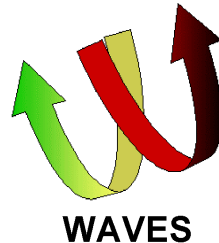


**WASSERVERFÜGBARKEIT SOWIE ÖKOLOGISCHE, KLIMATISCHE UND
SOZIOÖKONOMISCHE WECHSELWIRKUNGEN IM SEMIARIDEN
NORDOSTEN BRASILIENS****Verbundprojekt WAVES
Statusbericht der ersten Hauptphase
Fachbereich Agrarökosysteme
Arbeitsgruppe Pflanzenernährung**

Zuwendungsempfänger: Universität Hohenheim

Projektleiter: Prof. Dr. V. Römheld

Förderkennzeichen: 01 LK 9706

Vorhabenbezeichnung: Untersuchungen zu mineralstoffbedingter Wachstumslimitierung bei Mais und Cowpea in Nordost-Brasilien im Verbundprojekt WAVES

Laufzeit des Vorhabens: 01.08.1997 - 31.07.2000

Berichtszeitraum: 01.08.1997 - 31.12.1999

Bearbeitung: Eng. Agr. MSc. Inácio de Barros

Stuttgart, den 15. Februar 2000
Institut für Pflanzenernährung
70593 Stuttgart

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung / Summary	1
2 Stand des Vorhabens.....	2
2.1 Einleitung und Fragestellung des Teilprojekts.....	2
2.2 Methodisches Vorgehen	3
2.3 Ausgewählte Ergebnisse	5
2.3.1 Feldversuche auf der Chapada und im Tal	5
2.3.2 Gefäßversuche	8
2.3.3 Simulation mit Hilfe des Pflanzenwachstumsmodells ALMANAC.....	8
2.4 Diskussion	10
2.5 Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten und brasilianischen Wissenschaftlern	12
2.6 Bibliographie.....	13
2.6.1 Eigene Publikationen	13
2.6.2 Zitierte Literatur	13
3 Vergleich des Standes des Vorhabens mit der ursprünglichen Planung und Ausblick.....	14
4 Ergebnisse Dritter, die für das Vorhaben von Bedeutung sind	14
5 Angaben zu Erfindungen und Schutzrechten.....	14
Anhang (Abbildungen)	15

1 Zusammenfassung / Summary

Innerhalb des Gesamtprojekts WAVES hat die Arbeitsgruppe Pflanzenernährung des Fachbereichs Agrarökosysteme die Aufgabe, die mögliche Ertragsbegrenzung durch Mangel an einzelnen Nährstoffen und anderen chemischen Bodenfaktoren (u.a. Bodensäure) am semiariden Standort von Picos zu identifizieren. Darüber hinaus sollen anhand der erzielten Daten aus Feldversuchen bereits existierende Pflanzenwachstumsmodelle (EPIC, ALMANAC) gemeinsam mit der AG Bodenkunde und AG Pflanzenbau kalibriert bzw. durch Integration eines zu entwickelnden Nährstoffmoduls verbessert werden. Damit wird ein wichtiger Baustein für die weitergehende Modellierung für das Gesamtprojekt geliefert. Hierzu wurden bislang Feldversuche an zwei unterschiedlichen, aber repräsentativen Standorten von Picos mit Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) und Mais (*Zea mays* L.) in Mischkultur durchgeführt.

Folgende Behandlungen wurden für die Feldversuche 1998 und 1999 auf a) einem Alumi-Haplic Acrisol auf der „Chapada“ und b) einem Chromic Luvisol im Guariba „Tal“ durchgeführt: (1) Kontrolle, (2) komplette mineralische Düngung (N, P, K) plus dolomitischer Kalk, (3) wie (2) aber ohne P, (4) wie (2) aber ohne N, (5) wie (2) aber ohne K und (6) wie (2) aber ohne Kalkung.

Bisher erzielte Ergebnisse der ausgeweiteten 2 Anbaujahre zeigen eine starke Ertragslimitierung durch unzureichende Nährstoffverfügbarkeit an beiden Standorten sowohl im niederschlagsarmen (1998) als auch im niederschlagsreichen Jahr (1999). Dabei erweist sich Phosphat als der am stärksten limitierende Nährstoff für beide Pflanzenarten, gefolgt von N und K bzw. Erdalkalie bei Mais. Bei der Cowpea ist neben P vor allem K und Ca begrenzend. Überraschend werden im feuchteren Anbaujahr durch mineralische N-Düngung auch bei der Cowpea deutlich höhere Erträge erzielt, was für eine gehemmte Biologische N₂-Fixierung spricht. Dies kann ursächlich durch die hohe Bodenazidität (u.a. gehemmtes Wurzelwachstum, induzierter Mg-Mangel, Schädigung der Rhizobien) bedingt sein.

Die bisherigen Ergebnisse zur Simulation der Biomasse- bzw. Korntrträge sowie der Nährstoffentzüge mit Hilfe des Pflanzenwachstumsmodells ALMANAC zeigen, dass die beiden wachstumslimitierenden Faktoren Wasser und Nährstoffe nicht ausreichend bewertet werden. Hierzu muß das auf dem Minimumgesetz von Sprengel/Liebig aufgebaute Wachstumsmodell ALMANAC mindestens entsprechend dem Optimumgesetz weiterentwickelt werden, um so beiden ertragslimitierenden Faktoren und deren Interaktionen besser gerecht zu werden. Diese Adaptation ist vor allem notwendig, da je nach Niederschlagsmenge sich Wasser oder Nährstoffe stärker ertragslimitierend auswirken können.

Da sowohl das Wurzelwachstum (u.a. Durchwurzelungstiefe) z.B. auf dem sauren Standort der Chapada für die Aneignung von Nährstoffen und Wasser als auch die Biologische N₂-Fixierung über den N-Eintrag eines Agrarökosystems für die Bodenfruchtbarkeit entscheidend sind, werden in laufenden Gefäßversuchen und einem ergänzenden Feldversuch diese beiden Größen näher untersucht. Gleichzeitig kann durch beide Größen das Nährstoff- und Wassermodul innerhalb des Pflanzenwachstumsmodells adaptiert und damit die Simulation weiter verbessert werden.

Summary

Within the WAVES program, the working group „Plant Nutrition“ has the objective to identify the limitation of mineral nutrients for plant development and production under the soil and climatic conditions of the semi-arid regions in Piauí. Therefore, two field experiments with maize and cowpea as intercrop, with the following treatments were carried out in the growth periods of 1998 and 1999: (1) on a Alumi-Haplic Acrisol in the site called „Chapada“ complete fertilization (N, P, K and lime), complete fertilization without nitrogen; complete fertilization without phosphorus; complete fertilization without potassium; complete fertilization without lime and control; (2) on a Chromic Luvisol in the valley complete fertilization (N, P, K and lime); complete fertilization without nitrogen; complete fertilization without phosphorus; complete fertilization without potassium and control. The results of the field experiments and the simulations with EPIC/ALMANAC crop model show that on the Chapada phosphorus was the most limiting nutrient in the growth periods of 1998 and 1999 for both maize and cowpea. The biomass accumulation in the treatment with phosphorus omission was only superior to the control treatment. If P is supplied adequately, Ca and K, and in the second year N become most limiting factors for cowpea on the Chapada. The application of dolomitic lime seems to reduce K uptake by cowpea and maize on the Chapada, but dolomitic lime is necessary in order to supply sufficient Mg to the crops. On the Chapada, a decrease in nutrient availability i.p. nitrogen is observed in the second year which affects maize and cowpea yields. In the valley on a Chromic Luvisol, additional N application is not necessary for cowpea in contrast to maize: An antagonism between K and Mg/Ca is observed only for maize in the valley. The soil nutrient availability for crop growth and yield is much higher in the valley than on the Chapada. Simulation of biomass production and yield in the maize/cowpea intercropping system on the Chapada show, that the ALMANAC model does not adequately take into account the varied growth limitation by water or nutrients and their interactions in the various years with different rainfall. Adaptation of the ALMANAC model to the ecological conditions of the Chapada is necessary.

In on-going additional growth experiments on root growth and rooting depth as prerequisite for water and nutrient acquisition and on biological N₂-fixation for N-input in agroecosystems and soil fertility will be further evaluated to improve the ALMANAC plant growth model as an important basis for far-reaching simulation in the whole WAVES project.

2 Stand des Vorhabens

2.1 Einleitung und Fragestellung des Teilprojekts

Im Staat Piauí sind Mais und Cowpea die meist angebaute einjährigen Kulturpflanzen (Cardoso et al., 1981). Der größere Anteil dieses Maisanbaus (78 % der Anbaufläche) erfolgt in Mischkultur und erbringt ca. 70 % der Maisproduktion in Piauí (IBGE, 1985). Die Durchschnittserträge von Mais sind in Piauí mit 0,6 t ha⁻¹ im Vergleich mit 2,4 t ha⁻¹ für ganz Brasilien sehr niedrig. Innerhalb von Piauí weist die Region Piauí mit 0,9 t ha⁻¹ zwar einen höheren Ertrag auf, der aber im Vergleich zum Landesdurchschnitt noch immer als sehr niedrig zu bezeichnen ist (Frota, 1998). Das gleiche trifft im Prinzip auch für die Durchschnittserträge der Cowpea im Staat Piauí zu.

Informativ und richtungsweisend ist die Feststellung, dass in Piauí Großbetriebe (> 10.000 ha) mit höherer Bewirtschaftungsintensität (u.a. Mineraldüngereinsatz, verbesserte Sorten) einen um Faktor 4 höheren Maisertrag (2,3 t ha⁻¹) erzielen (IBGE, 1985). Die kleineren Farmen (< 10

ha), die immerhin mengenmäßig 40 % der gesamten Maisproduktion erbringen, benutzen praktisch keinen Mineraldünger und keine verbesserten Sorten (Frota, 1998).

Wesentliche Ursachen für die sehr geringen Erträge im Staat Piauí sind die niedrigen Niederschläge und die niedrigen Boden-pH-Werte. Der starke Einfluss der wechselnden Jahresniederschlagsmengen auf den Ertrag insbesondere vom Trockenstress-empfindlichen Mais wird an den extrem niedrigen Erträgen in den beiden Trockenjahren 1981 und 1983 mit weniger als 0.16 t ha^{-1} erkennbar (Anuario Estatístico do Piauí 1981/1991; Anuario Estatístico do Brasil, 1985, 1987/1988; 1989).

Mehr als 60 % der Böden im Staat Piauí (vorwiegend Latossolos, Amarelos und Podzólicos Vermelho-Amarelo nach der brasilianischen Klassifikation) weisen niedrige pH-Werte verbunden mit geringer Basen- und hoher Aluminiumsättigung auf (Bezerra and Salviano, 1995) und sind damit für die Pflanzenproduktion als geringwertig einzustufen. Durch Kalkung und Düngung lässt sich jedoch die Produktivität beachtlich verbessern (Melo et al., 1998).

Bedingt durch die vorherrschenden sauren Böden ist P-Mangel durch die hohe P-Fixierung (Kellog et al., 1969; Araujo et al. 1984) und gehemmtes Wurzelwachstum und dadurch bedingt eine geringe räumliche Nährstoff- und Wasseraneignungskapazität vorgegeben (Malkanthi et al., 1995; Marschner, 1995). Die Cowpea gilt im Vergleich zu Mais als Säure- und Al-tolerante Leguminose (Sanches et al., 1981; Alva et al., 1990) mit beachtlichen Sortenunterschieden in dieser Toleranz (Hohenberg et al., 1984; Malkanthi et al., 1995). Diese Säuretoleranz der Cowpea ist jedoch deutlich geringer ausgeprägt, wenn diese Leguminose vorwiegend auf biologisch fixiertes N angewiesen ist, was auf eine Säureempfindlichkeit N-fixierender Bakterien bzw. der Symbiose hinweist (Alva et al., 1990).

Die hohe Bodensäure führt häufig auch noch zusätzlich zu Mg- und Ca-Mangel; vereinzelt wird auch von induziertem K-Mangel berichtet (Aniol, 1983; Frageria, 1991; Malkanthi et al., 1995).

Um diese standortsbedingte Ertragslimitierung im Staate Piauí genauer zu beschreiben, hat sich das Teilprojekt „Pflanzenernährung“ innerhalb des Fachbereichs „Agrarökosysteme“ folgende Ziele gesetzt: 1) Identifizierung einzelner Nährstoffe als Pflanzenwachstumsbegrenzende Faktoren; 2) Charakterisierung bodenchemischer Faktoren, die das Wurzelwachstum und damit die Nährstoff- und Wasseraneignung begrenzen und 3) Kalibrierung und Verbesserung bestehender Pflanzenwachstumsmodelle (EB, EPIC; ALMANAC) u. a. durch Entwicklung eines detaillierten Nährstoffmoduls zur besseren Simulation der Erträge bei variablen Niederschlägen oder verstärkter Mineraldüngeraufwendung für die weitergehende Modellierung im Gesamtprojekt WAVES.

2.2 Methodisches Vorgehen

Zur Identifikation von Nährstoffbegrenzungen beim Anbau von Mais und Cowpea wurde auf zwei unterschiedlichen, aber repräsentativen Standorten von Picos im Staate Piauí (Standort „Chapada“ und „Tal“, gemeinsam mit AG Bodenkunde ausgesucht) je ein Felddüngungsversuch für 3 Jahre geplant und durchgeführt.

Feldversuch auf der Chapada

Dieser Versuch wurde auf einem Latossolo Amarelo Alico (Alumi-Haplic Acrisol) mit $\text{pH}_{(\text{CaCl}_2)}$ 3,7 und einer Al-Sättigung von 95 % in der Region Picos durchgeführt. Dabei wurden besonders an semi-aride Bedingungen angepasste Sorten von Mais (Sorte BR 5039, Sao Vicente) und Cowpea (Sorte EPACE 10) verwendet. Folgende Düngungsvarianten wurden in einer randomisierten Blockanlage mit 4-facher Wiederholung durchgeführt:

- a) Kontrolle (ohne Kalkung und Mineraldünger): Control;
- b) Komplette Düngung (dolomitischer Kalk, N, P, K): Compl.;
- c) Komplette Düngung wie b) aber minus P: Compl. -P;
- d) Komplette Düngung wie b), aber minus N: Compl. -N;
- e) Komplette Düngung wie b), aber minus K: Compl. -K;
- f) Komplette Düngung wie b), aber minus Kalk: Compl. -lime.

Stickstoff wurde als $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ in Höhe von 30 kg N ha^{-1} in Teilgaben angeboten. Phosphat wurde als Superphosphat ($40 \text{ kg P}_2\text{O}_5\text{ha}^{-1}$) und K als KCl ($40 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$) plaziert appliziert. Zur Kalkung wurde einmalig 1998 3 t ha^{-1} dolomitischer Kalk ($\text{Ca} \cdot \text{Mg} (\text{CO}_3)_2$) ausgebracht.

Feldversuch im Tal

Im Tal des Guaribas-Flusses in Picos wurde 1999 der Feldversuch auf einem Podsolico Vermelho-Amarelo Eutrófico (Haplic oder Chromic Luvisol) mit deutlich höherem pH-Wert und Basensättigung durchgeführt. Die Versuchsanlage und sechs Düngungsvarianten wurden analog zum Feldversuch auf der Chapada gewählt. 1998 ist wegen extremer Trockenheit trotz zweimaliger Aussaat keine Etablierung beider Pflanzenarten möglich gewesen.

Gefäßversuch

Ergänzend zu dem Feldversuch an 2 Standorten im Raum Picos wurden Gefäßversuche (Rhizoboxen: $40 \times 25 \times 2,5 \text{ cm}$) zum Einfluss von Bodensäure und Al Toxizität auf das Wurzelwachstum von Mais und Cowpea in Hohenheim geplant und mit Mais bereits durchgeführt. Die Behandlungen waren wie folgt:

- a) Kontrolle
- b) CaCO_3
- c) CaSO_4
- d) MgSO_4

Mit dem wahlweisen Angebot von CaCO_3 bzw. CaSO_4 soll herausgefunden werden, inwieweit hohe H^+ - oder vor allem Al-Konzentrationen am gehemmten Wachstum auf der Chapada ursächlich beteiligt sind. Die MgSO_4 -Variante wurde gewählt, um den im Feldversuch 1998 angezeigten Mg-Mangel als wachstumslimitierenden Faktor zu prüfen.

Feldversuch zur Evaluierung des biologischen N_2 -Fixierungspotentials

Da in beiden Anbaujahren 1998 und 1999 sich bei der Cowpea deutliche Hinweise auf eine unzureichende N-Versorgung durch die Biologische N_2 -Fixierung ergaben (Mehrerträge durch mineralische N-Düngung; Färbetest der Knöllchen) wurde 2000 ein weiterer Feldversuch im Rahmen einer Masterarbeit auf der Chapada angelegt. Folgende Behandlungen wurden gewählt:

- a) Kontrolle
- b) Optimierte mineralische N-Düngung, einschließlich P, K und Kalk
- c) Nur N-Start-Gabe für biol. N-Fixierung einschließlich P, K und Kalk
- d) Wie c), aber zusätzlich Inokulation mit einem säure-angepassten Rhizobium-Stamm (2A17 von EMBRAPA)
- e) Wie d), aber Rhizobium-Stamm E 7-6 von EMBRAPA

Die N-Versorgung der verschiedenen Varianten wird an der Trockenmassebildung, Kornertrag und Gesamt-N-Ertrag abgeschätzt. Zusätzlich soll die Knöllchenbildung und Biologische N_2 -Fixierungsrate gemessen bzw. abgeschätzt werden.

2.3 Ausgewählte Ergebnisse

2.3.1 Feldversuche auf der Chapada und im Tal

Wachstum und Ertrag

Die detaillierte Auswertung der ersten beiden Anbaujahre (1998, 1999) vom Feldversuch auf der Chapada zeigt trotz hoher Streuung eine starke Begrenzung der Gesamttrockenmassebildung und des Kornertrags durch unzureichende Nährstoffverfügbarkeit bei der Cowpea und bei Mais (Abb. 1-4). Diese starke Wachstums- und Ertragslimitierung ist sowohl im niederschlagsarmen (1998) wie auch im niederschlagsreichen Anbaujahr (1999) zu erkennen.

Auf der Chapada erweist sich P als der am stärksten limitierende Nährstoff bei der **Cowpea** in beiden untersuchten Anbaujahren, dicht gefolgt von K (Abb. 1 und 2). Der Kornertrag der Cowpea war 1999 auf der Chapada in der komplett gedüngten Variante deutlich höher (Faktor 2) als 1998, was mit den höheren Niederschlägen im Anbaujahr 1999 in Verbindung gebracht werden kann. Dieser höhere Kornertrag kann nicht andeutungsweise realisiert werden, wenn P, K oder auch mineralischer N oder Kalk nicht ausreichend appliziert wurde (Abb. 2). Dies zeigt, dass das begrenzte Niederschlagswasser nur optimal von der Cowpea genutzt wird, wenn eine Mindestaufwendung von mineralischem Dünger und Kalkung erfolgt. Überraschend ist, dass bei der Cowpea als Leguminose im 2. Anbaujahr durch eine mineralische N-Düngung ein um Faktor 2 höherer Kornertrag erzielt wird. Dies ist ein Hinweis dafür, dass einmal die Biologische N₂-Fixierung auf der Chapada vermutlich wegen des niedrigen pH-Wertes beeinträchtigt ist und andererseits die N-Nachlieferung durch Mineralisierung im 2. Anbaujahr nach Rodung der Fläche vor Anlage des Feldversuches stark nachlässt. Das heißt bei Leguminosen ist bei höherem Ertragspotential in feuchten Jahren die N-Lieferung durch die Biologische N₂-Fixierung völlig unzureichend und muss im Nährstoffmodul des Pflanzenwachstumsmodells für eine genauere Simulation beachtet werden.

Der geringe Einfluss der Kalkung auf Wachstum und Kornertrag der Cowpea im Anbaujahr 1998 (Abb. 1 und 2) ist vermutlich auf die späte Applikation und geringe Verteilung aufgrund der extrem niedrigen Niederschläge zurückzuführen. Im 2. Jahr nach der einmalig ausgebrachten Kalkung ist offensichtlich wegen der höheren Niederschläge und der dadurch bedingten besseren Kalkverteilung im Bodenprofil eine deutliche Kalkwirkung zu erkennen.

Im Gegensatz zur Chapada sind -Gesamttrockenmassebildung und Kornertrag der Cowpea im Tal weniger durch unzureichende P- und K-Verfügbarkeit beeinträchtigt.

Bei **Mais** ist das Wachstum und die Kornerträge auf der Chapada in beiden Anbaujahren trotz unterschiedlichen Niederschlagsmengen an erster Stelle durch unzureichende P-Verfügbarkeit beeinträchtigt, gefolgt von K und N (Abb. 3 und 4). Überraschend und im Widerspruch zu den ersten Schlussfolgerungen nach der Auswertung des 1. Anbaujahres (siehe Jahresbericht 1998 der AG Pflanzenernährung) scheint der Mais deutlich weniger als die Cowpea auf eine Kalkung anzusprechen (Abb. 1-4). Hier wird deutlich, dass dringend Informationen über die tatsächliche Hemmung des Wurzelwachstums (Wurzellängendichte, Durchwurzelungstiefe) beider Pflanzenarten (-Sorten) auf dem sauren Boden der Chapada benötigt werden.

Beim Vergleich der beiden unterschiedlich feuchten Anbaujahre fällt auf, dass der Mais im Gegensatz zur Cowpea das höhere Wasserangebot nicht in Mehrertrag umsetzen kann, auch nicht bei einem mäßigen Mineraleinsatz der Variante mit „kompletter“ Düngung. Dies wird vor allem auch bei der Betrachtung der Harvest-Indices (HI; siehe unten) deutlich. Der hohe Düngungsbedarf von Mais wird auch durch die deutlich höheren Maiskorn- sowie die Gesamttrockenmasseerträge (Faktor 3-8 je nach Variante) im Tal im Vergleich zur Chapada erkennbar. Dabei war das Tal 1999 nicht durch eine bessere Wasserversorgung gegenüber der Chapada charakterisiert (Auskunft AG Bodenkunde).

Harvest-Indices

Die Harvest-Indices (HI) der **Cowpea** werden sowohl durch die Düngung im Jahr 1998 als auch durch die bessere Nährstoffausstattung des Standortes im Tal bis maximal um den Faktor 2 gesteigert (Tab. 1). Auffallend sind die deutlich höheren HI (Faktor 2-3) im niederschlagsreicheren Anbaujahr 1999.

Tab. 1: Harvest-Indices (HI) in Prozent (%) von Cowpea und Mais für beide Standorte und Anbaujahre

Behandlung	Cowpea			Mais		
	Chapada		Tal	Chapada		Tal
	1998	1999	1999	1998	1999	1999
Kontrolle	14	67	8	3	0	20
Komplett*	24	71	39	17	18	39
Komplett -N	26	57	50	7	19	48
Komplett -P	18	67	45	5	8	14
Komplett -K	23	65	41	13	8	42
Komplett -Kalk	22	65	-	10	27	-

*Komplett = Komplette Düngung (NPK + Kalk)

Im Gegensatz zur Cowpea sind bei **Mais** auf der Chapada die HI nicht unterschiedlich in beiden Anbaujahren, was die geringe Fähigkeit von Mais, höheren Niederschlag in Ertrag zu transformieren wegen zeitweisem Wassermangel („Zwischentrockenheit“ während der Befruchtung), aufzeigt. Obwohl die HI von Mais auf der Chapada durch mineralische Düngung von 3 % (Kontrolle) auf ca. 17-19 % erhöht werden können, bleiben die Werte weit unter denen von nicht wasserlimitierten Standorten, so dass ein Anbau von Mais auf der Chapada ohne Bewässerung während der empfindlichen Periode der Fruchtanlage nicht sinnvoll erscheint.

Nährstoffgehalte und -entzüge

Stickstoff: Die N-Konzentrationen in oberirdischen Pflanzenteilen der Cowpea auf der Chapada zur Blüte im Jahr 1998 und 1999 waren mit Werten über 3 % im ausreichenden Konzentrationsbereich (Abb. 5). Dabei waren die Werte im feuchteren Jahr mit insgesamt besserem Wachstum vermutlich wegen des Verdünnungseffekts geringfügig geringer. Im Tal waren die N-Konzentrationen mit 2,5-3,0 % unterhalb des Bereichs ausreichender Versorgung. Vermutlich war hier wegen des deutlich besseren Maiswachstums und der dadurch bedingten stärkeren Beschattung der Cowpea (Abb. 3) die Biologische N₂-Fixierung begrenzt.

Bei Mais lagen die N-Konzentrationen bei allen Behandlungen mit ca. 1,5 % deutlich unter dem Grenzwert einer ausreichenden N-Versorgung (2,4 %). Dies war besonders auf der Chapada bei der Variante ohne mineralische N-Düngung mit 1,2 % der Fall (Abb. 6). Die höheren N-Konzentrationen der Maispflanzen im Tal deuten auf eine höhere N-Mineralisierung auf diesem Standort hin.

Phosphat: In Übereinstimmung mit dem Ergebnis, dass Phosphat der am stärksten wachstums-limitierende Nährstoff bei Cowpea und Mais auf der Chapada ist (Abb. 1-4), weisen die Sprossgehalte von beiden Pflanzenarten in allen Düngungsvarianten zum Zeitpunkt der Blüte eine unzureichende P-Versorgung auf (Abb. 7 und 8). Bei Mais ist dieser P-Mangel auf der Chapada besonders extrem ausgeprägt, was auch visuell anhand starker Violettverfärbung der alten Blätter erkennbar gewesen war. Zusätzlich waren bei Mais auch am Standort im Tal mit insgesamt besserer allgemeiner Nährstoffversorgung die Sprossgehalte an P unzureichend (Abb. 8).

Kalium: Die K-Konzentration in den Sprossen der Cowpea war bei allen Varianten an beiden Standorten und in beiden Anbaujahren ausreichend bzw. am Standort „Tal“ sehr hoch ohne

größeren Abweichungen zwischen den einzelnen Behandlungen mit Ausnahme der Variante „Komplette Düngung minus K“ (Abb. 9).

Im Gegensatz zur Cowpea lagen die K-Konzentrationen der Maissprosse zur Blüte am Standort Chapada unterhalb des Grenzwertes für ausreichende K-Versorgung (20 mg kg⁻¹TS). Dies war besonders ausgeprägt in der Variante ohne K-Düngung (Abb. 10). Dagegen waren analog zur Cowpea am Standort im Tal die K-Konzentrationen im Spross aller Behandlungen sehr hoch, was die bereits an anderer Stelle bescheinigte bessere Nährstoffausstattung des dort vorliegenden Bodens bestätigt.

Calcium: Die Ca-Konzentrationen im Spross beider Pflanzenarten an beiden Standorten liegen bei den meisten Behandlungen knapp an bzw. unter dem Grenzwert einer ausreichenden Versorgung (Abb. 11 und 12). Bei der Variante „Komplette Düngung minus K“ werden deutlich höhere Ca-Konzentrationen im Spross beider Pflanzenarten gefunden, was durch den K/Ca-Antagonismus bei der Aufnahme erklärt werden kann.

Magnesium: Mit Ausnahme der Variante ohne Anwendung des dolomitischen Kalkes (Mg-haltig) war bei allen anderen Varianten an beiden Standorten die Mg-Versorgung beider Pflanzenarten gut (Abb. 13 und 14). Dieses Ergebnis zeigt, dass das Mg-Angebot über den Boden vor allem auf dem sauren Boden und bei einseitiger K-Düngung verstärkt beachtet werden muss. Das ist insbesondere wichtig, da Mg-Mangel im Gegensatz zu P- und N-Mangel zu einem gehemmten Wurzelwachstum und damit einer verschlechterten Aneignung von Wasser und anderen Nährstoffen führt.

Ökonomische Bewertung

In enger Zusammenarbeit mit der AG Betriebsökonomie wurden die Ertragsdaten der einzelnen Düngungsvarianten der Feldversuche auf der Chapada einer vereinfachten ökonomischen Bewertung unterworfen. Bei dieser Bewertung wurden nur die Düngerkosten und Lohnkosten von Saisonkräften und der Markterlös berücksichtigt.

Tab. 2: Berechnete Mehr- bzw. Mindererlöse durch Anwendung von Mineraldünger und Kalk auf der Chapada in den beiden Anbaujahren 1998 und 1999 (Berechnung in R\$ pro ha unter Berücksichtigung der Kosten für Dünger/Kalk und Saisonarbeitskräften)

Behandlungen	Mehrerlös (R\$ pro ha)			
	Anbaujahr 1998		Anbaujahr 1999	
	ohne Saisonarbeitskräften	mit	ohne Saisonarbeitskräften	mit
Kontrolle	103	-52	-23	-187
Komplett*	767	580	211	9
Komplett -N	949	756	-48	-221
Komplett -P	255	88	-162	-323
Komplett -K	475	299	-166	-333
Komplett -Kalk	625	445	-4	-176

*Komplett = Komplette Düngung (NPK + Kalk)

Aus Tabelle 2 wird deutlich, dass praktisch nur im trockenen Anbaujahr 1998 mineralische Düngung (insbes. P und K) zu einem beachtlich höheren (bis Faktor 9) Nettoerlös führt. Der vergleichsweise teure N-Dünger brachte den deutlich geringsten Nettoerlös. Diese Mehrerlöse waren verständlicherweise bei Anstellung von Saisonkräften deutlich geringer.

Im Gegensatz zum niederschlagsarmen Anbaujahr 1998 gab es im niederschlagsreichen Anbaujahr mit deutlich höheren Erträgen insbes. Bei der Cowpea in den gedüngten Varianten

durch Kalkung und Mineraldüngung unerwartet nur einen geringen Mehrerlös („Komplette Düngung“) oder bei den meisten Behandlungen sogar einen Mindererlös (Tab. 2). Diese Mindererlöse trotz deutlich höherer Kornerträge bei der Cowpea sind durch im Anbaujahr 1999 stark gefallene Marktpreise wegen Überangebot zu erklären. Das zeigt, dass ohne Marktregulierung oder Lagerung ein prinzipiell sinnvoller Düngereinsatz hinsichtlich Kornertrag von dem Kleinfarmer nicht aufgegriffen werden wird.

2.3.2 Gefäßversuche

In dem Gefäßversuch mit Applikation von CaCO_3 , CaSO_4 oder MgSO_4 sollte der Einfluss der Bodenazidität und der Mg-Verfügbarkeit des Bodens vom Standort Chapada auf das Wurzelwachstum von Mais und Cowpea untersucht werden. CaSO_4 wurde gewählt, um durch eine Desorption von OH^- -Gruppen eine pH-Erhöhung in der Bodenlösung bzw. durch und eine Komplexierung von Al^{3+} als $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ eine Entgiftung von Al zu erreichen.

Tab. 3: Einfluss von Kalk-, CaSO_4 - und MgSO_4 -Applikation auf Spross und Wurzelwachstum von Mais in Rhizoboxen

Behandlung	Wurzel TS (mg/Pfl.)	Wurzellänge (cm/Pfl.)	Spross TS (mg/Pfl.)
Kontrolle	310	220	160
CaCO_3	760	390	360
CaSO_4	290	180	180
MgSO_4^*	(140)	(165)	(120)

*versehentlich wurde eine zu hohe Applikationsrate von Mg SO_4 (1200 anstatt 40 kg Ma ha⁻¹) gewählt.

Wie aus Tabelle 3 erkennbar, wird nur durch die Kalkung ein verbessertes Wurzelwachstum und damit auch ein besseres Sprosswachstum erzielt. Durch CaSO_4 Applikation wird gegenüber der Kontrolle kein verbessertes Wurzelwachstum erzielt. Das könnte dafür sprechen, dass auf dem Standort „Chapada“ trotz hohem Al Sättigungsgrad kaum Al Toxizität vorliegt.

Möglicherweise ist auf dem stark sauren Boden die Al-Pufferung sehr gering, so dass im wesentlichen die hohe Bodenazidität (H^+ -Konzentration) wurzelwachstumsschädigend wirkt. Die mögliche Rolle eines niedrigen Mg-Versorgungsgrades am schlechten Wurzelwachstum auf der Chapada konnte wegen stark überhöhter MgSO_4 -Applikation nicht erfasst werden. Im noch durchzuführenden Gefäßversuch mit der Cowpea wird dies beachtet werden, um so vor allem auch hinsichtlich möglicher Ursachen an der unzureichenden Biologischen N_2 -Fixierung der Leguminose einen wichtigen Einblick zu erhalten.

2.3.3 Simulation mit Hilfe des Pflanzenwachstumsmodells ALMANAC

Die Ergebnisse einer Simulation mit Hilfe des Pflanzenwachstumsmodells ALMANAC für die Behandlung „Kontrolle“ und „Komplette Düngung“ (NPK + Kalk) im Feldversuch auf der Chapada 1998 und 1999 sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tab. 4: Gegenüberstellung von gemessenen und nach dem Modell ALMANAC simulierten Daten zur gesamten Biomassenproduktion, Kornertrag, N- und P-Entzug für Mais und Cowpea auf der Chapada für die Anbaujahre 1998 und 1999.

Pflanzenart	Kontrolle (ohne Düngung und Kalkung)				„Komplette Mineraldüngung + Kalkung“			
	1998		1999		1998		1999	
	gem.	simul.	gem.	simul.	gem.	simul.	gem.	simul.
	Gesamte Biomasseproduktion (kg ha ⁻¹)							
Cowpea	1117	980	438	1210	2706	1430	1994	1670
Mais	501	460	408	10	1933	520	1146	10
	Kornertrag (kg ha ⁻¹)							
Cowpea	161	270	290	330	655	390	1442	450
Mais	18	20	0	0	337	20	217	0
	N-Aufnahme (kg ha ⁻¹)							
Cowpea	33	-	16	-	66	-	61	-
Mais	5	-	3	-	20	-	14	-
Gesamt	38	37	19	39	86	51	75	52
	P-Aufnahme (kg ha ⁻¹)							
Cowpea	1,7	-	0,8	-	4,0	-	4,0	-
Mais	0,4	-	0,1	-	2,5	-	1,3	-
Gesamt	2,1	2,4	0,9	2,01	6,5	3,1	5,3	2,6

Das Ergebnis zeigt eine mehr oder weniger zufällige Übereinstimmung von simulierten und gemessenen Werten weniger Varianten. In den überwiegenden Fällen liegen erhebliche Abweichungen (bis Faktor >15) für die gesamte Biomassenproduktion oder den Kornertrag beider Pflanzenarten. Analog gilt dies auch für den N- und P-Entzug bzw. Aufnahme durch die Pflanzen. Insgesamt sind die Abweichungen bei der Cowpea weniger extrem als beim Mais, der deutlich stärker trockenstressanfällig ist.

Diese Abweichungen zeigen, dass das bislang vorhandene Pflanzenwachstumsmodell völlig unzureichend die beiden wachstumslimitierenden Faktorenkomplexe Nährstoffe und Wasser und deren Interaktion berücksichtigt und eine Adaptation an die ökologischen Bedingungen der Region Picos in Piauí benötigt. Als wesentliche Ursache kann angenommen werden, dass das jetzige ALMANAC-Modell den meist limitierenden Wachstumsfaktor überproportional berücksichtigt und die weiteren Wachstumsfaktoren unterbewertet und zwar entsprechend dem bekannten „Minimumgesetz“. Das führt eben in der Region Picos mit 2 ähnlich stark wachstumslimitierenden Faktoren mit von Jahr zu Jahr wechselnder Intensität (Faktor Wasser in Abhängigkeit der Niederschlagsmenge und -verteilung) zu erheblichen Abweichungen.

Auch berücksichtigt das bisherige Wachstumsmodell ALMANAC nicht die Wechselbeziehungen zwischen Bodenazidität und Nährstoffmangel einerseits und dem Wurzelwachstum oder der biologischen N₂-Fixierung als wichtiges Maß für die Wasser- und Nährstoffaneignung oder dem N-Eintrag in das Agrarökosystem. Eine Verbesserung des ALMANAC-Modells u.a. durch Integration eines detaillierten Nährstoffmoduls ist in Zusammenarbeit mit der AG Bodenkunde und AG Pflanzenbau in Bearbeitung.

2.4 Diskussion

Aufgrund der bisher erzielten Ergebnisse aus der ausgewerteten 2 Anbaujahre (1998, 1999) kann die starke Wachstumshemmung durch unzureichende Nährstoffverfügbarkeit an beiden Standorten gezeigt werden (Abb.1-4). Dabei ergibt sich für Mais eine deutliche Rangfolge einzelner Nährstoffe mit Phosphat (P) als stärkster limitierender Nährstoff gefolgt von Stickstoff (N) und Kalium (K) bzw. Erdalkali (Ca, Mg). Bei der Cowpea ist ebenfalls P der am stärksten limitierende Nährstoff gefolgt von K und den Erdalkali noch vor dem N. Wobei trotz der Fähigkeit der Cowpea zur symbiontischen N_2 -Fixierung durch Weglassen der mineralischen N-Düngung deutliche Mindererträge erhalten werden. Offensichtlich ist die Aktivität der Knöllchen auf dem sauren Standort („Chapada“) beeinträchtigt, was durch visuelle Diagnose der Knöllchen (Rotfärbung) bestätigt wird. Diese angezeigte Hemmung der biologischen N_2 -Fixierung muss bei weiterer Bestätigung in den Pflanzenwachstumsmodellen zukünftig wesentlich stärker berücksichtigt werden, da in vielen Anbausystemen mit Leguminosen von deren N-Eintrag eine nachhaltige Bodenfruchtbarkeit abgeleitet wird.

Da im Feldversuch wegen Anwendung von dolomitischem Kalk keine Unterscheidung zwischen durch Calcium (Ca)- und Magnesium (Mg)-Mangel oder durch zu hohe Bodensäure bzw. Aluminium (Al)-Löslichkeit induzierte Wachstumsbeschränkung möglich ist, wurden Wachstumsversuche in Rhizoboxen, die gleichzeitig die Beobachtung des Wurzelwachstums zulassen, geplant und teilweise bereits (bei Mais) durchgeführt. Die bisherigen Ergebnisse dieser Gefäßversuche weisen auf starke Hemmung des Wachstums (insbes. des Wurzelwachstums) durch zu hohe Bodensäure und vermutlich weniger durch hohe Al-Konzentrationen auf dem sauren Standort (Chapada) hin. Als Folge dieser hohen Bodensäure ist beim Mais eine schlechte Mg-Versorgung in Zusammenhang mit einem weiter stark gehemmten Wurzelwachstum zu beobachten und bei der Cowpea eine gehemmte N_2 -Fixierung zu vermuten.

Das schlechte Wurzelwachstum, bislang nur bei Mais untersucht (Tab.3), führt bekannterweise nicht nur zu einer verschlechterten Aneignung von Nährstoffen sondern auch vom häufig begrenzt verfügbaren Wasser. Somit wird eine differenziertere Beachtung des Wurzelwachstums und damit der Durchwurzelungstiefe in jedem Pflanzenwachstumsmodell mit entsprechenden Wasser- und Nährstoffteilmodulen zu einer verbesserten Simulation als bisher (siehe Bericht AG Bodenkunde S. 8. und 13) führen. Die für die Pflanzenwachstumsmodelle notwendige gleichzeitige Bewertung beider wachstumsbegrenzenden Faktoren (Wasser, Nährstoffe) aus zu erfassenden Parametern im Feldversuch (u.a. Durchwurzelungstiefen) war zusammen mit der AG Bodenkunde geplant, aber bislang nur eingeschränkt möglich, da u.a. die notwendigen TDR-Sonden verspätet aus dem Zoll freigegeben wurden. Aber durch den Vergleich der erfassten Biomasse- und Kornerträge der beiden im Niederschlagsangebot unterschiedlichen Anbaujahre 1998 und 1999 lassen sich dennoch klare Aussagen machen, insbesondere wenn die Harvest-Indices beider Kulturpflanzen an beiden Standorten und Jahren vergleichend betrachtet werden.

Auch wenn bei Mais durch eine mäßige Mineraldüngung die gesamte Biomasseproduktion um Faktor 2 bis 5 und der HI um den Faktor 2 erhöht werden können, bleibt der HI auf der Chapada mit 10-20 % und im Tal mit maximal 20 % (ungedüngte Variante) bzw. 37 % (gedüngte Variante) wegen Trockenstress weit unter den zu erwartenden Werten nicht gestresster Pflanzen (Tab.1). Auch trotz deutlich höheren Niederschlägen im Jahr 1999 wird bei Mais im Gegensatz zur Cowpea kein höherer HI erzielt, was mit der hohen Trockenstressempfindlichkeit von Mais besonders im Stadium der Samenanlage zu erklären sein wird. Bei der nicht-determinierten Cowpea mit einer Blüte und Samenbildung über eine deutlich längere Zeitspanne als bei Mais führt eine zeitlich begrenzte Trockenstressphase („Zwischentrockenheit“) wie im Anbaujahr

1999 zu keinem so drastischen Rückgang der HI wie bei Mais (s. hierzu auch Bericht AG Bodenkunde, S. 17).

Dieser sehr niedrige HI von Mais selbst in dem feuchteren Jahr zeigt, dass der überall zu beobachtende Maisanbau auf der Chapada (Bewässerung praktisch nicht möglich), aber auch im Tal ohne zeitweise Zusatzbewässerung zum Zeitpunkt der Samenanlage nicht angepasst und auch nicht zu empfehlen ist. Aus pflanzenbaulicher und pflanzenernährerischer Sicht (die AG Betriebsökonomie kommt in Abhängigkeit der stark schwankenden Marktpreise in einzelnen Jahren z.T. zu abweichender Aussage) dürften andere Kulturen wie z.B. Cashew und Maniok besser an den sauren Standort mit Wassermangel angepasst sein. Dies soll u.a. Untersuchungsinhalt der nächsten Antragsphase sein.

Im Gegensatz zum Mais ist bei der Cowpea im niederschlagsreicheren Jahr (1999) gegenüber dem trockenen Jahr (1998) ein deutlich höherer Kornertrag (Faktor 2 für ungedüngte und gedüngte Variante) und HI (Faktor 3-4) zu beobachten, was für die bessere Anpassung dieser Kulturpflanze an zeitweisen Wassermangel spricht. Unabhängig vom Wasserangebot werden bei der Cowpea an beiden Standorten durch die mäßige Minereraldüngung (insbes. P und K) die Kornerträge um den Faktor 4-7 erhöht, was bei den durchschnittlich erzielbaren Marktpreisen zu einem erhöhten Netto-Einkommen der Bauern führt (Tab.; gemeinsame Berechnung mit AG Betriebsökonomie). Andererseits zeigen die Ergebnisse beider Kulturpflanzen, dass der Mineralstoffversorgung in den benutzten Pflanzenwachstumsmodellen neben dem Wasser eine gleich wichtige Bedeutung zukommen muss.

Inwieweit zu den vorgenannten Nährstoffen (P, N, K, Mg und Ca) auch noch Schwefel (S) und bei der Cowpea als Leguminose auf dem sauren Standort (Chapada) Molybdän (Mo) als wachstumslimitierende Faktoren zu beachten sind, wird im 3. Versuchsjahr überprüft.

Bei Anwendung bei der Pflanzenwachstumsmodelle (EPIC, ALMANAC) wird momentan eine völlig unzureichende Übereinstimmung von berechneten und gemessenen Ertrags- sowie Nährstoffzugsdaten erhalten, und dies vor allem für die gedüngten Varianten (Tab.4). Dies ist bei näherer Analyse der Grundlagen dieser Wachstumsmodelle nicht verwunderlich, da sie auf dem Prinzip des am stärksten vereinfachten und damit auch völlig unzulänglichen Ertragsgesetzes nach C. Sprengel und J. von Liebig (1839/1860), dem sog. Minimumgesetz beruhen und praktisch nur den Wasserfaktor berücksichtigen. Da jedoch, wie oben gezeigt, zumindest 2 große wachstumsbegrenzende Faktorenkomplexe (Wasser, Nährstoffe) von gleichwertiger Bedeutung im Untersuchungsgebiet von Picos vorliegen, muss zukünftig zumindest entsprechend dem Optimumgesetz („Die Wirkung eines Wachstumsfaktors ist umso stärker, je mehr die anderen im Optimum sich befinden“, nach Liebscher und Wollny) verfahren werden, wenn erfolgreich simuliert werden soll. Entsprechende Überlegungen sind zusammen mit der AG Bodenkunde und AG Pflanzenbau innerhalb des Fachbereichs Agrarökosysteme angestellt worden und in der Umsetzung (siehe hierzu auch Bericht der AG Bodenkunde, S. 12).

Der bereits begonnene Feldversuch im 3. Anbaujahr sowie die ergänzenden Versuche zur Biologischen N₂-Fixierung in Picos im Rahmen einer begleitenden Masterarbeit und der geplante Gefäßversuch zum Wurzelwachstum der Cowpea werden die bisherigen Aussagen erhärten und in Teilbereichen schärfen, so dass die Teilmodule „Nährstoffe“ und „Wasser“ im Pflanzenwachstums- bzw. Ertragsmodell und übergeordneten Modellen des Gesamtprojekts weiter verbessert werden.

2.5 Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten und brasilianischen Wissenschaftlern

Innerhalb des Gesamtprojektes besteht aufgabengemäß eine enge Zusammenarbeit hinsichtlich Planung, Durchführung und Auswertung der Feldversuchstätigkeit mit den AG „Bodenkunde“, „Pflanzenbau“ und „Betriebsökonomie“, über die die Adaptation des Pflanzenwachstumsmodells u.a. durch Integration eines detaillierten Nährstoffmoduls, welches die einzelnen wachstumslimitierenden Nährstoffe im Zusammenhang mit dem Wurzelwachstum auf den dominierenden sauren Boden realistisch bewertet, leistet die AG „Pflanzenernährung“ einen wesentlichen Beitrag für die übergeordneten Modellierungen im Gesamtprojekt.

Die Feldversuche im Raum Picos in der Verantwortung der AG „Pflanzenernährung“ werden in enger Zusammenarbeit mit dem brasilianischen Partner L. Gonzaga R. Ferreira, UFC, Fortaleza, der für einen entsprechenden Feldversuch am regenarmen Tauá verantwortlich ist, durchgeführt.

Außerhalb des WAVES-Projektes bestehen enge Kontakte zu EMBRAPA über Norman Runjanek (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) hinsichtlich verbesserter Rhizobienstämme für saure Standorte. Gleichzeitig besteht enger Kontakt zu Dr. Gilson Villacca Exel Pitta in Sete Lagoas, Minas Gerais um säureresistentere Maissorten sowie weiterführende Literatur zur Säure- bzw. Al-Toleranz von Maniok und Cashew für die zu beantragende 2. Hauptphase zu erhalten. Die Kenntnisse zur pflanzlichen Anpassung an saure Standorte sind in den letzten Jahren sprunghaft gestiegen, dass über besseres Genmaterial die Pflanzenproduktion kurz- bis mittelfristig enorm gesteigert werden kann. Durch entsprechende Zusammenarbeit mit u.a. Brasilianern werden in der laufenden Vegetationsperiode richtungsweisende Versuche durchgeführt und zukünftig verstärkt geplant.

2.6 Bibliographie

2.6.1 Eigene Publikationen

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

2.6.2 Zitierte Literatur

- Alva, A.K., Asher, C.J., Edwards, D.G. (1990). Effect of solution pH, external Ca concentration and Al activity on nodulation and early growth of cowpea. *Australian Journal for Agricultural Research* 41, pp. 359-365.
- Aniol, A. (1983). Aluminium uptake by roots of two witer varieties of different tolerance to aluminium. *Biochem. Physiol. Pflanz.*, 178. pp. 11-20.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL (1985, 1987/1988, 1989). Rio de Janeiro: IBGE v. 46. 760, 740, 716 p.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO PIAUÍ (1985).Teresina: Fundação CEPRO, v.7, 1981/1991., 325 p.
- Araujo, J.P.P., Rios, G.P., Watt, E.E., Neves B.P., Pasgéria, N.K., Oliveira, I.P., Guimerães, G.M., Silveira Fo., A. (1984). Cultura do caupí. *Vigna unguiculata* (L.) Walp.:Descrição e recomendações técnicas de cultivo. EMBRAPA-CNPAP, Technical circular 18, Goiania, Brazil.
- Bezerra, B.R., Salviano, A.A.C. (1995). Acidez e calagem nos solos do piauí. VIII seminário des pesquisa agropecuária do Piauí - I simpósio agropecário e florestal do meio-norte, Teresina, 1995. Proceedings. Pp. 1-4.
- Cardoso, M.J., Araújo, A.G. de, Freire Filho, F.R., Ribeiro, V.Q. (1981). Culturas alternativas para o consórcio com o milho em solos de baixoes, no Piauí. Teresina: EMBRAPA-UEPAE Teresina, 1981a. 3p.
- Fagéria, N. (1991). Response of cowpea to phosphorus on an Oxisol with special reference to dry matter production and mineral ion contents. *Tropical Agriculture* 68, pp. 384-388.
- Frota, A.B. (1998). Importancia sócio-economica. In: A cultura do milho no Piauí. EMBRAPA - Teresina, pp. 7-24.
- Hohenberg, J.S., Munns, D.N. (1984). Effect of soil acidity factors on nodulation and growth of *Vigna unguiculata* in solution culture. *Agronomy Journal* 76, pp. 477-581.
- IBGE. (1985). Censos económicos: censo agropecuário - Piauí. Rio de Janeiro, V. 10, 520 p.
- Kellog, G.E., Ordeval, A.A. (1969). Potentially arable soils of the world and critical measures of their use. *Advances in Agronomy* 21, pp. 109-170.
- Malkanthi, D.R.R., Yokoyama, K., Yoshida, T., Moritsugu, M., Matsushita, K. (1995). Effect of low pH and Al on growth and nutrient uptake of several plants. *Soil Science and Plant Nutrition* 41, pp. 161-165.
- Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd. Edition. Academic Press, London.
- Melo, F.B., Cardoso, M.J., Andrade Jr., A.S. (1998). Nutricao e adubacao. In: A cultura do milho no Piauí. EMBRAPA - Teresina, p. 46-67.
- Sanchez, P.A., Salinas, J.G. (1981). Low input technology for managing oxisols and ultisols in tropical America. *Advances in Agronomy* 34, pp. 279-405.

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

Die geplanten Feldversuche an den 2 Standorten im Raum Picos wurden in den beiden ersten Anbaujahren trotz erheblicher organisatorischer Schwierigkeiten durchgeführt und ausgewertet. Die Vorbereitungen bzw. Aussaat für die 3. Vegetationsperiode sind vor Ort in vollem Gang. Durch Übernahme eines Teils der Routineanalytik durch Institutspersonal bzw. Studentische Hilfskräfte konnte der eingestellte Doktorand als Projektbearbeiter für zusätzliche Versuche (u.a. Gefäßversuch zum Wurzelwachstum, Feldversuch zur verbesserten Biologischen N₂-Fixierung) Zeit gewinnen. Diese Versuche werden für die Verbesserung des Pflanzenwachstumsmodells (Integration eines detaillierten Nährstoffmoduls mit Berücksichtigung des Wurzelwachstums für die Nährstoff- und Wasseraneignung) entscheidend sein. Die verzögerten Untersuchungen zur Durchwurzelungstiefe zusammen mit dem Zeitverlauf der Bodenwasserhalte in unterschiedlichen Bodentiefen werden nun im begonnenen 3. Anbaujahr durchgeführt.

Ein gewisser Nachholbedarf besteht zur Zeit noch hinsichtlich Integration eines detaillierten Nährstoffmoduls in das existierende Pflanzenwachstumsmodell ALMANAC, um die notwendige Anpassung an die Standortsbedingungen der Region Picos und langfristig von Piauí zu ermöglichen. Diese Arbeiten sind zusammen mit den AG's Bodenkunde und Pflanzenbau begonnen und werden in den nächsten Monaten fortgesetzt.

Die notwendige Berücksichtigung weiterer wichtiger Kulturpflanzen im Mischanbau und Rotation insbes. hinsichtlich Anpassung an saure Standorte (z.B. Chapada) und Nährstoffverfügbarkeit und -flüsse ist für die 2. Hauptphase geplant und wird durch Literaturrecherche und Kontakte zu u.a. brasilianischen Wissenschaftlern in den nächsten Monaten vorbereitet.

4 Ergebnisse Dritter, die für das Vorhaben von Bedeutung sind

keine

5 Angaben zu Erfindungen und Schutzrechten

Es liegen keine Erfindungen vor. Schutzrechte wurden nicht erteilt oder angemeldet.

Anhang (Abbildungen: Abb. 1-14)

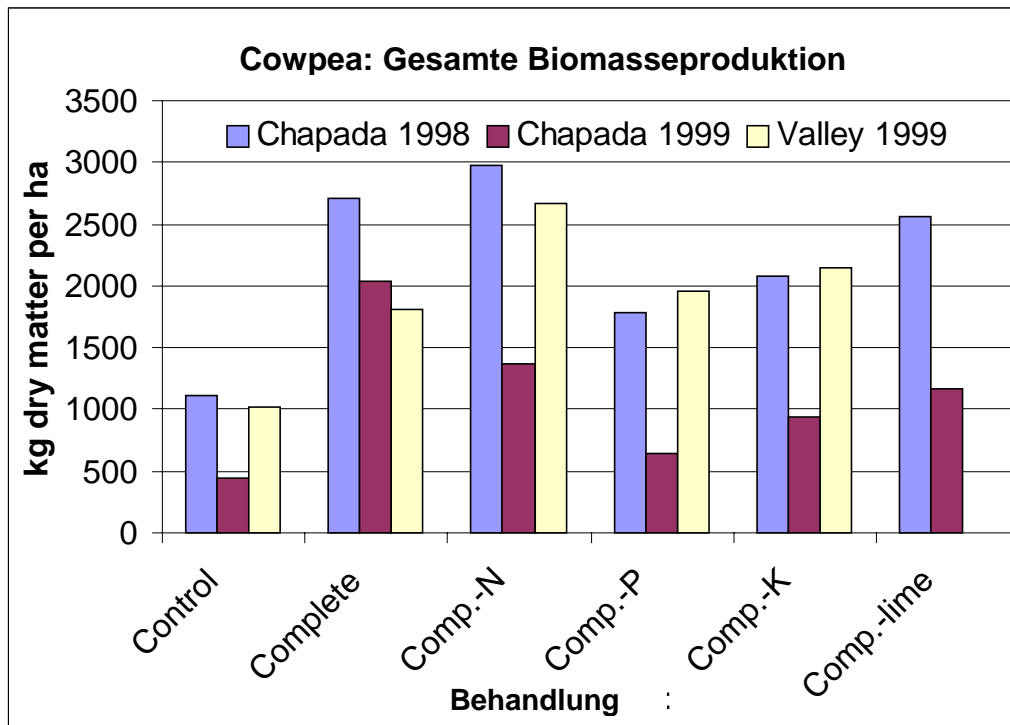


Abb. 1: Biomasseproduktion der Cowpea auf der Chapada im Jahr 1998 und 1999 und im Tal im Jahr 1999

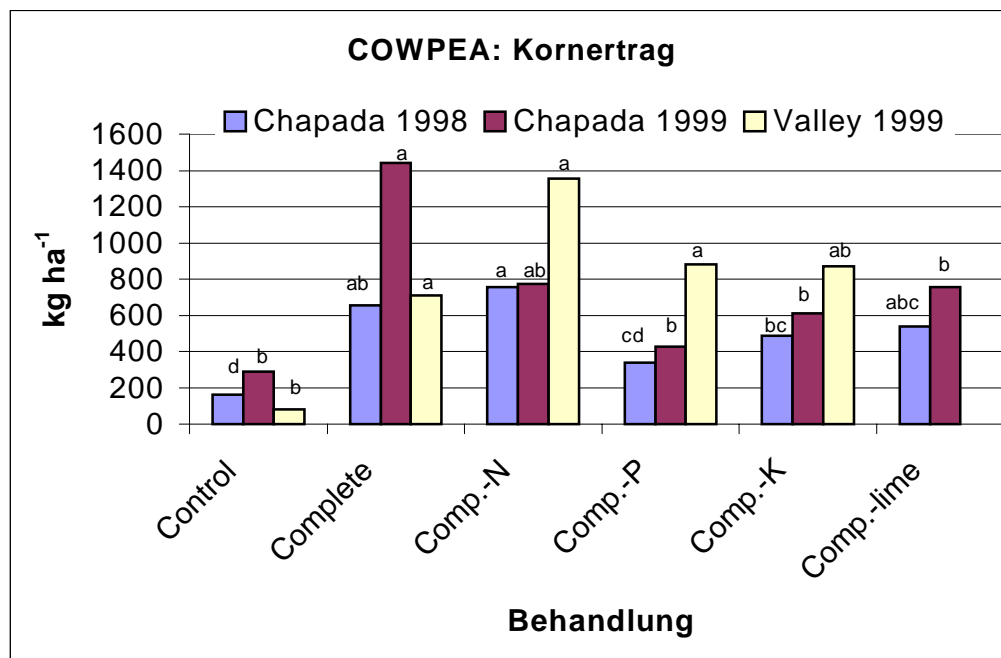


Abb. 2: Kornertrag der Cowpea auf der Chapada im Jahr 1998 und 1999 und im Tal im Jahr 1999

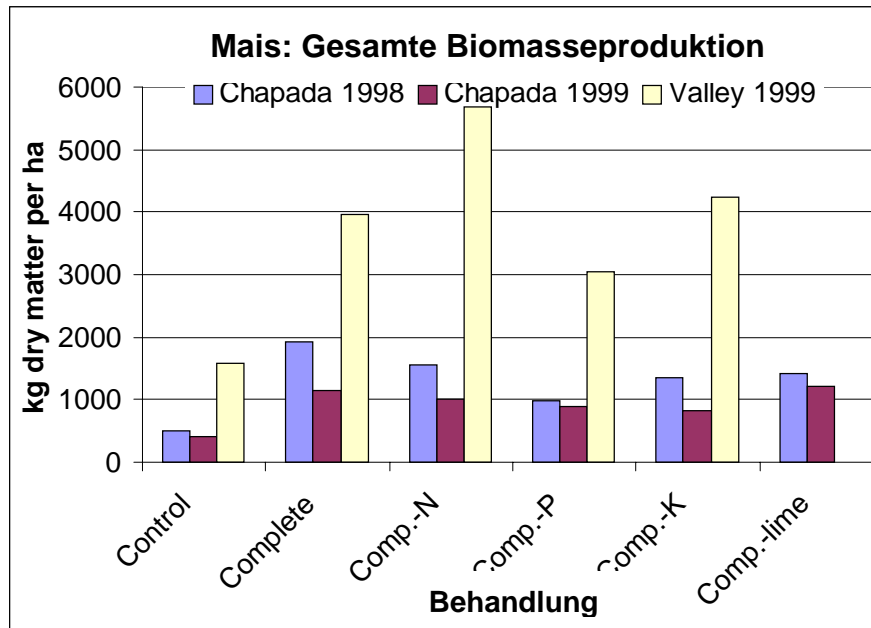


Abb. 3: Biomasseproduktion von Mais auf der Chapada im Jahr 1998 und 1999 und im Tal im Jahr 1999

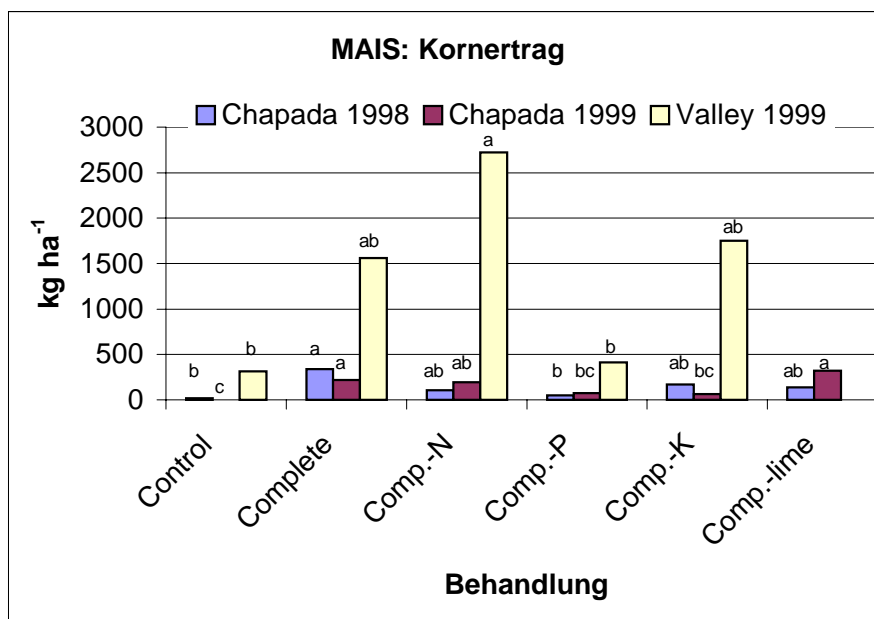


Abb. 4: Kornertrag von Mais auf der Chapada im Jahr 1998 und 1999 und im Tal im Jahr 1999

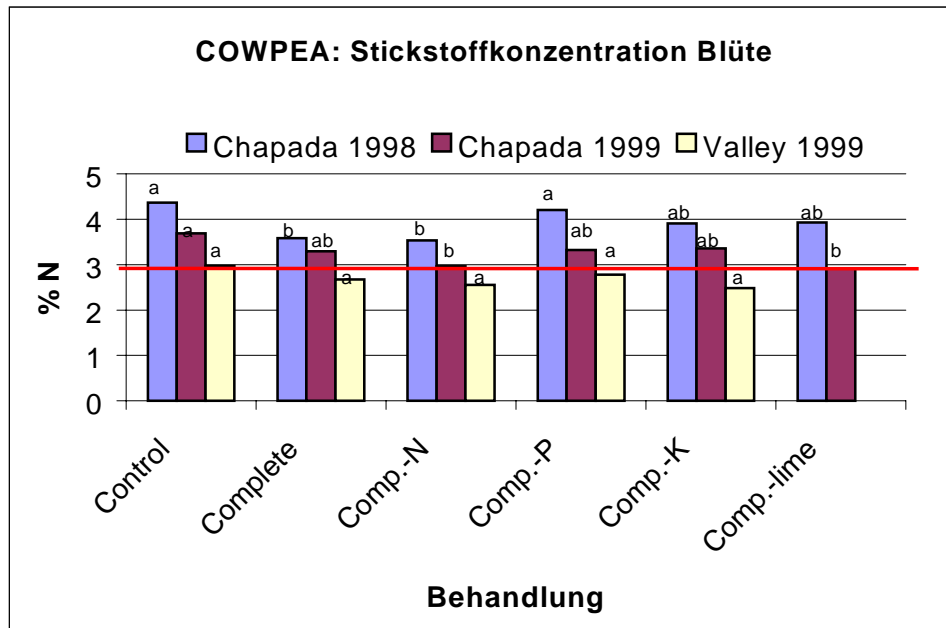


Abb. 5: N-Konzentrationen zum Zeitpunkt der Blüte im Spross der Cowpea auf der Chapada im Jahr 1998 und 1999 und im Tal im Jahr 1999

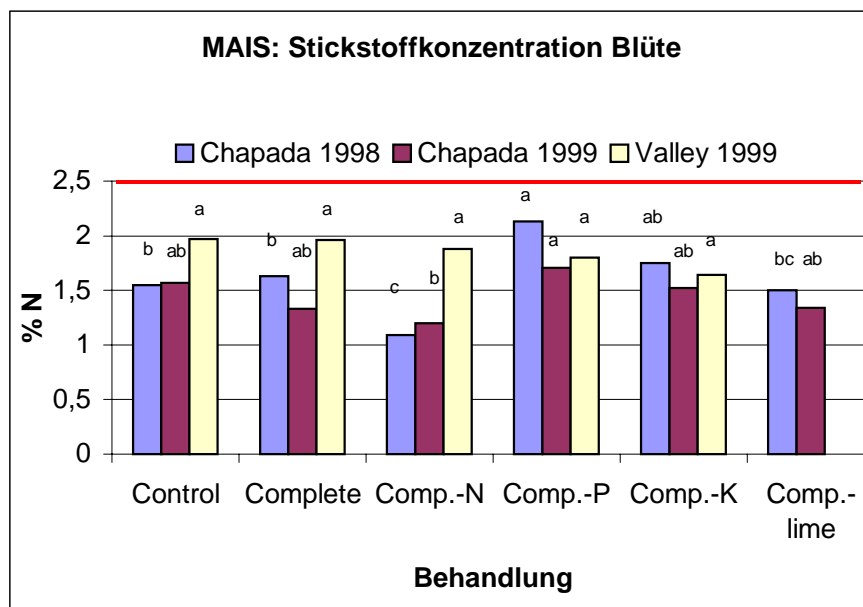


Abb. 6: N-Konzentrationen zum Zeitpunkt der Blüte im Spross von Mais auf der Chapada im Jahr 1998 und 1999 und im Tal im Jahr 1999.

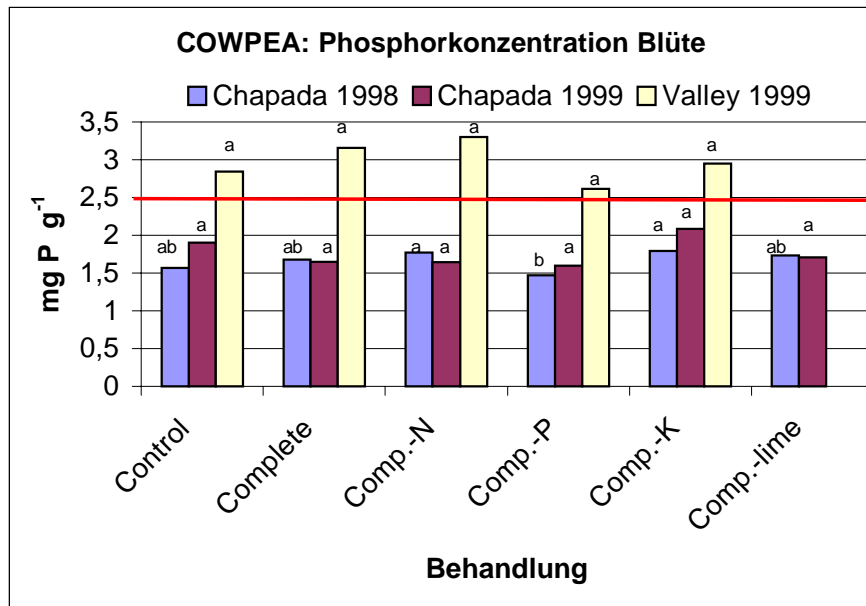


Abb. 7: P-Konzentrationen zum Zeitpunkt der Blüte im Spross der Cowpea auf der Chapada im Jahr 1998 und 1999 und im Tal im Jahr 1999

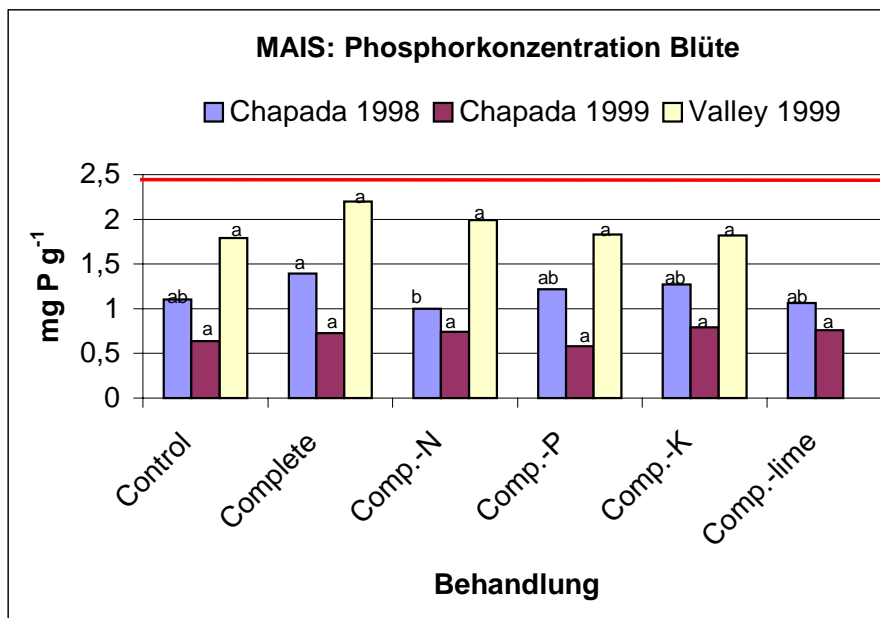


Abb. 8: P-Konzentrationen zum Zeitpunkt der Blüte im Spross von Mais auf der Chapada im Jahr 1998 und 1999 und im Tal im Jahr 1999

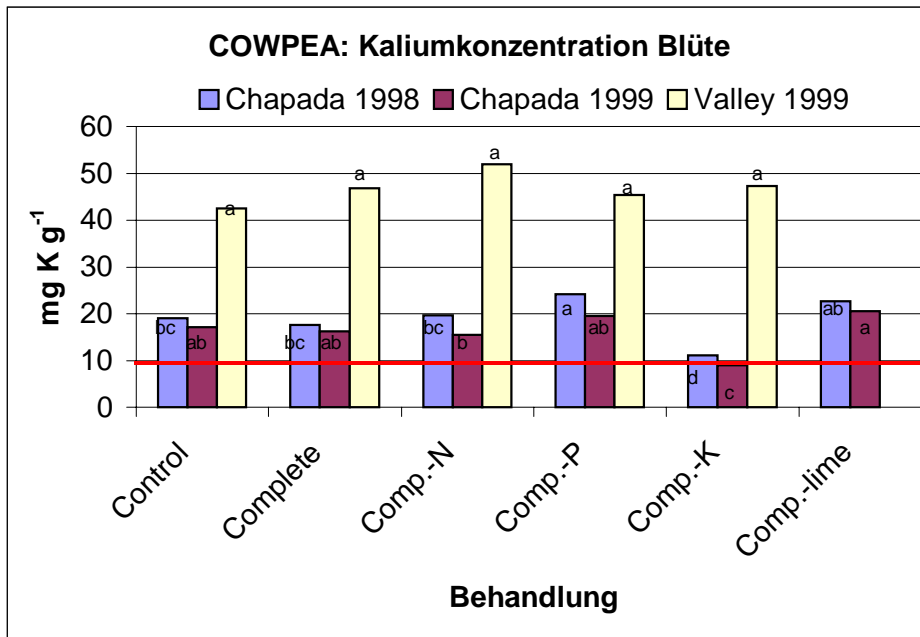


Abb. 9: K-Konzentrationen zum Zeitpunkt der Blüte im Spross der Cowpea auf der Chapada im Jahr 1998 und 1999 und im Tal im Jahr 1999

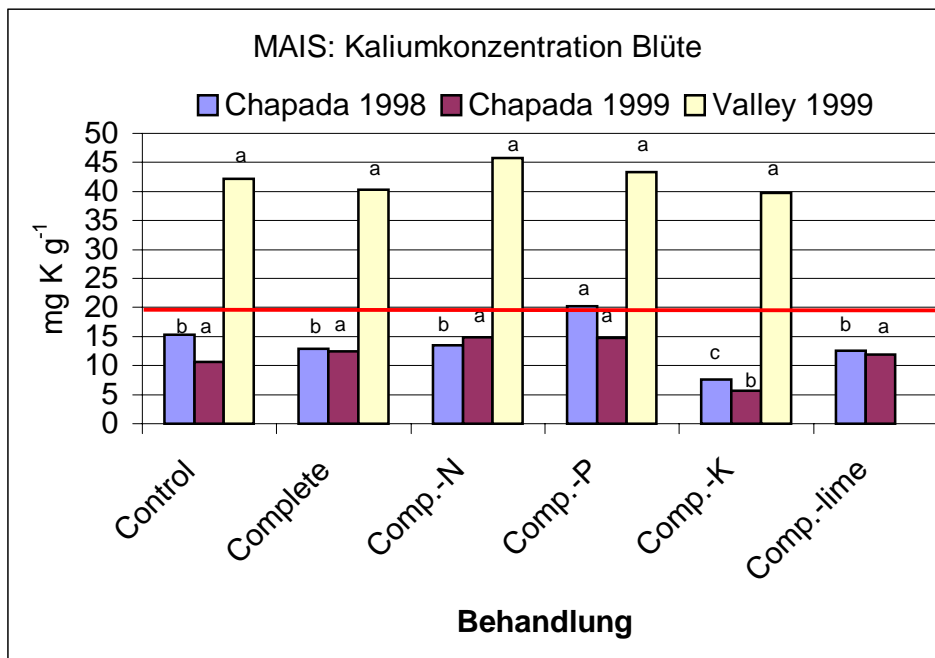


Abb. 10: K-Konzentrationen zum Zeitpunkt der Blüte im Spross von Mais auf der Chapada im Jahr 1998 und 1999 und im Tal im Jahr 1999

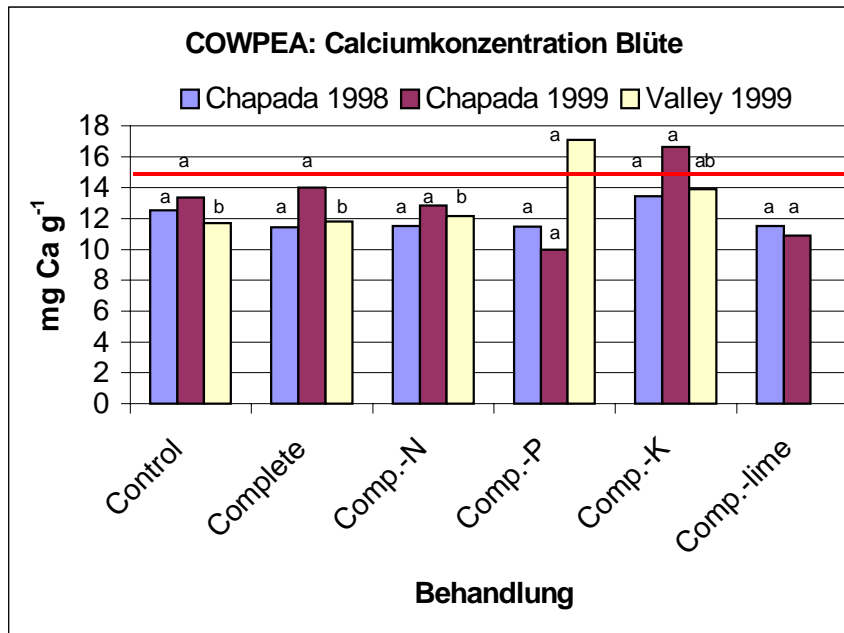


Abb. 11: Ca- Konzentrationen zum Zeitpunkt der Blüte im Spross der Cowpea auf der Chapada im Jahr 1998 und 1999 und im Tal im Jahr 1999

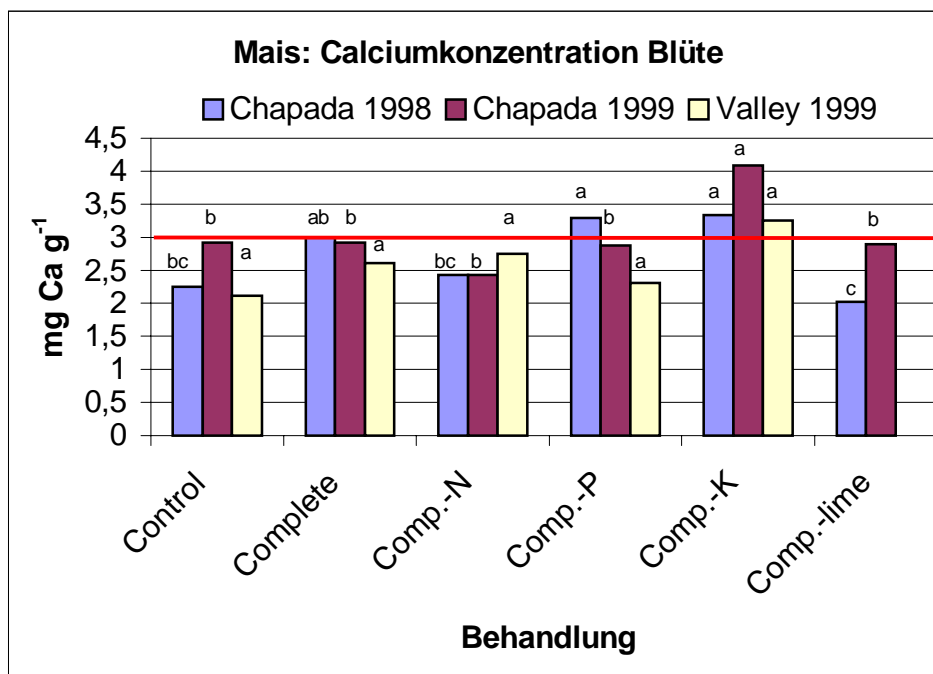


Abb. 12: Ca-Konzentrationen zum Zeitpunkt der Blüte im Spross von Mais auf der Chapada im Jahr 1998 und 1999 und im Tal im Jahr 1999

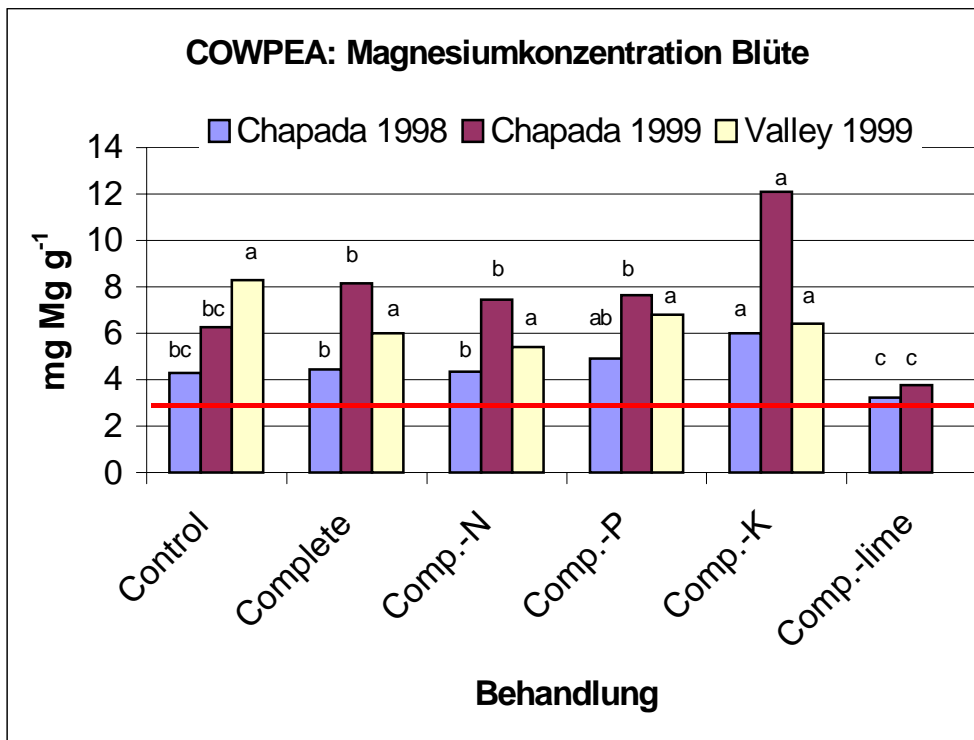


Abb. 13: Mg-Konzentrationen zum Zeitpunkt der Blüte im Spross der Cowpea auf der Chapada im Jahr 1998 und 1999 und im Tal im Jahr 1999

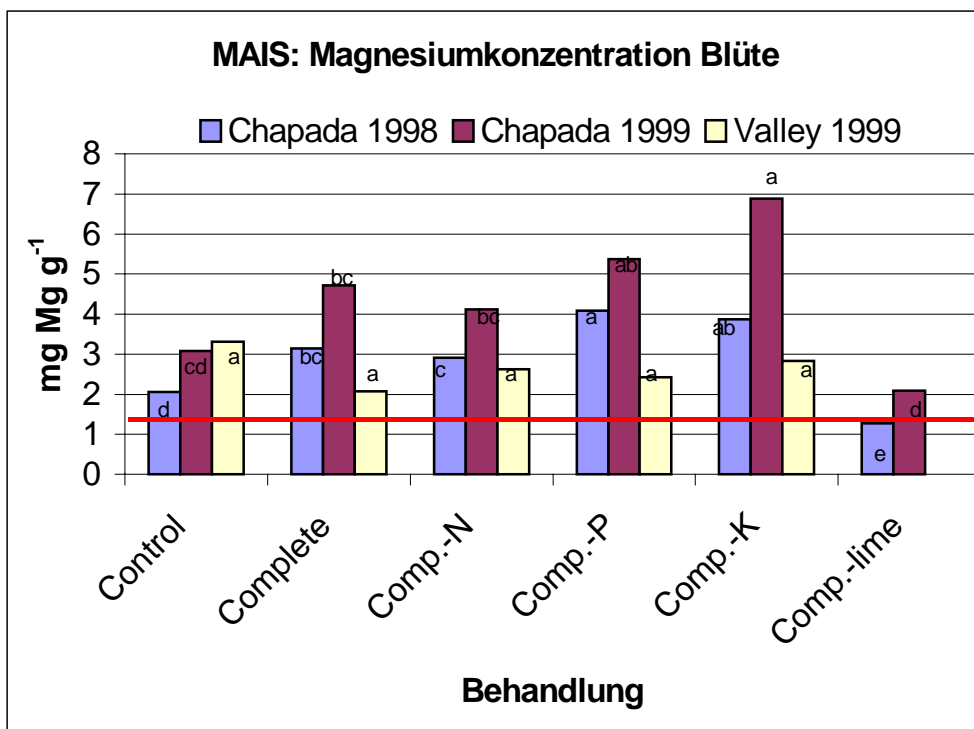


Abb. 14: Mg-Konzentrationen zum Zeitpunkt der Blüte im Spross von Mais auf der Chapada im Jahr 1998 und 1999 und im Tal im Jahr 1999