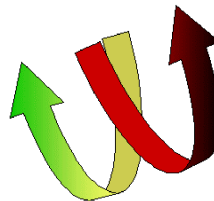


**WASSERVERFÜGBARKEIT SOWIE ÖKOLOGISCHE, KLIMATISCHE UND
SOZIOÖKONOMISCHE WECHSELWIRKUNGEN IM SEMIARIDEN
NORDOSTEN BRASILIENS**



WAVES

**Verbundprojekt WAVES
Statusbericht der ersten Hauptphase**

**Fachbereich Agrarökosysteme
Arbeitsgruppe Pflanzenbau**

Zuwendungsempfänger: Universität Hohenheim

Projektleiter: Prof. Dr. Dietrich E. Leihner

Förderkennzeichen: 01 LK 9711/9

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

Laufzeit des Vorhabens: 01.08.1997 - 31.07.2000

Berichtszeitraum: 01.08.1997 - 31.12.1999

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

Stuttgart-Hohenheim, den 15. Februar 2000
Institut für Pflanzenproduktion und Agrarökologie in den Tropen und Subtropen
Kirchnerstr. 5, 70599 Stuttgart

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1 Zusammenfassung / Summary | 3 |
| 2 Stand des Vorhabens | 4 |
| 2.1 Einleitung und Fragestellung des Teilprojektes..... | 4 |
| 2.2 Methodisches Vorgehen | 6 |
| 2.2.1 Datenerhebung zur Beschreibung des Pflanzenwachstums und der Ertragsbildung | 7 |
| 2.2.2 Validierung der Modelle EPIC und ALMANAC..... | 9 |
| 2.3 Ergebnisse | 11 |
| 2.3.1 Feldversuche im Fokusgebiet Picos..... | 11 |
| 2.3.2 Simulation und Validierung | 16 |
| 2.3.3 Integration von EPIC und ALMANAC in die WAVES Modelle SIM und MOSDEL | 20 |
| 2.4 Diskussion..... | 21 |
| 2.5 Zusammenarbeit mit den anderen Teilprojekten und den brasilianischen Partnern | 22 |
| 2.6 Internationale Kontakte | 23 |
| 2.7 Bibliographie | 24 |
| 2.7.1 Eigene Publikationen | 24 |
| 2.7.2 Zitierte Literatur | 24 |
| 3 Vergleich des Standes des Vorhabens mit der ursprünglichen Planung und Ausblick | 25 |
| 4 Ergebnisse Dritter, die für das Vorhaben von Bedeutung sind | 25 |
| 5 Angaben zu Erfindungen und Schutzrechten | 25 |

1 Zusammenfassung / Summary

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 wird ein integriertes Regionalmodell 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 drei 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 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 werden 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 Messprogramm 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 beiden 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 Messprogramm aufgenommene Maniok (*Manihot esculenta* Crantz) zeichnete sich unter den schwierigen An-

baubedingungen dieser Region durch ein im Vergleich zu Mais deutlich besseres Ertragspotential aus. 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 befriedigend.

Eine bessere Anpassung beider Modelle an die im Feld beobachteten Daten wird erwartet, wenn die Felddaten aus der Vegetationsperiode 2000 vorliegen und ausgewertet sind. Die Entwicklung von Szenarien über mögliche Folgen einer globalen Klimaveränderung für die landwirtschaftliche Produktion in Piauí und die Lebensqualität in semi-ariden Gebieten Nordostbrasilien soll in der verbleibenden Projektlaufzeit gemeinsam mit den brasilianischen Partnern vorangetrieben werden.

2 Stand des Vorhabens

2.1 Einleitung und Fragestellung des Teilprojektes

Ein zentrales Problem im Nordosten Brasiliens stellt die erratische Niederschlagsverteilung dieser Region dar. Dabei wechseln sich Sequenzen von trockenen Jahren mit Sequenzen von Jahren mit überdurchschnittlich hohen Niederschlägen ab. Dies führt häufig zu klimatischen Katastrophen in Form von extremen Dürren oder verheerenden Überschwemmungen. 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, mit der diese Klimaanomalien eintreten, 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. Zudem können sporadisch auftretende Unterbrechungen der Regenzeit, sogenannte *Veranicos*, die eine Länge von drei und mehr Wochen erreichen können, die Pflanzenbestände stark dezimieren. Je nach Länge der Unterbrechung und je nachdem, ob sie während einer sensiblen Phase der Pflanzenentwicklung auftreten, können diese zu starken Ertragseinbußen bei den angebauten Kulturpflanzen führen. In extremen Jahren kann es zu einem Totalausfall der Ernte kommen. Für das landwirtschaftlich geprägte Landesinnere der Nordostregion hat dies gravierende ökologische und soziale Folgen.

Die aktuelle Landnutzung mit extensiver Weidehaltung auf Bracheflächen, die zuvor einige Jahre über traditionelle Formen des Regenfeldbaus ohne jegliche Inputs in Form von organischen oder mineralischen Düngern genutzt wurden, wirkt sich nachteilig auf die Erhaltung der Fruchtbarkeit der in Nordostbrasilien verbreiteten Bodentypen aus. Geringe Gehalte an verwitterbaren Mineralreserven, niedrige Kationenaustauschkapazitäten der Böden, vielfach starke Neigung der Böden zur P Immobilisierung, Bodenversauerung in Verbindung mit Aluminiumtoxizität, geringe nutzbare Feldkapazitäten aufgrund toniger oder sandiger Textur, und Versalzung gehören zu den wesentlichen Problemen 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, Migrationsbewegungen 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.

Ziel des deutsch-brasilianischen Verbundprojektes WAVES ist es daher,

- die Grundzüge des bestehenden Systemgefüges in einem interdisziplinären Ansatz auszuarbeiten,
- mögliche Pfade einer nachhaltigen, gemeinsamen Entwicklung von Natur und Gesellschaft am Beispiel semiarider Regionen der Staaten 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 von WAVES ist 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. Andererseits sollen mit Hilfe der im Feld erhobenen Daten die dynamischen Simulationsmodelle EPIC und ALMANAC auf ihre Anwendbarkeit unter traditionellen Anbaubedingungen geprüft werden und gegebenenfalls an 'low input' Bedingungen, wie sie in der Projektregion vorherrschen, angepasst werden.

Die untersuchten Modelle sollen nach erfolgreicher Validierung durch Kopplung an die innerhalb des Verbundprojektes WAVES entwickelten integrierten Modelle SIM (dynamische Simulation, Modellbeschreibung s. TP Integrierte Modellierung), insbesondere durch Kopplung an

das ländliche Regionalentwicklungsmodell RASMO (Modellbeschreibung s. TP Agrarökonomie) und MOSDEL (flächenbezogene Simulation, Modellbeschreibung s. TP Landschaftsökologie) eine realistische Simulation der pflanzlichen Produktion in den beiden nordostbrasilianischen Bundesstaaten Ceará und Piauí sowie in den Fokusgebieten Picos, Piauí, und Tauá, Ceará, unter sich ändernden Klimabedingungen ermöglichen.

2.2 Methodisches Vorgehen

Im Vorfeld der WAVES Hauptphase I wurde der Aufbau und die Struktur von vierzehn Pflanzenwuchsmodelle analysiert. Die Modelle *Environmental Policy Integrated Climate Model* (EPIC) und *Agricultural Land Management Alternatives with Numerical Assessment Criteria* (ALMANAC) fielen auf, weil sie neben den Faktoren Boden, Klima und Wasser auch die Verfügbarkeit von mehreren Nährstoffen (N, P) und das Vorkommen von toxischen 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 innerhalb der integrierten Modelle ausgewählt wurden. Bei ALMANAC handelt es sich um eine Weiterentwicklung von EPIC, welches über den Vergleich von zwei Pflanzenarten in einem Simulationsgang die Betrachtung von Mischanbausystemen und Verunkrautung erlaubt. Im folgenden Text wird daher EPIC als Synonym für beide Modelle verwendet, wenn es nicht ausdrücklich anders erwähnt wird.

EPIC wurde unter nordamerikanischen Bedingungen in den 80iger Jahren entwickelt, um den Einfluss der Erosion auf die Produktivität zu erfassen und inzwischen für eine Vielzahl von Umwelten getestet. Im Modell werden derzeit 80 Kulturpflanzen berücksichtigt, von denen etwa die Hälfte auch unter tropischen Bedingungen angebaut werden kann. Weitere Information zu den Modellen können über die WAVES Homepage (Hilger et al., 1999a) und über die EPIC Homepage (USDA, 1999) abgerufen werden.

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

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

Die Arbeiten der AG Pflanzenbau konzentrieren sich auf:

- Erhebungen von Felddaten in der Fokusregion Picos, Piauí
- Validierung und Kalibrierung der Module Pflanzenwachstum, Konkurrenz und Management

¹ nur ALMANAC

2.2.1 Datenerhebung zur Beschreibung des Pflanzenwachstums und der Ertragsbildung

Für die Kalibrierung und Validierung von Modellen werden verschiedene Pflanzenparameter benötigt. Da solche Daten aus Piauí und Ceará bisher nur in sehr begrenzten Umfang vorliegen, wurden von der AG Pflanzenbau zu Beginn der Vegetationsperiode 1998 Feldversuche auf zwei repräsentativen Standorten in Picos, Piauí, angelegt. Ein Standort liegt auf einer Hochebene (Chapada), der andere im Tal (Vale). Dies sind die beiden wichtigsten räumlichen Einheiten für die landwirtschaftliche Produktion im Fokusgebiet Picos.

Die Standorte 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.

Auf beiden Standorten werden seit Januar 1998 Feldversuche mit Mais (*Zea mays* L.) und Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) durchgeführt, zwei für die Ernährungssicherung in Piauí und Region Picos wichtige Kulturpflanzen. Beide Versuche wurden auf frisch gerodeten bzw. seit längerer Zeit brach liegenden Bauernfeldern installiert und ermöglichen eine Beschreibung von Wachstum und Ertragsbildung von Lokalsorten unter kleinbäuerlichen Bedingungen. Darüber hinaus wurden weitere Anbaumethoden in die Versuche integriert, um deren Potentiale zur Stabilisierung bzw. Steigerung von Lokalsorten-Erträgen zu testen.

Folgende Behandlungen kamen 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 Behandlung erhalten 26 kg/ha N, 50 kg/ha P und 35 kg/ha K in Form eines NPK-Düngers, verteilt auf 2 Teilgaben.

Die Höhe der Saatstärke wurde an die in der Region üblichen Werte angepasst. Diese betragen bei Cowpea 40 bis 50.000 Pflanzen/ha auf der Hochfläche und 60 bis 65.000 Pflanzen/ha im Tal, während sie bei Mais bei 20 bis 25.000 Pflanzen/ha auf der Hochfläche und 30 bis 35.000 Pflanzen/ha am Talstandort lagen. Im Misanbau wurden die gleichen Bestandsdichte wie bei der Reinkultur verwendet.

In beiden Versuchen wurden alle 14 Tage folgende Parameter zur Charakterisierung des Pflanzenwuchses und des Verlaufes der Ertragsbildung erhoben:

- LAI (*Leaf Area Index*) und LTR (*Light Transmission Ratio*), Bestimmung mit dem *SunScan Canopy Analysis System* (Delta T Devices, Cambridge, England)
- CGR (*Crop Growth Rate*)
- phänologische Daten

Bei der Ernte wurden Kornertrag, Gesamtbiomasseproduktion und Verteilung der Trockenmasse auf einzelne Pflanzenorgane bestimmt.

Um zusätzliche Informationen über Wachstum und Ertragsbildung von Cowpea für die Validierung von EPIC zu erhalten, wurde auf der Hochfläche ein weiterer Feldversuch angelegt. Mit Hilfe dieses Versuches wird der Vergleich von Wachstum und Ertragsbildung zweier Lokalsorten bei unterschiedlicher Bestandsdichte (60 und 120 10^3 Pflanzen/ha) ermöglicht. Gleichzeitig wurde in diesem Versuch getestet, ob eine Mischung von Sorten mit kürzerem und längerem Wachstumszyklus unter erratischer Niederschlagsverteilung gegenüber der Reinkultur eine Minderung des Ertragsrisikos bewirkt.

Ergänzend zu der Datenerhebung in den Feldversuchen wurden Messflächen auf traditionell bewirtschafteten Bauernfeldern im Fokusgebiet Picos angelegt. In diese Untersuchungen wurden weitere Kulturpflanzen einbezogen, die für die kleinbäuerliche Produktion in dieser Region 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
- Bauernfeld mit Maniok (*Manihot esculenta* Crantz); Bestimmung von LAI sowie Wurzelknollen- und Gesamtbiomasseertrag; Vegetationsperiode 98-99 (zweijährig) ; vier Messpunkte
- Bauernfeld mit Maniok; Bestimmung von LAI sowie Wurzelknollen- und Gesamtbiomasseertrag; Vegetationsperiode 1999-2000 (zweijährig); Ernte im Juni 2000 geplant; drei Messpunkte

Zwischenstufe

- Bauernfeld mit Mais/Cowpea Mischbau; Bestimmung von LAI sowie Korn- und Gesamtbiomasseertrag; Vegetationsperiode 98/99; drei Messpunkte

Tal

- Bauernfeld mit Reis (*Oryza sativa* L.); Bestimmung von LAI sowie Korn- und Gesamtbiomasseertrag; Vegetationsperiode 98/99; drei Messpunkte

Zusätzlich zur Erfassung von ertragsbestimmenden Pflanzenparametern werden in diesen Messparzellen phänologische Beobachtungen durchgeführt und Daten über die Bestandesentwicklung und -führung erfasst.

Die Niederschlagsverteilung war in beiden Versuchsjahren sehr ungünstig (Abb. 1). Während die Vegetationsperiode 1997/98 durch mehrere, lang anhaltende Unterbrechungen der Regenperiode gekennzeichnet war, fielen zu Beginn der Vegetationsperiode 1998/99 relativ hohe Niederschläge, so dass es am Talstandort zu Überschwemmungen kam und nur ein Teil des dort angelegten Mais/Cowpea Versuches überlebte (Abb. 1, Mais/Cowpea Vale A, '99). Daher musste der Feldversuch an diesem Standort ein zweites Mal gesät werden (Abb. 1, Mais/Cowpea Vale B, '99).

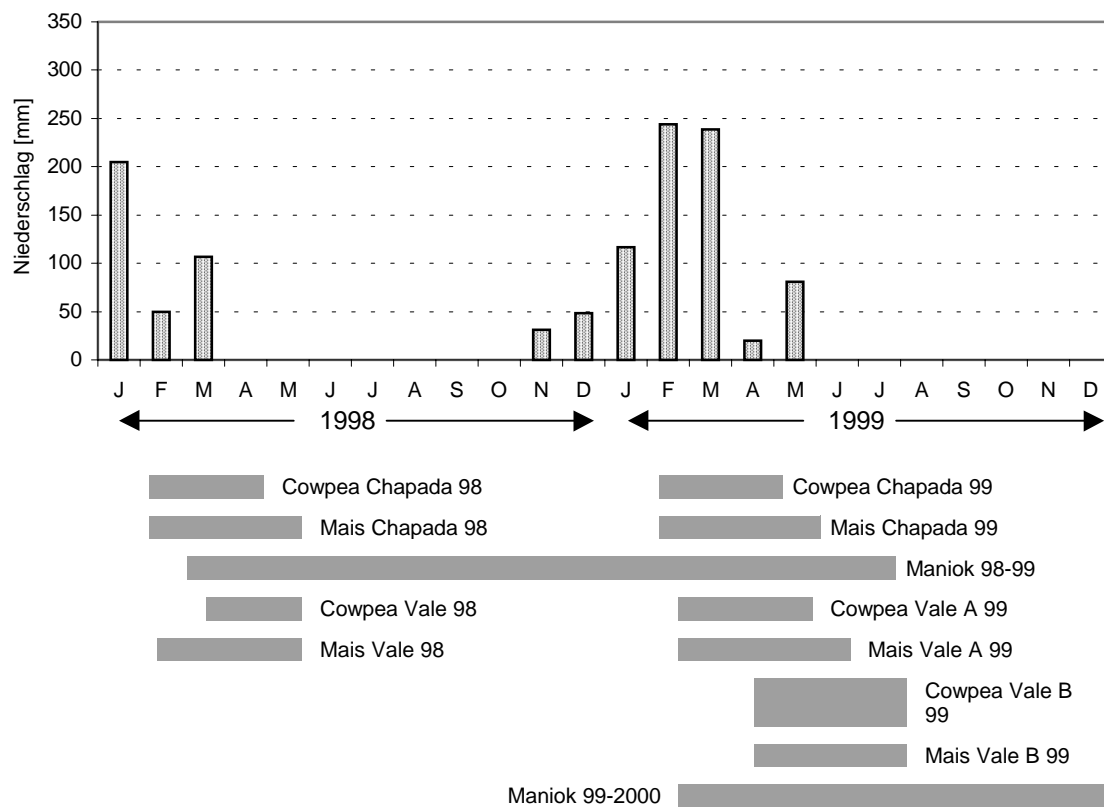


Abb. 1. Überblick über die Niederschlagsverteilung (Januar 1998 und Dezember 1999) im Fokusgebiet Picos während der Datenerhebung zu den einzelnen Kulturen und wann diese erfolgte.

2.2.2 Validierung der Modelle EPIC und ALMANAC

Da EPIC und ALMANAC bisher nicht unter den Standortbedingungen Nordostbrasilien getestet wurde, ist es erforderlich das Modell unter diesen Bedingungen zu validieren und gegebenenfalls zu kalibrieren. Diese Aufgabe wurde von den drei Arbeitsgruppen (Bodenkunde, Pflanzenernährung und Pflanzenbau) des Fachbereiches Agrarökosysteme und dem brasilianischen Partner des FB Agrarökosysteme an der Universidade Federal do Ceará (UFC) gemeinsam übernommen. Die Feldarbeiten der brasilianischen Partner konzentrierten sich auf Ceará, während die Untersuchungen auf deutscher Seite vornehmlich in Piauí durchgeführt wurden. Das Testen der einzelnen Module wurde ebenfalls unter den Arbeitsgruppen aufgeteilt, wobei die AG Pflanzenbau die Validierung der Module Pflanzenwachstum, Konkurrenz und Management übernommen hat. (Tab. 1).

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 Validierung dieser 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.

Die wichtigsten Eingabedateien, in denen Änderungen vorgenommen werden können, sind der *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.

Der zweite wichtige Eingabefile ist der *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 verfügbar, etwa die Hälfte dieser kann in den Tropen angebaut werden.

Bei der Simulation mit *EPIC* wurde bei Mais der existierende *Cropfile* benutzt. Für Cowpea ein wurde ein Rohfile verwendet, der vom Fachbereich Agrarökosysteme an der UFC auf der Basis der *Cropfile*-Daten für Felderbse (*Pisum sativum* L.) entwickelt wurde: Dieser hat bei ersten Tests in Ceará recht gute Übereinstimmung zwischen beobachteten und simulierten Ergebnisse erzielt und wird momentan, zusammen mit dem Mais *Cropfile*, für die Standortbedingungen von Tauá und Picos getestet.

Zur Validierung der *Cropfiles* wurde, als erster Schritt, ein Abgleich zwischen den im Feld gemessenen und den simulierten LAI Werten durchgeführt. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, weil Wachstum und Ertragsbildung stark von der Entwicklung des LAI beeinflusst werden. Ein Vergleich zwischen im Feld gemessenen und simulierten LAI Werten über den gesamten Beobachtungszeitraum ermöglichte Rückschlüsse über fehlerhafte Einstellungen bei den wachstums- und ertragsbestimmenden Parametern der *Cropfiles*, die sich aus der Verwendung von Lokalsorten und den Standortbedingungen in der Fokusregion ergaben. Durch Anpassung der Voreinstellung verschiedener Pflanzenparameter, wie z. B. dem Aluminiumtoleranzfaktor, im *Cropfile* an die spezifischen Eigenschaften der verwendeten Lokalsorten kann der Verlauf der simulierten LAI Kurven über Justierung an den gemessenen Werte optimiert werden. Änderungen in den LAI determinierenden Parametern im Modell wirken sich meist so-

fort auf Korn- und Biomasseertrag aus. Abbildung 2 zeigt die an der LAI Simulation beteiligten Parameter eines EPIC *Cropfiles*.

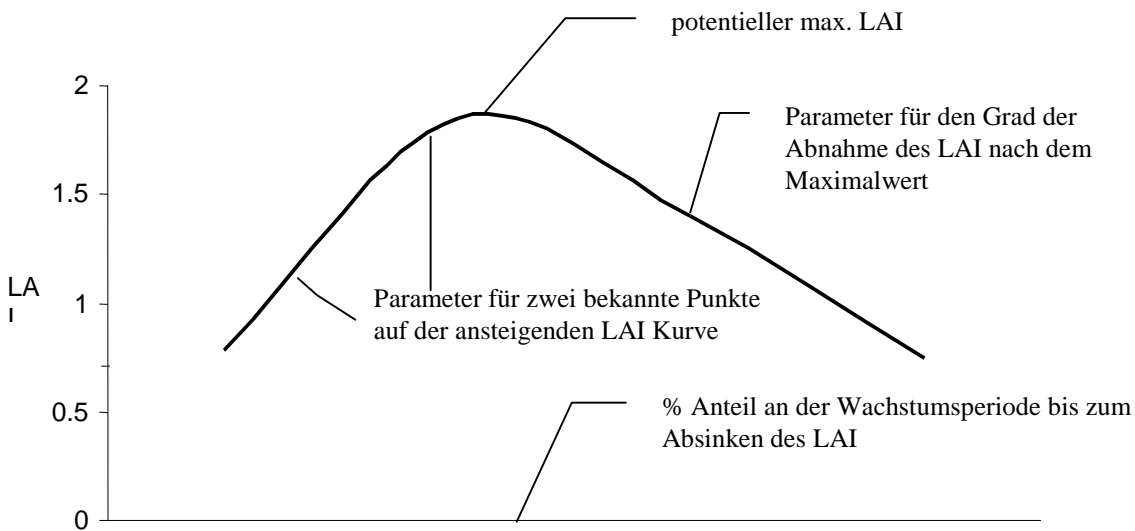


Abb. 2. Graphische Darstellung der für die LAI Simulation verwendeten EPIC/ALMANAC *Cropfile* Parameter

2.3 Ergebnisse

2.3.1 Feldversuche im Fokusgebiet Picos

Die Durchführung der Feldversuche in der Region war in beiden Jahren stark geprägt durch die klimatischen Bedingungen der Region, die unter dem Einfluss eines starken *El Niño* Jahres standen. Die kurze Regenzeit wies eine sehr ungünstige Niederschlagsverteilung auf, die durch häufige Unterbrechungen geprägt war (Abb. 1). Niederschlagsmenge und Verteilung waren 1999 wesentlich besser als im Vorjahr. Dennoch muss die Produktion am Talstandort auch in diesem Jahr aufgrund zu hoher Niederschläge zu Beginn der Regenzeit 1999 als problematisch eingestuft werden. An zwei Terminen, kurz nach der Aussaat (Saattermin A; Abb. 1) und Mitte März, wurde die gesamte Versuchsfläche für mehrere Tage durch einen naheliegenden Bach überflutet. Zum Teil stand das Wasser über 50 cm hoch. Erstaunlicherweise überstanden die Pflanzen die erste Überschwemmung einigermaßen gut. Allerdings trocknete der Boden nach dem Abfließen des Wassers sehr langsam ab. Auf den feuchteren Stellen traten bei Cowpeas daher Fusariumfäulen und andere Fußkrankheiten auf. Daher musste der Versuch Ende März (Saattermin B) erneut angelegt. Da die Hälfte der Versuchsfläche im Tal diese witterungsbedingte Katastrophe überstand, wurde diese Fläche beibehalten und als Versuch Vale/Tal Saattermin A fortgeführt.

Auf der Chapada konnten bei Cowpea im Vergleich zu den Durchschnittswerten von Piauí und Picos ähnliche Erträge erzielt werden (Abb. 3). Allerdings ist das Ertragsniveau in Piauí unter traditionellen Anbaubedingungen mit 0,3 t/ha sehr gering. Etwas höhere Erträge konnten 1999 am Talstandort erzielt werden.

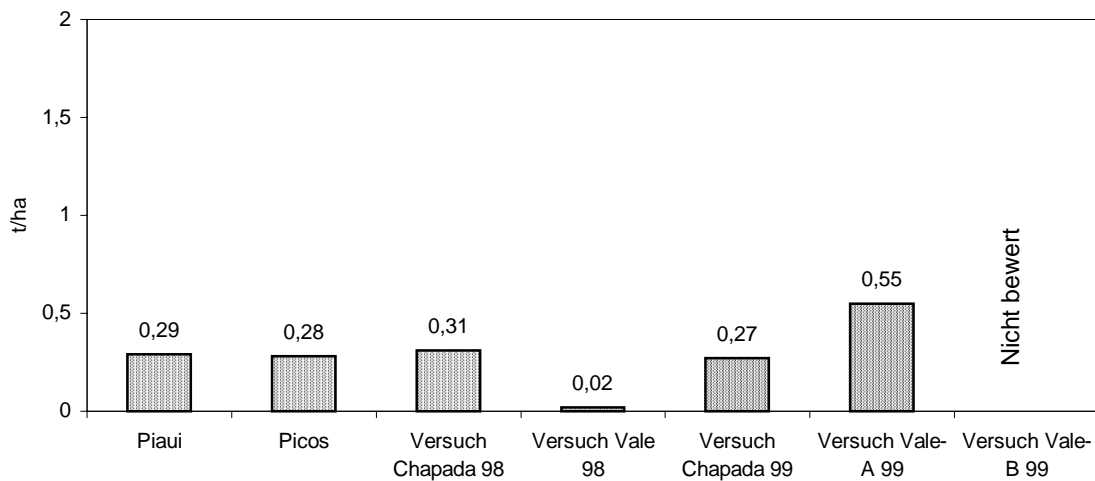


Abb. 3. Mittel der Kornerträge aus den Feldversuche mit Cowpea in Picos und Durchschnittserträge von Cowpea für Piauí und Picos (IBGE,1996)

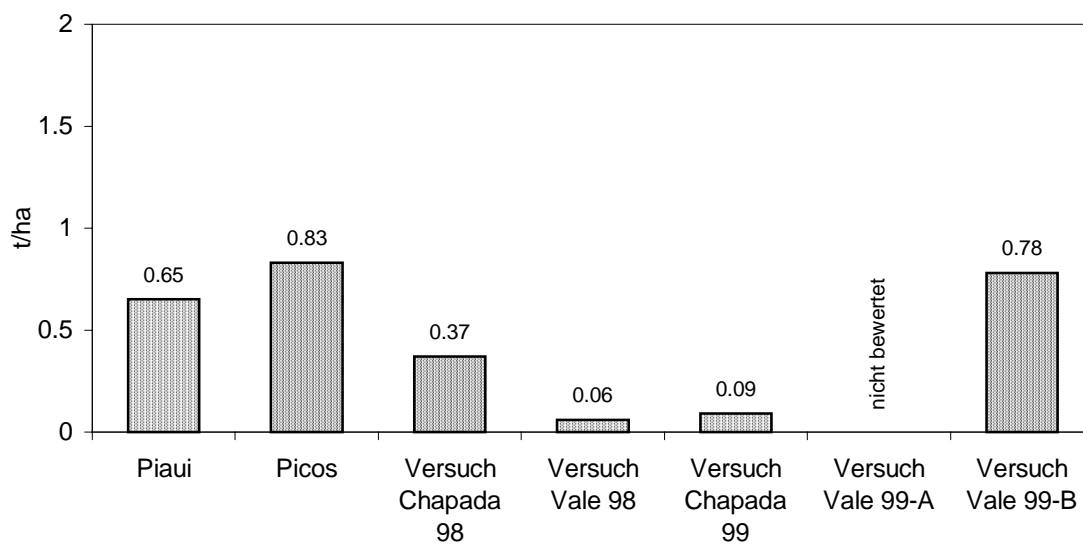


Abb. 4. Mittel der Kornerträge aus den Feldversuche mit Mais in Picos und Durchschnittserträge von Mais für Piauí und Picos (IBGE,1996)

Die Kornerträge für Mais lagen 1998 in den Feldversuchen deutlich unter den Durchschnittswerten für Picos (Abb. 4). Im zweiten Beobachtungsjahr konnte zumindest am Talstandort das durchschnittliche Ertragsniveau für Piauí erreicht werden.

Tab. 2. 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 n |
| Cowpea ² Mischanbau | 26 A ³ | 310 A | 304 B | 884 BC |
| Horstsaat | | | | |
| Mais Reinkultur | -- | 430 a | 370 a | 1.710 n |
| Cowpea Reinkultur | 20 A | 210 A | 306 B | 839 C |
| Horstsaat plus NPK | | | | |
| Mais Reinkultur | -- | 280 a | 440 a | 2.240 n |
| Cowpea Reinkultur | 29 A | 260 A | 615 A | 1.419 A |
| Mais Mischanbau | – | 250 a | 290 a | 1.390 n |
| Cowpea Mischanbau | 29 A | 200 A | 513 A | 1.301 B |
| Endabstand plus NPK | | | | |
| Mais Reinkultur | -- | 220 a | 430 a | 2.270 n |
| Cowpea Reinkultur | 37 A | 350 A | 637 A | 1.474 A |
| Mais Mischanbau | – | 110 a | 290 a | 1.410 n |
| 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 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; n= nicht signifikant

Die Auswirkungen der einzelnen Behandlungen auf den Kornertrag von Mais und Cowpea an den verschiedenen Standorten ist aus Tabelle 2 und 3 ersichtlich. Der Einsatz von Mineraldünger konnte den Ertrag von Cowpea fast verdoppeln. Allerdings war die Varianz innerhalb der Wiederholungen in beiden Jahren sehr groß, so dass die statistische Bewertung zum Teil fehlschlug. So kam es auf der Hochfläche in beiden Versuchsjahren vor allem Mais zu starken Ertragsverlusten wegen Trockenheit. Im zweiten Versuchsjahr kamen auf diesem Standort aufgrund abnehmender Bodenfruchtbarkeit ebenfalls zu Ertragseinbußen. Am Talstandort kam es in beiden Jahren zu starken witterungsbedingten Beeinträchtigungen der Versuche. Behandlungsunterschiede sind deshalb zum Teil sehr schwer zu bewerten. Die Mittelwerte aller Behandlungen lassen aber durchaus generelle Aussagen zu Ertragspotential, Standortbedingungen und Anbaueignung der jeweiligen Kultur für die verschiedenen Standorte zu.

Bei Mais zeigte bei mineralischer Düngung keine deutliche Verbesserung, jedoch konnte ein negativer Effekt durch Konkurrenz bei Mischanbau mit Cowpea beobachtet werden. Der Kornertrag von Mais war hier im Vergleich zur Reinkultur niedriger. Insgesamt war die Entwicklung von Mais auf der Chapada sehr schlecht. Im Tal wurde die erste Aussaat Opfer der Trockenheit. Infolge der Kürze der noch verbleibenden Regenperiode, die für Mais zu kurz war, konnte der Versuch an diesem Standort nur mit Cowpea fortgeführt werden, die ein zweites Mal gesät wurde. Einzelne Maispflanzen des ersten Saattermins überstanden jedoch die Trockenperiode im Februar und wurden zur Bestimmung der Gesamttrockenmasse im Mai geerntet. Allerdings produzierten diese Pflanzen keine erntefähigen Kolben. Auch der Kornertrag von Cowpea war

sehr gering. Der *Harvestindex*² (HI) lag im Tal bei 0,1, während er auf der Chapada Werte zwischen 0,4 und 0,5 erreichte.

Tab. 3. 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 | | Hochfläche | |
| | Korn | Gesamt | Korn | Gesamt | Korn | Gesamt |
| | --- in kg TM/ha --- | | --- in kg TM/ha --- | | --- in kg TM/ha --- | |
| Kontrolle¹ | | | | | | |
| Mais Mischbau | 1.440 | n 3.460 | a 800 | a 4.060 | -- | 340 bc |
| Cowpea ² Mischbau | 370 | A 1.620 | n 60 | n 480 | 240 | n 430 n |
| Horstsaat | | | | | | |
| Mais Reinkultur | 2.050 | n 4.270 | a 780 | a 4.030 | -- | 400 ac |
| Cowpea Reinkultur | 550 | A 2.980 | n 20 | n 1.150 | 270 | n 440 n |
| Horstsaat plus NPK | | | | | | |
| Mais Reinkultur | 1.810 | n 3.260 | a 800 | a 4.440 | -- | 450 ac |
| Cowpea Reinkultur | 340 | A 1.250 | n 170 | n 1340 | 410 | n 740 n |
| Mais Mischbau | 1.370 | n 2.930 | a 560 | a 3.770 | -- | 440 ac |
| Cowpea Mischbau | 340 | A 1.240 | n 160 | n 450 | 439 | n 782 n |
| Endabstand plus NPK | | | | | | |
| Mais Reinkultur | 1.460 | - 3.640 | a 850 | a 5.270 | -- | 600 ac |
| Cowpea Reinkultur | 790 | A 3.750 | n -- | n 2.460 | 430 | n 760 n |
| Mais Mischbau | 1.580 | - 4.040 | a 1.060 | a 6.030 | -- | 660 a |
| Cowpea Mischbau | 690 | A 2.550 | n 120 | n 470 | 500 | n 880 n |

¹ traditionelles Anbausystem mit Buschbrache, Mischbau und ohne Düngung

² aufgrund von Hochwasserschäden wurde der Versuch neu angelegt

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; n= nicht signifikant.

Auf der Chapada konnten die gedüngten Behandlungen mit Cowpea nur knapp das Ertragsniveau des Vorjahres erreichen. In der Kontrolle kam es zu leichten Ertragseinbußen (Tab. 3). Allerdings lag der HI mit 0,55-0,6 bei allen Behandlungen höher als im Vorjahr. Das Ertragsniveau von Mais brach gegenüber dem Vorjahr deutlich ein. Gut 90 % der Kolben waren stark verkümmert, so dass das Ergebnis für Mais als Totalverlust bewertet wurde.

Am Talstandort litt der Mais ebenfalls stark unter den Überschwemmungen. Eine Interpretation der Behandlungsunterschiede bei Saattermin A ist schwierig, da der Hochwassereinfluss stark dominierte. Die Gesamtbiomasseproduktion war am Talstandort bei Mais um das 5-10fach höher als auf der Chapada. Bei Cowpea war sie 2-3mal so hoch. Der Saattermin B, Ende März, erbrachte bei Mais ähnliche Gesamtbiomasseerträge wie Saattermin A, obwohl der Saattermin B bereits nahe dem Ende der eigentlichen Regenzeit lag. Der Kornertrag war hier allerdings deutlich geringer als bei Saattermin A. Im Mischbau zeigte sich eine starke Konkurrenzwirkung zwischen Mais und Cowpea. Die Gesamtbiomasse im Mischbau liegt um den Faktor 2-3 niedriger als in der Reinkultur.

² Harvestindex = Verhältnis von Kornertrag zur Gesamtbiomasse

Der Cowpea Sortenversuch auf der Chapada weist deutlich auf das unterschiedliche Ertragsniveau, der im Fokusgebiet Picos verwendeten Sorten. Ferner zeigt sich in diesem Versuch, dass durch eine Erhöhung der Bestandesdichte gegenüber den im traditionellen Anbau üblichen Saatstärken auf diesem Standort in Verbindung mit einer mineralischen Düngung zu einem Mehrertrag führen kann. In beiden Jahren zeigte sich, dass die Sorte Canapú ertragreicher ist. Die Eigenschaft von CR bei besserer Niederschlagsverteilung im Vergleich zu Canapú höhere Erträge zu erzielen, konnte beobachtet werden, womit der Anbau einer Mischung aus beiden Sorten zur Minderung des Ertragsrisikos aufgrund der ungünstigen Niederschlagsverteilung in dieser Region gerechtfertigt gewesen wäre (Tab. 4).

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 |
| CR ³ | 166 a | 570 b | 244 b | 450 b |
| Canapú/CR | 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

Die Ertragsdaten aus den zusätzlich angelegten Feldversuchen und den Bauernmessfeldern sind in Tabelle 5 aufgeführt. Besonders bemerkenswert ist hier, dass sowohl *EPACE 10* als auch die Landsorte *Sempre Verde* auch ohne Düngung ein Ertragsniveau von 0,6 t/ha Körner erreichten. Der Ertrag des Bauernfeldes bei Saco Grande zeigte zudem, dass auch mit Landsorten, wie z. B. *Sempre Verde*, im Vergleich zu den Durchschnittserträgen für Picos und Piauí (s. Abb. 3) deutlich höhere Erträge erzielt werden können, wenn eine gute Nährstoffversorgung gewährleistet ist. Bei den Böden in Saco Grande handelt es sich um außergewöhnlich gute Standorte auf basaltischen Ausgangsgestein.

Der Reisertrag des Bauernfeldes im Tal stellt unter den örtlichen Produktionsbedingungen mit einem Kornertrag von 1,45 t/ha, einen durchaus zufriedenstellenden Ertrag dar. Maniok erreicht mit einer Gesamtbiomasseproduktion von fast 10 t/ha den mit Abstand besten Ertrag aller angebauten Kulturen.

Tab. 5. 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, 1999 ² | | |
| Mais (Lokalsorte) | 1.090 | 3.840 |
| Cowpea (Sempre Verde) | 730 | 1.490 |
| Rio Guaribas Tal bei Sussuapara, Picos PI, traditionell bewirtschaftetes Bauernfeld mit Reis, 1999 ³ | | |
| Reis (Lokalsorte) | 1.450 | 3.220 |
| Chapada Mirolandia, Picos PI, traditionell bewirtschaftetes Bauernfeld mit Maniok 1998-1999 ⁴ | | |
| Maniok (Lokalsorte) | 5.310 ⁵ | 9.580 |

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 Wurzelknollenfrischmasse 14.290 kg/ha

2.3.2 Simulation und Validierung

Ein erster Vergleich von simulierten und beobachteten Daten nach Abschluss des ersten Versuchsjahres ergab eine mangelnde Übereinstimmung zwischen gemessenem und simuliertem LAI. Nach einer ersten Anpassung von LAI relevanten Parametern für Cowpea³ und Mais im *Cropfile* an die im Versuch verwendeten Lokalsorten verbesserte sich das Ergebnis und die Entwicklung des LAI konnte zumindest in der Kontrollbehandlung (ohne NPK-Düngung) zufriedenstellend simuliert werden (Abb. 5).

Allerdings war das Modell nicht in der Lage, die positive Reaktion der verwendeten Lokalsorten auf die Düngung in Form eines LAI Anstieges 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).

³ basierend auf dem von der UFC (FB Agrarökosysteme) entwickelten *Cropfile* für Cowpea

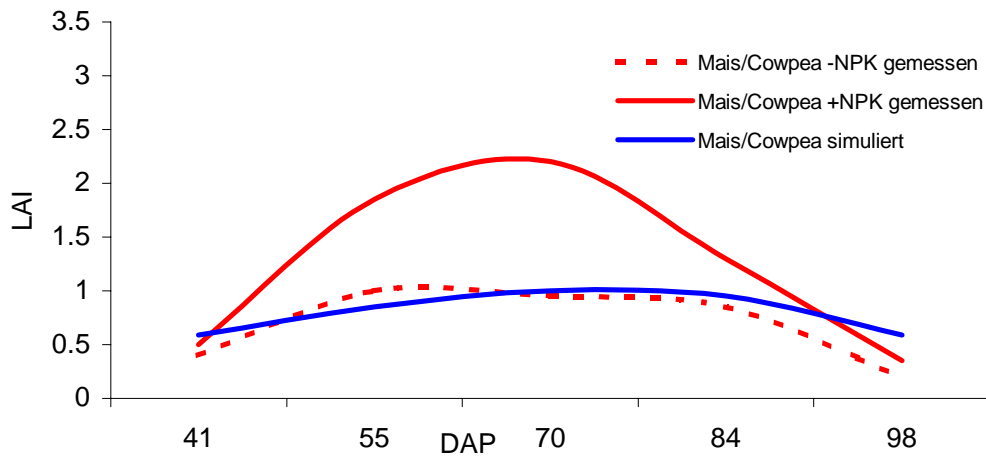


Fig 5 Simulierter und gemessener LAI von Mais und Cowpea im Misanbau. Die Daten wurden zwischen 3. März und 29. April 1998 auf der Chapada Mirolandia, Picos PI, erhoben.

Eine weitere Anpassung der *Cropfiles* an die Eigenschaften der verwendeten Lokalsorten führte zu einer deutlichen Verbesserung des Simulationsergebnisses auch bei Düngung (Abb. 6a). In Bezug auf unterschiedliche Bestandesdichten zeigten die Modelle weiterhin eine mangelnde Übereinstimmung mit den im Feld gemessenen Daten. Höhere LAI Werte, wie sie im Versuch bei Verwendung von höheren Bestandesdichten beobachtet werden konnten, wurden in der Simulation nicht abgebildet (Abb. 6b). Die Ursache hierfür konnte noch nicht geklärt werden.

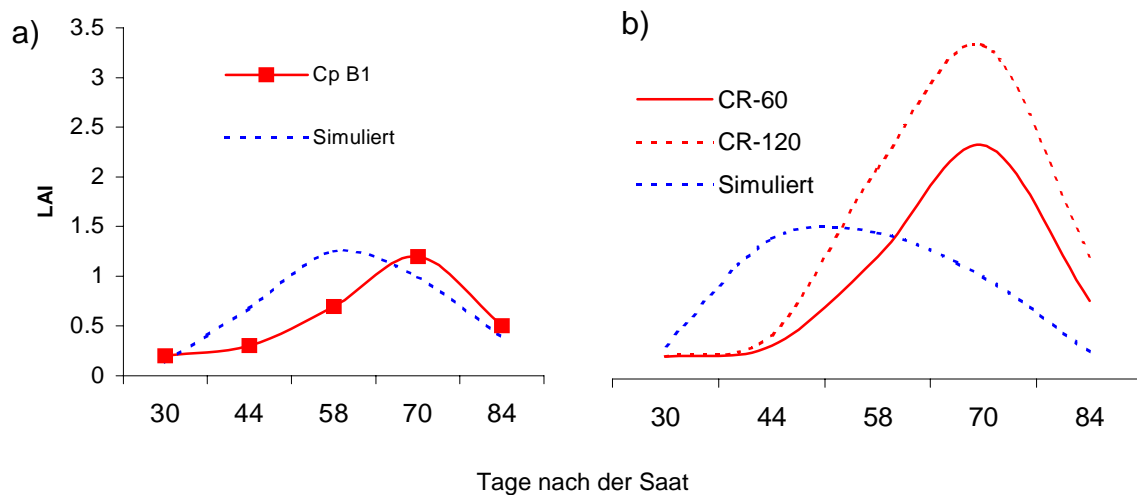
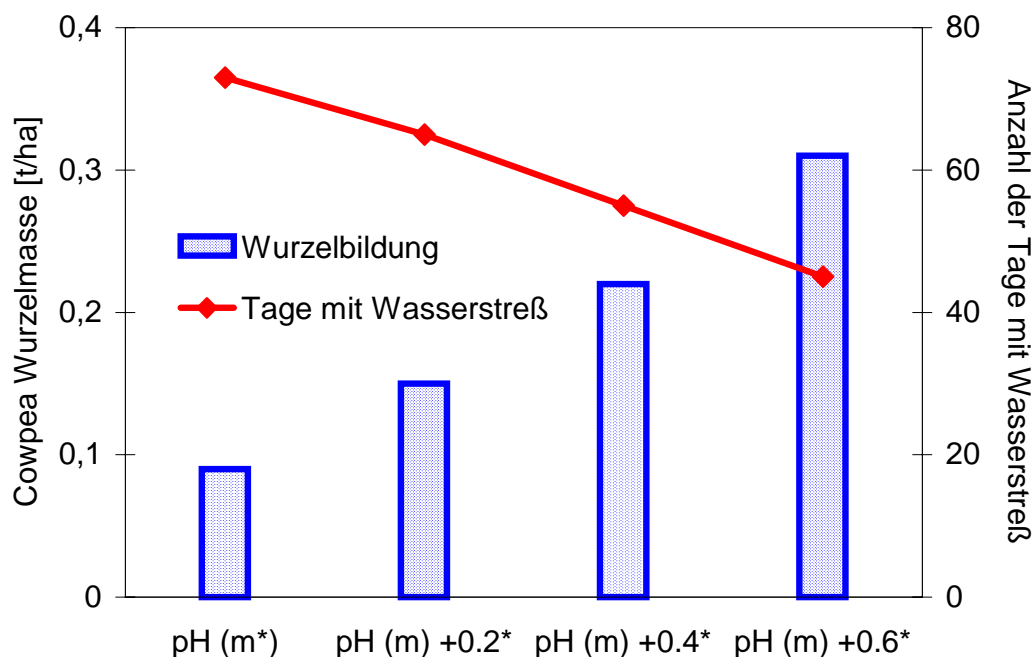


Abb. 6. Entwicklung des LAI von Cowpea, Chapada Mirolandia, Picos Piauí, 1999. **(a)** Vergleich Simulation mit ALMANAC und gemessene Werte bei Horstsaat mit Düngung, 42 10³ Pflanzen/ha; **(b)** Vergleich Simulation mit ALMANAC und gemessene Werte bei 60 und 120 10³ Pflanzen/ha.

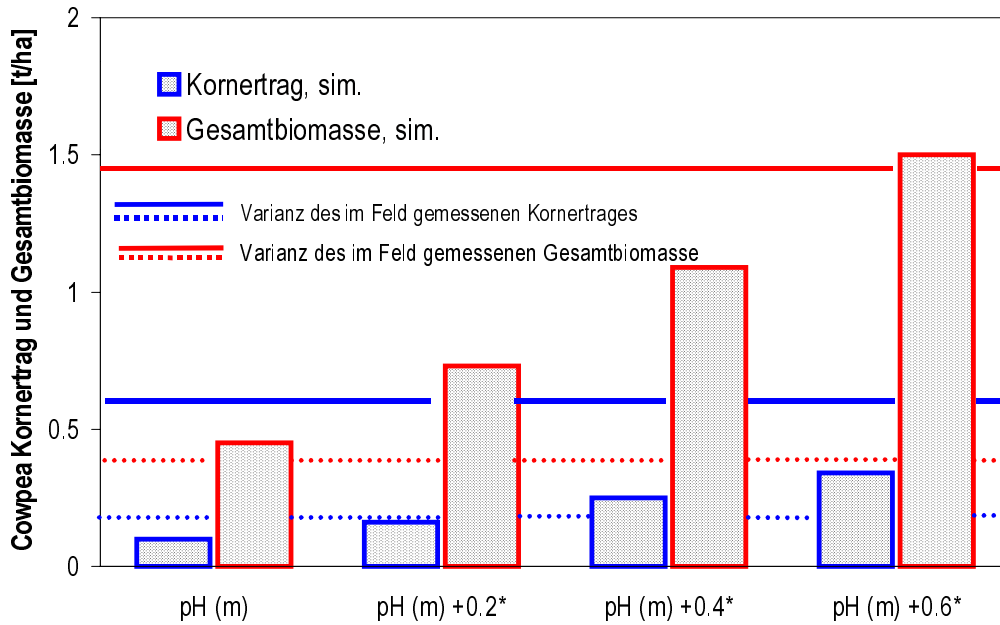
Auch die Übereinstimmung von simulierten und beobachteten Erträge war zunächst sehr gering. Ein wesentlicher Grund für die im Vergleich zu den beobachteten Werten deutlich niedrigeren Erträge in der Simulation war der geringe *Harvest Index* (HI), den das Modell errechnete. Im Vergleich zu den simulierten Werten war der HI in den Feldversuchen in beiden Versuchsjahren deutlich höher. Der HI ist entscheidend für die Höhe des Kornertrages, da er während der Simulation zur Berechnung des Anteils des Ernteproduktes an der Gesamtbiomasse verwendet wird. Für Cowpea betrug das Modellergebnis 0,2, während in den Versuchen HI Werte zwischen 0,4 (1998) und 0,6 (1999) erreicht wurden.

Niedrige HI werden in der Simulation durch Stresssituationen hervorgerufen. Für 1998 errechnete EPIC während der Vegetationsperiode an 70 Tagen Wassermangel für Cowpea bei Anbau auf der Hochfläche und wies diesen 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 des Wachstums und in der Mitte der Wachstumsperiode von Cowpea abgeleitet 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 die Eingabe für den Boden pH im Modell, so nimmt das Wurzelwachstum zu und die Anzahl der Tage mit Wasserstress ab (Abb. 7). Gleichzeitig konnte beobachtet werden, dass hierdurch der Korn- und Gesamtbiomasseertrag erhöht wird (Abb. 8).



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 bei 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 Gesamtbiomasse von Cowpea; Chapada Mirolandia , Picos PI

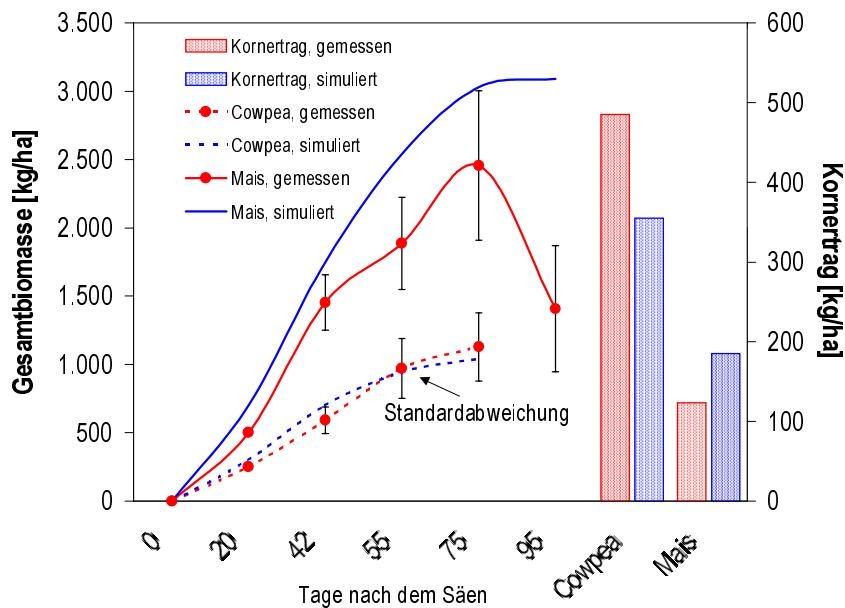


Abb. 9. Vergleich simulierter und gemessener Biomasseproduktion und Kornertrag für Mais und Cowpea, Tauá Ceará, 1999⁴.

⁴ Daten des UFC (FB Agrarökosysteme) Versuches in Tauá, CE,

Einen wichtigen Hinweis für die Lösung des Problems gaben die Untersuchungen der UFC (FB Agrarökosysteme) im Fokusgebiet Tauá. Diese zeigten, dass EPIC durchaus in der Lage ist, Ertrag und Pflanzenentwicklung von Mais und Cowpea zufriedenstellend zu simulieren (Abb. 9).

Eine Analyse der Eingabewerte für beide Standorte ergab deutliche Unterschiede zwischen den Bodeneigenschaften beider Standorte. Während die Böden in Tauá hohe pH Werte aufweisen, sind die Böden auf den Hochflächen bei Picos extrem sauer. Hierdurch kommt es in der Bodenlösung zu hohen Gehalten an freien Aluminiumionen. Dies führt bei empfindlichen Kulturen aufgrund von Aluminiumtoxizität zu Wachstumsstörungen, die sich auch in niedrigen Erträgen äußern. Die im Cowpea File verwendeten Einstellungen sind offensichtlich falsch und noch nicht an das Vermögen von Cowpea angepasst, hohe Al-Sättigungen im Boden zu tolerieren. Die Anpassung des Al Toleranzindex in den verwendeten *Cropfiles* an die Möglichkeiten lokaler Cowpeasorten, dies zu tolerieren, wird daher als ein wichtiger Faktor zur Verbesserung des Simulationsergebnisses betrachtet (Hilger et al. 1999b). Eine Verbesserung der Eingabewerte wird eine wesentliche Arbeit in der verbleibenden Projektlaufzeit sein.

Die Simulation der Ertragsbildung am Talstandort ist bisher nur sehr eingeschränkt möglich. 1998 waren die gemessenen Erträge bzw. LAI Werte aufgrund extremer Trockenheit zu niedrig, um eine verlässliche Aussage über die Qualität des Simulationsergebnisses zu treffen. 1999 standen die Versuchsflächen zum Teil über eine Woche unter Wasser, worunter die Pflanzen sehr stark litten, was sich ebenfalls in niedrigen LAI Werten und Erträgen widerspiegelte. Extreme Ereignisse, wie sie in den ersten beiden Versuchsjahren auftraten, sind für Validierung eines Modells sehr problematisch. Erste Testläufe ergaben in der Simulation für den Talstandort ein im Vergleich zur Hochfläche höheres Ertragsniveau, wie es auch die Ergebnisse der Feldversuche zeigen (Tab. 3). Allerdings weichen die simulierten von den beobachteten Werten noch erheblich ab, so dass verlässliche Aussagen zur Genauigkeit der Simulation an diesem Standort erst nach Beendigung der 3. Vegetationsperiode möglich sind.

Für die Simulation spielt der EPIC Wettergenerator eine wichtige Rolle. Aufgrund der schwierigen klimatischen Bedingungen im Nordosten Brasiliens ist dessen Validierung erforderlich. Hierzu werden Klimadaten von Klimastationen aus der Projektregion mit vom Wettergenerator simulierten Daten verglichen. Insbesondere die Verteilung von Niederschlägen auf einzelne Regentage bei Eingabe von Monatswerten ergab eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und simulierten Daten. Diese Einschätzung wird auch vom Leiter des FB Klimaanalyse und -modellierung geteilt (Gerstengarbe, mündl. Mitteilung).

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.

2.3.3 Integration von EPIC und ALMANAC in die WAVES Modelle SIM und MOSDEL

Die Einbindung von EPIC und ALMANAC in die beiden von WAVES entwickelten integrierten Simulationsmodelle SIM und MOSDEL ist abgeschlossen. Abbildung 11 im Statusbericht der AG Bodenkunde 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 den Statusberichten Band 1 und

2 entnommen werden. Insbesondere die Berichte der Fachbereiche Landschaftsökologie und Integrierte Modellierung sowie der AG Bodenkunde und AG Sozioökonomie sind hier zu nennen.

2.4 Diskussion

Feldversuche

Die Versuchsergebnisse deuten an, dass Mais aufgrund der ungünstigen Bodeneigenschaften und Niederschlagsverteilung der Hochflächen in der Fokusregion Picos als wenig geeignete Kulturpflanze auf diesen Flächen angesehen werden muss, während Cowpea eine der wenigen Kulturpflanzen ist, die unter diesen marginalen Standortbedingungen angebaut werden kann. Es wird erwartet, dass sich die Situation sogar noch erheblich verschlechtern würde, wenn das Niederschlagsaufkommen bei einem Klimawandel weiter abnehmen würde.

Aufgrund der geringen Bodenfruchtbarkeit besteht auf den Hochflächen latent die Gefahr, dass die Flächen unter traditionellen Anbaumethoden rasch degradieren. Die Ergebnisse des dritten Versuchsjahres werden hierauf einen Hinweis geben. Neben Cowpea ist Maniok eine der wenigen Kulturen, die unter den Standortbedingungen der Chapada angebaut werden können. Dies gilt zumindest für die Produktivität, die allen anderen auf dieser Fläche kultivierten Nahrungspflanzen weit überlegen ist. Zudem kann Maniok aufgrund seiner Speicherknollen auch längere Unterbrechungen der Regenzeiten, wie sie in der Region häufig vorkommen, überstehen.

Die Versuche auf der Zwischenstufe und im Tal zeigen ein wesentlich höheres Ertragspotential an diesem Standort. Aufgrund der besseren Standortbedingungen, vor allem hinsichtlich der Bodenfruchtbarkeit, war dies auch nicht anders zu erwarten. Allerdings stehen diese Flächen nur in begrenztem Umfang zur Verfügung. Fehlen allerdings die Niederschläge kann auch auf diesen Standorten die Produktion nur mit künstlicher Bewässerung aufrecht erhalten werden. Auf diesem Standort kann auch Mais angebaut werden, da die Bodenfruchtbarkeit und die Wasserverfügbarkeit wesentlich höher ist als auf der Hochfläche.

In den unteren Tallagen, die meist sehr fruchtbar sind, besteht in der Regenzeit dagegen die Gefahr von Überschwemmungen und Staunässe, worauf vor allem Cowpea sehr empfindlich reagiert. Es zeigte sich auch, dass das Verhältnis im Pflanzenverband beim Mischanbau von Mais und Cowpea in den Tallagen geändert werden muss. Im Tal sollten mindestens zwei Reihen mit Cowpea zwischen die Maisreihen gelegt werden, um eine zu starke Beschattung von Cowpea zu vermeiden, auf die diese mit starken Ertragseinbußen reagiert.

Am Talstandort ist der Anbau von Mais und Cowpea in der Trockenzeit sinnvoll, falls dort bewässert werden kann. In diesem Fall könnte der Anbau beider Kulturen außerhalb der Saison eine interessante ökonomische Alternative darstellen.

Reis kann in den Tallagen recht hohe Erträge erbringen. In der Regel wird er in Senken und Mulden angebaut in denen sich das Regenwasser anstaut.

Simulation

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). Auf schlechten Standortbedingungen gibt es allerdings noch Probleme den 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 pH 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. Die EPIC *Cropfiles* verfügen über einen Eingabeparameter, der die Al^{3+} -tox. Empfindlichkeit der entsprechenden Kulturpflanze berücksichtigt. Dieser Wert muss für die lokal angebauten Cowpea-Sorten unter Umständen erhöht werden, was zur Zeit geprüft wird. 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 (USDA, 1999). Dabei wird der Wert nach einem empirischen Ansatz von Jones (1984) berechnet. Dieser kann jedoch unter den Bedingungen in der Region Picos unzureichend sein.

2.5 Zusammenarbeit mit den anderen Teilprojekten und den brasilianischen Partnern

Die Validierung der Modelle EPIC und ALMANAC benötigt eine enge Zusammenarbeit zwischen den Teilprojekten des Fachbereiches Agrarökosysteme. Wie die Zusammenarbeit erfolgt, wurde bereits in Kapitel 2.2.2 und 2.3.2 ausführlich beschrieben. Daneben müssen technische Fragen bei der Versuchsdurchführung der einzelnen Teilprojekte aufeinander abgestimmt werden, wobei die Koordination vom TP Bodenkunde übernommen wird. In regelmäßigen Abständen treffen sich die in Hohenheim stationierten Mitarbeiter, um die Versuchsergebnisse zu analysieren und mögliche Lösungen zu diskutieren. Das gleiche gilt für die in Brasilien stationierten Mitarbeiter. Mit diesen und den brasilianischen Mitarbeitern besteht regelmäßiger Kontakt via Email.

Außerhalb der Fachbereiches Agrarökosysteme kommt es vor allem mit der AG Soziökonomie und dem FB Landschaftsökologie zu einer intensiven Zusammenarbeit. Das Teilprojekt Pflanzenbau liefert gemeinsam mit den anderen Teilprojekten des FB Agrarökosysteme die Eingangsgrößen für die Berechnung der landwirtschaftlichen Produktion, die in den Modellen der AG Soziökonomie und im FB Landschaftsökologie benötigt werden. Ferner wurden für das AG Großskalige Wassermanagementmodellierung Pflanzenparameter über Wasserverbrauch zusammengestellt, die als Eingangsgrößen für das großskalige Wassermanagementmodell NoWUM 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. Zu diesem Workshop steuerte die Arbeitsgruppe folgende Vorträge bei:

- 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).
- 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).
- J. Herfort, 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).

Ein zweiter wesentlich größerer Workshop wurde gemeinsam mit der Firma Hydroisotop und der Secretaria de Agricultura auf der EMBRAPA Forschungsstation in Teresina im November durchgeführt. Der Landwirtschaftsminister und zahlreiche hohe Vertreter aus verschiedenen öffentlichen und privaten Einrichtungen waren dabei anwesend. Ebenfalls im November wurde mit gleichen Partnern ein eintägiger Kurs für Kleinbauern in der Region Picos veranstaltet. Beide Veranstaltungen erfuhren erhebliche Unterstützung durch WAVES Mitarbeiter aus Teresina, Fortaleza, München, Hohenheim, Kassel und Potsdam.

Daneben betreute ein Mitarbeiter der AG Pflanzenbau gemeinsam mit der DHME eine Szenariogruppe in Teresina, PI. Diese Gruppe erstellt Szenarien über zukünftige Entwicklung Piauí. Dabei stehen zwei unterschiedliche Hypothesen, Cashcrop Boom und Dezentralisierung, im Mittelpunkt. Diese Arbeit ergänzt die Aktivitäten der beiden anderen Szenariogruppen, wovon eine in Fortaleza, Ceará und die andere in Deutschland angesiedelt ist (s. a. Berichte der anderen Teilprojekte). Im Rahmen der Treffen in Piauí wurden die Rahmenbedingungen und Eingangsgrößen für Piauí definiert.

Zwischen den deutschen Arbeitsgruppen findet ein regelmäßiger Informationsaustausch statt, das gleiche gilt für den Austausch mit dem brasilianischen Fachbereich Agrarökosysteme.

Die Arbeitsgruppe Pflanzenbau hat im Berichtszeitraum an zwei WAVES Workshops in Deutschland (Modellierung, Potsdam; Agrarökonomie, Köln) und einem WAVES Workshop in Brasilien teilgenommen. Zum nationalen Workshop in Potsdam lieferte die AG Pflanzenbau folgenden Beitrag:

- T.H. Hilger, T. Gaiser, L. Gonzaga Rebouças Feirrer, 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.

Zum bilateralen Workshop in Fortaleza im April 1999 steuerte die AG Pflanzenbau die folgenden Beiträge bei:

- J. Herfort, T. Hilger und D.E. Leihner, *Calibration of EPIC and ALMANAC for simulation of maize and cowpea growth under northeast Brazilian conditions* - Beitrag zum bilateralen Treffen der im WAVES Projekt engagierten Wissenschaftler vom 7-8. April 1999 in Fortaleza-CE (Brasilien).
- T.H. Hilger, L.S. Schneider und D.E. Leihner, *Effect of variety mixing and crop density on growth and yield of local cowpea varieties* - Beitrag zum bilateralen Treffen der im WAVES Projekt engagierten Wissenschaftler vom 7-8. April 1999 in Fortaleza-CE (Brasilien).

2.6 Internationale Kontakte

Im September 1999 nahmen zwei Mitarbeiter der AG Pflanzenbau an der Food and Forestry: Global Change and Global Challenges CGTE Focus 3 Conference in Reading, England, teil. Anlässlich dieser Konferenz wurden erste Ergebnisse aus den laufenden Arbeiten zur Validierung und Kalibrierung von EPIC in Nordostbrasilien in Form eines Posters vorgestellt.

Ferner konnten zahlreiche Kontakte zu anderen auf diesem Gebiet arbeitenden Arbeitsgruppen hergestellt werden. Darüber hinaus konnte in vielen Gesprächen am Rande der Konferenz auf das Gesamtprojekt und Teilaspekte von WAVES aufmerksam gemacht werden.

Die AG Pflanzenbau ist in den Aufbau des CGTE *Network on Tropical Cereals and Grain Legumes* involviert, die von Dr. Peter Grace, CIMMYT, Mexiko, geleitet wird.

2.7 Bibliographie

2.7.1 Eigene Publikationen

- 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. (angenommen)
- 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., T. Gaiser, J. Herfort, L.S. Schneider und I. de Barros. (1999a). EPIC/ALMANAC. Modellbeschreibung auf der WAVES Homepage unter URL: <http://www.usf.uni-kassel.de/waves>
- Hilger, T.H., Gaiser, T., Herfort, J., Ferreira, L.G.R., Leihner, D. E. (1999b). 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 (angenommen)

2.7.2 Zitierte Literatur

- 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
- EMBRAPA (1995). Zoneamento das áreas em processo de degradação ambiental no trópico semi-árido do Brasil. EMBRAPA, Brasília, DF, Brazil
- Brühl, D. (1985). Dürre - Modernisierung - soziale Macht. Zu den Ursachen des Elends im brasilianischen Nordosten. In: Brasiliens Agrarfrage, Modernisierung und ihre Folgen, Institut für Iberoamerikakunde, Hamburg, S. 27-37.
- 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.
- 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
- Jones C.A: (1984). Estimation of percent aluminium saturation from soil chemical data. Comm. Soil Science Plant Anal. 15:327-335.
- USDA (1999). <http://www.brc.tamus.edu/epic/documentation/index.html>

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

In den bisherigen zwei Versuchsjahren konnten zahlreiche Datensätze über Wachstum und Ertragsbildung bei Mais und Cowpea gewonnen werden, die sowohl den anderen WAVES Teilprojekten zur Verfügung stehen als auch zur Validierung von EPIC herangezogen werden können. Aufgrund der schwierigen Witterungsverhältnisse kam es jedoch immer wieder auch zu Datenverlusten oder Ausfällen von Versuchsstandorten. Mit der Einbeziehung weiterer Versuchsflächen auf zum Teil anderen Standorten im Fokusgebiet Picos konnten diese Verluste jedoch kompensiert werden.

Auf dem Talstandort kam es leider in beiden Jahren zu starken witterungsbedingten Beeinträchtigungen der Versuche. Behandlungsunterschiede sind dort deshalb kaum zu bewerten. Die Mittelwerte aller Behandlungen lassen aber durchaus generelle Aussagen zu Ertragspotential und Standortbedingungen zu.

Nach Abschluss des 3. Jahres wird ein weiterer Datensatz vom Talstandort zur Verfügung stehen, mit dessen Hilfe die Validierung des Mais und Cowpea Files für diesen Standort abgeschlossen werden kann. Auf der Hochfläche wird, auch aus Zeitgründen, die Untersuchungsintensität vermindert. Allerdings liegen über diesen Standort inzwischen genügend Daten vor. Jedoch werden vom dritten Jahr verlässliche Aussage über die Ertragstabilität auf diesem Standort erwartet.

Im dritten Versuchsjahr soll die Validierung der Modelle für den Anbau von Mais und Cowpea abgeschlossen werden.

Die Entwicklung von Szenarien über mögliche Folgen einer globalen Klimaveränderung für die landwirtschaftliche Produktion in Piauí und die Lebensqualität in semi-ariden Gebieten Nordostbrasilien soll gemeinsam mit den brasilianischen Partnern vorangetrieben werden.

4 Ergebnisse Dritter, die für das Vorhaben von Bedeutung sind

- keine-

5 Angaben zu Erfindungen und Schutzrechten

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