

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

Verbundprojekt WAVES

Abschlussbericht

Fachbereich: Agrarökosysteme

Arbeitsgruppe Pflanzenbau

Vorhaben: **Auswirkungen von Klimaänderungen auf Entwicklung und Ertrag von Mais und Cowpea unter kleinbäuerlichen Anbaubedingungen in semi-ariden Gebieten**

Zuwendungsempfänger: Universität Hohenheim

Förderkennzeichen: 01 LK 9711/9

Projektleiter: Prof. Dr. Dietrich E. Leihner

Brasilianische Partner: Prof. Dr. Luiz Gonzaga Rebouças Ferreira
Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia Agrícola
60455-760 Fortaleza

Prof. Dr. João Pitombeira
Universidade Federal do Ceará
Departamento de Fitotecnia
60455-760 Fortaleza

Laufzeit des Vorhabens: 01.08.1997 - 31.07.2000

Berichtszeitraum: 01.08.1997 - 31.07.2000

Bearbeitung: Dr. Thomas H. Hilger
Dipl. Ing. agr. Joachim Herfort

Stuttgart-Hohenheim, den 31. März 2001
Institut für Pflanzenproduktion und Agrarökologie in den Tropen und Subtropen
Kirchnerstr. 5, 70599 Stuttgart

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung/Summary	3
2 Einleitung.....	5
2.1 Aufgabenstellung.....	6
2.2 Planung und Ablauf	7
2.3 Wissenschaftlicher und technischer Stand.....	8
2.4 Zusammenarbeit mit anderen Partnern.....	9
3 Ergebnisse.....	10
3.1 Methodisches Vorgehen.....	10
3.1.1 Datenerhebung im Fokusgebiet Picos	10
3.1.2 Validierung von EPIC und ALMANAC	13
3.2 Auswertung der Versuchsergebnisse	14
3.2.1 Feldversuche im Fokusgebiet Picos	14
3.2.2 Schlussfolgerungen aus den Feldversuchen	19
3.2.3 Simulation und Validierung der Modelle	21
3.2.4 Schlussfolgerungen aus der Validierung und Kalibrierung der Modelle	26
3.2.5 Integration von EPIC/ALMANAC auf der Meso- und Makroskala.....	27
3.3 Zusätzliche erbrachte Leistungen im Rahmen des Verbundprojektes	28
3.4 Zitierte Literatur	29
4 Anhang.....	32
4.1 Ertragsdaten aus den Feldversuchen in der Fokusregion Picos	32

1 Zusammenfassung/Summary

Zusammenfassung

In Nordostbrasilien ist die Landwirtschaft durch ungünstige Bodeneigenschaften und Niederschlagsverteilung sehr stark benachteiligt. Dabei wirken sich vor allem die sporadisch auftretenden Unterbrechungen der Regenzeit ungünstig auf die landwirtschaftliche Produktion aus. Diese können bis zu drei Wochen und länger andauern. Rund die Hälfte der Landfläche Nordostbrasilien ist von diesem Phänomen betroffen. Wegen der Häufigkeit und der Intensität mit der diese Trockenphasen auftreten können, wird das Gebiet auch als das Polygon der Trockenheit bezeichnet. In Trockenjahren kommt es verstärkt zur Landflucht, da die Mehrzahl der Bevölkerung Nordostbrasilien in der Landwirtschaft beschäftigt ist. Ziel der Landflucht sind die urbanen Zentren des Landes und das Amazonasbecken. Der ländliche Exodus führt zu erheblichen sozialen Spannungen innerhalb der brasilianischen Gesellschaft und wirkt sich nachteilig auf den Fortbestand der natürlichen Ressourcen aus. Es ist zu befürchten, dass sich diese Situation durch den globalen Klimawandel noch verschärfen wird.

Ziel des deutsch-brasilianischen Verbundprojektes WAVES ist es, die Grundzüge des bestehenden Systemgefüges auszuarbeiten und mögliche Pfade einer nachhaltigen, gemeinsamen Entwicklung von Natur und Gesellschaft am Beispiel semiarider Regionen der Staaten Piauí und Ceará aufzuzeigen. Zur Erreichung dieser Ziele wurden die integrierten Modelle SIM (Semiarid Integrated Model) und MoSDEL (Model for Sustainable Development of Land Use) entwickelt, um Strategien einer nachhaltigen Systemsteuerung unter sich wandelnden klimatischen und sozioökonomischen Bedingungen zu evaluieren. Aufgabe der Arbeitsgruppe Pflanzenbau ist es dabei, Wachstum und Ertragsbildung von für die Region wichtigen Kulturpflanzen am Beispiel von Mais und Cowpea zu beschreiben. Gleichzeitig wird geprüft, ob sich die Simulationsmodelle *Environmental Policy Integrated Climate Model* (EPIC) und *Agricultural Land Management Alternatives with Numerical Assessment Criteria* (ALMANAC) für die Simulation der Pflanzenproduktion unter den schwierigen Standortbedingungen Nordostbrasilien eignen.

Hierzu wurden im Januar 1998 Feldversuche mit den für Kleinbauern wichtigen Kulturpflanzen Mais (*Zea mays* L.) und Cowpea (*Vigna unguiculata* Walp. (L.)) auf zwei für die Landwirtschaft repräsentativen Standorten im Munizip Picos, Piauí als 'on-farm' Versuche angelegt. Die Feldversuche wurden über drei Vegetationsperioden (Januar 1998 bis Mai 2000) unter enger Beteiligung der Bauern durchgeführt und dienen zur Beschreibung von Wachstum und Ertragsbildung bei Lokalsorten in traditionellen und verbesserten Anbausystemen. Dazu wurden Pflanzenparameter, wie z. B. *Light Transmission Ratio* (LTR), *Crop Growth Rate* (CGR) und *Leaf Area Index* (LAI), in regelmäßigen Abständen bestimmt. Ferner wurden diese Daten für die Validierung und Kalibrierung des *Cropfiles* von EPIC und ALMANAC verwendet. Beide Pflanzenwuchsmodelle sollen die Simulation der Pflanzenproduktion in der Integrierten Modellierung des Gesamtprojektes übernehmen. Um die Datenbasis für die Validierung der beiden Pflanzenwuchsmodelle zu vergrößern, wurden in der Umgebung von Picos weitere Messparzellen auf Bauernfeldern installiert. Darüber hinaus wurden weitere für die Region wichtige Kulturpflanzen, Reis und Maniok, unter traditioneller Bewirtschaftung in das Untersuchungsprogramm aufgenommen.

Die Ergebnisse der Feldversuche zeigen, dass Mais aufgrund der ungünstigen Bodeneigenschaften und Niederschlagsverteilung der Hochflächen in der Fokusregion Picos als nicht geeignete Kultur auf diesen Flächen angesehen werden muss, während Cowpea eine

der wenigen Kulturpflanzen ist, die unter diesen marginalen Standortbedingungen angebaut werden kann. Trotz der sehr ungünstigen Niederschlagsverteilung in allen Versuchsjahren lieferte Cowpea im Vergleich zu den Durchschnittserträge für Piauí relativ gute Erträge, während Mais in beiden Jahren äußerst geringe Erträge erbrachte. Auch der zusätzlich ins Untersuchungsprogramm aufgenommene Maniok (*Manihot esculenta* Crantz) zeichnete sich unter den schwierigen Anbaubedingungen dieser Region durch ein im Vergleich zu Mais deutlich besseres Ertragspotential aus. Reis (*Oryza sativa* L.) stellt am Talstandort eine interessante ökonomische Alternative dar, während Cowpea auf diesem Standort in Jahren mit überdurchschnittlich hohen Niederschlägen häufig Probleme hat. Allerdings stellt der Anbau von Cowpea in der Trockenzeit unter Bewässerung für diesen Standort eine weitere interessante Option dar. Eine mineralische Düngung wirkte sich positiv auf die Erträge aus und zeigt die Notwendigkeit des Einsatzes dieses Betriebsmittels, wenn die pflanzliche Produktion erhöht werden soll.

Die Einbindung von EPIC und ALMANAC in die WAVES Modelle SIM und MOSDEL ist abgeschlossen. Die Validierung hat gezeigt, dass beide Modelle noch Probleme mit der Simulation des Pflanzenwuchses und der Ertragsbildung in verbesserten Anbausystemen haben. Eine erste Kalibrierung der Eingabeparameter führte zu einer Verbesserung der Simulationsergebnisse. Die bisher erzielten Ergebnisse sind dennoch befriedigend.

Summary

In Northeast Brazil, agriculture is strongly handicapped by adverse soil conditions and unfavorable rainfall distribution. Sporadic droughts lasting up to three and more weeks strongly reduce agricultural production. Due to their occurrence, the area is also known as the polygon of droughts. Almost half of the Northeast-Brazilian territory is affected by this phenomenon. The occurrence of these droughts leads to an increase in migration, often having a strong impact on the Brazilian Society and the natural resources. It is feared that this situation may be aggravated by global climate change.

The objectives of the German-Brazilian joint program WAVES are to analyze the systems and to describe possible paths of a sustained development of both society and nature in semi-arid regions of Piauí and Ceará. To reach this goal, the integrated models SIM (Semi-arid Integrated Model) and MoSDEL (Model for Sustainable Development of Land Use) were developed for evaluating strategies of a sustainable development under changing climatic and socioeconomic conditions. It is task of working group Crop Production to describe growth and yield performance of regionally important crops by using maize and cowpea exemplarily. Furthermore, the reliability of the crop models EPIC and ALMANAC will be tested under the adverse site conditions of Northeast Brazil.

In January 1998, three on-farm field trials with maize (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) were established on two representative site in the municipality of Picos. The layout of the field trials represents both traditional and improved cropping practice. Plant parameters such as light transmission ratio, crop growth rates, and leaf area index were periodically determined to describe the growth and yield performance of maize and cowpea. These data were also used for the calibration of the EPIC/ALMANAC crop files. For increasing the number of data sets, additional observation plots collected from traditionally cropped farmers' fields were included in the test program.

The results of three growing periods indicated that maize is not suited for being cropped on the plateau site on account of the unfavorable soil characteristics and rainfall distribution whereas

cowpea is one of the few crops which copes with the adverse site conditions. In comparison to Piauí, cowpea presented grain yields above the average, even under the disastrous rainfall distribution of 1998. Cassava (*Manihot esculenta* Krantz) which was additionally included in the test program also performed well under the adverse site conditions of Picos. Rice (*Oryza sativa* L.) is considered as an economically interesting alternative for the valley sites, whereas cowpea showed problems at this site, particularly in humid years. But Cowpea cropping under irrigation may also be an promising option for the dry season. Applying mineral fertilizers improved crop performance clearly demonstrated the importance of this farm input for improving crop production in this area.

Meanwhile, both models are linked to the integrated WAVES models SIM and MOSDEL. But, still both models present problems in the simulation when improved cropping practices were introduced in the simulation runs. Model calibrations improved the simulation results. EPIC/ALMANAC are suited to simulate growth and yield performance of the locally important food crops in the various landscape units of the WAVES focus areas

2 Einleitung

Wasser und seine Verfügbarkeit ist das zentrale Problem im Nordosten Brasiliens. Die Wasserverfügbarkeit wird durch eine erratische Niederschlagsverteilung erheblich beeinträchtigt. Das Klima der Untersuchungsregion ist sowohl durch extreme Trockenheit als auch durch überdurchschnittlich hohe Niederschläge gekennzeichnet, die sporadisch auftreten und von Jahr zu Jahr sehr stark schwanken können. Diese Niederschlagsverteilung führt häufig zu klimatischen Katastrophen in Form von langanhaltenden Dürren oder verheerenden Überschwemmungen führen. Rund 55% der Fläche Nordostbrasilien oder 665.000 km² sind hiervon betroffen. Aufgrund der Häufigkeit, mit der vor allem Trockenperioden eintreten können, wird dieses Gebiet auch als das Polygon der Trockenheit bezeichnet (Brühl, 1985). Das Eintreten von Dürre- oder Feuchtperioden kann sowohl räumlich als auch zeitlich von Jahr zu Jahr sehr stark schwanken (Conti, 1995). Die Intensität dieser Klimaanomalien ist ebenfalls sehr unterschiedlich.

Diese bereits im vorigen Jahrhundert beobachtete Variabilität des Klimas hat nach Holzborn (1978) den Nordosten Brasiliens in seiner Entwicklung entscheidend beeinflusst und den Grundstein für die im Vergleich zu den im Süden und Südosten gelegenen Bundesstaaten rückständige Entwicklung des Nordostens gelegt. Vor allem die landwirtschaftliche Produktion, die immer noch die Lebensgrundlage für die Mehrzahl der Bevölkerung dieser Region bildet, wird durch die Klimavariabilität erheblich beeinträchtigt. Zum einen ist der Beginn der Regenzeit sehr ungewiss, zum anderen kann es infolge von heftigen Niederschlägen zu Beginn der Regenzeit zu Überschwemmungen kommen, die den Feldaufgang von frisch gesäten Kulturen verschlechtern und zu lückigen Beständen führen. Ferner können sporadisch auftretende Unterbrechungen der Regenzeit, im brasilianischen Sprachgebrauch als *Veranicos* bezeichnet, die eine Länge von drei und mehr Wochen erreichen können, die Pflanzenbestände stark dezimieren. Häufig treten diese Unterbrechungen nach einer guten Regenphase zu Beginn der Vegetationsperiode auf. Je nach Länge der Unterbrechung und je nachdem, ob sie während einer sensiblen Phase der Pflanzenentwicklung auftreten, können diese zu starken Ertragseinbußen vor allem bei Anbau annualer Kulturpflanzen im Regenfeldbau. Die Höhe der Ertragsverluste kann von Jahr zu Jahr und von Region zu Region stark variieren. Laut IBGE (1999) weisen in Piauí rund 30 % der Anbaufläche von Cowpea und rund 40 % der Maisanbaufläche selbst in Jahren mit relativ hoher Gesamtniederschlagsmenge Ernteverluste aufgrund von *Veranicos* auf. In extrem trockenen Jahren kann es zu einem Totalverlust der

Ernte kommen. Für das landwirtschaftlich geprägte Landesinnere der Nordostregion hat dies gravierende soziale Folgen.

Die aktuelle Landnutzung mit extensiver Weidehaltung auf Bracheflächen, die zuvor ein bis maximal drei Jahre über traditionelle Formen des Regenfeldbaus ohne jegliche Inputs in Form von organischen oder mineralischen Düngern genutzt wurden, wirkt sich oft nachteilig auf die Erhaltung der Fruchtbarkeit der in Nordostbrasilien verbreiteten Bodentypen aus. Geringe Gehalte an verwitterbaren Mineralreserven, eine niedrige Kationenaustauschkapazität der Böden, vielfach starke Neigung der Böden zur irreversiblen P-Fixierung, Bodenversauerung in Verbindung mit Aluminiumtoxizität, geringe nutzbare Feldkapazitäten aufgrund toniger oder sandiger Textur und Versalzung sind weitere Probleme der landwirtschaftlichen Nutzung in dieser Region.

In Verbindung mit den ungünstigen klimatischen Bedingungen ergibt sich aufgrund der marginalen Standortbedingungen bei unsachgemäßer Landnutzung eine erhebliche Gefährdung für den Fortbestand der natürlichen Ressourcen. Nach Freire et al. (1994) sind in Nordostbrasilien 55 % der Fläche und 42 % der Bevölkerung Nordostbrasilien durch Desertifizierung gefährdet. Einer Studie der EMBRAPA (1995) zur Folge sind in Nordostbrasilien bereits heute auf rund 12 % der Fläche Merkmale von Bodendegradation deutlich erkennbar.

Neben den naturräumlichen Verhältnissen sind es auch die zum Teil noch aus der Kolonialzeit stammenden sozioökonomischen Strukturen im Agrarbereich, die ein Hemmschuh für moderne Entwicklungen im Nordosten darstellen (Brühl, 1985). Außerlandwirtschaftliche Erwerbsquellen stehen in Nordostbrasilien nur begrenzt zur Verfügung. Eine industrielle Entwicklung findet hier höchstens entlang des schmalen Küstenstreifens statt und konzentriert sich größtenteils auf die urbanen Zentren. Im Landesinneren gibt es jedoch kaum industrielle Ansiedlungen, so dass große Teile der Bevölkerung direkt oder indirekt von der Landwirtschaft leben. Die fehlenden Perspektiven im ländlichen Raum fördern die Landflucht und lösen, vornehmlich in Trockenjahren, Migrationen in andere Teilregionen Brasiliens mit stark negativen Folgen für Gesellschaft und Natur aus. Rund 82 bzw. 92 % der Staatsfläche der Bundesstaaten Piauí und Ceará liegen im Einflussbereich des Polygons der Trockenheit. Zukünftige Klimaveränderungen könnten diese Situation noch verschlechtern und den Druck auf die natürlichen Ressourcen und die brasilianische Gesellschaft noch weiter verschärfen.

2.1 Aufgabenstellung

Ziel des deutsch-brasilianischen Verbundprojektes WAVES ist es:

- die Grundzüge des bestehenden Systemgefüges in einem interdisziplinären Ansatz zu analysieren,
- mögliche Pfade einer nachhaltigen, gemeinsamen Entwicklung von Natur und Gesellschaft am Beispiel semiarider Regionen der brasilianischen Bundesstaaten Piauí und Ceará aufzuzeigen und
- ein integriertes Regionalmodell zu entwickeln, um Strategien einer nachhaltigen Systemsteuerung unter sich wandelnden klimatischen und sozioökonomischen Bedingungen zu evaluieren.

Im Rahmen des Verbundprojektes war es Aufgabe der AG Pflanzenbau, Wachstum und Ertragsbildung von zwei für die Region wichtigen Kulturpflanzen - Mais (*Zea mays* L.) und Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) - an ausgewählten Standorten in Piauí und Ceará unter traditionellen Anbaubedingungen zu beschreiben. Ferner werden verschiedene

Managementmaßnahmen zur Sicherung und Stabilisierung der landwirtschaftlichen Erträge getestet, um Alternativen zu den herkömmlichen Anbausystemen aufzuzeigen. Mit Hilfe der im Feld erhobenen Daten sollen die dynamischen Simulationsmodelle EPIC (**E**nvironmental **P**olicy **I**ntegrated **C**limate **M**odel) und ALMANAC (**A**gricultural **L**and **M**anagement **A**lternatives with **N**umerical **A**ssessment **C**riteria) auf ihre Anwendbarkeit unter traditionellen Anbaubedingungen geprüft werden und gegebenenfalls an 'low input' Bedingungen, wie sie in der Projektregion vorherrschen, angepasst werden.

2.2 Planung und Ablauf

Hinsichtlich der Feldaktivitäten konzentrierten sich die Arbeiten auf deutscher Seite auf den Bundesstaat Piauí mit der Fokusregion Picos, während die brasilianischen Partner der Arbeitsgruppe Pflanzenbau vornehmlich den Bundesstaat Ceará mit dem Fokusgebiet Tauá bearbeiteten.

Zur Erreichung der o. g. Zielsetzung wurden Feldversuche mit Mais und Cowpea in der Region Picos auf je einem Standort im Tal und der Hochfläche (Chapada) angelegt. Die Feldversuche wurden über drei Vegetationsperioden durchgeführt. Aufgrund ungünstiger klimatischer Verhältnissen kam es zu witterungsbedingten Ausfällen auf einigen der ausgewählten Versuchsflächen. Um dennoch genügend Daten für die Validierung der Pflanzenwachstumsmodelle EPIC und ALMANAC zu erhalten, wurden zusätzliche Versuchsflächen angelegt. Neben der Gewinnung weiterer Datensätze für die Modelvalidierung dienten sie dazu, die Auswirkung eines verbesserten agronomischen Managements auf die Entwicklung und Ertragsbildung der verwendeten Kulturpflanzen zu erfassen. Unter anderem wurde der Einsatz von Mineraldünger, verschiedene Sorte und Bestandesdichten sowie eine Sortenmischungen zur Minimierung des Anbaurisikos getestet.

Darüberhinaus wurden auf verschiedenen Bauernfeldern Messparzellen angelegt, um

- weitere Standorte in die Untersuchungen einzubeziehen,
- einen Vergleich zwischen Daten aus Feldversuchen mit Ertragsdaten von Kleinbauern zu ermöglichen und
- weitere Kulturen, wie z. B. Maniok und Reis, in die Untersuchungen einzubeziehen.

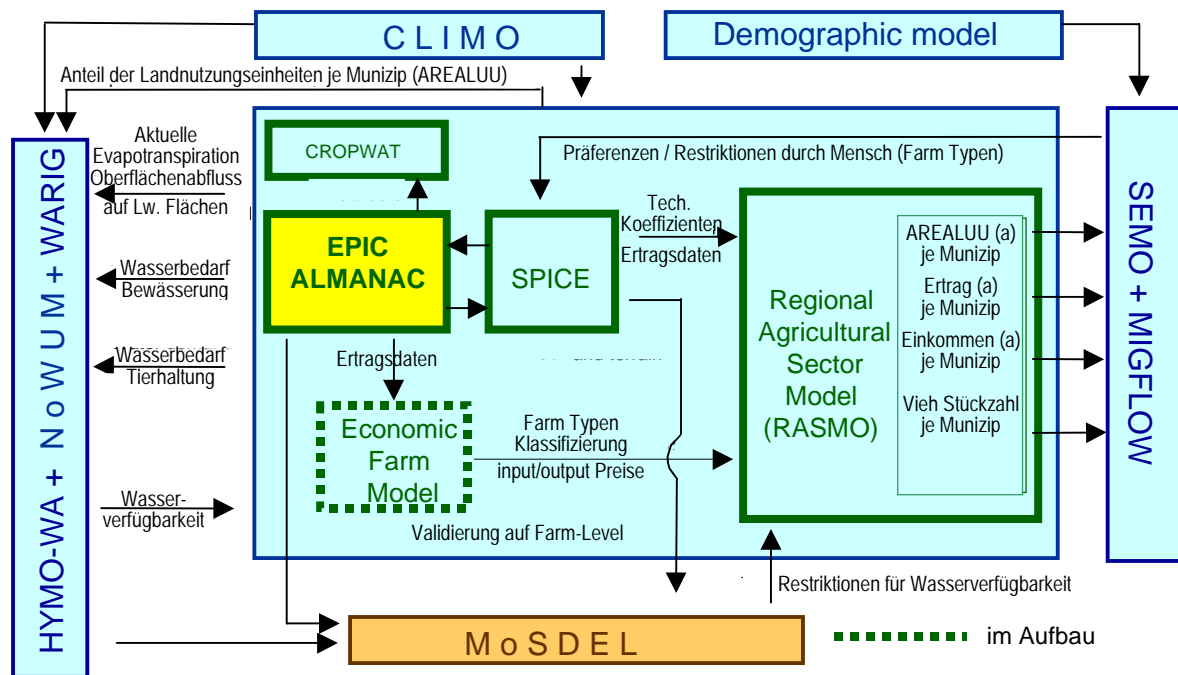
Diese Arbeiten ergänzten zusätzlich durchgeführte Arbeiten der brasilianischen Partner im Bundesstaat Ceará.

In den Feldversuchen wurden sowohl Standortdaten zu Klima und Boden als auch zur Entwicklung und Ertragsbildung der ausgewählten Kulturpflanzen erhoben. Die Daten aus den Feldversuchen dienten zur Validierung der von der AG Pflanzenbau verwendeten Simulationsmodelle.

Die Einbindung von EPIC und ALMANAC in die von WAVES entwickelten integrierten Modelle SIM (**S**emiarid **I**ntegrated **M**odel; Fachbereich Integrierte Modellierung) und MoSDEL (**M**odel for **S**ustainable **D**evelopment of **L**and **U**se; Fachbereich Landschaftsökologie) ist in Abb. 1 dargestellt.

Die von den Modellen EPIC und ALMANAC simulierten Produktionsdaten werden mit Hilfe des Bodeninformationssystems SPICE (**S**oil and Land Resource Information System for the States of **P**iauí and **C**eará; Fachbereich Agrarökosysteme) aggregiert und gehen in die Berechnungen des Agrarsektormodells RASMO (**R**egional **A**gricultural **S**ector **M**odel; Fachbereich sozioökonomische und –kulturelle Analysen) ein. Über diese Schnittstelle stehen die Pflanzenproduktionsdaten den beiden integrierten Modelle SIM und MoSDEL sowie den

Teilmodulen der anderen AGs des Verbundprojektes WAVES für weitere Berechnungen zur Verfügung.



Anm.: ALMANAC = Agricultural Land Management Alternatives with Numerical assessment Criteria; CLIMO = Climate Model; CROPWAT = Crop and Water Requirement; EPIC = Environmental Policy Integrated Climate model; HYMO-WA = large-scale Hydrological Model; MIGFLOW = Migration Flow; NoWUM = Nordeste Water Use Model; SEMO = Socioeconomic Model; SPICE = Soil and Land Resource Information System for the States of Piauí and Ceará; WARIG = Water Availability in the Rio Guaribas Watershed

Abb. 1. Die integrierten Modelle des Verbundprojektes WAVES SIM (Semi-arid Integrated Model; blau) und MoSDEL (Model for Sustainable Development of Land Use; braun) - Struktur und Schnittstellen zwischen den Teilmodellen und des Informationsflusses.

Neben diesen Aktivitäten war die Arbeitsgruppe Pflanzenbau in die Szenariengruppe von WAVES involviert. Zudem war die AG Pflanzenbau maßgeblich an der Planung und Durchführung verschiedener Informationsveranstaltungen über das WAVES Projekt in Piauí, wie z. B. den Informationstagen in Teresina und Picos Tag beteiligt.

2.3 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Mais und Cowpea sind sehr wichtige Nahrungskulturen für die Bundesstaaten Piauí und Ceará. Ihr Anteil an der Ackerfläche liegt in diesen beiden Bundesstaaten bei 20 bis 30 % (IBGE, 1996). Beide Kulturen werden häufig in Mischsystemen angebaut, wobei die Hektarerträge nach Cardoso et al. (1981a) meist sehr gering sind. Als mögliche Ursachen wird u. a. der mangelnde Einsatz von mineralischen Düngern, verbesserten Sorten und Bewässerung gesehen (Pinazza, 1991; Teixeira et al., 1988).

Die bisher in Piauí und Ceará auf diesem Gebiet durchgeführten Untersuchungen beschäftigen sich mit Bestandesdichten und -anordnungen von Mais und Cowpea in Mischbausystemen (Cardoso und Ribeiro, 1987; Cardoso et al., 1992), unterschiedlichen Kombinationen von Kulturpflanzen (Cardoso et al., 1981b) und dem Einsatz von verbesserten Sorten (Cardoso et al, 1981c; Cardoso und Filho, 1992; Costa et al, 1994). Die Entwicklung und Ertragsbildung von Lokalsorten unter kleinbäuerlichen Anbaubedingungen wurde bisher genauso wenig untersucht

wie der Einfluss eines verbesserten Managements auf den Ertrag von Lokalsorten, obwohl es sich bei Cowpea um eine der wichtigste kleinbäuerlichen Kulturpflanzenarten handelt (Teixera et al., 1988).

Die Verwendung von Pflanzenwachstumsmodellen ist ein relativ neues Wissensgebiet in Nordostbrasilien. Vereinzelt gibt es Erfahrung mit dem Pflanzenwachstumsmodell EPIC, welches gemeinsam mit seinem Abkömmling ALMANAC unter den gemäßigten Klimabedingungen der USA und unter Einsatz von verbesserten Sorten entwickelt wurde (Jones et al., 1984; Kiniry et al., 1992; Williams et al., 1983; Williams et al., 1984). EPIC wurde inzwischen erfolgreich unter verschiedenen Umweltbedingungen getestet (Cabelguenne and Debaeke, 1998; Caverro et al., 1998; Roloff et al., 1998). Untersuchungen in der Vorphase mit Reis hatten gezeigt, dass EPIC durchaus in der Lage ist, auch unter extremen Standortbedingungen, wie sie in Piauí vorherrschen, das Wachstum und Ertragsbildung zufriedenstellend zu simulieren (Gaiser und Hilger, 1997). Allerdings sind keine weiteren Tests mit EPIC/ALMANAC unter nordostbrasilianischen Standortbedingungen bekannt. Ferner existierte für Cowpea bisher kein *Cropfile*. Für Mais wurde der existierende *Cropfile* verwendet, dessen Eignung für Nordostbrasilien nicht bekannt war.

2.4 Zusammenarbeit mit anderen Partnern

Die Validierung der Modelle EPIC und ALMANAC benötigte eine enge Zusammenarbeit zwischen den deutschen und brasilianischen Partnern der Teilprojekte des Fachbereiches Agrarökosysteme.

Außerhalb der Fachbereiches Agrarökosysteme kam es vor allem mit der AG Sozioökonomie und dem FB Landschaftsökologie zu einer intensiven Zusammenarbeit. Das Teilprojekt Pflanzenbau lieferte gemeinsam mit den anderen Teilprojekten des FB Agrarökosysteme die Eingangsgrößen und technischen Koeffizienten für die Berechnung der landwirtschaftlichen Produktion, die von den Modellen der AG Sozioökonomie und des FB Landschaftsökologie benötigt werden. Ferner wurden für die AG Großskalige Wassermanagementmodellierung Parameter über Wasserverbrauch und Stickstoffbedarf von verschiedenen Kulturpflanzen zusammengestellt, die als Eingangsgrößen für das großskalige Wassermanagementmodell NoWUM (**N**ordeste **W**ater **U**se **M**odel) benötigt werden.

In Zusammenarbeit mit dem Departamento de Hidrometeorologia (DHME) der Secretaria de Agricultura in Piauí wurde im April 1999 ein zweitägiger Workshop im Auditorium der Secretaria de Agricultura durchgeführt, auf dem erste Ergebnisse aus den brasilianischen und deutschen WAVES Arbeitsgruppen der Öffentlichkeit vorgestellt wurden. An diesem Workshop nahmen Vertreter verschiedener, auf bundes- bzw. landesebene tätigen Behörden sowie der in der Regionalentwicklung tätigen Banco do Nordeste teil, die ein reges Interesse an den Ergebnissen des Gesamtprojektes zeigten.

Ein zweiter, wesentlich größerer Workshop wurde im November 1999 gemeinsam mit der Hydroisotop GmbH und der Secretaria de Agricultura auf der EMBRAPA Forschungsstation in Teresina durchgeführt. Für die Planung vor Ort war ein Mitarbeiter der AG Pflanzenbau verantwortlich. an der Veranstaltung nahmen der Landwirtschaftsminister und zahlreiche hohe Vertreter aus verschiedenen öffentlichen und privaten Einrichtungen teil. Im gleichen Zeitraum wurde mit denselben Partnern ein eintägiger Kurs für Kleinbauern in der Region Picos veranstaltet, in dem erste praxisrelevante Daten den Bauern vorgestellt wurden. Beide Veranstaltungen erfuhren erhebliche Unterstützung durch WAVES Mitarbeiter aus Teresina, Fortaleza, München, Hohenheim, Kassel und Potsdam.

3 Ergebnisse

3.1 Methodisches Vorgehen

Im Vorfeld der WAVES Hauptphase wurde der Aufbau und die Struktur von 13 Pflanzenwachstumsmodelle analysiert. Die Modelle EPIC und ALMANAC zeichneten sich dadurch aus, dass sie neben den Faktoren Boden, Klima und Wasser auch die Verfügbarkeit und Aufnahme von zwei Nährstoffen (N, P) und das Vorkommen von auf das Pflanzenwachstum toxisch wirkende Stoffen im Boden berücksichtigen. Insbesondere die Berücksichtigung der Aluminiumtoxizität, die sich auf vielen Standorten in der Untersuchungsregion stark ertragslimitierend auswirkt, war ein wesentlicher Grund, weshalb beide Modelle für die Simulation der Ertragsbildung im Verbundprojekt WAVES ausgewählt wurden. Für die Simulationen mit EPIC wurden die Versionen 0941 und 5300 verwendet. Bei ALMANAC wurde die Version 1364 benutzt. Es handelt sich bei ALMANAC um eine Weiterentwicklung von EPIC, welche die gleichzeitige Simulation des Wachstums von bis zu zehn Pflanzenarten erlaubt und somit die Betrachtung von Konkurrenzsituationen in Mischanbausystemen und durch Verunkrautung ermöglicht. Da es sich bei ALMANAC um ein Derivat von EPIC handelt, wird im folgenden Text EPIC als Synonym für beide Modelle verwendet, wenn es nicht ausdrücklich anders erwähnt wird.

Von EPIC werden derzeit 80 Kulturpflanzen berücksichtigt. Davon kann etwa die Hälfte unter tropischen Bedingungen angebaut werden. Weitere Information zu den Modellen können über die EPIC (<http://www.brc.tamus.edu/epic/documentation/index.html>) und die WAVES Homepage (<http://www.usf.uni-kassel.de/waves/secretinfo/index.htm>) abgerufen werden.

Die Datenverarbeitung erfolgt über verschiedene Module, von denen folgende im Rahmen von WAVES eingehend untersucht werden:

- Klima
- Hydrologie
- Erosion
- Nährstoffe
- Pflanzenwachstum
- Konkurrenz¹
- Management

Die Arbeiten der AG Pflanzenbau konzentrieren sich auf die Validierung und Kalibrierung der Module Pflanzenwachstum, Konkurrenz und Management. Hierfür wurden Felddaten in den Fokusregionen Picos/Piauí und Tauá/Ceará erhoben.

3.1.1 Datenerhebung im Fokusgebiet Picos

Für die Kalibrierung und Validierung der Modelle wurden verschiedene Pflanzenparameter benötigt. Da solche Daten aus Piauí und Ceará bisher nur in sehr begrenzten und unzureichendem Umfang vorlagen, wurden von der AG Pflanzenbau zu Beginn der Vegetationsperiode 1998 Feldversuche auf zwei repräsentativen Standorten in Picos, Piauí, angelegt. Ein Standort lag auf einer Hochebene (Chapada), der andere im Tal (Vale) des Rio Guaribas. Beide Standorte sind wichtige Landschaftseinheiten für die Pflanzenproduktion im Fokusgebiet Picos (7°1'S, 41°37'W).

¹ nur ALMANAC

Das Klima in der Projektregion ist semiarid. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 30°C. Die Regenzeit beginnt im Dezember/Januar und dauert bis April/Mai. In diesem Zeitraum fallen rund 700 mm Niederschlag. Gelegentlich fallen im September vereinzelte Niederschläge. Die natürliche Vegetation besteht aus Caatinga/Cerrado Vegetation. Die Versuchsstandorte wurden gemeinsam mit den beiden anderen Arbeitsgruppen des Fachbereiches Agrarökosysteme ausgesucht und zeichnen sich durch sehr unterschiedliche Bodeneigenschaften aus. Auf der Hochfläche findet man stark verwitterte, nährstoffarme Böden mit niedrigen pH Werten und sehr hohen Al^{3+} -Gehalten, während im Tal nährstoffreichere, Alluvialböden mit relativ ausgeglichenen pH Werten überwiegen. Bei dem Boden des Versuchsstandortes auf der Hochfläche (550 m über N.N.) handelt es sich um einen Alumi-haplic Acrisol, im Tal des Rio Guaribas (ca. 200 m über N.N.) wurden die Feldversuche auf einem Eutric Fluvisol bzw. Chromic Luvisol durchgeführt.

Auf beiden Standorten wurden über drei Vegetationsperioden (Januar bis April/Mai 1998, Januar bis April/Mai 1999 und Januar bis April/Mai 2000) Feldversuche mit Mais² (*Zea mays* L.) und Cowpea³ (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) durchgeführt, zwei für die Ernährungssicherung in der Region wichtige Kulturpflanzen. Beide Versuche wurden auf frisch gerodeten bzw. seit längerer Zeit brachliegenden Bauernfeldern installiert und ermöglichten eine Beschreibung von Wachstum und Ertragsbildung von Lokalsorten unter kleinbäuerlichen Bedingungen. Darüber hinaus wurden weitere Anbaumethoden in die Versuche integriert, um deren Potential zur Stabilisierung bzw. Steigerung von Lokalsortenerträgen zu testen.

Folgende Behandlungen kamen auf beiden Standorten zur Anwendung:

1. traditionelles Anbausystem in Form von Mais/Cowpea Misanbau als Horstsaat ohne Düngung (Kontrolle)
2. Mais Reinkultur als Horstsaat ohne Düngung
3. Cowpea Reinkultur als Horstsaat ohne Düngung
4. Mais/Cowpea Misanbau als Horstsaat mit NPK-Düngung
5. Mais Reinkultur als Horstsaat mit NPK-Düngung
6. Cowpea Reinkultur als Horstsaat mit NPK-Düngung
7. Mais/Cowpea Misanbau mit Saat auf Endabstand und NPK-Düngung
8. Mais Reinkultur mit Saat auf Endabstand und NPK-Düngung
9. Cowpea Reinkultur mit Saat auf Endabstand und NPK-Düngung

Die gedüngten Behandlungen erhielten 26 kg/ha N, 50 kg/ha P_2O_5 und 35 kg/ha K_2O in Form eines NPK-Düngers, verteilt auf 2 Teilgaben.

Die Saatstärke in Behandlung 1, traditionelles Anbausystem, wurde an die in der Region üblichen Werte angepasst (Cowpea im Misanbau: 40-50.000 Pflanzen/ha auf der Hochfläche und 60-65.000 Pflanzen/ha im Tal; Mais im Misanbau: 20-25.000 Pflanzen/ha auf der Hochfläche und 30-35.000 Pflanzen/ha im Tal). In der Reinkultur wurde die gleichen Pflanzstärke der jeweiligen Kultur wie im Misanbau verwendet.

Auf beiden Standorten wurden in einem Abstand von 14 Tagen der LAI (*Leaf Area Index*), die LTR (*Light Transmission Ratio*) und die Wachstumsrate CGR (*Crop Growth Rate*) bestimmt. LAI und LTR wurden mit dem *SunScan Canopy Analysis System* (Delta T Devices, Cambridge, England) bestimmt. Gleichzeitig wurden an diesen Termin auch phänologische Daten zur Bestandesentwicklung aufgenommen. Bei der Ernte wurden Kornertrag,

² São Vicente, eine von der EMBRAPA speziell für Kleinbauern entwickelte Sorte

³ CEA 315, die in der Region auch als CS oder CR bezeichnet wird. Durch jahrelangen Nachbau sind bereits deutliche Einkreuzungen anderer Sorten im Saatgut erkennbar.

Gesamtbiomasseproduktion und Verteilung der Trockenmasse auf einzelne Pflanzenorgane bestimmt.

Bei der Erhebung der Felddaten gab es am Talstandort erhebliche Probleme, während sie auf der Hochfläche in allen drei Jahren problemlos durchgeführt werden konnte. 1998 wurden die Versuche durch eine starke Trockenheit beeinträchtigt, die in engem Zusammenhang mit dem El Niño Phänomen stand und zu hohen Ertragseinbußen führten. Aufgrund ungünstiger Rahmenbedingungen auf dem am Talstandort, ausgewählten Betrieb wurden die Versuche, im 2. und 3. Versuchsjahr auf einen anderen Betrieb neu angelegt. Die Versuchsflächen lagen jetzt an einem saisonal trockenen Bachbett. In den Jahren 1999 und 2000 kam es jedoch zu sehr heftigen und länger andauernden Niederschlägen, die in beiden Jahren aufgrund einer ungünstigen Wasserregulierung eines bachaufwärts gelegenen Dammes zu einer anhaltenden Überflutung der Versuchsflächen führte. Hierdurch musste 1999 ein Teil der Versuchsflächen zu einem späteren Termin neu angelegt werden. Im Folgejahr waren die Überflutungen insgesamt geringer und kürzer. Allerdings kam es aufgrund von Staunässe zu Pilzbefall bei Cowpea, der zu einem Totalausfall im dritten Versuchsjahr führte.

Um zusätzliche Informationen über Wachstum und Ertragsbildung von Cowpea für die Validierung von EPIC zu erhalten, wurde auf der Hochfläche ein weiterer Feldversuch mit Cowpea angelegt, der über zwei Anbauperioden (1998 und 1999) durchgeführt wurde. Dieser Versuch ermöglichte den Vergleich von Wachstum und Ertragsbildung von zwei Lokalsorten bei unterschiedlicher Bestandsdichte (60 und 120 10^3 Pflanzen/ha). Gleichzeitig wurde in diesem Versuch getestet, ob eine Mischung von Sorten mit kürzerem und längerem Wachstumszyklus bei erratischer Niederschlagsverteilung gegenüber den Reinkulturen eine Minderung des Ertragsrisikos bewirkt.

Während der ersten beiden Versuchsjahre wurden phänologische Unterschiede in der Bestandesentwicklung der in der Region verwendeten Cowpea-Sorten beobachtet. Deshalb wurde im dritten Versuchsjahr ein Versuch mit sechs Lokalsorten und der von der AG Pflanzenernährung verwendeten EPACE-10 angelegt. Bei EACE-10 handelt es sich um eine verbesserte Sorte. Die Bestandesdichte betrug 60.000 Pflanzen/ha. Alle Parzellen waren in eine ungedüngte und gedüngte⁴ Behandlung unterteilt.

Ergänzend zu den Feldversuchen wurden im Fokusgebiet Picos Messflächen auf traditionell bewirtschafteten Bauernfeldern angelegt. In diese Datenerhebung wurden weitere Kulturpflanzen einbezogen, die in dieser Region für die kleinbäuerliche Produktion ebenfalls von Bedeutung sind. Folgende Flächen wurden, allerdings mit zum Teil reduziertem Messprogramm, in die Datenerhebung integriert:

Hochfläche

- Bauernfeld mit Cowpea auf frisch gerodeter Fläche, die zuvor mehrere Jahre brach lag, Bestimmung von Ertrag und Gesamtbiomasse; nur 1999.
- Bauernfeld mit Maniok (*Manihot esculenta* Crantz); Bestimmung von LAI sowie Wurzelknollen- und Gesamtbiomasseertrag; Vegetationsperiode 1998-99 (zweijährig), vier Messparzellen
- Bauernfeld mit Maniok; Bestimmung von LAI sowie Wurzelknollen- und Gesamtbiomasseertrag; Vegetationsperiode 1999-2000 (zweijährig); Ernte im Mai 2000; drei Messparzellen

⁴ 48 kg N, 90 kg P₂O₅, 60 kg K₂O je ha

Zwischenstufe

- Bauernfeld mit Mais/Cowpea Mischanbau; Bestimmung von LAI sowie Korn- und Gesamtbiomasseertrag; Vegetationsperiode 1998/99 und 1999/2000 drei Messparzellen

Tal

- Bauernfeld mit Reis (*Oryza sativa* L.); Bestimmung von LAI sowie Korn- und Gesamtbiomasseertrag; Vegetationsperiode 1998/99 und 1999/2000; drei Messparzellen

Zusätzlich zur Erfassung der ertragsbestimmenden Pflanzenparametern wurden auf diesen Flächen phänologische Beobachtungen durchgeführt und Daten über die Bestandesentwicklung und -führung erfasst.

3.1.2 Validierung von EPIC und ALMANAC

Die Validierung von EPIC und ALMANAC wurde von den AGs Bodenkunde, Pflanzenernährung und Pflanzenbau des FB Agrarökosysteme gemeinsam mit den brasilianischen Partnern des FB Agrarökosysteme an der Universidade Federal do Ceará (UFC) durchgeführt, wobei das Testen der einzelnen Module unter den Arbeitsgruppen aufgeteilt wurde. Die AG Pflanzenbau war für die Validierung der Module Pflanzenwachstum, Konkurrenz und Management verantwortlich (Tab. 1).

Die Validierung der Module basiert auf den Daten aus den Feldversuchen und Messparzellen der AG Pflanzenbau. Zusätzlich wurden die in den Feldversuchen der AG Pflanzenernährung und der brasilianischen Partner erhobenen Daten berücksichtigt. Standort- und Wetterdaten stammen aus eigenen Erhebungen oder wurden von der AG Bodenkunde, vom Departamento de Hidrometeorologia (DHME) der Secretaria de Agricultura in Teresina, Piauí und vom Fachbereich Klimaanalyse und -modellierung zur Verfügung gestellt.

Tab. 1. Verteilung der Modellüberprüfung innerhalb des Fachbereiches Agrarökosysteme

Modul	Arbeitsgruppe	Feldarbeiten erfolgen in
Wettergenerator	UFC (FB Agrarökosysteme)	Tauá, CE
Hydrologie und Erosion	AG Bodenkunde	Picos, PI; Tauá, CE
Kulturspezifische Parameter	UFC (FB Agrarökosysteme)	Tauá, CE
Pflanzenwachstum, Nährstoffe, Management	AG Pflanzenernährung	Picos, PI
Pflanzenwachstum, Konkurrenz, Management	AG Pflanzenbau	Picos, PI

Die wichtigsten Eingabedateien, in denen Änderungen vom Anwender vorgenommen werden können, sind:

- *EPIC* bzw. *ALNC File* - dort werden die Standortdaten zu Klima, Boden und Management eingegeben. Klimadaten können als Tageswerte aus einem Zusatzfile vom Model eingelesen werden oder können über den integrierten Wettergenerator *WXGEN* als Tageswerte aus Monatsmittelwerten errechnet werden.
- *Cropfile* - er enthält die kulturspezifischen Wachstums- und Ertragsparameter, die für die Simulation des Wachstums und der Ertragsbildung der ausgewählten Kulturpflanze benötigt werden. Im *EPIC Cropfile* sind zur Zeit über 80 Kulturpflanzen abrufbar, etwa die Hälfte dieser kann in den Tropen angebaut werden.

Bei der Simulation wurde für Mais der existierende *EPIC Cropfile* benutzt, während für Cowpea ein vom Fachbereich Agrarökosysteme der UFC auf Basis der *Cropfile*-Daten für Felderbse (*Pisum sativum* L.) entwickelter Rohfile verwendet wurde. Dieser ergab bei ersten Tests in Ceará eine gute Übereinstimmung zwischen beobachteten und simulierten Werten und wurde anschließend, zusammen mit dem Mais *Cropfile*, unter den Standortbedingungen von Tauá und Picos getestet.

Zur Validierung des *Cropfiles* wurde ein Abgleich zwischen den im Feld gemessenen und den vom Modell simulierten Werten durchgeführt. Dabei wurden folgende Parameter überprüft:

- LAI zusammengesetzt aus fünf Einzelparametern
- Harvest Index (Kornertrag/gesamte oberirdische Biomasseproduktion)
- Aluminiumtoxizitätstoleranzfaktor

3.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

3.2.1 Feldversuche im Fokusgebiet Picos

Die Entwicklung der Pflanzen in den Feldversuchen wurde in allen drei Versuchsjahren stark von Klima-anomalien geprägt. Das erste Versuchsjahr stand unter starkem Einfluss des *El Niño* Phänomens. In dieser Vegetationsperiode gab es zu Beginn eine kurze Regenperiode mit geringen Niederschlägen, die von mehreren *Veranicos* unterbrochen wurde (Tab. 2, Abb. 2).

Tab. 2. Niederschlagsmenge und -verteilung während der Vegetationsperioden 1998, 1999 und 2000 am Versuchsstandort Chapada Fio do Mirolândia, Picos, Piauí

Vegetationsperiode ¹	01.01. - 30.04.1098	01.01. - 30.04.1999	01.01. - 30.04.2000
Anzahl der Regentagen ²	38	44	40
Anzahl ausgedehnter Trockenperioden ³	4	4	4
Summe der einzelnen Tage alle ausgedehnten Trockenperioden	49	31	41
Summe aller Niederschläge in der Vegetationsperiode in mm	458	539	760

1 Zeitraum, in dem Trockenfeldbau von annualen Kulturen möglich ist

2 Tage mit Niederschläge > 1 mm

3 Niederschlagsfreie Periode > 7 Tage

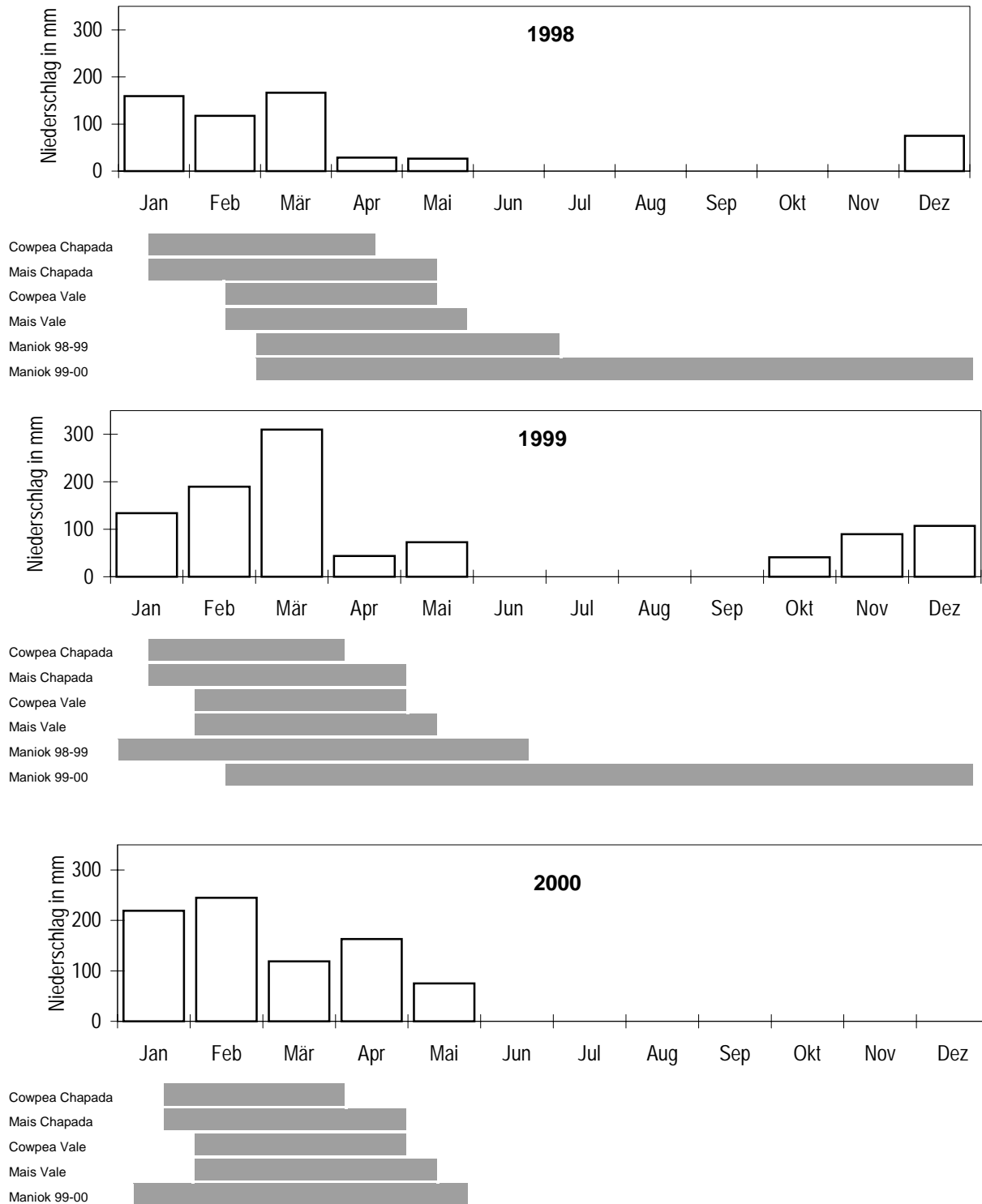


Abb. 2. Niederschlagsverteilung während der Datenerhebung (Januar 1998 bis Mai 2000) im Fokusgebiet Picos und Zeitraum der Datenerhebung in den einzelnen Kulturen.

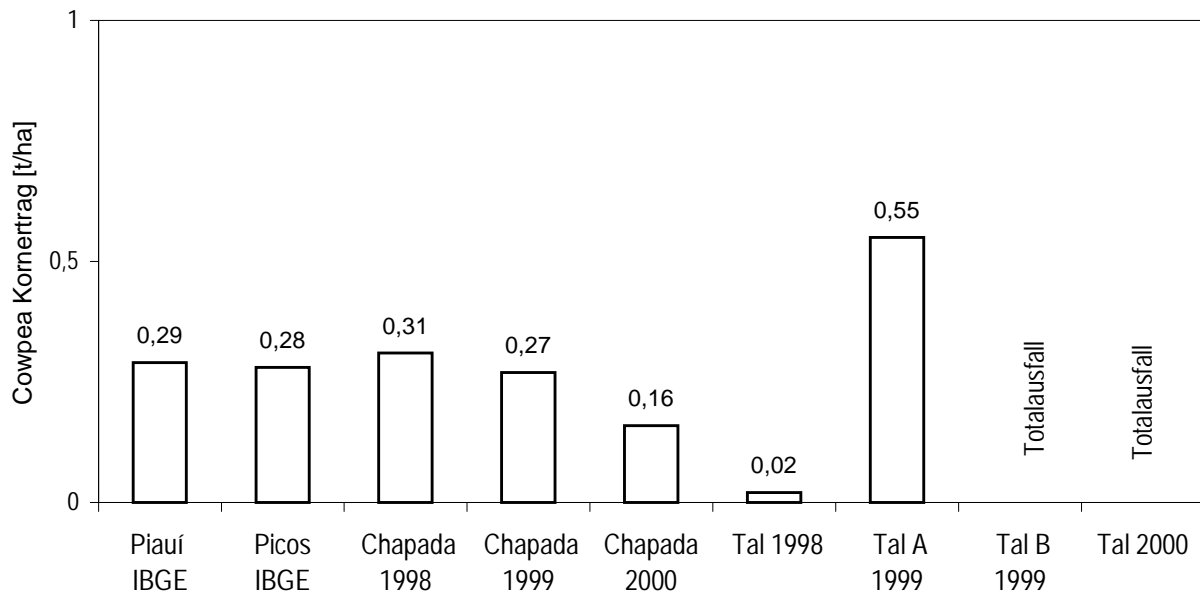
Erst Mitte März kam es zu regelmäßigeren Niederschlägen, die aber im April abrupt endeten. Die beiden darauffolgenden Versuchsjahre standen unter *La Niña* Einfluss, dem atlantische Gegenspieler von *El Niño*, einer weiteren Klimaanomalie, die in der Projektregion zu heftigen Niederschlägen führt. Beide Jahre wiesen gegenüber dem Vorjahr sowohl deutlich höhere Gesamtniederschläge als auch eine bessere Regenverteilung auf. Allerdings gab es auch 1999

und 2000 ausgeprägte Trockenperioden. Sie waren jedoch jeweils kürzer als 1998. Ferner war die Anzahl der Regentagen in diesen beiden Jahren höher als 1998. Allerdings konnte in allen drei Versuchsjahren immer wieder beobachtet werden, dass es von großer Bedeutung ist, ob es nach mehreren trockenen Tagen regnet oder nicht. Laut Wolf (1975) trocknen die in Nordostbrasilien weit verbreiteten Oxisole bei regenfreien Perioden von mehr als acht Tagen bis in eine Bodentiefe von 40 cm vollständig aus. Niederschläge, die vereinzelt und sporadisch während dieser Trockenperioden auf einzelne Bestände fallen können, bewahren diese vor Ertragsverlusten von größerem Ausmaß. Ein bis zwei Regentage zum richtigen Zeitpunkt erhebliche Ertragsunterschiede in einer Region bewirken. Dies konnte vor allem im sehr trockenen, ersten Versuchsjahr beobachtet werden. Sporadisch auftretende, räumlich eng begrenzte Niederschlagsereignisse innerhalb eines *Veranicos* entschieden darüber, ob eine Ernte möglich war oder ob es zu einem Totalausfall kam.

Insgesamt betrachtet, wies das Jahr 2000 die besten Niederschläge auf. Es gab zwar im Vergleich zu 1999 etwas weniger Regentage, aber die Gesamtsumme der Niederschläge war deutlich höher, sodass mehr Feuchtigkeit im Boden gespeichert und die Trockenperioden besser abgepuffert werden konnten.

Länger anhaltenden Regenperioden mit zum Teil sehr heftigen Niederschlägen wirkten sich im Untersuchungsgebiet ebenfalls negativ auf die Pflanzenproduktion aus. So konnten auf der Chapada Spitzenwerte bis zu 100 mm Niederschlag an einem Tag gemessen werden. Treten solche Starkregenereignisse in sehr frühen Entwicklungsstadien ein, so führt dies zu starken Ausfällen. Hiervon besonders stark betroffen waren die Parzellen mit Einzelaussaat. Die Auswirkungen hoher Niederschläge waren am Talstandort gravierender als auf der Chapada. Die Bach- und Flussläufe in der Projektregion konnten bei Starkregenereignissen häufig nicht die gesamte Niederschlagsmengen abführen, sodass es am Talstandort mehrmals zu Überflutungen kam. Hierdurch musste 1999 der Versuch am Talstandort ein zweites Mal gesät werden. Da ein Teil der Versuchsfläche nicht beeinträchtigt war, wurde nur der betroffene Teil neu angelegt, sodass für diesen Standort zwei Datensätze existieren (Saattermin: Anfang Februar und Ende März). Im Jahr 2000 kam es ebenfalls zu Überschwemmungen, die zu Staunässe führten. Diese bewirkten bei Cowpea einen Totalausfall infolge von Fusariumfäule und andere Fußkrankheiten zu einem Totalausfall.

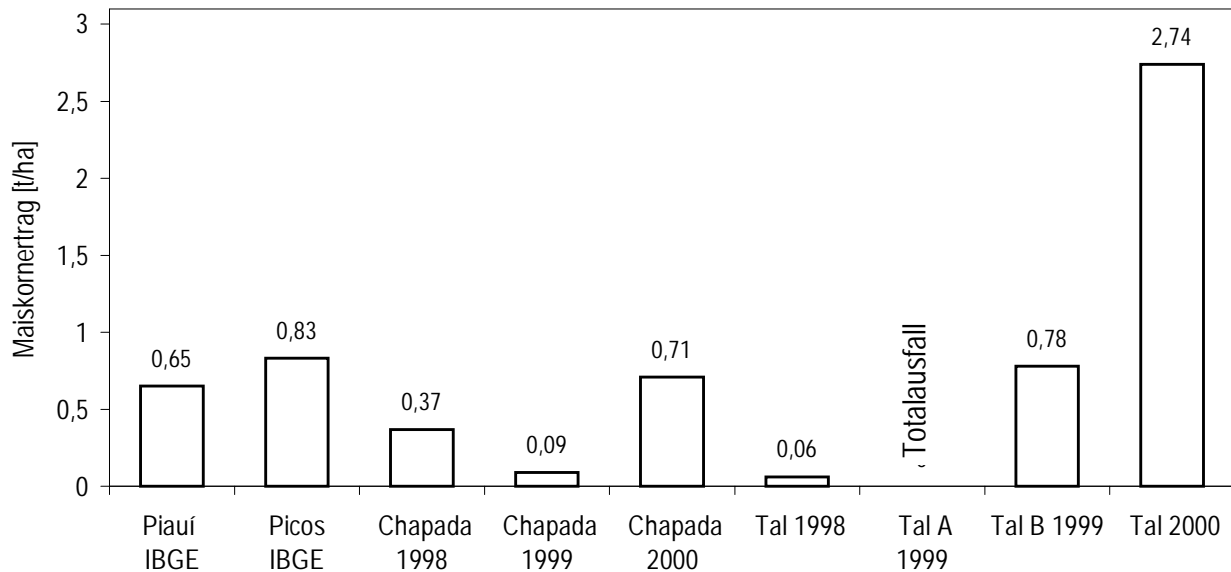
Die AG Bodenkunde konnte auf am Talstandort der beiden letzten Versuchsjahre eine, zumindest in der Regenzeit, grundwasserführende Schicht in 1 m Tiefe feststellen. Somit kann auf diesem Standort, unabhängig von den Niederschlägen, von einer ausreichenden Wasserversorgung der Pflanzen während der gesamten Vegetationsperiode ausgegangen werden. Im Versuchsjahr 2000 machte sich dies positiv bemerkbar. Angrenzende, aber höher gelegene Flächen zeigten im März im Verlauf einer längeren Trockenperiode starke Wassermangelsymptome, während die auf Bachniveau liegenden Flächen, einschließlich der Versuchsflächen der AGs Pflanzenernährung und Pflanzenbau, keine Anzeichen von Wassermangel aufwiesen.



A: Saattermin Anfang Februar; B: Saattermin Ende März

Abb. 3. Kornerträge von Cowpea in der Behandlung Reinkultur, Horstsaat und ohne Mineraldüngereinsatz im Vergleich zu den Durchschnittserträge für Piauí und Picos. die Daten für Picos und Piauí basieren auf Erhebungen des IBGE (1996).

Auf der Chapada lagen die Kornerträge von Cowpea unter traditionellen Anbaubedingungen in den ersten beiden Versuchsjahren auf ähnlichem Niveau wie die Durchschnittserträge für Picos und Piauí, während der Kornertrag im letzten Versuchsjahr deutlich abfiel. (Abb. 3; die Ertragsdaten aus allen Feldversuchen sowie den Erhebungen auf den Bauernfeldern befinden sich im Anhang: Tab. 3 bis 8). Das Ertragsniveau unter traditionellen Anbaubedingungen ist mit rund 0.3 t/ha sehr niedrig. Eine Ertragssteigerung konnte auf der Chapada mit mineralischer Düngung erzielt werden. Hier wurde der Ertrag bereits durch geringe Düngergaben verdoppelt (Tab. 3, 5 und 7). In den ersten beiden Jahren war die Varianz innerhalb der Wiederholungen sehr groß, weshalb keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen festgestellt werden konnten (Tab. 3 und 5). Auf der Chapada wies Cowpea in den beiden ersten Versuchsjahren höhere Erträge auf, sobald gedüngt wurde. Durch eine noch höhere Düngergabe, wie sie im Sortenversuch vom Jahr 2000 gegeben wurde, konnte bei Sorte CEA 315, der Vergleichssorte aus den Feldversuchen der AG Pflanzenbau, der Ertrag nochmals deutlich gesteigert werden (Tab. 6). Auf dem Talstandort konnten 1999 mit 0,55 t/ha ein überdurchschnittlicher hoher Kornertrag erzielt werden. Das Ertragspotential ist hiermit sicherlich noch nicht erreicht. Allerdings ist das Produktionsrisiko für Cowpea bei Anbau während der Regenzeit am Talstandort infolge von Überschwemmung sowie Staunässe und nachfolgender Pilzkrankung sehr hoch.



A: Saattermin Anfang Februar; B: Saattermin Ende März

Abb. 4. Kornerträge von Mais in der Behandlung Reinkultur, Horstsaat und ohne Mineraldüngereinsatz im Vergleich zu den Durchschnittserträge für Piauí und Picos. die Daten für Picos und Piauí basieren auf Erhebungen des IBGE (1996).

Bei Mais lagen die Erträge auf der Chapada in den ersten beiden Versuchsjahren deutlich unter den Durchschnittserträgen für Piauí und Picos (Abb. 4). Lediglich im letzten Jahr konnte der Durchschnittsertrag erreicht werden. Allerdings ist zu beachten, dass sich die Erträge des Anbauversuches auf Reinkulturen beziehen. Im Mischanbau zeigte der Mais in allen Versuchsjahren deutlich niedrigere Erträge, vor allem im letzten Versuchsjahr (Tab. 7). Mischanbau von Mais und Cowpea ist die am häufigsten anzutreffende Anbauform für Mais. Leider wird in den Statistiken für Piauí nicht zwischen Mais in Mischanbau und Mais in Reinkultur unterschieden. Es fällt jedoch auf, dass bei Mais in Reinkultur im Gegensatz zu Cowpea über drei Jahre hinweg kein Einfluss abnehmender Bodenfruchtbarkeit zu erkennen war. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass das erste Anbaujahr extrem trocken war und im zweiten Jahr der Mais in der Anfangsphase extreme Auflaufprobleme hatte, von denen er sich im Verlauf der Vegetationsperiode nicht mehr erholte. Offensichtlich ist der Mais wesentlich empfindlicher gegenüber den extremen Klimabedingungen der Projektregion und kann auf den Hochflächen nur in sehr günstigen Jahren sein Ertragspotential ausschöpfen, das dann allerdings durch die sehr geringe Bodenfruchtbarkeit dieser Standorte begrenzt wird. Allerdings lag auch im klimatisch günstigeren dritten Versuchsjahr der Maisertrag auf der Hochfläche fast um das vierfache unter dem des Tales.

Im Tal lag das Ertragsniveau 1999 mit 0,78 t/ha bei Saattermin B auf dem Niveau des Landesdurchschnitts. Im darauffolgenden Jahr lag es mit fast 3 t/ha deutlich über dem landes- und regionalüblichen Niveau. Bei mineralischer Düngung war im Gegensatz zu Cowpea bei Mais keine deutliche Düngerwirkung auf der Chapada zu erkennen (Tab. 3, 5 und 7). Allerdings litt der Mais im Mischanbau eindeutig unter der Konkurrenz von Cowpea, wodurch es zu erheblichen Ertragseinbußen kam.

Der Sortenversuch mit Cowpea auf der Chapada, der 1998 und 1999 durchgeführt wurde, macht deutlich, dass bezüglich des Ertragsniveaus bei den im Fokusgebiet Picos verwendeten Sorten erhebliche Sortenunterschiede bestehen (Tab. 4). Ferner zeigte dieser Versuch, dass

auf diesem Standort eine deutliche Erhöhung der Bestandesdichte gegenüber der im traditionellen Anbau üblichen Saatstärke in Verbindung mit einer mineralischen Düngung zu einem beachtlichen Mehrertrag führen kann. In beiden Jahren zeigte sich, dass die Sorte Canapú ertragreicher ist. Die Eigenschaft von CEA 315, bei besserer Niederschlagsverteilung im Vergleich zu Canapú höhere Erträge zu erzielen, konnte nicht bestätigt werden, womit der Anbau einer Mischung aus beiden Sorten zur Minderung des Ertragsrisikos aufgrund der erratischen Niederschlagsverteilung in dieser Region gerechtfertigt gewesen wäre. Auch im zweiten Sortenversuch, der lediglich im Jahr 2000 durchgeführt wurde und in dem sechs lokale und eine verbesserte Sorte (EPACE 10) getestet wurden, konnte bei Canapú ein im Vergleich zu CEA315 höherer Ertrag festgestellt werden. Allerdings war die Varianz sehr hoch, wodurch die statistische Bewertung in Bezug auf den Sorteneffekt erschwert wurde. Die Ertragsunterschiede zwischen den Sorten lassen sich in erster Linie auf eine unterschiedliche Korngröße zurückführen. So liegt CEA315 mit einem Tausendkrongewicht (TKG) von ca. 130 g deutlich unter dem TKG von der Sorte Canapú mit 210 g, die das höchste TKG aller getesteter Sorten hatte.

Die zusätzlich in die Datenerhebung aufgenommenen Messparzellen belegen ebenfalls, dass der Ertrag von EPACE 10 ungefähr doppelt so hoch war wie der Ertrag von CEA 315 im Feldversuch bei vergleichbarer Behandlung (Tab. 8). Der hohe Ertrag auf dem Bauernfeld mit der Sorte Sempre Verde kann darauf zurückzuführen, dass es sich um die erste Anbauperiode nach einer Brache handelte und verdeutlicht wie wichtig der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit für diese Standorte ist und welche gravierende Folgen die Abnahme der Bodenfruchtbarkeit für das Ertragsniveau von Cowpea hat.

Das Bauernfeld auf der Zwischenstufe in Saco Grande zeigt in beiden Jahren wesentlich bessere Erträge als Mais/Cowpea-Felder auf der Chapada (Tab. 8). Bedenkt man, dass dort jeweils zwei Reihen mit Cowpea auf eine Maisreihe angebaut wurden, so könnte der Mais bei einem Verhältnis von 1:1 durchaus Erträge erreichen, welche an die des Talstandortes heranreichen.

Reis erreicht in beiden Jahren Erträge zwischen 3 und 4 t/ha (Tab. 8). Dies sind nach der Erhebung des IBGE 1996 Werte für Nassreis mit Düngung in Piauí. Dies zeigt die hervorragende Bodenfruchtbarkeit des Talstandortes und belegt, dass hier eine optimale Wasserversorgung für Reis besteht.

Ein Vergleich der Ertragsdaten von Maniok auf der Chapada aus beiden Anbauperioden zeigt, dass die Niederschlagsverhältnisse in der zweiten besser waren als in der ersten Anbauperiode. Maniok hatte in der Anbauperiode 1999/2000 einen um fast 2 t/ha höheren Wurzelknollenertrag (Tab. 8).

3.2.2 Schlussfolgerungen aus den Feldversuchen

Die Versuchsergebnisse belegen, dass Mais für den Regenfeldbau auf den Hochflächen der Region Picos aufgrund der dort vorherrschenden ungünstigen Bodeneigenschaften und der häufig ungünstigen Niederschlagsverteilung für diese Standorte als wenig geeignet angesehen werden muss. Lediglich in Jahren mit sehr guter Niederschlagsverteilung erbringt Mais nennenswerte Erträge. Voraussetzung ist aber, dass er in Reinkultur anbaut wird. Im für die Region üblichen Mischanbau ist auch bei guter Niederschlagsverteilung das Ertragsniveau unbefriedigend, wenn man das Potential dieser Kultur in der Zwischenstufe und im Tal betrachtet.

Die beiden letztgenannten Standorte sind für den Maisanbau gut geeignet, zumal dort auch große und gut gefüllte Kolben ausgebildet werden, die eine Vermarktung der Kolben in grünem

Zustand als sogenannten *Milho verde* ermöglichen, einer interessanten Vermarktungsalternative für Kleinbauern. Allerdings müssen auch hier die entsprechenden Niederschläge fallen. In extrem trockenen Jahren kann es auch im Tal zu einem Totalausfall der Ernte kommen. In der Nähe von teilweise oder ständig wasserführenden Flussläufen nimmt das Anbaurisiko allerdings aufgrund von Überschwemmungen stark zu. Hier wird auch die Unkrautbekämpfung zu einem Problem, da die Böden häufig zu nass sind, um die Flächen mechanisch bearbeiten zu können. Eine Alternative wäre eine chemische Bekämpfung, die jedoch in Misanbau-systemen, bei denen häufig Mono- und Dikotyledonen (z.B. Mais und Bohnen) gemeinsam angebaut werden, schwierig ist. Außerdem sind die Nähe zu Oberflächengewässern und die mangelnde Ausbildung der Landwirte in Umgang und Applikation zu beachten. Allerdings ist das Produktionsrisiko hinsichtlich Ernteverluste durch Trockenheit an den Talstandorten in flussnahen Bereichen deutlich geringer, weshalb sich die Risikobereitschaft eines Landwirtes unter Umständen auszahlen kann.

Als Alternative zum Maisanbau im Tal bietet sich auf den stark überschwemmungsgefährdeten Flächen Reis an, der dort gute Erträge erbringt und für den nur ein geringes Risiko durch Überflutung besteht. Der Anbau von Cowpea in der Regenzeit kann hier nur auf den etwas höher gelegenen Flächen empfohlen werden. Dort können gute Erträge erzielt werden. Bauern mit Möglichkeit zur Bewässerung am Talstandort können in der Trockenzeit auf diesen fruchtbaren Standorten bedenkenlos Cowpea anbauen. Wenn Mais und Cowpea im Misanbau gepflanzt werden sollen, muss jedoch darauf geachtet werden, dass der Abstand zwischen den Maisreihen groß genug ist um den Cowpeas eine ausreichende Entwicklung zu garantieren (1,5-2 m). Betrachtet man die Gesamtregion, entfällt auf die Tallage im Vergleich zur Zwischenstufe und der Hochfläche jedoch nur ein kleiner Teil der landwirtschaftlich genutzten Fläche. Auf der Zwischenstufe sind Cowpea und Mais gleichermaßen für den Trockenfeldbau geeignet. Im Misanbau sollte jedoch auch auf den Reihenabstand bei Mais geachtet werden.

Auf der Chapada gibt es bei den annualen Kulturen kaum eine Alternative zu Cowpea. Auch sie leidet unter den schlechten Standortbedingungen, ist jedoch besser an die marginalen Bedingungen angepasst und kann selbst unter sehr schlechten Bedingungen noch mäßige Erträge erbringen. Limitierend wirkt hier die rasch abnehmende Bodenfruchtbarkeit nach 1-2 Jahren des Anbaus aus. Der Boden braucht im Anschluss an den Anbau eine längere Bracheperiode zur Regeneration. Wird diese aufgrund von Mangel an Betriebsfläche stark verkürzt, führt dies zu einer raschen Degradation des Standortes. Ein verbessertes agronomisches Management kann hier ertragsstabilisierend, unter Umständen sogar ertragssteigernd wirken. In erster Linie ist hierbei, an den Einsatz von Mineraldünger zu denken. Der Anbau von angepassten Sorten kann ebenfalls zu einer Stabilisierung oder sogar Verbesserung des Ertragsniveau beitragen.

Maniok stellt unter getesteten Kulturpflanzen eine interessante Alternative zu Cowpea für den Anbau auf der Chapada dar. Durch den 1½ jährigen Kulturzyklus und die Möglichkeit Wasser und Nährstoffe in den Wurzelknollen zu speichern, kann Maniok ungünstige Wachstumsabschnitte besser überstehen. Natürlich führt auch bei dieser Kulturpflanze eine ungünstige Niederschlagsverteilung zu Ertrageinbußen. Dennoch konnte Maniok in der Anbauperiode 1998-1999 auf der Chapada einen Knollentrockenmasseertrag von über 5 t/ha erbringen, obwohl es 1998 von Ende April bis Ende November zu keinen nennenswerten Niederschlägen kam. Auf zwei Jahre verteilt ergibt dies einen Ertrag von 2,5 t/ha, ein Niveau, das im Tal nur in besten Lagen erreicht wird.

3.2.3 Simulation und Validierung der Modelle

Zunächst wurde bei der Validierung des *Copfiles* nur Cowpea betrachtet. Für diese Kultur war bislang kein Datensatz im EPIC *Cropfile* vorhanden. Erste Simulationen für Cowpea wurden deshalb mit einem *Rohfile* durchgeführt, der von der UFC (FB Agrarökosysteme) auf der Basis des EPIC Datensatzes für Felderbse erstellt wurde. Erste Vergleiche von simulierten und beobachteten Daten ergaben jedoch keine befriedigende Übereinstimmung. Nach einer ersten Anpassung der für die Ermittlung des LAI relevanten Parameter und der Aluminiumtoxizitätstoleranz im *Cropfile* konnte eine bessere Übereinstimmung zwischen simulierten und im Feld beobachteten Daten für die Kontrollbehandlung erzielt werden (Abb. 5). Allerdings wichen die Daten bei einem Vergleich zwischen Simulation und Felddaten bei Düngung erheblich voneinander ab. Beide Modelle waren nicht in der Lage, die positive Reaktion der verwendeten Lokalsorte auf die Düngung in Form einer Zunahme des LAI abzubilden. Entsprechend gering war auch die Korrelation zwischen simulierten und beobachteten Werten (Mais: $R^2=0.38$; Cowpea: $R^2=0.33$), wenn alle Behandlungen in der Regressionsanalyse berücksichtigt wurden. Sie erhöhte sich aber signifikant (Mais: $R^2=0.74$; Cowpea: $R^2=0.82$), wenn die gedüngten Behandlungen ausgeschlossen wurden (Herfort et al, 1999).

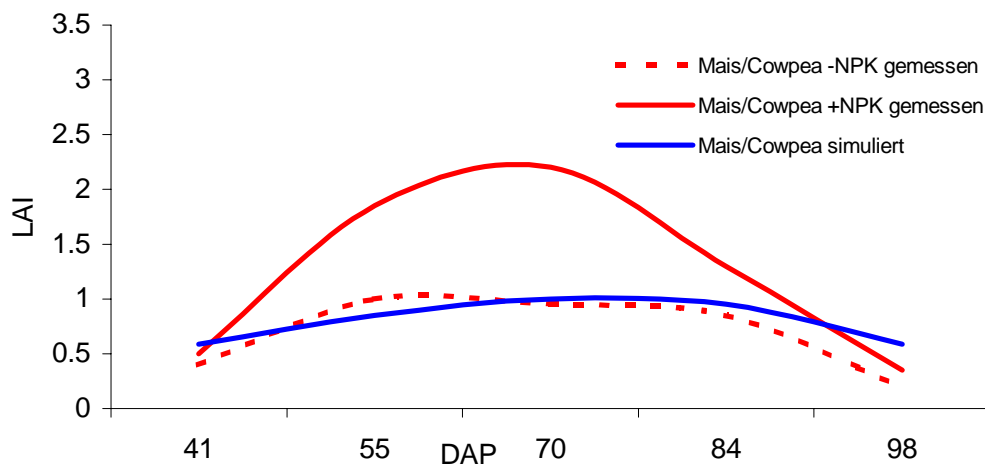


Abb. 5. Simulierter und gemessener LAI von Mais und Cowpea im Mischanbau. Die Daten wurden zwischen 3. März und 29. April 1998 auf der Chapada Fio do Mirolandia, Picos PI, erhoben.

Es fällt auf, dass in der Regel Behandlungen mit einem verbessertem Management eine schlechtere Übereinstimmung zwischen simulierten und gemessenen Werten aufweisen. Auch eine höhere Bestandesdichte und der daraus resultierende höhere LAI konnte in der Simulation nicht dargestellt werden. Bei niedrigerer Bestandesdichte (Abb. 6a) verläuft die Simulation des LAI zufriedenstellend, während bei höheren Bestandesdichten deutliche Abweichung zwischen simulierten und gemessenen Werten festgestellt wurden (Abb. 6b).

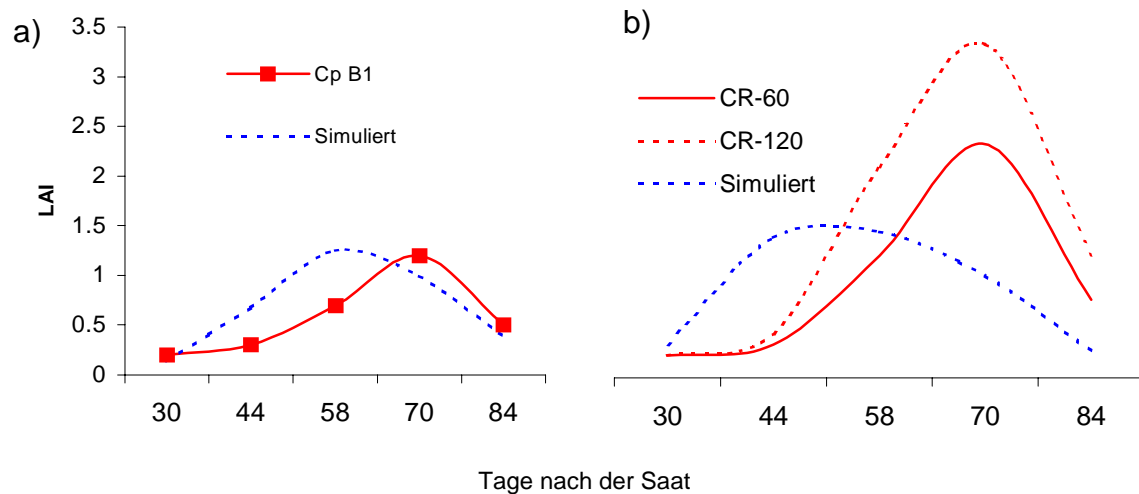
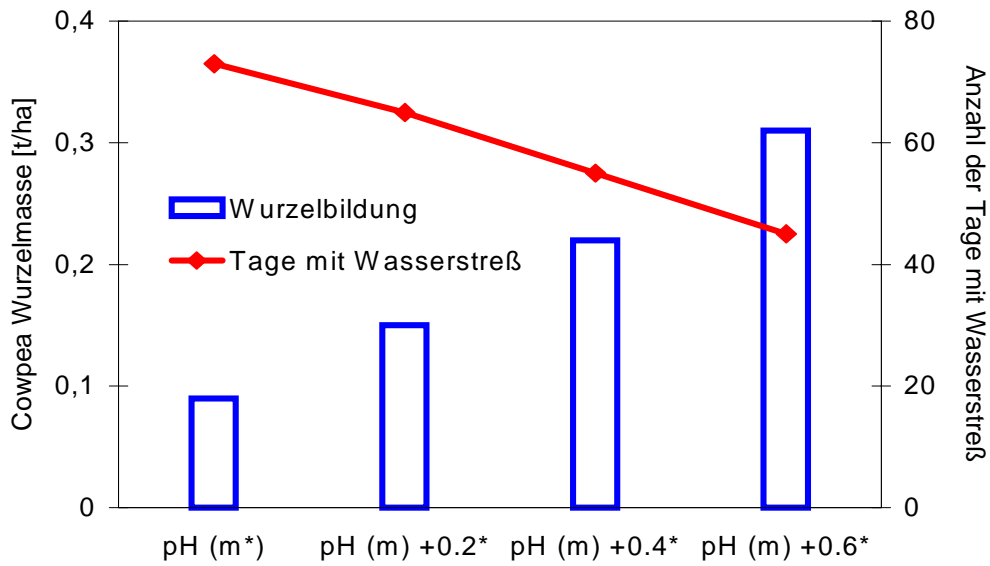


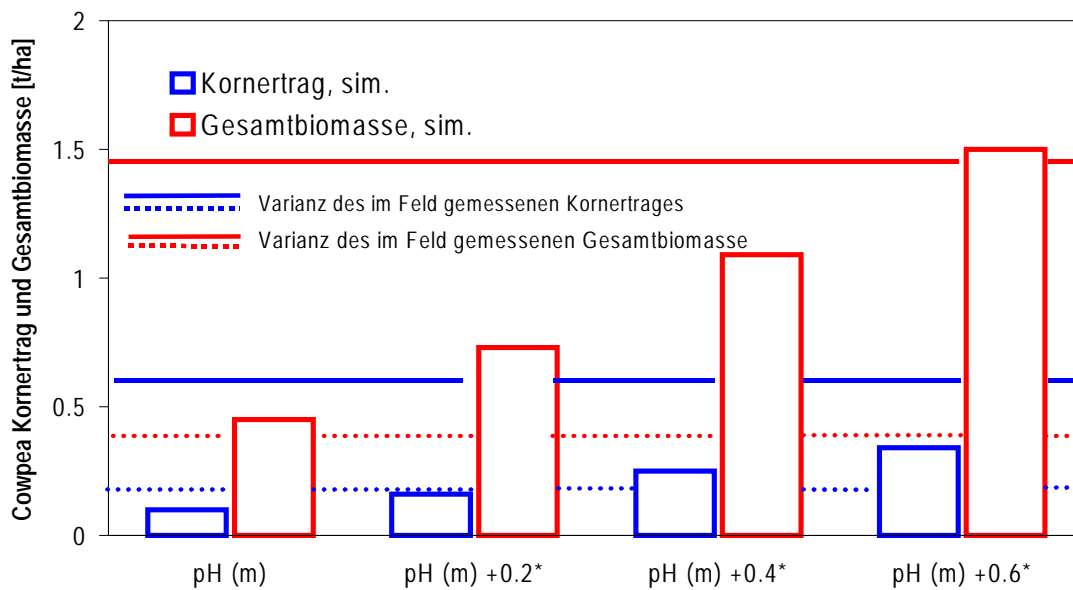
Abb. 6. Entwicklung des LAI von Cowpea, Chapada Fio do Mirolandia, Picos Piauí, 1999. **(a)** Vergleich von simulierter (ALMANAC) mit gemessener Werte bei Horstsaat mit Düngung (Cp = Cowpea, B = Horstssaat mit $42 \cdot 10^3$ Pflanzen/ha, 1 = Düngung; **(b)** Vergleich simulierter (ALMANAC) und gemessener Werte bei einer Bestandesdichte von 60 und $120 \cdot 10^3$ Pflanzen/ha (CR = Cowpeasorte CEA 315).

Ein Vergleich zwischen simulierten und beobachteten ertragsbestimmenden Parameter zeigte ebenfalls eine sehr geringe Übereinstimmung. Bei Cowpea lag der Harvest Index (HI) in der Simulation bei 0,2, während er in den Feldversuchen Werte zwischen 0,4 (1998) und 0,6 (1999) erreicht wurden. In der Simulation werden niedrige HI werden durch Stress infolge von Konkurrenz oder ungünstiger Umweltbedingungen hervorgerufen. Basierend auf Klimadaten der Vegetationsperiode von 1998 und den Bodendaten der Chapada Fio do Mirolandia wurde für Cowpea mit EPIC an 70 Tagen Wassermangel errechnete. Das Modell wies Wassermangel als den wesentlichen ertragslimitierenden Faktor aus. Dies entspricht rund 75 % des Vegetationszeitbedarfs der verwendeten Sorte. Ein solch hoher Wert konnte nicht allein aus den mangelnden Niederschlägen zu Beginn und in der Mitte der Wachstumsperiode von Cowpea erklärt werden. Eine Analyse des *Cropfiles* ergab, daß dies an der geringen Wurzelbildung lag, die das Modell unter den pH Verhältnissen auf den Hochflächen errechnete. Erhöht man den Eingabewert für den Boden pH im Modell, so nimmt das Wurzelwachstum zu und die Anzahl der Tage mit Wasserstress ab (Abb. 6). Gleichzeitig konnte beobachtet werden, dass hierdurch der Korn- und Gesamtbiomasseertrag erhöht wird (Abb. 7).



m = am Standort gemessener pH , pH 4,1° im Oberboden, * Inkrement um den der gemessene pH erhöht wurde

Abb. 7. Simulation der Wurzelentwicklung und der Anzahl der Tage mit Wasserstress in Abhängigkeit vom Boden pH. Die Simulation basiert auf Felddaten von der Chapada Fio do Mirolandia, Picos, PI 1998-99.



m = am Standort gemessener pH (= pH 4,1 im Oberboden), * Inkrement um den der gemessene pH erhöht wurde

Abb. 8. Einfluss des Boden pH auf den mit EPIC simulierten Kornertrag und die Gesamtbiomasse von Cowpea; Chapada Fio do Mirolandia, Picos PI

Einen wichtigen Hinweis für die Lösung des Problems ergab ein Vergleich der Daten aus der Region Picos mit den Untersuchungen der UFC (FB Agrarökosysteme) im Fokusgebiet Tauá. Diese zeigten, dass EPIC durchaus in der Lage ist, Ertrags- und Pflanzenentwicklung von Mais und Cowpea auch unter verbesserten Anbaubedingungen zufriedenstellend zu simulieren (Abb. 9). Eine Analyse der Eingabewerte für beide Standorte ergab deutliche Unterschiede bei

den Bodeneigenschaften beider Standorte. Während die Böden in Tauá pH Werte im schwach alkalischen Bereich aufweisen, sind die Böden auf den Hochflächen bei Picos extrem sauer. Bei stark sauren Böden und frei verfügbaren Aluminiumionen in der Bodenlösung kommt es für nicht angepasste Pflanzen zu Aluminiumtoxizitätsproblemen. Dies führt zu Wachstumsstörungen bei empfindlichen Kulturen, die sich in niedrigen Erträgen äußern. Die im Cowpea *Cropfile* verwendeten Einstellungen für die Aluminiumtoxizitätstoleranz sind offensichtlich noch nicht ausreichend an das Vermögen von Cowpea angepasst, hohe Al-Sättigungen im Boden zu tolerieren. Die Anpassung des Al Toleranzindex an die Möglichkeiten lokaler Cowpeasorten wird daher als ein wichtiger Faktor zur Verbesserung des Simulationsergebnisses betrachtet (Hilger et al. 1999).

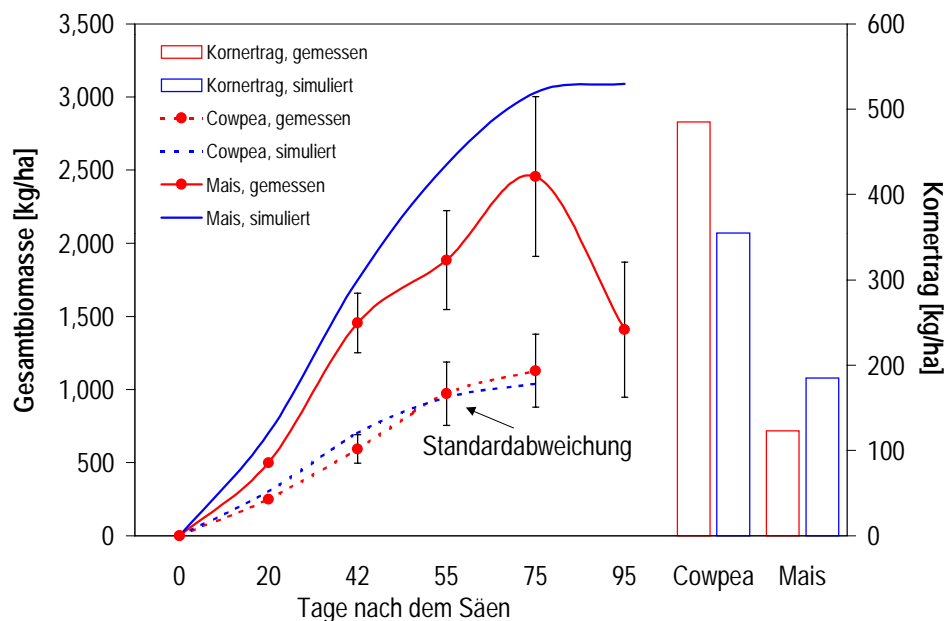


Abb. 9. Vergleich zwischen simulierter und gemessener Mais und Cowpea Biomasseproduktion und Kernertrag, Tauá Ceará, 1999⁵.

Auch bei Mais war eine Anpassung des Al Toleranzfaktors ein entscheidender Schritt, um eine bessere Übereinstimmung von Simulation und in den Versuchen beobachteten Werten zu erreichen. Wie Abb. 10 zeigt, konnten die Ertragsunterschiede zwischen den drei wichtigsten räumlichen Großeinheiten in der Region - Tal, Zwischenstufe (Zw-Stufe) und Chapada (Hochebene) - in der Simulation dargestellt werden. Extremereignisse, wie z. B. der sehr gute Maisertrag im Tal oder auf der Chapada im Jahr 2000, bereiten jedoch nach wie vor Schwierigkeiten. Bei normaler Niederschlagsverteilung und ausgeglichenen Standortbedingungen ist die Übereinstimmung zwischen beobachteten und simulierten Werten am besten, wie es die Ergebnisse aus Tauá (Bewässerung, bessere Bodeneigenschaften) zeigen.

⁵ Daten des UFC (FB Agrarökosysteme) Versuches in Tauá, CE,

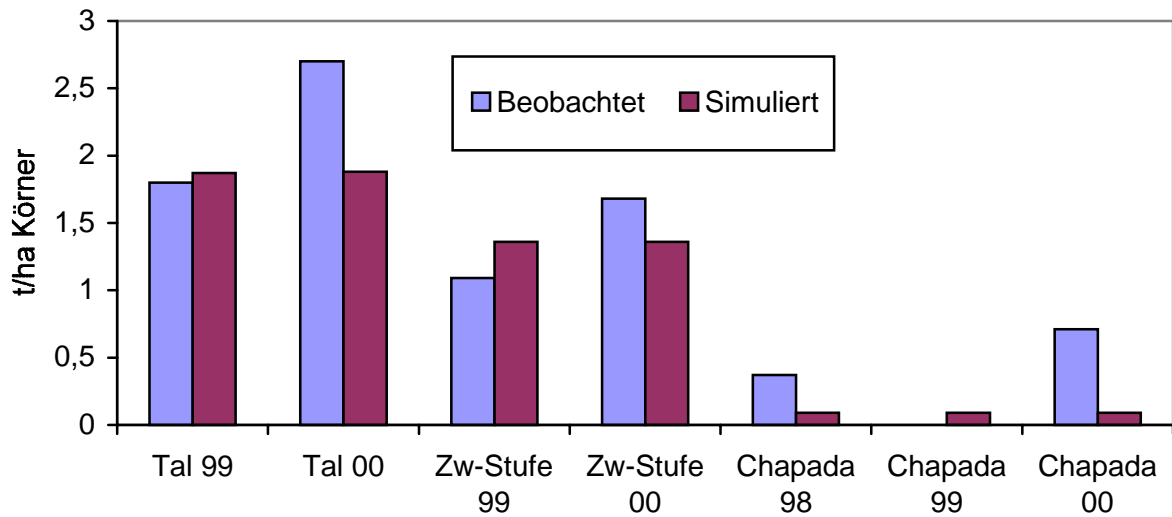


Abb. 10. Simulierter und beobachteter Kornertrag von Mais auf verschiedenen Standorten in der Region Picos. Daten beziehen sich auf Mais in Reinkultur ohne Düngung und wurden zwischen 1998 bis 2000 erhoben.

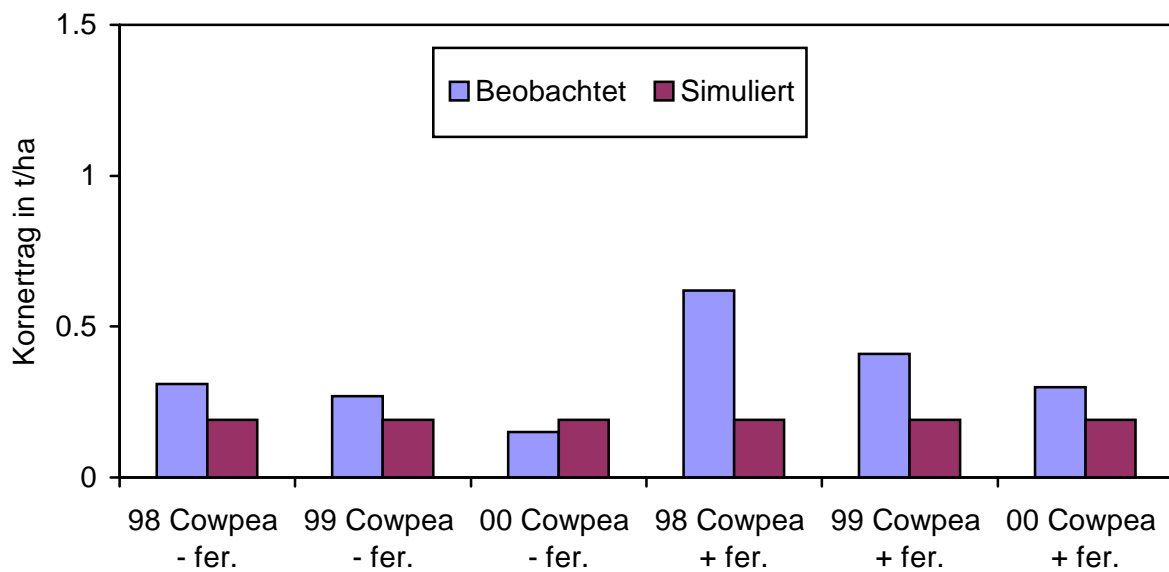


Abb. 11. Simulierter und beobachteter Kornertrag von Cowpea in Reinkultur mit (+fer.) und ohne (-fer.) Düngung. Daten wurden auf der Chapada Fio do Mirolandia in den Jahren 1998-2000 erhoben.

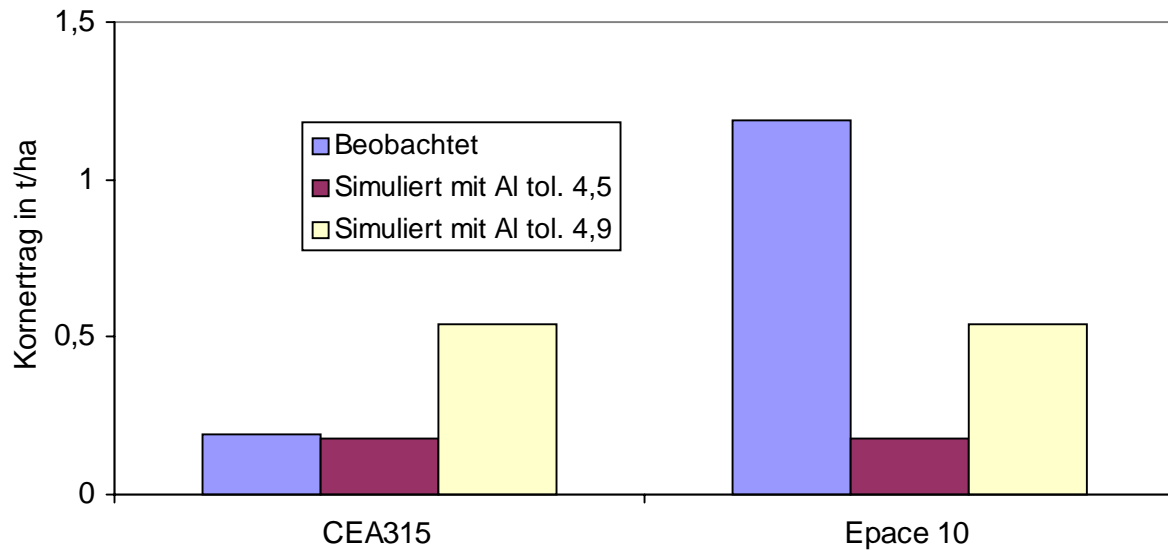


Abb. 12. Beobachteter und simulierter Kornertrag für zwei Cowpeasorten in Reinkultur ohne Düngung. Die Daten basieren auf den Felderhebungen auf der Chapada Fio do Mirolandia in der Region Picos aus dem Jahr 2000 - Simulation mit zwei unterschiedliche Aluminiumtoleranzfaktoren.

Eine Verbesserung der Nährstoffverfügbarkeit durch mineralische Düngung (Abb. 11) oder auch die Verwendung verbesserte Sorten (Abb.12) reduzieren die Genauigkeit der Simulation. Offenbar kommen einige der in der Region verwendeten Sorten mit den ungünstigen Standortbedingungen besser zurecht als andere. Diese Anpassung an saure Böden konnte bisher nicht über den *Cropfile* adäquat wiedergegeben werden. Daneben zeigte sich auch, dass die Modelle beim Auftreten mehrerer Stressfaktoren, z.B. bei gleichzeitiger Wasser- und Nährstoffknappheit, Probleme mit der Simulation hat. Ermittelt das Modell in der Simulationsrechnung für einzelne Tage Stressfaktoren für das Pflanzenwachstum, so wird von EPIC nur der wichtigste Faktor berücksichtigt. Auf den Hochflächen ist dies in der Regel der Wassermangel. Dies könnte ein Grund sein, warum bisher die Darstellung einer Düngerwirkung im Modell fehlschlug. Daneben konnte die Arbeitsgruppe Pflanzenernährung feststellen, dass auch die Kalkulation für die Nährstoffaufnahme im Modell verbessert werden muss.

Untersuchungen der UFC (FB Agrarökosysteme) zum Einfluß der Methode zur Bestimmung der Evaporation auf LAI, Gesamtbiomasse und Ertrag ergaben gute Übereinstimmung zwischen simulierten und beobachteten Werten. Ferner wurde die Berechnung des *Energy-Biomass Conversion* Faktors für Salat überprüft und die Angaben zur Blattseneszenz und Bedarf an Heat units für verschiedene Kulturpflanzen untersucht. Insgesamt waren die Ergebnisse dieser Untersuchungen sehr zufriedenstellend.

3.2.4 Schlussfolgerungen aus der Validierung und Kalibrierung der Modelle

Die dynamischen Ertragsmodelle EPIC und ALMANAC sind unter besseren Standortbedingungen durchaus in der Lage den Ertrag von Mais und Bohnen zu simulieren (siehe Abb. 9). Unter schlechten Standortbedingungen gibt es allerdings noch Probleme Wachstum und Ertrag in der Simulation richtig darzustellen. Vor allem, wenn produktionssteigernde Maßnahmen, wie z. B. Düngung, durchgeführt werden. Hier neigt das Modell dazu, den im Feld gemessenen Ertrag zu unterschätzen. Offenbar berücksichtigt es nicht ausreichend die Adaptation lokaler Sorten an widrige Standortbedingungen, wie z.B.

niedrige pH Werte. Bei pH Werten unter 5,4 steigen die Gehalte an freien Al^{3+} -Ionen im Boden an. Al^{3+} -Ionen sind in höheren Konzentrationen toxisch und hemmen dann das Wurzelwachstum. Allerdings reagieren nicht alle Kulturen gleich empfindlich auf hohe Al^{3+} Konzentrationen im Boden. Der EPIC *Cropfile* verfügt über einen Eingabeparameter, der die Al^{3+} -tox. Empfindlichkeit der entsprechenden Kulturpflanze berücksichtigt. Dieser Wert muss an die lokal angebauten Cowpeasorten angepasst werden.

Eine weitere, mögliche Fehlerquelle in Bezug auf die Bewertung der Al^{3+} -tox. durch EPIC besteht in der Berechnung der Al^{3+} -Konzentration im Boden durch das Modell. Sie ist keine Eingabegröße, sondern wird aus verschiedenen anderen Bodenparametern errechnet. Dabei wird der Wert nach einem empirischen Ansatz von Jones (1984) berechnet. Dieser kann jedoch unter den Bedingungen der Region Picos unzureichend sein. Ferner scheint das Modell noch Schwierigkeiten zu haben, das Auftreten mehrerer Stressfaktoren gleichzeitig zu bewerten. Im Moment können die zum Teil sehr großen Unterschiede im Ertrag zwischen verschiedenen räumlichen Großeinheiten in ihrer Größenordnung vom Modell wiedergegeben werden. Betrachtet man dagegen die Simulationsergebnisse für einen Standort, so besteht noch Verbesserungsbedarf. Zusammenfassend lassen sich die folgenden Schlussfolgerungen ziehen:

- EPIC ist in der Lage unter den semi-ariden Bedingungen des Nordosten Brasiliens, Unterschiede zwischen räumlichen Großeinheiten in der landwirtschaftlichen Produktivität verschiedener Kulturarten zu simulieren
- Allerdings muss das im Modell vorhandene *Cropfile* an die marginalen Standortbedingungen angepasst werden, da das Modell sonst dazu neigt das Ertragspotential zu unterschätzen.
- Betrachtet man in kleineren räumlichen Einheiten verschiedene Anbauvarianten, so unterschätzt das Modell in der Regel die besseren Varianten bzw. kann die im Feld beobachteten Produktionsunterschiede nicht simulieren.
- Ein Grund dafür ist die Berechnung von Stressfaktoren im Modell, die bei Wirkung von mehr als einem Stressfaktor Probleme verursacht. Auch die Kalkulation der Nährstoffaufnahme im Modell ist noch nicht befriedigend.
- Sortenspezifische Unterschiede können dazu führen, dass von einer Kultur getrennte *Cropfiles*, z.B. für traditionelle und verbesserte Sorte, angelegt werden müssen.

Ergänzend ist noch zu bemerken, dass es bei der Simulation mit EPIC und ALMANAC beim Austausch der Daten zwischen den Arbeitsgruppen immer wieder zu Problemen kam, weil der *Cropfile* der verwendeten Versionen leider nicht immer voll kompatibel war und erst die jeweilige Version abgestimmt werden mussten. Man hat sich deshalb darauf geeinigt in Zukunft nur noch mit der neuesten Version 7270 zu arbeiten, die jetzt ebenfalls eine Simulation von Misanbausystemen zulässt.

3.2.5 Integration von EPIC/ALMANAC auf der Meso- und Makroskala

Die Einbindung von EPIC und ALMANAC in die beiden von WAVES entwickelten integrierten Simulationsmodelle SIM und MOSDEL ist abgeschlossen. Abb. 1 gibt einen Überblick über die Schnittstellen bzw. den Datenaustausch im Fachbereich Agrarökosysteme sowie die Weitergabe der Daten an die Simulationsmodelle SIM und MOSDEL. Weitere Informationen über die Aufbau der Integrierten Modelle und Einbindung der Teilmodelle des Fachbereiches

Agrarökosysteme können Band 1 und 2 des Jahresbericht 2000 sowie dem Tagungsband⁶ des 3. WAVES Workshops vom März 2000 in Weihenstephan entnommen werden. Insbesondere die Beiträge der Fachbereiche Landschaftsökologie und Integrierte Modellierung sowie der AG Bodenkunde und AG Sozioökonomie sind hier zu nennen.

3.3 Zusätzliche erbrachte Leistungen im Rahmen des Verbundprojektes

Neben der in Kapitel 2.4. bereits beschriebenen Durchführung verschiedener öffentlicher Veranstaltungen hat das Teilprojekt Pflanzenbau im Berichtszeitraum an verschiedenen nationalen und internationalen Veranstaltungen teilgenommen. Folgenden Beiträge wurden hierzu beigetragen.

Herfort, J., T. H. Hilger and D.E. Leihner *Growth and yield performance of local maize and cowpea varieties under small scale farming conditions in the Northeast of Brazil*. Vorstellung der Forschungsziele Durchführung des Teilprojektes Pflanzenbau innerhalb des WAVES Programmes auf der EMBRAPA Station Meio Norte in Teresina-PI, 5. März, 1998.

Hilger, T.H. *Impact of El Niño on yield performance of a local upland rice variety in Piauí, Northeast Brazil*. Beitrag zum WAVES Kick-off workshop in Fortaleza, 9.-12 März, 1998. (Vortrag)

Herfort, J., T. Hilger and D.E. Leihner: *Growth and yield performance of local maize and cowpea varieties under small scale farming conditions in the Northeast of Brazil*. Beitrag zum WAVES Kick-off workshop in Fortaleza, 9.-12 März, 1998 (Poster).

Herfort, J., T. H. Hilger und D.E. Leihner, *Calibration of EPIC and ALMANAC for simulation of maize and cowpea growth under northeast Brazilian conditions*. Bilateraler Workshop in Fortaleza vom 7-8. April 1999. (Vortrag)

Hilger, T. H., L.S. Schneider und D.E. Leihner, *Effect of variety mixing and crop density on growth and yield of local cowpea varieties* Bilateralen Workshop in Fortaleza vom 7-8. April 1999. (Vortrag)

Hilger, T.H.. *Introdução Projeto WAVES - Teresina*, Beitrag zum WAVES/SEAAB-DHME Seminar *Seminário da Avaliação dos Estudos Realizados na Bacia do Rio Guaribas* vom 12-13. April 1999 in Teresina-PI, Brasilien. (Vortrag)

Hilger, T.H., L.S. Schneider und D.E. Leihner; *Efeito da mistura de cultivares e da densidade do plantio no desenvolvimento para cultivares locais do feijão caupí no nordeste brasileiro* - Beitrag zum WAVES/SEAAB-DHME Seminar *Seminário da Avaliação dos Estudos Realizados na Bacia do Rio Guaribas* vom 12-13. April 1999 in Teresina-PI, Brasilien. (Vortrag)

Herfort, J., T.H. Hilger und D.E. Leihner, *Calibração dos modelos EPIC e ALMANAC para o desenvolvimento das culturas de milho e feijão caupí nas condições do nordeste brasileiro* - Beitrag zum WAVES/SEAAB-DHME Seminar *Seminário da Avaliação dos Estudos Realizados na Bacia do Rio Guaribas* vom 12-13. April 1999 in Teresina-PI, Brasilien. (Vortrag)

Hilger, T. H., J. Herfort and L. S. Schneider *Einsatz von Sunscan zur Bestimmung des Blattflächenindex unter kleinbäuerlichen Bedingungen in Nordostbrasilien*. Beitrag zum UP GmbH Pflanzenphysiologie Symposium am 5. Mai 1999 in Kassel. (Vortrag)

Hilger, T.H. T. Gaiser, L. Gonzaga Rebouças Feirreira, J. Herfort, L.S. Schneider und I. de Barros. Die Agrarökosystemmodelle EPIC und ALMANAC und ihre Einbindung in WAVES. Beitrag zum WAVES Workshop über integriertes Modellieren vom 13-14. Januar 1999 am PIK in Potsdam. (Vortrag)

⁶ Prinz, Andreas (Herausgeber): Proceedings of the III. WAVES International Workshop in Freising-Weihenstephan, 13.-16. March 2000. ISBN 3-00-006633-6

- Hilger, T.H. Herfort J, T. Gaiser, L. Schneider and D. Leihner: Crop growth simulation on highly weathered soils in Northeast Brazil, Beitrag zum GCTE Focus 3 Konferenz vom 20.-23. September in September 20-24 in Reading, GB. (Poster)
- Hilger, T., Herfort, J., Gaiser, T, L. Gonzaga Rebouças Ferreira and D. Leihner: Calibration of EPIC for simulation of crop growth in NE Brazil. Beitrag zum Deutsche Tropentag vom 13-14, Oktober 1999 in Berlin. (Poster)
- Hilger, T.H., J. Herfort, T. Gaiser, D.E: Leihner und L. Gonzaga Rebouças Feirrera; *Calibration of EPIC/ALMANAC in semi-arid environments of NE Brazil*. Beitrag zum 3. bilateralen WAVES Workshop in Freising-Weihenstephan vom 13.-16. März, 2000. (Vortrag)
- Herfort, J., T.H. Hilger, T. Gaiser, i. de Barros, D.E: Leihner, L. Gonzaga Rebouças Feirrera and V. Römheld; Adaption of the crop growth models EPIC and ALMANAC to local cowpea and maize cropping systems in NE Brazil. Beitrag Internationaler Shift-Madam-Waves Workshop in Hamburg "Neotropical Ecosystems – Achievements and Prospects of Cooperation Research" vom 3-8 September 2000
- Hilger, T.H., J. Herfort, T. Gaiser, i. de Barros, L. Saboya, L. Gonzaga Rebouças Feirrera and V. Römheld; Potential of EPIC and ALMANAC to estimate crop yields under erratic rainfall in NE Brazil. Internationaler Shift-Madam-Waves Workshop in Hamburg "Neotropical Ecosystems – Achievements and Prospects of Cooperation Research" vom 3-8 September 2000
- Hilger, T.H., J. Herfort, T. Gaiser, i. de Barros, L. Saboya, L. Gonzaga Rebouças Feirrera and D.E: Leihner; Potential of EPIC and ALMANAC for crop growth simulation in semiarid environments of NE Brazil. Beitrag zum Deutsche Tropentag vom 11-12, Oktober 2000 in Hohenheim. (Vortrag)

Darüber hinaus waren Projektmitarbeiter an folgenden Publikationen beteiligt:

- Gaiser, T. und T.H. Hilger (1997): Simulation der Ertragsbildung von Trockenreis auf stark verwitterten tropischen Böden. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Band 85, Heft II, S. 891-894
- Gaiser, T., Hilger, T.H., Ferreira, L.G.R., Herfort, J., Barros, I. and Stahr, K. (1999) : 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. Proceedings of a Conference on Tropical and Subtropical Agriculture and Forestry, 14-15 October 1999. Berlin, Germany.
- 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., 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. Proceedings of a Conference on Tropical and Subtropical Agriculture and Forestry, 14-15 October 1999. Berlin, Germany (CD ROM)

3.4 Zitierte Literatur

- Brühl, D. (1985): Dürre – Modernisierung – soziale Macht. Zu den Ursachen des Elends im brasilianischen Nordosten. In: Brasiliens Agrarfrage, Modernisierung und ihre Folgen. Hamburg (Institut für Iberoamerikakunde). S. 27-37.

- Cabelguenne, M. und Debaeke, P. (1998). Experimental determination and modelling of the soil water extraction capacities of maize, sunflower, soya bean, sorghum and wheat. *Plant and Soil* 202(2), pp. 175-192
- Cardoso, M.J. und Filho, F.R.F. (1992): Compartimento produtivo de feijão macassar em três municípios do Piauí. *Anais do VI Seminário de Pesquisa agropecuária do Piauí*. EMBRAPA-UEPAE, p. 41-49, Teresina-PI
- Cardoso, M.J. und Ribeiro, V.Q. (1987): Comportamento de sistemas de associação milho com feijão macassar. *Ciê. Agron.* 18(2): 57-62. Fortaleza-CE
- Cardoso, M.J., Filho, F.R.F., dos Santos, A.A. und de Araújo, A.G. (1981a): Consorciação de culturas. Intervalo de semeadura milho x feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Piauí. *Anais do II Seminário de Pesquisa agropecuária do Piauí*. EMBRAPA-UEPAE, p. 31-40, Teresina-PI
- Cardoso, M.J., de Araújo, A.G., Filho, F.R.F. und Ribeiro, V.Q. (1981b): Culturas alternativas para o consórcio com milho em solos de baixões no Piauí. *Pesquisa em Andamento No 9*, EMBRAPA-UEPAE, Teresina-PI
- Cardoso, M.J., de Araújo, A.G., Filho, F.R.F. und Ribeiro, V.Q. (1981c): Consorciação de genótipos de milho (*Zea mays* L.) com feijão (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Piauí. *Anais do II Seminário de Pesquisa agropecuária do Piauí*. EMBRAPA-UEPAE, p. 41-49, Teresina-PI
- Cardoso, M.J., Filho, F.R.F., Ribeiro, V.Q., Frota, A.B. und Melo, F.B. (1992): População de plantas no consórcio milho x feijão macassar sob regimes de sequeiro e irrigado. *Ciê. Agron.* 23(1/2): 21-31. Fortaleza-CE
- Cavero, J., Plant R.E., Shennan, C., Williams, J.R., Kiniry, J.R., und Benson, V.W. (1998). Application of EPIC model to nitrogen cycling in irrigated processing tomatoes under different management systems. *Agricultural Systems* 56(4), pp. 391-414
- Conti, J. B. (1995): Proposta de metodologia de estudo aplicada ao Nordeste Brasileiro. Tese de Livre-Docente apresentada ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. São Paulo-SP.
- Costa, E.F. da, Cardoso, M.F. und Ribeiro, V.Q. (1994): Avaliação de variedades e híbridos de milho em Teresina, PI. *Anais do XIII Seminário de Pesquisa agropecuária do Piauí*. EMBRAPA-UEPAE, p. 47, Teresina-PI
- EMBRAPA (1995): Zoneamento das áreas em processo de degradação ambiental no trópico semi-árido do Brasil. EMBRAPA, Brasília, DF, Brazil
- Freire, D.G. et al. (1994): Avaliação do quadro da desertificação no Nordeste do Brasil: Diagnósticos e perspectivas". *Anais da Conferência Nacional da Desertificação*. Fortaleza-CE. pp.07-56
- Gaiser, T. und T.H. Hilger (1997): Simulation der Ertragsbildung von Trockenreis auf stark verwitterten tropischen Böden. In: *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, Band 85, Heft II, S. 891-894
- Hilger, T. et al. (2000): Potential of EPIC/ALMANAC for Crop Growth Simulation in Semiarid Environments of NE Brazil. *Deutscher Tropentag 2000*, 11.-12. Oktober 2000. Hohenheim, Germany.
- Holzborn, H. W. (1978): Das Problem des regionalen Entwicklungsgefälles - dargestellt am Beispiel des brasilianischen Nordostens. Verlag Riegger, Diessenhofen.
- IBAMA (1992): <http://www.mma.gov.br/ingles/SE/redesert/desertbi.html>
- IBGE (1996) Censo Agropecuário 1995/96
- IBGE (1999): Levantamento Sistemático da produção agrícola 1999, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE, Teresina PI, Brasil, Dezember 1999.
- Jones C.A: (1984): Estimation of percent aluminium saturation from soil chemical data. *Comm. Soil Science Plant Anal.* 15:327-335.
- Jones, C.A., C.V. Cole, A.N. Sharpley und J.R. Williams (1984): A simplified soil and plant phosphorus model. I. Documentation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48(4):800-805.

- Kiniry, J.R., J.R. Williams, P.W. Gassman und P. Debaeke (1992): A general process-oriented model for two competing plant species. *Transactions of the ASAE* 35(3): 801-810.
- Pinazza, L.A. (1991): Perspectivas da cultura do milho e do sorgo no Brasil. In: *Cultura do Milho*. Büll, L.T. und Cantarella, H. (Eds.), p. 1-10. Piracicaba-SP
- Roloff, G., de Jong, R. und Nolin, M.C. (1998). Crop yield, soil temperature and sensitivity of EPIC under central-eastern Canadian conditions. *Canadian Journal of Soil Science* 78(3), pp. 431-439
- Teixera, S.M., May, P.H. und Cordeiro, A. de S. (1988): Produção e importancia economica do caupi no Brasil, pp. 98-136. In: Pereira, J.P. de A. und Watt, E.E. (Eds.). *O caupi no Brasil*. Capitulo 4. EMBRAPA, Brasilia
- Williams, J.R., P.T. Dyke und C.A. Jones (1983): EPIC: a model for assessing the effects of erosion on soil productivity. In *Analysis of Ecological Systems: State-of-the-Art in Ecological Modeling*. Eds. W.K. Laurenroth et al.. Elsevier, Amsterdam, pp. 553-572.
- Williams, J.R., C.A. Jones und P.T. Dyke (1984): A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. *Trans. ASAE* 27: 129-144.
- Wolf, J.M. (1975): Soil-water relation in Oxisols of Puerto Rico and Brazil. In: Bornemiza, E. and A. Alvarado (Eds.) *Soil management in Tropical America*. Soil Science Dept. North Carolina State University, Raleigh, NC, pp 147-157.

4 Anhang

4.1 Ertragsdaten aus den Feldversuchen in der Fokusregion Picos

Tab. 3. Einfluß des Anbausystems auf Kornertrag und Gesamtbiomasse von Mais und Cowpea am Standort Picos PI, 1998

Behandlung	Vale/Tal		Chapada/Hochfläche	
	Korn	Gesamt	Korn	Gesamt
	--- in kg TM/ha ---		--- in kg TM/ha ---	
Kontrolle¹				
Mais Mischanbau	--	570 a	170 a	1.000 ns
Cowpea ² Mischanbau	26 A ³	310 A	304 B	884 BC
Horstsaat				
Mais Reinkultur	--	430 a	370 a	1.710 ns
Cowpea Reinkultur	20 A	210 A	306 B	839 C
Horstsaat plus NPK³				
Mais Reinkultur	--	280 a	440 a	2.240 ns
Cowpea Reinkultur	29 A	260 A	615 A	1.419 A
Mais Mischanbau	–	250 a	290 a	1.390 ns
Cowpea Mischanbau	29 A	200 A	513 A	1.301 B
Endabstand plus NPK				
Mais Reinkultur	--	220 a	430 a	2.270 ns
Cowpea Reinkultur	37 A	350 A	637 A	1.474 A
Mais Mischanbau	–	110 a	290 a	1.410 ns
Cowpea Mischanbau	32 A	410 A	566 A	1.649 A

1 traditionelles Anbausystem mit Buschbrache, Mischanbau und ohne Düngung

2 am Talstandort wurde Cowpea im März noch einmal ausgesät

3 26 kg/ha N, 50 kg/ha P₂O₅ und 35 kg/ha K₂O

4 Behandlungen mit dem gleichen Buchstaben weichen nicht signifikant von einander ab (P: 0.05), wobei Großbuchstaben für den Vergleich zwischen Cowpea Mittelwerten und Kleinbuchstaben für den Vergleich zwischen Mais Mittelwerten gelten; ns= nicht signifikant

Tab. 4. Einfluß von Sorte und Bestandesdichte auf den Kornertrag von Cowpea, Chapada Mirolandia, Picos, Piauí.

Behandlung ¹	Erträge in kg TM/ha			
	60 10 ³ Pfl./ha		120 10 ³ Pfl./ha	
	1998	1999	1998	1999
Canapú	372 a ²	830 a	472 a	880 a
CEA315 ³	166 a	570 b	244 b	450 b
Canapú/CEA315	230 a	620 ab	302 ab	720 ab

1 alle Behandlungen erhielten eine Grunddüngung von 8 kg/ha N, 47 kg/ha P, 24 kg/ha K

2 Behandlungen mit dem gleichen Buchstaben weichen nicht signifikant von einander ab (P: 0.05)

3 Die Lokalsorte mit der Bezeichnung CR oder CA, stammt von der Cowpea-Sorte CEA 315 ab

Tab. 5. Einfluss des Anbausystems auf Kornertrag und Gesamtbiomasse von Mais und Cowpea am Standort Picos PI, 1999

Behandlung	Vale/Tal				Vale/Tal				Chapada/ Hochfläche			
	Saattermin A				Saattermin B							
	Korn		Gesamt		Korn		Gesamt		Korn		Gesamt	
--- in kg TM/ha ---												
Kontrolle¹												
Mais Mischanbau	1.440	ns	3.460	a	800	a	4.060	a	--	340	bc	
Cowpea ² Mischanbau	370	A	1.620	ns	60	ns	480	ns	240	ns	430	
Horstsaat												
Mais Reinkultur	2.050	ns	4.270	a	780	a	4.030	a	--	400	ac	
Cowpea Reinkultur	550	A	2.980	ns	20	ns	1.150	ns	270	ns	440	
Horstsaat plus NPK³												
Mais Reinkultur	1.810	ns	3.260	a	800	a	4.440	a	--	450	ac	
Cowpea Reinkultur	340	A	1.250	ns	170	ns	1340	ns	410	ns	740	
Mais Mischanbau	1.370	ns	2.930	a	560	a	3.770	a	--	440	ac	
Cowpea Mischanbau	340	A	1.240	ns	160	ns	450	ns	439	ns	782	
Endabstand plus NPK												
Mais Reinkultur	1.460	-	3.640	a	850	a	5.270	A	--	600	ac	
Cowpea Reinkultur	790	A	3.750	ns	--	ns	2.460	ns	430	ns	760	
Mais Mischanbau	1.580	-	4.040	a	1.060	a	6.030	a	--	660	a	
Cowpea Mischanbau	690	A	2.550	ns	120	ns	470	ns	500	ns	880	

1 traditionelles Anbausystem mit Buschbrache, Mischanbau und ohne Düngung

2 aufgrund von Hochwasserschäden wurde der Versuch neu angelegt

3 26 kg/ha N, 50 kg/ha P₂O₅ und 35 kg/ha K₂O

4 Behandlungen mit dem gleichen Buchstaben weichen nicht signifikant von einander ab (P: 0.05), wobei Großbuchstaben für den Vergleich zwischen Cowpea Mittelwerten und Kleinbuchstaben für den Vergleich zwischen Mais Mittelwerten gelten; ns= nicht signifikant.

Tab. 6. Einfluss von Sorte und Düngung auf Kornertrag und Gesamttrockenmasse von Cowpea, Chapada Fio do Mirolandia, Picos, Piauí. 2000

Sorte ¹	Erträge in kg TM/ha			
	Korn		Gesamt	
Ohne Düngung				
CEA 315	193	aA ²	690	aA
Santo Inácio	360	aA	875	aA
Feijão Branco	206	aA	782	aA
Sempre Verde	246	aB	829	aB
Canapu Ligeiro	395	aA	1135	aA
Epace 10	376	aB	852	aB
Canapu Comum	310	aA	1038	aA
mit Düngung¹				
CEA 315	487	aA	1576	aA
Santo Inácio	937	aA	1893	aA
Feijão Branco	518	aA	1877	aA
Sempre Verde	639	aB	1808	aB
Canapu Ligeiro	1095	aA	2794	aA
Epace 10	1193	aB	2065	aB
Canapu Comum	805	aA	2356	aA

1 48 kg N, 90 kg P₂O₅, 60 kg K₂O je ha.

2 Behandlungen mit dem gleichen Buchstaben weichen nicht signifikant von einander ab (P: 0.05), wobei Großbuchstaben für den Vergleich zwischen gedüngter und nicht gedüngter Sorte stehen, Kleinbuchstaben für den Vergleich zwischen den Sorten.

Tab. 7. Einfluß des Anbausystems auf Kornertrag und Gesamtbiomasse von Mais und Cowpea am Standort Picos PI, 2000

Behandlung	Vale/Tal		Chapada/Hochfläche					
	Korn	Gesamt	Korn	Gesamt				
	--- in kg TM/ha ---		--- in kg TM/ha ---					
Kontrolle¹								
Mais Misanbau	2.988	a	6.950	a	103	a	438	a
Cowpea ² Misanbau	--		--		94	AC	277	A
Horstsaat								
Mais Reinkultur	2.738	a	6.192	a	711	b	1.832	bc
Cowpea Reinkultur	--		--		101	AC	307	B
Horstsaat plus NPK								
Mais Reinkultur	2.743	a	6.500	a	903	c	2.277	c
Cowpea Reinkultur	--		--		360	B	866	B
Mais Misanbau	2.178	a	5.450	a	283	b	1.053	b
Cowpea Misanbau	--		--		230	BC	571	B
Endabstand plus NPK								
Mais Reinkultur	3.332	a	7.525	a	454	b	1.456	bc
Cowpea Reinkultur	--		--		203	BC	642	B
Mais Misanbau	2.935	a	6.665	a	205	b	783	a
Cowpea Misanbau	--		--		214	BC	724	B

1 traditionelles Anbausystem mit Buschbrache, Misanbau und ohne Düngung

2 am Talstandort wurde Cowpea im März noch einmal ausgesät

3 Behandlungen mit dem gleichen Buchstaben weichen nicht signifikant von einander ab (P: 0.05), wobei Großbuchstaben für den Vergleich zwischen Cowpea Mittelwerten und Kleinbuchstaben für den Vergleich zwischen Mais Mittelwerten gelten; ns= nicht signifikant

Tab. 8. Übersicht über die Kornerträge und Gesamtbiomasseproduktion in den Meßparzellen auf traditionell bewirtschafteten Bauernfeldern im Fokusgebiet Picos.

Standort/Kulturpflanze/Bewirtschaftungsform/Jahr	Erträge in kg TM/ha	
	Kornertrag	Gesamtbiomasse
Chapada Mirolandia, Picos PI Cowpea, Horstsaat ohne Düngung, 1999		
Epace 10	540	828
Chapada Mirolandia, Picos PI, traditionell bewirtschaftetes Bauernfeld mit Cowpea, 1999 ¹		
Sempre Verde	637	1.440
Zwischenstufe bei Saco Grande, Picos PI, traditionell bewirtschaftetes Bauernfeld mit Mischbau von Mais und Cowpea ²		
Mais (Lokalsorte) 1999	1.090	3.840
Cowpea (Sempre Verde) 1999	730	1.490
Mais (Lokalsorte) 2000	1.680	3.260
Cowpea (Sempre Verde) 2000	760	1.500
Rio Guaribas Tal bei Sussuapara, Picos PI, traditionell bewirtschaftetes Bauernfeld mit Reis, 1999 ³		
Reis (Lokalsorte) 1999 ³	3.220	7.200
Reis (Lokalsorte) 2000 ³	4.090	8.840
Chapada Mirolandia, Picos PI, traditionell bewirtschaftetes Bauernfeld mit Maniok		
Maniok (Lokalsorte) 1998-1999 ⁴	5.310 ⁶	9.580 ⁷
Maniok (Landsorte) 1999-2000 ⁵	7.171	11.259

1 frisch gerodetes Feld nach mehrjähriger Brache, Horstsaat ohne mineralische Düngung

2 Langjährig genutzte Fläche auf sehr fruchtbarem Standort, Horstsaat ohne mineralische Düngung, Mischung zwei Cowpeareihen auf eine Maisreihe

3 Horstsaat ohne mineralische Düngung in Flußniederung, Fläche stand aufgrund natürlicher Bedingungen längere Perioden im Wasser.

4 Maniok im Februar 1998 ausgepflanzt und im Juli 1999 geerntet

5 Maniok im Februar 1998 ausgepflanzt und im Mai 2000 geerntet

6 Wurzelknollenfrischmasse 14.290 kg/ha

7 Wurzelknollenfrischmasse 16.145 kg/ha