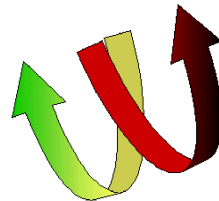


**WASSERVERFÜGBARKEIT SOWIE ÖKOLOGISCHE, KLIMATISCHE UND
SOZIOÖKONOMISCHE WECHSELWIRKUNGEN IM SEMIARIDEN
NORDOSTEN BRASILIENS**



WAVES

Verbundprojekt WAVES
Fachbereich Agrarökosysteme
Arbeitsgruppe Bodenkunde

Abschlußbericht

Zuwendungsempfänger: Universität Hohenheim
Institut für Bodenkunde und Standortslehre

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 - 31.12.2001

Bearbeitung: Dr. Thomas Gaiser
Dipl. Geol. Frank-Michael Lange

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

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	1
2 Einleitung.....	2
2.1. Aufgabenstellung.....	2
2.2. Planung und Ablauf des Vorhabens	2
2.3. Wissenschaftlicher und technischer Stand	3
3 Ergebnisse.....	5
3.1. Das Bodeninformationssystem SPICE	5
3.2. Untersuchung und Simulation des Bodenwasserhaushalts auf Feldebene in der Region Picos 11	
3.3. Zusätzlich erbrachte Leistungen im Rahmen des Verbundprojektes	17
3.4. Diskussion und Empfehlungen	18
3.5. Zitierte Literatur	19
4 Verwertbarkeit der Ergebnisse	20
5 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen.....	21

1 Zusammenfassung

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

Die wohl bedeutendste innovative Entwicklung durch das Vorhaben war die Konzeption und der Aufbau des flächendeckenden Boden- und Landressourceninformationssystems SPICE (Soil and Land Resources Information System for the States of Piauí and Ceará) für die Bundesstaaten Piauí und Ceará, die mit insgesamt 400.000 km² Fläche etwas größer als die BRD sind. SPICE wurde im Vorhaben zur regionalen Erfassung der Ertragspotentiale und zur Regionalisierung von Projektergebnissen eingesetzt. Der Datenbereich enthält neben flächendeckenden Bodendaten auch Informationen über die ökologischen Ansprüche von Kulturpflanzen sowie über Klimaparameter. Die Datenbank ist derart strukturiert, daß sie die zum Teil erhebliche Variabilität des Geländes und der Böden soweit als möglich berücksichtigt. Auf der Basis des Datenbestandes wurden Anwendungen 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 implementiert und genutzt. Sowohl einzelne Rohdaten als auch die Ergebnisse der Auswertungen dienten als Eingangsgrößen für das Landnutzungsmodell MOSDEL (FB Landschaftsökologie) und das integrierte Regionalmodell SIM (FB Integrierte Modellierung). Durch das Vorhaben wurde das Potential eines solchen Bodeninformationssystems sowohl innerhalb des Verbundprojektes als auch für zukünftige Nutzer in den Bundesstaaten Piauí und Ceará aufgezeigt. Insbesondere konnte es als Werkzeug zur Abschätzung von Ertragspotentialen auf der Makroskala und zur Regionalisierung der Ergebnisse von Pflanzenwachstumsmodellen eingesetzt werden. Teile von SPICE wurde bereits am Planungsministerium von Ceará installiert und könnte in Zukunft zu einem leistungsfähigen, benutzerfreundlichen Informationssystem weiterentwickelt werden. Weitere Informationen sind der SPICE Homepage unter <http://www.uni-hohenheim.de/spice> zu entnehmen.

Die Arbeiten zum Bodenwasserhaushalt beschränkten sich auf fünf, vorwiegend extensiv genutzte sowie zwei intensiv genutzte Standorte in der Fokusregion Picos. Das Simulationsmodell HILLFLOW erwies sich, nach vorhergehender Kalibrierung, auf extensiv genutzten Standorten als geeignet, um den Bodenwasserhaushalt hinreichend genau abzubilden. Auf den intensiv genutzten Standorten mit sandig-lehmigen Böden konnte das Wasserhaushaltsmodell SIMPEL nach Kalibrierung den Wasserhaushalt ebenso gut beschreiben. Die Modellergebnisse dienen zur Eichung des Bodenwassermoduls im mesoskaligen Landnutzungsmodell MOSDEL (Fachbereich Landschaftsökologie). Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf weitere Standorte mit anderen bodenphysikalischen Eigenschaften (insbesondere hohe Steingehalte) und unter anderer Nutzung (insbesondere Bewässerung und Sonderkulturen) bleibt noch zu überprüfen.

2 Einleitung

2.1. Aufgabenstellung

Das Ziel des Verbundprojektes WAVES war 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 wurden 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" hatte 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 sollte die AG "Bodenkunde" Möglichkeiten zur Regionalisierung der Ergebnisse aus den einzelnen Arbeitsgruppen entwickeln. Die Ergebnisse aus dem Fachbereich Agrarökosysteme dienten zum einen als Eingabegrößen für das ökonomische Modul des Integrierten Regionalmodells SIM sowie zur punktuellen Überprüfung der Ausgabeparameter bzw. der Güte der Modellansätze des mesoskaligen hydrologischen Moduls im Landnutzungsmodell MOSDEL.

2.2. Planung und Ablauf des Vorhabens

Zur regionalen Erfassung der Ertragspotentiale der wichtigsten Kulturpflanzen wurde das Boden- und Landressourceninformationssystem SPICE (Soil and Land Resources Information System for the States of Piauí and Ceará) für die Bundesstaaten Piauí und Ceará entwickelt (<http://www.uni-hohenheim.de/spice>). Dazu mußte in den ersten beiden Projektjahren eine Standortdatenbank, sowie in Zusammenarbeit mit der AG Pflanzenbau und der AG Pflanzenernährung eine Kulturpflanzendatenbank aufgebaut werden. Nachdem das Konzept für das Datenmodell in Abstimmung mit den brasilianischen Partnern entwickelt war, wurde diese in einem Multiuserdatenbanksystem (DB2) umgesetzt und mit der Dateneingabe begonnen. Die Dateneingabe erfolgte kontinuierlich, während in den letzten zwei Projektjahren Anwendungen getestet und implementiert wurden, die auf die vorhandenen Daten zugreifen und den Zwecken des Projektes bzw. der späteren potentiellen Anwender dienen. 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). Systemstruktur und Ergebnisse der Anwendungen von SPICE wurden im letzten Projektjahr sowohl auf mehreren wissenschaftlichen Tagungen als auch auf Workshops mit potentiellen Nutzern (Landesministerien von Ceará und untergeordnete Behörden) vorgestellt.

Parallel zum Aufbau des Boden- und Landressourceninformationssystems SPICE wurden in der Fokusregion Picos (Piauí) Felduntersuchungen zum Bodenwasserhaushalt auf unterschiedlichen Standorten und unter unterschiedlicher Nutzung durchgeführt. Die Feldversuche der Ar-

beitsgruppe „Pflanzenernährung“ stellten die landwirtschaftlich genutzten Standorte dar, in denen zusammen mit dem Fachbereich Klimaanalyse und -modellierung über zwei Vegetationsperioden für den Wasserhaushalt relevante meteorologische Größen und Bodenwassergehalte kontinuierlich gemessen wurden. Auf einem weiteren Standort wurden Unterschiede im Bodenwasserhaushalt unter natürlicher Vegetation (Caatinga) im Vergleich zu extensiv genutztem Grasland (Sekundärvegetation nach Ackernutzung) untersucht. Außerdem wurden im Berichtszeitraum die im Jahre 1995 bis 1997 durchgeführten Messungen der Bodenfeuchte auf vier weiteren Standorten ausgewertet. Zwischen den Vegetationsperioden wurden zusätzliche Laboranalysen zu den chemischen und physikalischen Eigenschaften der Böden durchgeführt sowie die Meßergebnisse ausgewertet und zur Überprüfung der Wasserhaushaltsmodelle HILLFLOW (Bronstert 1994) und SIMPEL (Hörmann 2000) verwendet.

Die Zusammenarbeit mit den deutschen und brasilianischen Arbeitsgruppen innerhalb des Fachbereichs Agrarökosysteme war von Anfang an räumlich und inhaltlich geregelt (Tab.1). Während die Partner der Universidade Federal do Ceará die pflanzenbaulichen Untersuchungen im Fokusgebiet Tauá durchführten waren die Feldversuche in der Region Picos unter der Verantwortung der Universität Hohenheim, wobei die Arbeitsgruppe Bodenkunde die Untersuchung des Bodenwasserhaushalts in der Region Picos und die Charakterisierung der Versuchsstandorte in beiden Regionen übernahm.

Sowohl die Ergebnisse der Anwendungen des Bodeninformationssystems SPICE als auch die Überprüfung der Bodenwasserhaushaltsmodelle dienten als Inputparameter bzw. der Überprüfung von Teilmodulen der integrierten Modelle SIM und MOSDEL, die als Gemeinschaftsaufgabe durch die Fachbereiche „Integrierte Modellierung“ und „Landschaftsökologie“ im Verbundprojekt WAVES entwickelt wurden (Krol et al. 2001, Krol et al. 2002, Printz et al. 2000, Printz und Lang 2002).

Tabelle 1: 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 Simulationmodelle	Gemeinsame Workshops und Arbeitstreffen	

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

2.3. Wissenschaftlicher und technischer Stand

Die bisherigen bodenkundlichen Arbeiten in Piauí und Ceará beschränkten sich regional gesehen meist auf die chemische Charakterisierung der Böden bzw. der für die Klassifizierung wichtigen Horizonte. Zahlreiche meist von Privatunternehmen in Auftrag gegebene Untersuchungen zur Eignung der Böden für den Bewässerungsfeldbau enthalten zwar Angaben über Teilgrößen

des Wasserhaushaltes (Feldkapazität, Welkepunkt), jedoch gibt es noch keine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse (Cordeiro 1985). Über weitere Größen des Wasserhaushalts wie Evaporation, Run-off oder Versickerung insbesondere im Zusammenhang mit der Nutzung ist wenig bekannt. In den nationalen Klimastationen wird die potentielle Evaporation zwar gemessen (bis zu 2500 mm pro Jahr), die reale Evaporation kann jedoch innerhalb einer Landschaft und je nach Vegetation sehr unterschiedlich sein (DNM 1993). Nach Schätzungen des CEPRO (1990) beträgt die reale Evapotranspiration in Piauí 600 bis 1100 mm pro Jahr und nimmt von Osten nach Westen hin zu. Aus Untersuchungen auf dem „Chapada Grande“ Plateau weiß man lediglich, daß Sickerung stattfindet, jedoch konnte keine Quantifizierung vorgenommen werden. Es existieren zahlreiche veröffentlichte Simulationsmodelle für den Wassertransport in Böden (Bohne 1993, Engel et al. 1993). Daneben enthalten die meisten dynamischen Ertragsmodelle hydrologische Module, die allerdings oft eine Vereinfachung der mit dem Bodenwasserhaushalt in Verbindung stehenden Prozesse enthalten. Die meisten Modelle wurden in gemäßigten oder subtropischen Gebieten entwickelt unter standörtlichen Bedingungen, die sich teilweise stark von denen im Nordosten Brasiliens unterscheiden. Besonders auf stark verwitterten, ferralitischen Böden mit hohem Tongehalt sind, aufgrund der Gefügebesonderheiten (Pseudosand), die hydraulischen Bodenparameter, die oft programmintern vorgegeben oder aus Schätzfunktionen über die Korngrößenverteilung gewonnen werden, zu überprüfen.

Für den Bundesstaat Ceará liegen Nutzungskarten vor, die in einem groben Maßstab die Eignung bestimmter Regionen für einzelne landwirtschaftliche Kulturen ausweisen. Für Piauí sind derartige Untersuchungen, die den gesamten Bundesstaat einschließen nicht bekannt. Im Einzugsgebiet des Canindé wurden regionale Untersuchungen über die Nutzungseignung zum Regenfeldbau bzw. zur Bewässerung durchgeführt (BGR 1977, Cordeiro 1985). Ähnliche Untersuchungen existieren für eine Vielzahl von privaten oder staatlichen Bewässerungsprojekten. Bisher fehlt eine systematische Eignungsklassifizierung für beide Bundesstaaten, die gleichzeitig die Produktionspotentiale für die wichtigsten landwirtschaftlichen Kulturen erfasst.

Zur regionalen Standortsbewertung und Abschätzung von Produktionspotentialen werden in der BRD seit Ende der achtziger Jahren Informationssysteme entwickelt (Heineke und Filipinski 1995, Hartmann und Schmidt 1995). In den meisten Bundesländern wird die vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung in Zusammenarbeit mit der BGR entwickelte Datenstruktur des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS) übernommen. Allerdings wird hier jeder Karteneinheit nur ein Referenzprofil zugeordnet, was bei großmaßstäbigen Karten (>1:50.000) sicher möglich ist, bei mittel und kleinmaßstäbigen Karten jedoch zu einem außerordentlichen Informationsverlust führt, da die subskalige räumliche Variabilität nicht erfaßt wird. Dieses Problem wird durch eine hierarchische gegliederte Datenstruktur weitgehend gelöst. Beispielhaft für eine derartige Datenstruktur steht das SOTER (Soil and Terrain Digital Data Base) Konzept (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 Gelände- und Bodenkomponenten bestehen, die hierarchisch aufgebaut sind. In der SOTER Datenstruktur wird diese hierarchische Landschaftsgliederung in einer relationalen Datenbank abgebildet. Ein in dieser Weise hierarchisch strukturierte Datenbank bietet zudem die Möglichkeit, des Upscalings ohne größeren Verlust von Information über die Variabilität auf den unteren Maßstabsebenen.

Im Methodenbereich von Bodeninformationssystemen befinden sich Verknüpfungsregeln, um die Information, die im Datenbereich gespeichert ist zu verarbeiten (Anwendungsbereich). Die Methoden hängen vom Nutzerprofil bzw. den Nutzeransprüchen des Informationssystems ab und können von einfachen statistischen Auswertungen bis hin zu komplexen Simulationsmodellen reichen. Für hydrologische und agroökologische Fragestellungen werden in den in der BRD bestehenden Informationssysteme Methoden eingesetzt, die in der Regel empirisch unter den in Deutschland vorherrschenden naturräumlichen Bedingungen ermittelt wurden (Müller

1997). Die Übertragbarkeit dieser Methoden in semi-aride tropische Gebiete ist von daher nicht unbedingt gegeben und bedarf einer Überprüfung. Weltweit gesehen gibt es zahlreiche Standortbewertungssysteme (Klingebiel und Montgomery 1961, Sanchez et al. 1982, FAO 1983, Sys et al. 1991), wobei die Land Suitability Classification den Vorteil aufweist, daß sie die Möglichkeit gibt Standorte sowohl kulturpflanzen-spezifisch als auch bis zu einem gewissen Grad ökonomisch zu bewerten (FAO 1983, Rossiter 1990). In Uruguay existieren bereits Erfahrungen in der Anwendung einer Bodendatenbank nach dem SOTER Konzept in Verbindung mit einem Erosionsmodell (SWEAP) sowie einem Pflanzenwachstumsmodell (WOFOST) zur Entwicklungsplanung in Zusammenarbeit mit der Nationalen Abteilung für Wasser und Boden (Uruguayean Dirección de Suelos y Agua, ISRIC 1997). Unter den gegebenen ackerbaulichen (extensiver Ackerbau ohne Düngemittelsatz) und ökologischen (z.T. stark versauerte Böden) in Piauí und Ceará sind nur solche Pflanzenwachstumsmodelle einsetzbar, welche die N- und P-Dynamik in Boden und Pflanze sowie Al-Toxizität berücksichtigen. Dies trifft für das Modellsystem EPIC (USDA 1990) bzw. das EPIC-Derivat ALMANAC zu. Das Simulationsmodell ALMANAC hat zudem den Vorteil, daß die Konkurrenz um Wasser, Licht und Nährstoffe in den weitverbreiteten Mischkultursystemen Piauí's und Ceará's berücksichtigt wird.

3 Ergebnisse

3.1. Das Bodeninformationssystem SPICE

Eine herausragende Innovation des Vorhabens war die Konzeption und der Aufbau des Bodeninformationssystems SPICE, das die beiden Bundesstaaten Piauí und Ceará mit einer Gesamtfläche von ca. 400.000 km² (etwas mehr als die heutige BRD) abdeckt.

Das Bodeninformationssystem SPICE (Soil and Land Resources Information System for the States of Piauí and Ceará) ist in drei Bereiche untergliedert: den Datenbereich, den Methodenbereich und die Metadatenbank (Abb. 1) (siehe auch <http://www.uni-hohenheim.de/spice>). Im Datenbereich sind neben geometrischen Daten, Wetterdaten und Bodendaten auch Informationen zu den ökologischen Ansprüchen von 48, vorwiegend tropischen und subtropischen, Kulturpflanzen abgelegt. Die Bodendatenbank ist derart angelegt, daß die in der Landschaft bestehende Verknüpfung zwischen Bodenverbreitung, Ausgangsgestein und Geomorphologie in der Datenstruktur berücksichtigt wird, wie es in dem von der FAO für nationale und globale Inventarisierungen vorgeschlagenen Datenbankkonzept SOTER (Soil and Terrain Digital Database) vorgeschlagen wird (FAO 1993).

Anwendungen (Methodenbereich)

Aus der Vielzahl der möglichen Anwendungen sollen hier exemplarisch die Ergebnisse der Methoden zur Ertragsabschätzung und der Ableitung der Wasserspeicherkapazität der Böden aufgezeigt werden.

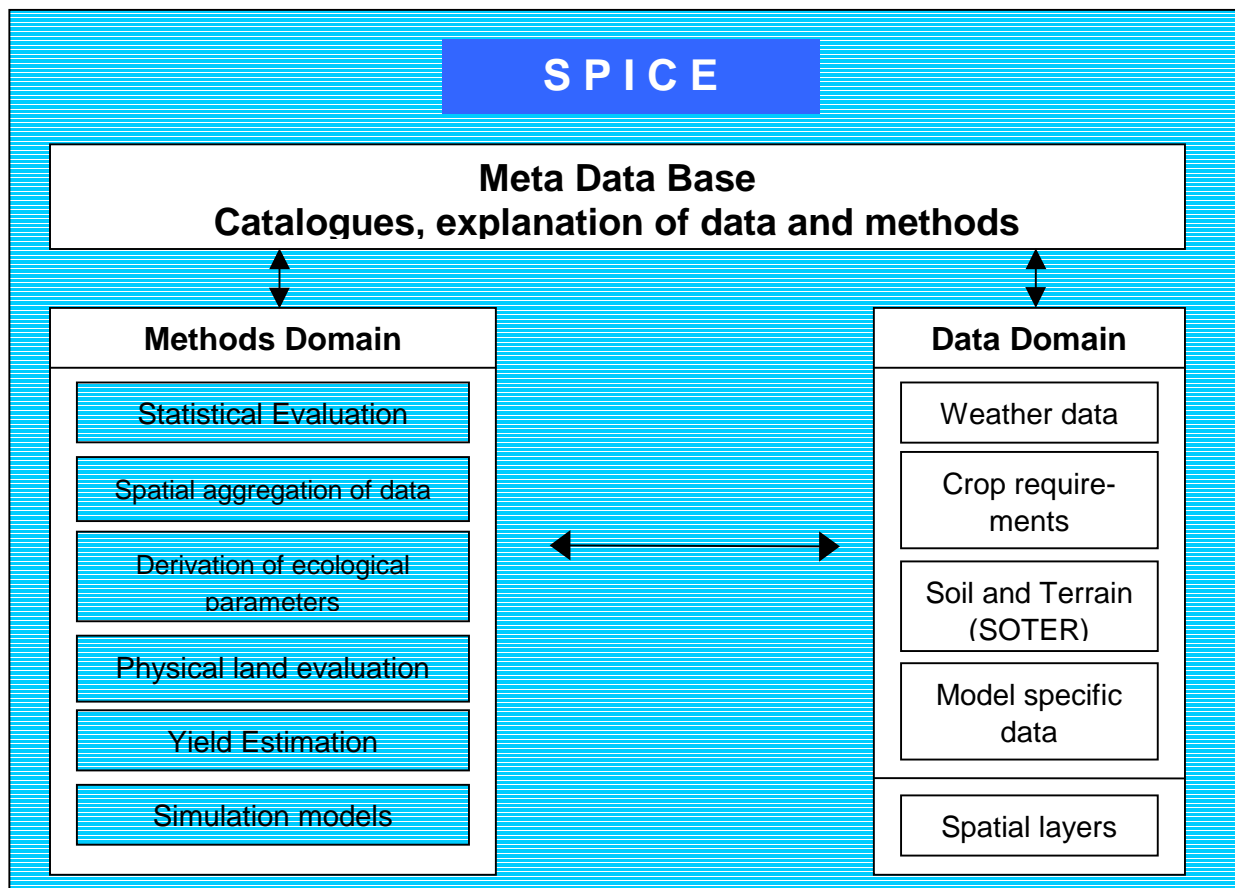


Abbildung 1: Struktur des Boden- und Landressourceninformationssystems SPICE

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" (modifizierte ITC/LSC Methode nach Gaiser und Graef 2001)
2. die Simulation der Ertragsbildung durch das Pflanzenwachstumsmodell EPIC (USDA 1990)

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 wegen noch bestehender Lücken bei der physiologischen Charakterisierung der Kulturpflanzen nur für acht Kulturpflanzen Simulationen durchgeführt werden (Hilger et al. 2000, De Barros et al. 2001). Daher wurde zusätzlich die Methode der Land Suitability Classification zur Abschätzung der Erträge der Kulturpflanzen eingebaut. (FAO 1983, Sys et al. 1991). Diese Methode für ausgewählte Kulturpflanzen im Untersuchungsgebiet getestet und angepaßt (Gaiser et al. 1999a, Gaiser et al. 1999b, Gaiser und Graef, 2001). Die hier präsentierten Ergebnisse der Ertragsschätzungen beruhen deshalb auf dieser Methode.

Für die Ertragsabschätzungen wurden zusammen mit der AG "Betriebs- und Regionalökonomie" fünf Intensitätsniveaus der pflanzlichen Produktion definiert. In Absprache mit den übrigen Arbeitsgruppen wurden vier Klimastationen (Picos, Tauá, Floriano und Granja) und vier Jahre (1929, 1942, 1957 und 1974) mit charakteristischen Niederschlagsverläufen ausgewählt (Tab.2). Die vier Klimastationen stehen repräsentativ für die vier agroökologischen Zonen in

Piauí und Ceará (Meio-Norte, Sertão, Cerrado und Litoral). 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 mittlere Flächenerträge für 13 Kulturpflanzen in Abhängigkeit von Klima (4 Stationen x 5 Jahre), Boden (5 Bodenklassen) und Anbauintensität (5 Intensitätsstufen, Tab.3) nach der modifizierten ITC/LSC Methode geschätzt.

Tabelle 2: 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 3: Kurzbeschreibung der Intensitätsstufen des Ackerbaus

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 Pflanzenschutzmitteln

Zusammengenommen ergab dies 1861 Ertragswerte. In Tabelle 4 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 wurde in Zusammenarbeit mit dem FB Landschaftsökologie der Anteil der Bodenklassen pro Munizip bestimmt. 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 (IBGE 1998), 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. 2). 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.

Tabelle 4: Vergleich zwischen den im Agrarsens 1996 (IBGE 1998) 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						Agrarsens 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

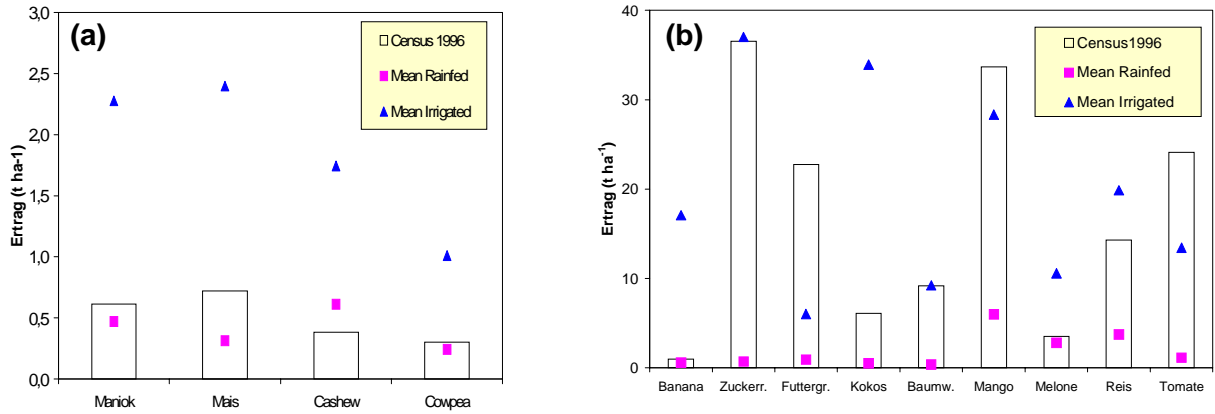
Cashew_n = Cashewnüsse, Cashew_f = Cashewfrüchte, *_s = Strohertrag

Dennoch können mit den Ertragsschätzungen 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 im vom Gesamtniederschlag her gesehen etwas unterdurchschnittlichen Jahr 1957 (Tab. 1) tendenziell zu ebenso starken Ertragseinbußen bei Mais kam wie im "Dürrejahr" 1942 (Abb. 3a). 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. 3b). 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 Bodenklas-

sen 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. 4a). Dies gilt auch für das Problemjahr 1942, allerdings bewegt sich dann das Ertragsniveau auf einem niedrigeren Level (Abb. 4b). Im Jahr 1942 sind die Erträge zudem in der Intensitätstufe "Irrlow" tendenziell höher als in der Intensitätstufe "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.

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 Wassergehalte bei Feldkapazität (pF 2,5) bzw. am permanenten Welkepunkt (pF 4,2) in Abhängigkeit vom Tongehalt bzw. der Tonmineralzusammensetzung über Pedotransferfunktionen (Gaiser et al. 2000, Tomasella und Hodnett 1998, Rawls et al. 1992) horizontweise für jedes Bodenprofil in der Datenbank berechnet. Vor der Berechnung der Wasserspeicherkapazität des Profils wurden die volumetrischen Wassergehalt noch horizontweise um den Kies- und Steingehalt bereinigt. 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.



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

Abbildung 2: 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 1998) (a) Regenfeldbau, Mean Rainfed=Mittel aus den Intensitätsstufen "Simple" und "Tractor" (b) Bewässerungsfeldbau

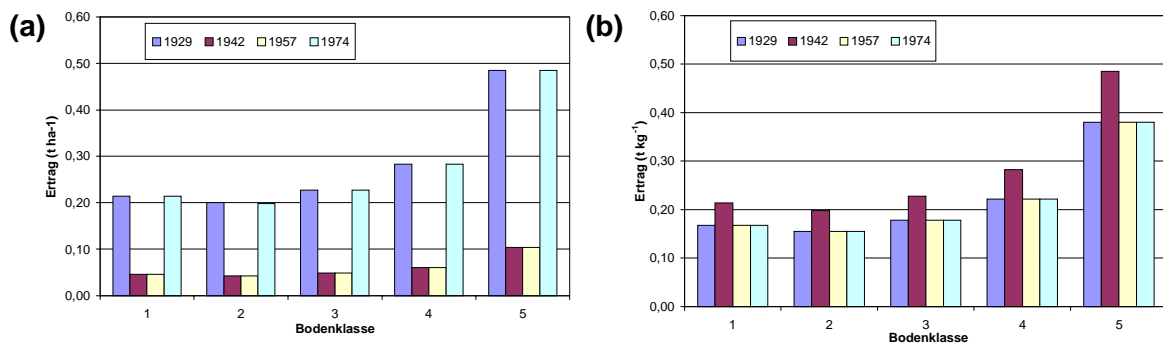


Abbildung 3: Variabilität der mittleren Flächenerträge von Mais bei traditionell extensivem Anbau (Anbauintensität "simple") in Abhängigkeit von Jahr und Bodenklasse (a) in der Cerrado Region (Station Floriano) (b) in der Region Meio-Norte (Station Picos)

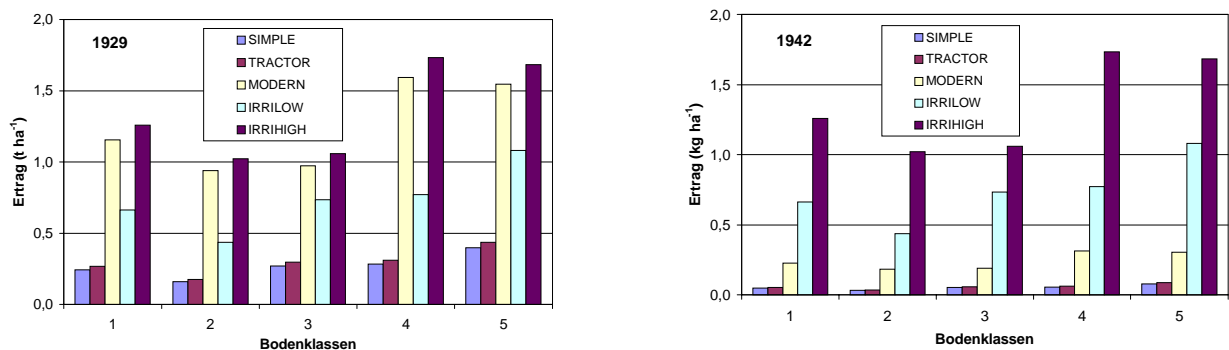


Abbildung 4: Einfluß der Anbauintensität auf die Ertragsschätzungen von Cowpea in Abhängigkeit vom Jahr und der Bodenklasse in der Sertão-Region

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.5). 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 transpiriert, so daß selten das gesamte Bodenprofil bis zur Feldkapazität aufgefuechtet 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.6).

Weitere Ergebnisse zu den Anwendungen von SPICE sind unter <http://www.uni-hohenheim.de/spice> einzusehen.

3.2. Untersuchung und Simulation des Bodenwasserhaushalts auf Feldebene in der Region Picos

Untersuchungen zum Bodenwasserhaushalt wurden von 1995 bis 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)

Dazu kamen innerhalb des Berichtszeitraums (2000-2001) weitere drei Standorte:

- Alumi-Haplic Acrisol unter Mais/Cowpea Mischkultur mit drei unterschiedlichen Düngungsniveaus (MS)
- Chromic Luvisol unter Mais/Cowpea Mischkultur mit zwei unterschiedlichen Düngungsniveaus (SUS)
- Chromic Luvisol unter natürlicher Vegetation und unter extensiv beweideter Grasbrache (TS2)

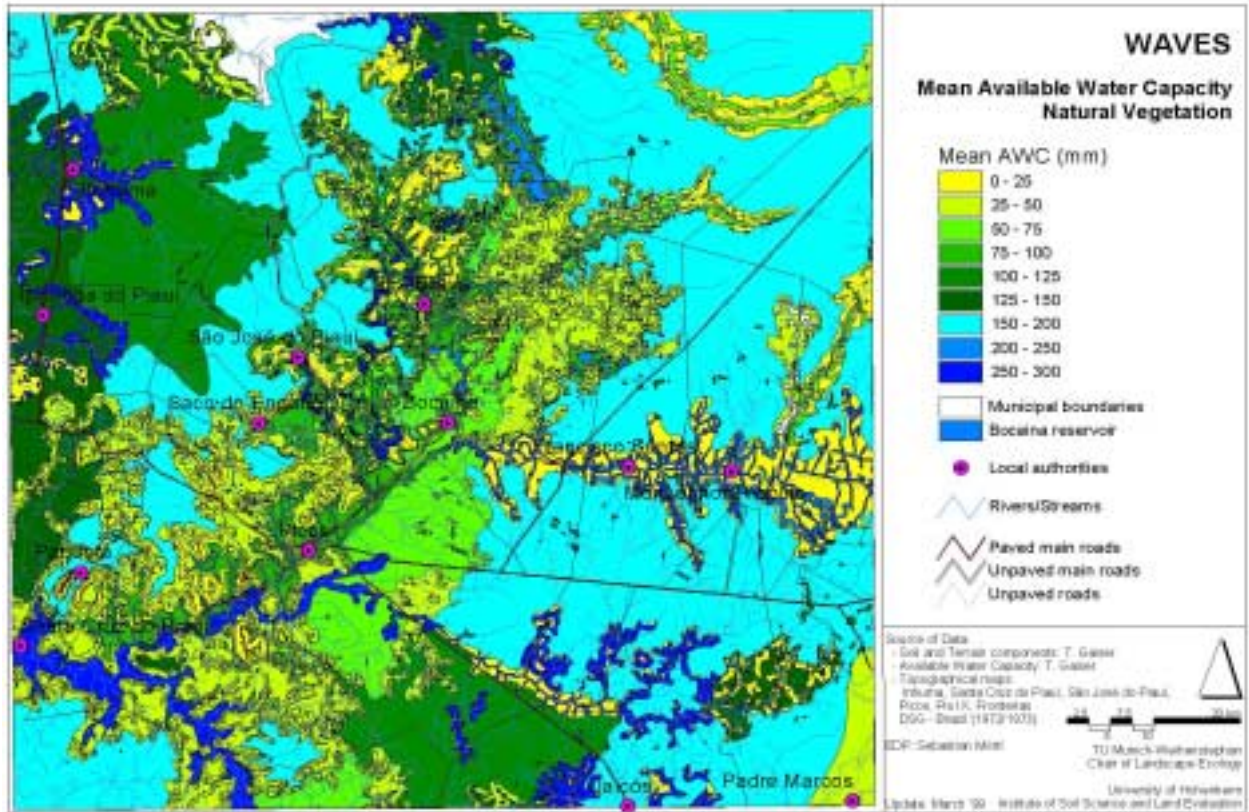


Abbildung 5: Mittlere nutzbare Wasserkapazität (in mm) der in der Region Picos ausgegliederten Terrainkomponenten für die natürliche Vegetation

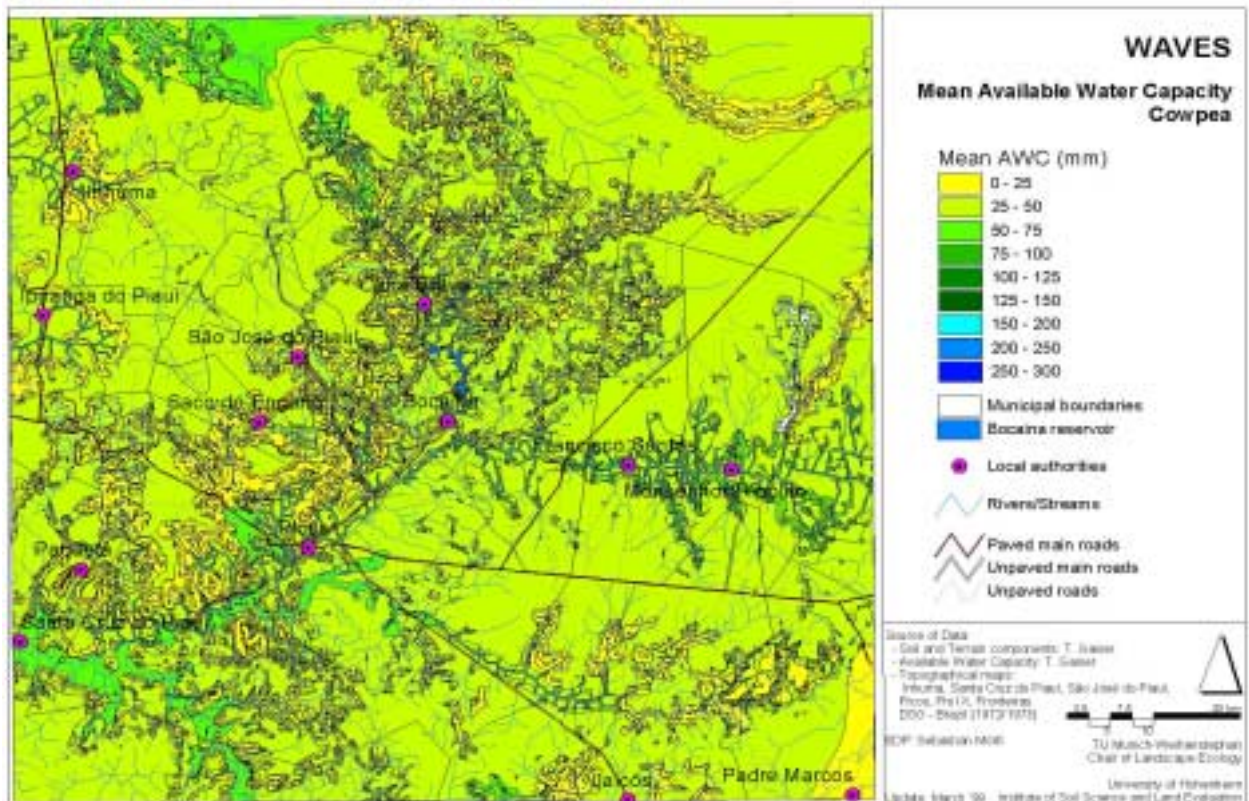


Abbildung 6: Mittlere nutzbare Wasserkapazität (in mm) der in der Region Picos ausgegliederten Terrainkomponenten für Cowpea

Auf den vier erstgenannten Standorten wurden kontinuierlich der Bodenwassergehalt und die Saugspannung im Boden mittels Time Domain Reflectometry (TDR) bzw. Tensiometern gemessen. An den letztgenannten Standorten wurden im Boden nur Bodenwassergehalte gemessen. Mit diesen Meßwerten und kontinuierlich aufgenommen meteorologischen Parametern wurde das Bodenwasserhaushaltsmodell HILLFLOW (Bronstert 1994) kalibriert und validiert. Der mittlere absolute Fehler m zwischen simulierten (ϕ_s) und beobachteten (ϕ_b) Werten wurde nach der folgenden Gleichung berechnet:

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

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. 5). 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.

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. 6). 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 in 120 cm Tiefe sind auf den beiden ackerbaulich genutzten Standorten Mi1 und Pi3 etwa doppelt so hoch.

Tabelle 5: 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
Bodenwasservorrat	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

Tabelle 6: 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 (Abb. 7). 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).

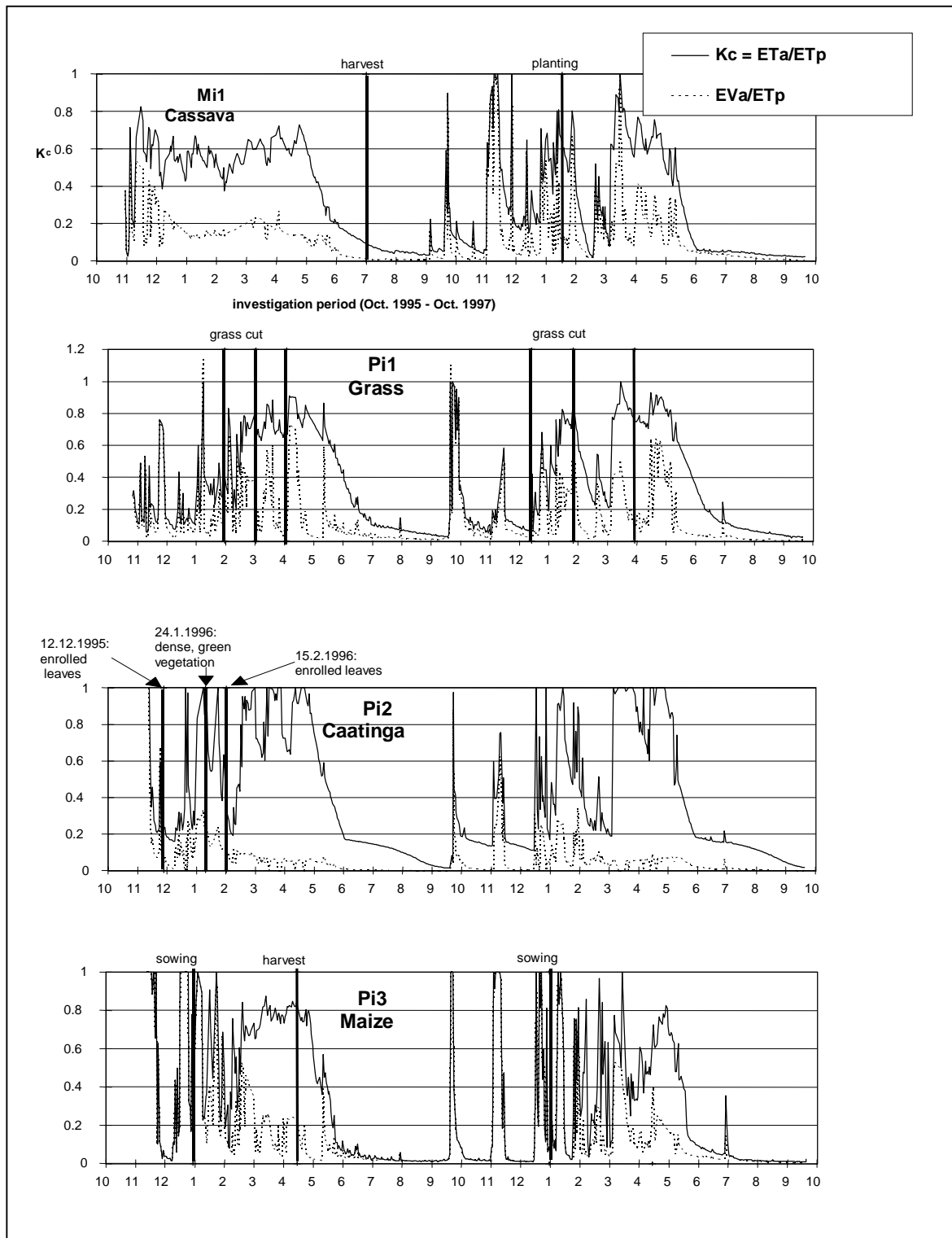


Abbildung 7: Verhältnis der aktuellen zur potentiellen Evapotranspiration (Kc-Faktor) auf den vier untersuchten Standorten während der beiden hydrologischen Jahre 1995/95 und 1996/97

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).

Desweiteren wurden in den Jahren 1999 bis 2001 Bodenfeuchtemessungen auf einem Chromic Luvisol sowohl unter natürlicher Vegetation (Caatinga) als auch unter extensiv beweideter Grasbrache (Outside Caatinga) durchgeführt.

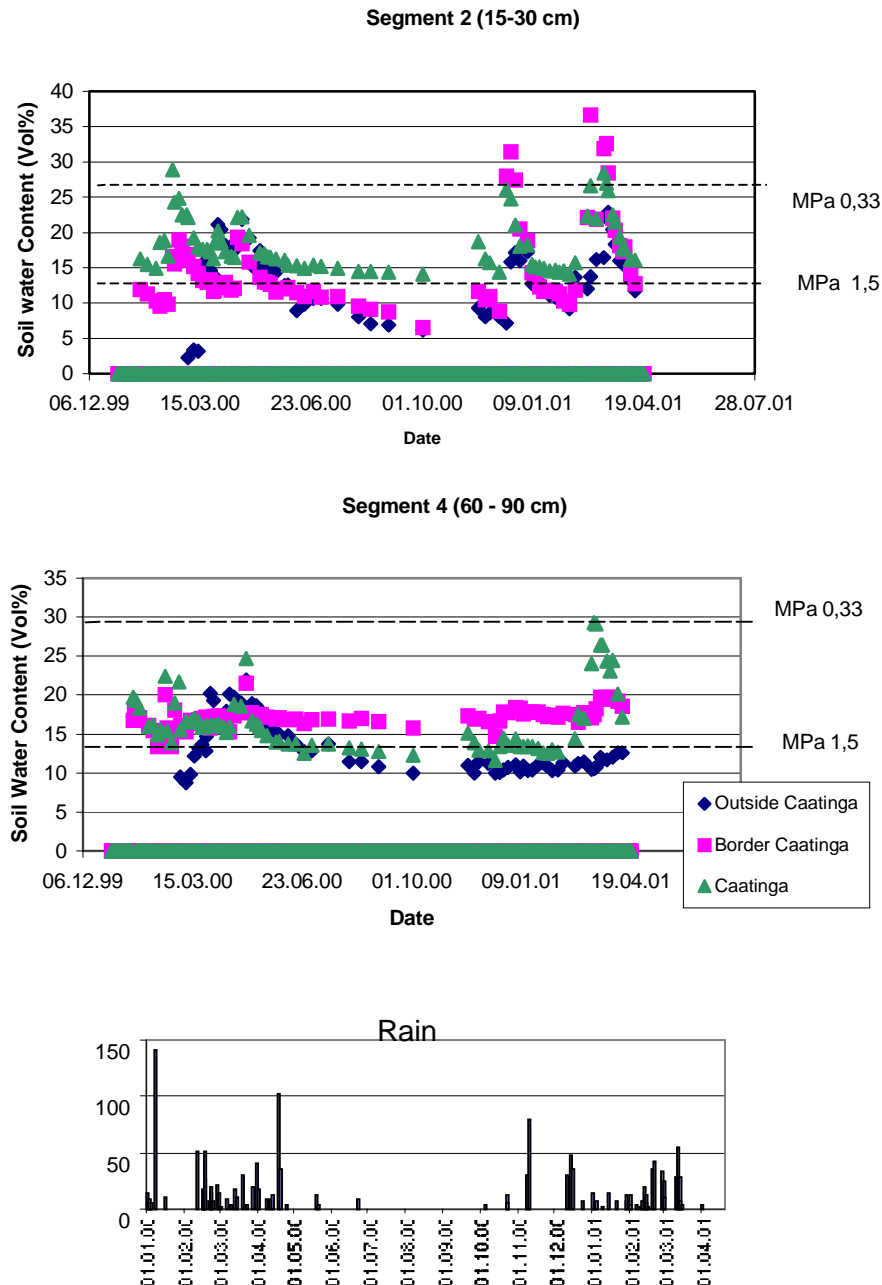


Abbildung 8: Bodenfeuchtedynamik unter natürlicher Vegetation (Caatinga), Grasbrache (Outside Caatinga) und im Übergang (Border Caatinga) in unterschiedlichen Bodentiefen eines Chromic Luvisol

Diese Messungen über zwei Jahre mit unterschiedlichen Niederschlagsmengen und -verteilungen zeigten, daß die Bodenwassergehalte unter Caatinga Vegetation im Oberboden, und zu bestimmten Zeitpunkten auch im Unterboden höher waren als unter Grasbrache (Abb. 8). Dies wurde zum einen auf die verringerte Bodenevaporation durch stärkere Beschattung der Bodenoberfläche und zum anderen auf geringeren Oberflächenabfluß v.a. in der zweiten Beobachtungsperiode unter natürlicher Vegetation zurückgeführt.

Ein Vergleich der gemessenen Bodenwassergehalte mit den durch das Wasserhaushaltsmodell SIMPEL simulierten Werten ergab auf den sandig-lehmigen Alumi-Haplic Acrisolen des Untersuchungsgebiet gute Übereinstimmung (Abb. 9). Lediglich die Geschwindigkeit der Austrocknung am Ende Regenzeit wurde vom Modell überschätzt. Die Güte der Simulationen war ähnlich hoch wie die der Simulationen mit HILLFLOW (Lange et al. 2002).

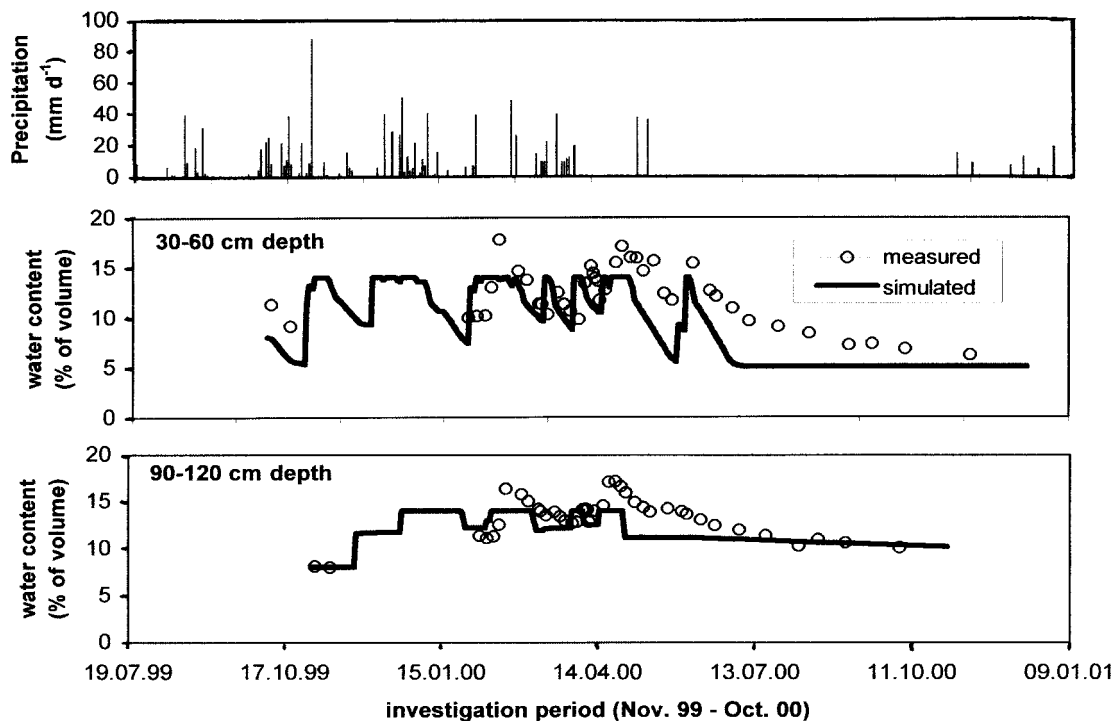


Abbildung 9: Verlauf von gemessenen und mit dem Modell SIMPEL simulierten Bodenwassergehalten in einem sandig-lehmigen Alumi-Haplic Acrisol in zwei Bodentiefen

Die Modellergebnisse dienen zur Eichtung der Bodenwassersimulationen im mesoskaligen Landschaftsnutzungsmodell MOSDEL (Printz et al. 2000, Printz und Lang 2002)

3.3. Zusätzlich erbrachte Leistungen im Rahmen des Verbundprojektes

Während der Projektlaufzeit wuchs innerhalb des Projektes der Bedarf an aus den Boden- und geländedaten 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.7).

Tabelle 7: 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 Mangement (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 Mangement (in Kooperation mit AG Pflanzenernährung und AG Pflanzenbau)

3.4. Diskussion und Empfehlungen

Im Vorhaben wurden die Voraussetzungen für eine flächendeckende Erfassung der Produktionspotentiale in den Bundesstaaten Piauí und Ceará geschaffen. Es wurde ein Bodeninformationssystem aufgebaut, das in seiner Struktur, entsprechend dem Arbeitsmaßstab soweit als möglich, die Variabilität von Boden und Klima, als wesentliche ertragsbeeinflussende Faktoren erfaßt und anderen Anwendern schnell zur Verfügung stellt. Jedoch hat sich anhand der Ergebnisse der Ertragsschätzungen gezeigt, daß der Datenbereich des Informationssystems in seinem Inhalt noch weiter zu detaillieren ist. Insbesondere ist er um Klimadaten in höherer zeitlicher Auflösung zu ergänzen. Eine Validierung der Methoden (Anwendungen) für weitere ökonomisch bedeutende Kulturpflanzen wie Tomate, Banane, Melonen und Kokospalme wäre für zuverlässige Ertragsabschätzungen wünschenswert.

Außerdem ist eine Präzisierung der flächenmäßig relativ kleinen aber ackerbaulich bedeutenden Flußniederungen dringend notwendig. In einzelnen Munizipien Cearás (Meruoca, Guarami-

ranga, Alcantras, Mulunga, Pacoti) war die Eichung des ökonomischen Moduls des Integrierten Regionalmodells nur möglich, wenn solche Alluvialstandorte flächenmäßig präzisiert wurden. Für zuverlässige Simulationsergebnisse des Regionalmodells ist in Zukunft eine Präzisierung der räumlichen Lokalisierung und der Ausdehnung der ackerbaulich genutzten Flächen mittels Auswertung von Fernerkundungsdaten unumgänglich.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß das Potential eines Bodeninformationssystems sowohl innerhalb des Projektes als auch für zukünftige Nutzer in den Bundesstaaten Piauí und Ceará aufgezeigt wurde. Insbesondere konnte es als Werkzeug zur Abschätzung von Ertragspotentialen auf der Makroskala und zur Regionalisierung der Ergebnisse eines Pflanzenwachstumsmodells eingesetzt werden. Das Simulationsmodell HILLFLOW erwies sich nach vorhergehender Kalibrierung auf vier Standorten als geeignet, um den Bodenwasserhaushalt über zwei Vegetationsperioden hinreichend genau abzubilden. Auf landwirtschaftlich genutzten Standorten mit sandig-lehmigen Böden scheint das einfachere zu handhabende Modell SIMPEL ebenso zuverlässig den Wasserhaushalt abzubilden. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf weitere Standorte mit anderen bodenphysikalischen Eigenschaften (insbesondere hohe Steingehalte) und unter anderer Nutzung (insbesondere Bewässerung und Sonderkulturen) bleibt noch zu überprüfen.

3.5. Zitierte Literatur

- BGR (1977): Grundlagen und Möglichkeiten der Landentwicklung im Trockengebiet des Staates Piauí/Nordost Brasiliens. Endbericht. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover. 128 S.
- 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 Geografia e Estatística, 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.
- De Barros, I., Gaiser, T., and Römheld, V. (2001): Validation of the EPIC model for nitrogen and phosphorus uptake by intercropped maize and cowpea on a Alumi-Haplic Acrisol. In: Horst, W.J. et al., *Plant nutrition - Food security and sustainability of agroecosystems. Developments in Plant and Soil Sciences*. 92:948-949.
- DNM (1992): Normas climatológicas. Departamento Nacional de Meteorologia. Brasília.
- Engel T., Klöckling B., Priesack E. und Schaaf T. (1993): Simulationsmodelle zur Stickstoffdynamik. *Agarrinformatik* 25: 3-36.
- FAO (1983): Guidelines: land evaluation for rainfed agriculture. *Soils Bulletins* 52. Food and Agriculture Organization, Rome. 237 S.
- FAO, (1993). Global and national soils and terrain digital databases (SOTER). Procedures manual. *World Soil Resources Reports* 74. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 122p.
- 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.
- Gaiser, T., Graef, F. and Cordeiro, J.C. (2000): Water retention characteristics of sandy soils with contrasting clay mineral composition in semi-arid tropical regions. *Australian Journal of Soil Research* 38:523-536.
- Gaiser, T. and Graef, F. (2001): Optimisation of a parametric land evaluation method for cowpea and pearl millet production in semiarid regions. *Agronomie* 21(8):705-712.
- 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.

- Graef, F., Van Duivenbooden und Stahr, K. (1998): Remote sensing and transect-based retrieval of spatial soil and terrain (SOTER) information in semi-arid Niger. *Journal of Arid Environments* 39, pp.631-644.
- 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. *Hohenheimer Bodenkundliche Hefte* 55: 205 S.
- Hargraeves G.H. (1974): Climatic zoning for agricultural production in Northeast Brazil. Utah State University. 6 p.
- Hartmann, K.-J. und Schmidt, R. (1995): Methodenbausteine im Bodeninformationssystem - Fachinformationssystem Bodenschutz Brandenburg. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.* 76:1061-1064.
- Heineke, H.J., Filipinski, M. (1995): Aufbau des Fachinformationssystems Bodenkunde. *Geol. Jb.* 30, F 30. Hannover.
- Hilger, T.H., Gaiser, T., Herfort, J., Ferreira, L.G.R., Leihner, D. E. (2000): 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. CD-ROM.
- Hörmann, G. (1999b). Simpel - Speichermodelle zum Bodenwasserhaushalt; Ecosystem Research Center Kiel. URL: <http://www.pz-oekosys.uni-kiel.de>
- IBGE (1998). Censo Agropecuário 1995/96. Rio de Janeiro.
- Klingebiel A.A. und Montgomery, P.H. (1961): Agricultural Handbook Nr. 210, USDA, Washington 1961.
- Krol, M., Fuhr, D., Döring, A. (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.
- Krol, M., Jaeger, A., Bronstert, A., Krywkow, J. (2001): The Semi-arid Integrated Model (SIM), a regional integrated model assessing water availability, vulnerability of ecosystems and society in NE-Brazil. *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, 26(7/8), 529-533
- Lange, F.-M., D. Halm, T. Gaiser (2002): Seepage and groundwater recharge in sandy/loamy Chapada soils of the Picos region, Piauí. In: T. Gaiser, M. Krol, H. Frischkorn, J.C. de Araújo (Eds.), *Global Change and Regional Impacts: Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society in the Semiarid Northeast of Brazil*. Margraf Verlag, Weikersheim, Germany. (in press).
- Müller, U. (1997): Auswertungsmethoden im Bodenschutz - Dokumentation der Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS). 6. Auflage. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. 322 S.
- Printz, A.; Lang, R. (2002): The GIS based model for sustainable development of land use (MOSDEL). In: Gaiser, T., Krol, M., Frischkorn, H. de Araujo, J.C. (Eds.), 2002. *Global Change and Regional Impacts: Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society in Semi-Arid Northeast Brazil*. Weikersheim.
- Printz, A.; Mörtl, S.; Oliveira, V.P.V.d.; Voerkelius, U. (2000): Integration of WAVES research results on regional scale by MOSDEL. In: Proceedings of the III. International WAVES Workshop in Freising-Weißenstephan. Freising: Technische Universität München, Lehrstuhl für Landschaftsökologie, p. 81-85.
- 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.
- Rossiter, D.G. (1990): ALES: A framework for land evaluation using a microcomputer. *Soil Use and Management* 6(1): 7-20.
- Sanchez, P.A., Couto, W. und Buol S.W. (1982): Fertility Capability Classification. *Geoderma* 27:283.
- Sys, C., Van Ranst, E., Debaveye, J. (1991): Land Evaluation. Part II: Methods in Land Evaluation. General Administration for Development Cooperation, Brüssel, Belgien. 247 S.
- USDA (1990): EPIC - Erosion/Productivity Impact Calculator. 1. Model Documentation. U.S. Department of Agriculture. Technical Bulletin No. 1768. Washington D.C., USA. 235 S.

4 Verwertbarkeit der Ergebnisse

Das Boden- und Landressourceninformationssystem SPICE stellt für die Landesministerien in Piauí und Ceará ein innovatives Planungsinstrument dar, das nach Anpassung an den jeweiligen Bedarf, in der Regionalplanung eingesetzt werden kann. Teile von SPICE wurden bereits zusammen mit dem GIS basierten integrierten Regionalmodell MOSDEL-Tauá im Planungsministerium von Ceará installiert. Einführungskurse in die Handhabung der Datenbanken

hängen im Moment von der Finanzierung der Kursleiter sowie von der Einrichtung zusätzlicher Stellen am Planungsministerium von Ceará ab. Falls es in Ceará zu der seit 2001 geplanten Verbesserung der Landesaufnahme der Bodenressourcen (Massstab 1:100.000, bisher 1:600.000) kommt, wäre SPICE mit dem bereits erprobten Datenmodell und den implementierten Anwendungen das geeignete Instrument zur Erfassung, Auswertung und Nutzung der Bodendaten.

5 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Eigene Veröffentlichungen der Bearbeiter des Vorhabens:

- Gaiser T. and 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. and Graef, F. (2001): Calibration of a parametric land evaluation method for cowpea and pearl millet production in semiarid regions. *Agronomie*. (accepted)
- Gaiser, T. and Stahr K. (2001): Bodeninformationssysteme zur Bereitstellung von Bodeninformation auf verschiedenen Maßstabsebenen - eine Fallstudie aus Nordost-Brasilien. *Mitteilungen Dtsch. Bodenkundl. Gesell.*, 96(2):497-498.
- Gaiser, T. and T.H. Hilger (1997): Simulation der Ertragsbildung von Trockenreis auf stark verwitterten tropischen Böden. *Mitteilungen Dtsch. Bodenkundl. Gesell.*, 85(II), S. 891-894
- Gaiser, T., F. Graef, T.H. Hilger, L.G.R. Ferreira, K. Stahr (2002): An information system for land resources in Piauí and Ceará. In: T. Gaiser, M. Krol, H. Frischkorn, J.C. de Araújo (Eds.), *Global Change and Regional Impacts: Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society in the Semiarid Northeast of Brazil*. Margraf Verlag, Weikersheim, Germany. (in press).
- Gaiser, T., Ferreira, L.G.R. and Stahr, K. (2001): Potential applications of the soil and terrain information system SPICE in soil degradation risk assessment. *Proceedings 3rd International Conference on Land Degradation*, 17-21/9/2001, Rio de Janeiro. (accepted).
- Gaiser, T., Ferreira, L.G.R., Hilger, T.H., Römheld, V. and Stahr, K. (2000): The land resources information system SPICE as a tool for integration of the results of 'the research area "Agroecosystems"'. In: Printz, A. (ed.), *Proceedings of the III. International WAVES Workshop in Freising-Weihenstephan*. Technische Universität München, Institut für Landschaftsökologie. pp. 46-49.
- Gaiser, T., Graef, F. and Cordeiro, J.C. (2000): Water retention characteristics of sandy soils with contrasting clay mineral composition in semi-arid tropical regions. *Australian Journal of Soil Research* 38:523-536.
- Gaiser, T., Hilger, T.H., Ferreira, L.G.R., Herfort, J., Barros, I. and Stahr, K. (2000) : 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*. Deutscher Tropentag on 14/15 October 1999 in Berlin. Humboldt Universität zu Berlin, Fachgebiet Tierzucht in den Tropen und Subtropen. Berlin, Germany. CD-Rom.
- Gaiser, T., Hilger, T.H., Ferreira, Luiz G. R., Herfort, J., de Barros, I., Stahr, K. (2000): SPICE - a Land Resources Information System for the States of Piauí and Ceará (Brazil). *Proceedings of the German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems*, 3-8 September 2000 at Hamburg. GKSS, Geesthacht. (CD-ROM).
- Gaiser, T., Marohn, C., Bach, B. and Stahr, K. (1999): Standortsbewertung im semi-ariden Nordosten Brasiliens (Land evaluation in the Northeast of Brazil). *Mitteilungen Dtsch. Bodenkundl. Gesell.* 91(2):981-984.
- Gaiser, T., Zellhuber, A. and Mörtl, S. (2000): GIS-gestützte Zuordnung von Landnutzungs- und Bodenmustern als Grundlage für die Regionalplanung im Nordosten Brasiliens. In: *International Agricultural Research - A Contribution to Crisis Prevention*. Deutscher Tropentag on October 11-12, 2000 in Hohenheim. Universität Hohenheim, Tropenzentrum. CD-ROM.
- Gaiser, T., Ferreira, L.G.R., Stahr, K. (2002): Overview of the WAVES program. In: T. Gaiser, M. Krol, H. Frischkorn, J.C. de Araújo (Eds.), *Global Change and Regional Impacts: Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society in the Semiarid Northeast of Brazil*. Margraf Verlag, Weikersheim, Germany. (in press).
- 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. *Hohenheimer Bodenkundliche Hefte* 55: 205 S.
- 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, T. and Stahr, K. (2002): Seepage and groundwater recharge in sandy soils of the semi-arid Northeast of Brazil. *N. JB. Geol. Paläont.* (in press)
- Halm, D., Gaiser, Th., Stahr, K. (1999): Does magnetite influence TDR measurements? *J. Plant Nutr. and Soil Sci.* 162 (6):661-666.
- Lange, F.- M., Gaiser, T. and Stahr, K. (2001): Vergleichende Bodenfeuchtemessungen mit TDR-Sonden auf natürlichen und landwirtschaftlich genutzten Standorten in der Mikroregion Picos/Piauí im semiariden Nordosten Brasiliens zur Validierung eines lokalen Wasserhaushaltsmodells. *Mitteilungen Dtsch. Bodenkundl. Gesell.*, 96(1):101-102.
- Lange, F.-M., D. Halm, T. Gaiser (2002): Seepage and groundwater recharge in sandy/loamy Chapada soils of the Picos region, Piauí. In: T. Gaiser, M. Krol, H. Frischkorn, J.C. de Araújo (Eds.), *Global Change and Regional Impacts: Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society in the Semiarid Northeast of Brazil*. Margraf Verlag, Weikersheim, Germany. (in press).
- Lange, F.-M.: Regionaler Wasserbedarf in der Landwirtschaft im Nordosten Brasiliens. Ph.D. thesis. University of Hohenheim. In Vorbereitung.
- Marohn, C. (1998): Standortkundliche Charakterisierung unterschiedlicher landwirtschaftlicher Betriebe im semi-ariden Nordosten Brasiliens zur Ermittlung angepaßter Landnutzungsformen. Diplomarbeit. Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortslehre. 122 S.
- Pfister, M.: Standortbewertung in ausgewählten Landschaftstransekten in der Region Picos (NO Brasilien). Master. University of Tübingen/ University of Hohenheim. 2002.
- Weiss, U (1995): Verbreitung und Standortseigenschaften von Böden in zwei ausgewählten Kleinlandschaften in Piauí (NO Brasilien). Diplomarbeit. Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortslehre. 115 S.

Veröffentlichungen unter Mitwirkung der Bearbeiter des Vorhabens:

- De Barros, I., Gaiser, T., Herfort, J. and Roemheld, V. (2000): 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.*
- De Barros, I., Gaiser, T., and Römheld, V. (2001): Validation of the EPIC model for nitrogen and phosphorus uptake by intercropped maize and cowpea on a Alumi-Haplic Acrisol. In: Horst, W.J. et al., *Plant nutrition - Food security and sustainability of agroecosystems. Developments in Plant and Soil Sciences.* 92:948-949.
- De Barros, I., Gaiser, T., and Römheld, V. (2002): Nutrient limitations in maize and cowpea intercropping systems in the semiarid Northeast of Brazil. I - Biomass production and yield. *Plant and Soil* (submitted).
- De Barros, I., Gaiser, T., and Römheld, V. (2002): Nutrient limitations in maize and cowpea intercropping systems in the semiarid Northeast of Brazil. II - Nutrient uptake. *Plant and Soil* (submitted).
- De Barros, I., Gaiser, T., and Römheld, V. (2002): Nutrient limitations in maize and cowpea intercropping systems in the semiarid Northeast of Brazil. III - Root development. *Plant and Soil* (submitted).
- De Barros, I., Williams, J.R. and Gaiser, T. (2002): Modelling soil nutrient limitations to crop growth, yield and nutrient uptake in the semiarid NE of Brazil with EPIC. I. Changes in the source code. *Ecological Modeling* (in preparation).
- De Barros, I., Williams, J.R. and Gaiser, T. (2002): Modelling soil nutrient limitations to crop growth, yield and nutrient uptake in the semiarid NE of Brazil with EPIC. II. A simplified model for the dynamics of potassium in soil and plant. *Ecological Modeling* (in preparation).
- De Barros, I., Williams, J.R. and Gaiser, T. (2002): Modelling soil nutrient limitations to crop growth, yield and nutrient uptake in the semiarid NE of Brazil with EPIC. III. Field test of the model. *Ecological Modeling* (in preparation).
- Güntner, A., Bronstert, A. & Gaiser, Th. (1999): Parameterization of lateral hydrological processes based in geomorphologic units. In: IUGG 99, XXII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, Birmingham. *Books of abstracts II*, p. B.317.
- Herfort J., de Barros I., Hilger T.H., Gaiser T., Ferreira L.G.R., Römheld V., Leihner D.EV. (2000): Adaptation of the crop growth models EPIC and ALMANAC to local cowpea and maize cropping systems in the Northeast of Brazil. *Proceedings of the German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems, 3-8 September 2000 at Hamburg. GKSS, Geesthacht. (CD-ROM).*

- Herfort, J., I. de Barros, L.G.R. Ferreira, T. Gaiser, L. Schneider, B. Bach, T. Hilger (2002): Effectiveness of Fertilisation and other Agricultural Management Options in Picos and Tauá, NE Brazil. In: T. Gaiser, M. Krol, H. Frischkorn, J.C. de Araújo (Eds.), *Global Change and Regional Impacts: Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society in the Semiarid Northeast of Brazil*. Margraf Verlag, Weikersheim, Germany. (in press).
- Herfort, J., T.H. Hilger, D. E. Leihner, T. Gaiser, and L. G. R. Ferreira (1999): Calibration of EPIC for Simulation of Crop Growth in NE Brazil. Poster presented at the Food and Forestry: Global Change and Global Challenges GCTE Focus 3 Conference, September 20-24, 1999, Reading, UK (Abstract)
- Hilger T.H., Herfort J., Gaiser T., Ferreira L.G.R., Leihner D.E. (2000): Potential of EPIC and ALMANAC to estimate crop yields under erratic rainfall in NE-Brazil. Proceedings of the German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems, 3-8 September 2000 at Hamburg. GKSS, Geesthacht. (CD-ROM).
- Hilger, T. H., Herfort, J., de Barros, I., Gaiser, T., Saboya, L.M.F., Ferreira, L.G.R. and Leihner, D.E. (2000): Potential of EPIC for Crop Growth Simulation in Semiarid Environments of NE Brazil. In: *International Agricultural Research - A Contribution to Crisis Prevention*. Deutscher Tropentag on October 11-12, 2000 in Hohenheim. Universität Hohenheim, Tropenzentrum. CD-ROM.
- Hilger, T.H., Gaiser, T., Herfort, J., Ferreira, L.G.R., Leihner, D. E. (2000): 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*. Deutscher Tropentag on 14/15 October 1999 in Berlin. Humboldt Universität zu Berlin, Fachgebiet Tierzucht in den Tropen und Subtropen. Berlin, Germany. CD-Rom.
- Hilger, T.H., Herfort, J., Gaiser, T., Leihner, D.E., and Ferreira, L.G.R. (2000): Calibration of EPIC/ALMANAC in semi-arid environments of NE-Brazil. In: Printz, A. (ed.), *Proceedings of the III. International WAVES Workshop in Freising-Weihenstephan*. Technische Universität München, Institut für Landschaftsökologie. pp. 41-45.

