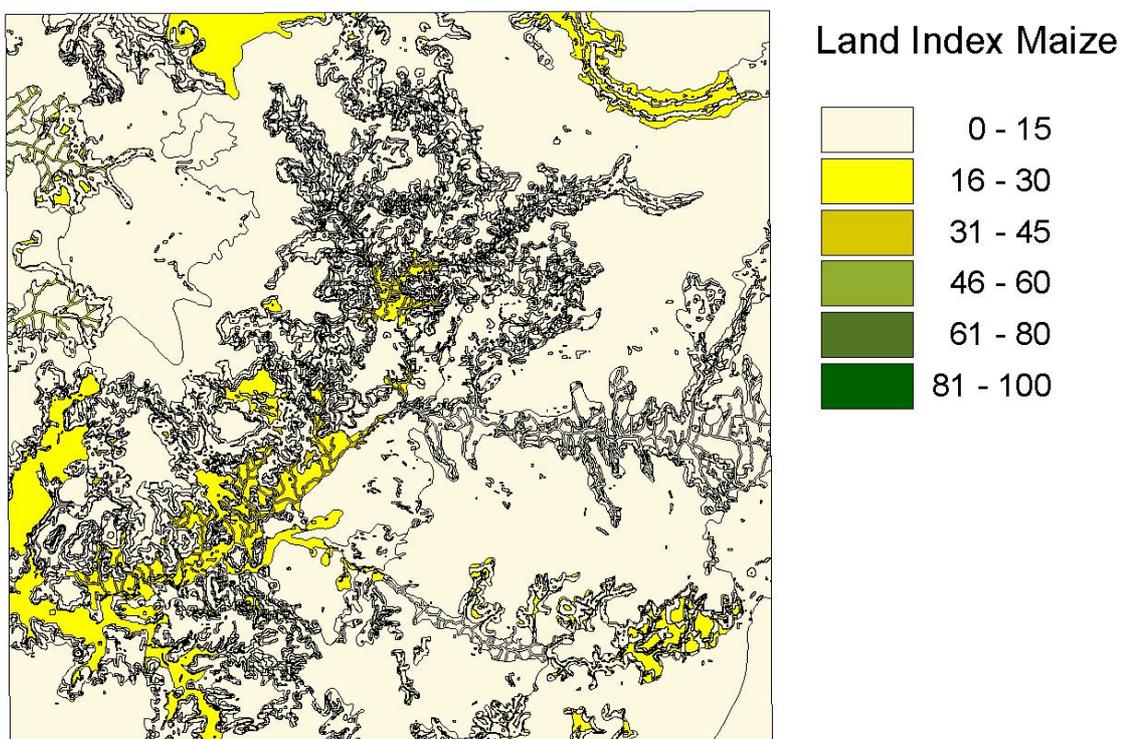


Abbildung 9: Mittlere Ertragsindizes (100 = potentiell möglicher Ertrag) der in der Region Picos ausgegliederten Terrainkomponenten für Maisanbau

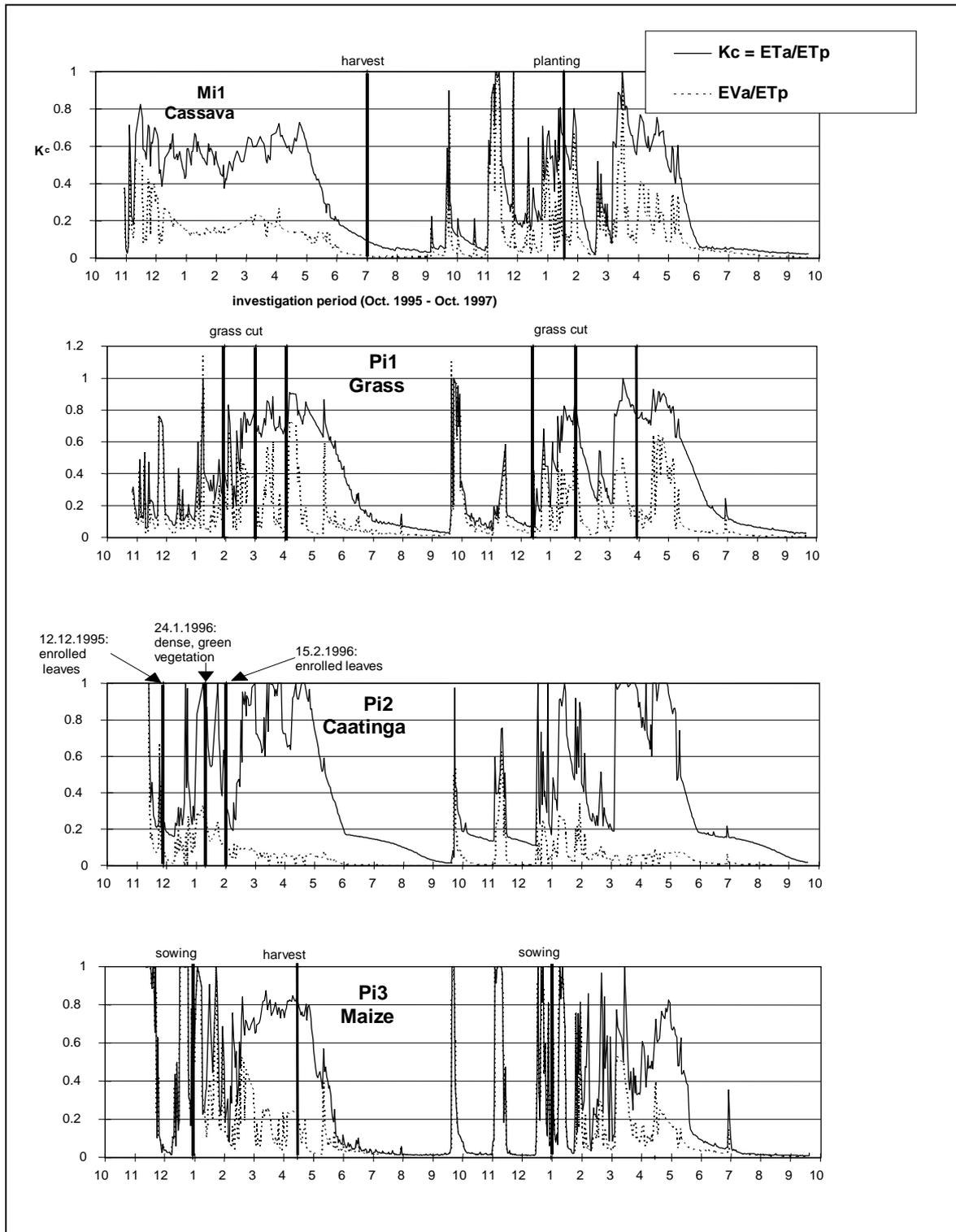


Abbildung 10: Verhältnis der aktuellen zur potentiellen Evapotranspiration (Kc-Faktor) auf den vier untersuchten Standorten während der beiden hydrologischen Jahre 1995/95 und 1996/97

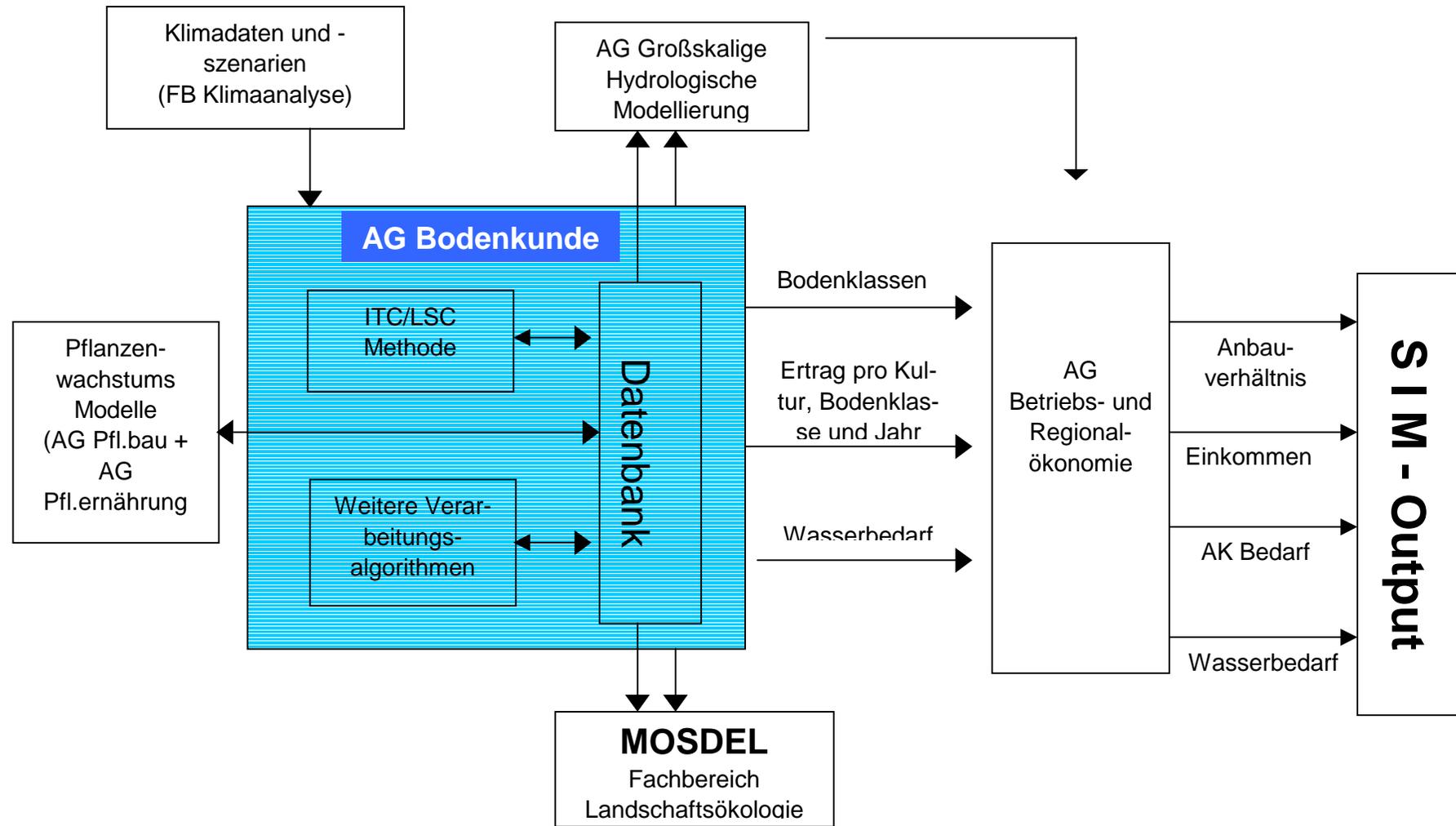


Abbildung 11: Schnittstellen bzw. Datenaustausch zwischen der AG Bodenkunde und den anderen Fachbereichen im Verbundprojekt WAVES

Anhang

Tabelle A1: Datenstand in der Standortdatenbank Stand 31.12.1999

Tabelle	Zahl der Parameter / Tabelle	Zahl der Datensätze
Boden		
Terrain Einheiten	11	351
Terrainkomponenten	8	622
Bodenkomponenten	5	1151
Bodenprofile	10	194
Bodenhorizonte	32	953

Kulturpflanzen	Zahl der Parameter / Tabelle	Zahl der Einträge
Cashew	23	121
Cowpea	28	146
Mais	32	212
Mango	25	152
Baumwolle	35	185
Melone	22	127
Perlhirse	26	163
Zuckerrohr	31	181
Tomate	25	168
Maniok	25	135
Kokospalme	23	112
Reis	30	186
Banane	24	133

Klimaparameter	Zahl der Stationen	Stationen mit lang-jährigen Mittelwerten	Zahl der Stationsjahre
Niederschlag	7	7	311
Temperatur	4	2	16
Luftfeuchte	4	2	16
Sonnenscheindauer	4	2	16
Wind	1		1

Tabelle A2: Vergleich zwischen den im Agrarzensus 1996 erhobenen Flächenerträgen mit den Mittelwerten aus den nach der ITC/LSC Methode berechneten Flächenerträgen (t ha⁻¹) für das Jahr 1996 für 13 Kulturpflanzen sowie ihrer Nebenprodukte über alle Regionen, Bodenklassen und Anbauintensitäten

	Geschätzte mittlere Flächenerträge für das Jahr 1996						Agrarzensus 1996				
	Simple	Tractor	Modern	Irrlow	Irrhigh	Mean Simple+ Tractor	Mean Irrigated	Total mean	Min	Max	Mean
Banana	0,56	0,62	2,22	12,07	22,07	0,59	17,07	7,51	0,17	2,98	0,96
Bean	0,23	0,26	1,14	0,68	1,34	0,24	1,01	0,73	0,13	0,99	0,30
Bean_s	0,28	0,31	1,37	0,82	1,61	0,29	1,21	0,88			
Cane	0,67	0,73	1,81	24,03	50,01	0,70	37,02	15,45	0,33	227,47	36,55
Capim	0,86	0,94	6,09	4,36	7,68	0,90	6,02	3,99	1,00	54,58	22,77
Cashew_f	5,83	6,41	11,03	9,62	13,64	6,12	11,63	9,30			
Cashew_n	0,58	0,64	1,65	1,44	2,05	0,61	1,74	1,27	0,11	1,58	0,38
Maniok	4,50	4,95	21,65	18,62	26,92	4,72	22,77	15,33	1,00	14,52	6,13
Coco	0,48	0,53	6,13	28,07	39,77	0,51	33,92	18,71	0,68	45,83	6,11
Cotton	0,03	0,04	0,17	0,61	1,24	0,04	0,92	0,42	0,21	2,83	0,92
Cotton_s	0,04	0,05	0,21	0,74	1,51	0,04	1,13	0,51			
Maize	0,30	0,33	2,34	1,56	3,23	0,31	2,40	1,55	0,22	3,68	0,72
Maize_s	0,37	0,41	2,34	1,56	3,23	0,39	2,40	1,58			
Mango	5,70	6,27	24,92	20,30	36,36	5,98	28,33	18,71	1,96	145,21	33,68
Melon	2,67	2,94	10,49	7,07	14,03	2,80	10,55	7,44	0,15	14,13	3,52
Rice	0,36	0,39	1,74	1,42	2,55	0,37	1,99	1,29	0,34	5,98	1,43
Rice_s	0,44	0,48	1,74	1,42	2,55	0,46	1,99	1,33			
Tomato	1,09	1,20	7,32	9,03	17,85	1,14	13,44	7,29	1,00	83,33	24,09

Cashew_n = Cashewnüsse, Cashew_f = Cashewfrüchte, *_s = Strohertrag

Tabelle A3: Beschreibung der im Integrierten Regionalmodell SIM definierten Bodenklassen

Bodenklasse	N	W	1	2	3	4	5
Definition	Nicht geeignet für den Ackerbau	Überflutungsgebiete oder Böden mit sehr schlechter Drainage	Böden, die ungenügend drainiert oder gelegentlich überflutet sind, oder die einen hohen Salzgehalt aufweisen	Böden, die nicht in die Klasse 1 fallen und entweder flachgründig sind oder mit extrem hohem Ton-, Kies- oder Steingehalt	Böden, die nicht in Klasse 1 oder 2 fallen und sehr tiefgründig und sandig sind	Böden, die nicht in Klassen 1, 2 oder 3 fallen, und mäßig gute bodenchemische Eigenschaften besitzen	Böden, die nicht in Klasse 1-3 fallen, gute bis sehr gute bodenchemische Eigenschaften besitzen
Merkmale	Hangneigung >30% oder Steingehalt >55% oder Durchwurzelbare Tiefe <30cm	Dränageklasse „poor“ oder hohes Überflutungsrisiko (in mehr als 5 von 10 Jahren mehr als einen Monat)	Dränageklasse „imperfect“ oder nur gelegentlich überflutet, oder (im Oberboden) Elektrische Leitfähigkeit >6dS/cm oder Natriumsättigung >15% oder Kalkgehalt >25% oder Gipsgehalt >10%	Durchwurzelbare Tiefe 30-50 cm oder (in 0-50 cm) Steingehalt zwischen 35 und 55% oder (Tongehalt >60% oder Tongehalt <15% und Schluffgehalt <10% und Durchwurzelbare Tiefe <200 cm)	Durchwurzelbare Tiefe >200 cm und mittlerer Tongehalt <15% und Schluffgehalt <10%	In 0-50 cm Bodentiefe mittlere Basensättigung <35% oder in 0-25cm mittlerer Kohlenstoffgehalt <5mg/kg	In 0-50 cm Bodentiefe mittlere Basensättigung ≥35% oder in 0-25cm mittlerer Kohlenstoffgehalt ≥5mg/kg