

Institut für Organischen Landbau

Prof. Dr. U. Köpke

Vergleich verschiedener Anbausysteme des Organischen Landbaus für Mais und zwei Leguminosenarten

I n a u g u r a l – D i s s e r t a t i o n

zur

Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften

(Dr. agr.)

der

Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Bonn

vorgelegt am

20.12.2010

von

Dipl. Ing. agr. **Marco Hödtke**

aus

Meckenheim

Referent:	Prof. Dr. Ulrich Köpke
Korreferent:	Prof. Dr. Mathias Becker
Tag der mündlichen Prüfung:	05.10.2012
Erscheinungsjahr:	2013

I. Kurzfassung

In den Jahren 1995 bis 1998 wurden am Institut für Agrarbiologie der EMBRAPA in Seropédica, Rio de Janeiro, Brasilien, Feldversuche zum gemeinsamen Anbau von Mais und Körnerleguminosen unter den Anbaubedingungen des Organischen Landbaus durchgeführt. Ziel der Arbeit war es, verschiedene Anbausysteme in Bezug auf Ertragsparameter (Kornertrag, Qualität des Mais, Flächennutzungseffizienz) und Stabilitätsparameter (N-Bilanzen und die Entwicklung der organischen Bodensubstanz) zu untersuchen. Mais wurde im Reinbestand und als Mischkultur zusammen mit Augenbohne (*Vigna unguiculata*) oder mit Schwertbohne (*Canavalia ensiformis*) angebaut. Bei den Mischbauvarianten wechselte jeweils eine Maisreihe mit zwei Leguminosenreihen ab. Zu Beginn der Maisblüte wurden die Leguminosen zur Gründüngung des Mais genutzt. Je nach Variante wurde keine Gründüngung, die Sprossmasse von einer oder von zwei Leguminosenreihen je Maisreihe appliziert. Die Sprossmasse wurde eingearbeitet oder als Mulchauflage belassen. Der Feldversuch wurde dreimal durchgeführt. Eine einzelne Versuchsdurchführung wurde als Versuchsperiode bezeichnet.

Der Anteil luftbürtigen Stickstoffs der Leguminosen betrug durchschnittlich 76 %. Durch Gründüngung wurden dem Mais zwischen 6 und 32 kg luftbürtiges N * ha⁻¹ zugeführt. Der so applizierte Stickstoff wurde rasch mineralisiert und aufgenommen. Bereits sieben Tage nach Applikation der Gründüngung wurden bei Varianten mit Einarbeiten doppelreihiger Gründüngung höhere N-Gehalte des Mais festgestellt.

Der über die Versuchslaufzeit gemittelte Maiskornertrag der Mischbauvarianten betrug 2,7 t * ha⁻¹ und derjenige des Mais-Reinbestandes 3,3 t * ha⁻¹. In beiden Fällen war der Kornertrag des Mais größer als der brasilianische Mittelwert des Jahres 1996 von 2,4 t * ha⁻¹. Sowohl doppelreihige Gründüngung mit Augenbohnen-Sprossmasse als auch doppelreihige Gründüngung mit Schwertbohnen-Sprossmasse erhöhten den Maiskornertrag signifikant.

Die Flächennutzungseffizienz wurde anhand der *Land Equivalent Ratio* (LER) gemessen. Bei einem LER-Wert größer eins wird eine Fläche durch Mischkulturanbau effizienter genutzt als durch Reinkulturanbau. Die Flächennutzungseffizienz war bei Mischkulturanbau, insbesondere bei Mischkulturanbau ohne Gründüngungsnutzung der gemeinsam angebauten Leguminosen, größer (LER zwischen 1,1 und 1,5) als bei Reinkulturanbau.

Die N-Exporte über Mais- und Leguminosenkörner konnten durch doppelreihige Gründüngung nicht ausgeglichen werden. Positive N-Bilanzen wurden nur in Varianten erreicht, in denen Schwertbohnen-Erntereste anfielen. Die Aufnahme fixierten Stickstoffs zum Zeitpunkt der Ernte betrug bei Schwertbohnen durchschnittlich 148 kg * ha⁻¹ (Augenbohnen: etwa 19 kg * ha⁻¹).

Während der Versuchslaufzeit erhöhte sich der Gehalt der organischen Bodensubstanz der Horizonte 0 - 20 cm, 20 - 40 cm und 40 - 60 cm insbesondere bei den Mischbauvarianten. Zunahmen in 40 - 60 cm Tiefe wurden vor allem nach Anbau von Schwertbohnen festgestellt.

Fazit: Durch Mischbau wurden die vorhandenen Ressourcen effizienter genutzt und es wurde ein günstigerer Kompromiss im Hinblick auf die konfligierenden Zielgrößen Ertragsmaximierung und Ertragsstabilität erreicht. Die Nutzung gemeinsam angebauter Leguminosen als Gründüngung stellte eine Möglichkeit zur kurzfristigen Verbesserung der N-Versorgung des Mais dar, hatte jedoch eine defizitäre N-Bilanz zur Konsequenz.

Die auf eine ausgeglichene N-Bilanz gerichtete Optimierung des Anbauverfahrens, bei dem Sprossmasse einer gemeinsam mit Mais angebauten Körnerleguminose zu dessen Gründüngung genutzt wird, erscheint auf Basis der vorliegenden Ergebnisse als sinnvoll und vielversprechend.

II. Abstract

Field experiments concerning the intercropping of maize and pulses were carried out under the conditions of Organic Agriculture at EMBRAPA Agrobiology Institute in Seropédica, Rio de Janeiro State, Brazil during the period 1995 to 1998. Maize was planted as a sole crop or intercropped either with cowpea (*Vigna unguiculata*) or with jackbean (*Canavalia ensiformis*) by planting two lines of legumes for each line of maize. At the flowering stage of maize the legumes were used as green manure for the maize crop. Three different quantities of green manure were applied (none, one or two lines for each line of maize) respectively, either incorporated to the soil or left as mulch cover. The objective of the experiment was to compare the different cultivation systems with respect to yield parameters (quality and quantity of yields as well as the efficiency of land use) and stability parameters (N-balances and effect on soil organic matter). The experiment was repeated two times, each repetition being referred to as 'experimental period'.

The average rate of biological N-fixation by the legumes was 76 %. By green manuring between 6 and 32 kg Ndfa * ha⁻¹ (Ndfa: nitrogen derived from air) were provisioned to the maize culture. The applied nitrogen was mineralised and taken up by the culture quickly. Only 7 days after green manuring a higher N-uptake by maize was measured in the treatments with two rows of legumes per row of maize incorporated into the soil.

The average grain yield of intercropped maize was 2.7 t * ha⁻¹ and that of maize pure stands 3.3 t * ha⁻¹. Thus, the results of both, intercropped and pure stand maize, were above the Brazilian average of 2.4 t * ha⁻¹ in 1996. Cowpea as well as jackbean shoot mass significantly increased maize yield after double-row green manuring.

The land use efficiency was measured by means of the Land Equivalent Ratio (LER). A LER-value greater than one means that the land use efficiency of mixed cropping is higher than that of pure stands of the respective crops. In this experiment, land use by mixed cropping of maize and pulses was more efficient (LER between 1.5 and 1.1) than land use by pure stands of those crops.

N-export through maize and legume grains was not fully offset by double-row green manuring. Positive N-balances were achieved only by treatments with harvest residues of jackbean, i. e. treatments with grain production of jackbean. The average Ndfa uptake of jackbean at harvest time was 148 kg * ha⁻¹ (the corresponding Ndfa uptake of cowpea was 19 kg * ha⁻¹).

During the duration of the experiment soil organic matter of the 0 - 20 cm, 20 - 40 cm and 40 - 60 cm soil layers increased especially in intercropping treatments. Increase of soil organic matter in the 40 - 60 cm soil layer was observed especially after planting jackbean as legume component of the intercrop.

Generally resources were used more efficiently by intercropping treatments. By these treatments a better compromise was reached considering the deviating objectives of yield maximisation and long term yield stability. The utilisation of intercropped pulses as green manure offered the opportunity of a quickly available nitrogen source for the maize culture. At the same time, these treatments caused a deficient N-balance because the utilisation of pulses as green manure alone could not make up for N exports via harvest products.

As a result of these findings, a further optimisation of the procedure aiming at a stable N-balance while at the same time using part of the pulses as green manure in order to provide additional N to the crop seems viable and is promising.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Zielsetzung.....	1
2 Material und Methoden.....	4
2.1 Standort.....	4
2.1.1 Boden.....	5
2.1.2 Witterung.....	6
2.1.3 Kulturpflanzen.....	8
2.2 Versuchsanlage.....	10
2.2.1 Versuchsvarianten.....	11
2.2.2 Anbautechnik.....	16
2.3 Messparameter.....	17
2.3.1 Felderhebungen.....	19
2.3.2 Laboranalysen.....	23
2.3.3 Abgeleitete Parameter.....	24
2.4 Statistische Auswertung und Darstellung der Ergebnisse.....	31
2.4.1 Einzelergebnisse.....	32
2.4.2 Gesamtbewertung.....	33
3 Ergebnisse und Diskussion.....	37
3.1 Entwicklung der Kulturen.....	37
3.1.1 Symbiotische Stickstofffixierung.....	37
3.1.2 Stickstoffgehalt der Maisblätter.....	42
3.1.3 Trockenmassezunahme und N-Aufnahme des Mais.....	45
3.1.4 Teilzusammenfassung.....	50
3.2 Kornerträge und Effizienz der Flächennutzung.....	52
3.2.1 Kornertrag Mais.....	52
3.2.2 Kornertrag Leguminosen.....	61
3.2.3 Effizienz der Flächennutzung.....	63
3.2.4 Teilzusammenfassung.....	66
3.3 Stickstoffbilanz und organische Bodensubstanz.....	67
3.3.1 Stickstoffbilanz.....	67
3.3.2 Verlagerung mineralischen Stickstoffs im Bodenprofil.....	75
3.3.3 Organische Bodensubstanz.....	78
3.3.4 Teilzusammenfassung.....	80
3.4 Gesamtbewertung der Ergebnisse.....	82

3.4.1 Teilzusammenfassung.....	86
4 Generaldiskussion: Handlungsalternativen für die kleinbäuerliche Landwirtschaft der Region....	87
4.1 Spezifika und Chancen des Mischanbaus.....	88
4.1.1 Reduktion von Konkurrenz	89
4.1.2 Begünstigung.....	93
4.2 Gründung als Steuerungsinstrument.....	95
4.2.1 Optimierung der Stickstoffversorgung des Mischungspartners Mais.....	95
4.2.2 Steuerung der Zusammensetzung des Gesamtertrags.....	98
4.3 Konsequenzen für die landwirtschaftliche Praxis und zukünftiger Forschungsbedarf.....	100
5 Zusammenfassung.....	102
6 Verzeichnisse.....	108
6.1 Abbildungsverzeichnis.....	108
6.2 Tabellenverzeichnis.....	109
6.3 Tabellenanhangsverzeichnis.....	111
6.4 Literaturverzeichnis.....	113
6.5 Abkürzungsverzeichnis.....	128
7 Tabellenanhang.....	131

1 Einleitung und Zielsetzung

Für kleinbäuerliche Betriebe der tropischen Regionen bestehen aufgrund ihrer oft geringen Kaufkraft finanzielle Hürden, externe Betriebsmittel und damit auch zugekaufte Dünger in größerem Umfang einzusetzen (KUMWENDA *et al.* 1996, JERANYAMA *et al.* 2000, BECKER 2002, SVOTWA *et al.* 2008). Aus diesem Grund wird in solchen Betrieben oft auf regelmäßige Düngung verzichtet mit dem Resultat abnehmender Bodenfruchtbarkeit und sinkender Ernteerträge (ZAKE *et al.* 2002, MUBIRU *et al.* 2007). Dies hat auf lange Sicht oftmals die Aufgabe von Betrieben und die Abwanderung der Bewohner in die Ballungszentren zur Folge (PRETTY & HINE 2000, WORLD BANK 2008). Aufgrund dieser Zusammenhänge bemühen sich nationale und internationale Institutionen um die praktische Umsetzung einer nachhaltigen Landwirtschaft besonders im kleinbäuerlichen Bereich (ALTIERI 1999, PRETTY & HINE 2000, CAMPANHOLA & VALARINI 2001, KOTSCHI 2008). Der Organische Landbau und seine Institutionen können einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung dieses Ziels leisten. Auf der Grundlage des Prinzips eines geschlossenen Betriebsorganismus sucht der Organische Landbau die Zufuhr externer Betriebsmittel auf ein Minimum zu reduzieren und durch ein effizientes innerbetriebliches Ressourcen-Management zu ersetzen (KÖPKE 1993, ALMEIDA *et al.* 2003, NEVES *et al.* 2008). Die durch die Forschungsarbeiten im Bereich des Organischen Landbaus gewonnenen Konzepte bieten gerade kleinbäuerlichen Betrieben mit geringer Kaufkraft die Perspektive, eine nachhaltige Wirtschaftsweise bei ausreichend hohen und stabilen Ernteerträgen zu erreichen (ALTIERI 1999, CAMPANHOLA & VALARINI 2001, NEVES *et al.* 2008, SVOTWA *et al.* 2008).

Die oben dargestellten Zusammenhänge sind auch für eine große Zahl kleinbäuerlicher Betriebe in Brasilien Realität (SCHULZ 1994, ALTIERI & NICHOLLS 2002, SIETZ *et al.* 2006). Aus diesem Grund wurde 1993 durch die dem brasilianischen Landwirtschaftsministerium angegliederte Forschungsgesellschaft EMBRAPA-*Agrobiologia* das Projekt „Fazendinha“¹ initiiert (ALMEIDA *et al.* 2003). Gegenstand des Projektes war die Entwicklung organischer Anbaumethoden für eine kleinbäuerlich strukturierte Landwirtschaft. Die Feldversuche und Laboruntersuchungen der vorliegenden Arbeit wurden in den Jahren 1995 bis 1998 als Teil dieses Projektes durchgeführt. In ihrem Rahmen wurden Optimierungsmöglichkeiten der organischen Düngung von Mais unter besonderer Berücksichtigung des Stickstoffhaushaltes untersucht.

Eine einfache und häufig praktizierte Form der organischen Düngung ist es, zusätzlich zu den Rückständen aus dem eigenen Pflanzenbau und/oder Tierhaltung, günstig verfügbare organische Materialien anderer Betriebe oder auch der Industrie als Dünger einzusetzen. So finden neben Ernterückständen und Mist auch häufig Reisschalen, Pressrückstände aus der Kakaoverarbeitung,

¹ Fazendinha: Portugiesisch für „kleiner landwirtschaftlicher Betrieb“

Kaffeeschalen, o. Ä. Verwendung (SCHULZ 1994, BADOCHA *et al.* 2003). Da kein mineralischer Stickstoffdünger eingesetzt wird, widerspricht diese Praxis nicht dem Regelwerk der Anbauverbände der Organischen Landwirtschaft, sie unterscheidet sich jedoch im Hinblick auf das innerbetriebliche Nährstoffrecycling nicht grundsätzlich von der bei konventioneller Wirtschaftsweise üblichen, da weiterhin ein beträchtlicher Teil der Nährstoffe aus externen Quellen in den Betrieb einfließt. Naturgemäß sind es zumeist finanzkräftigere Betriebe, die größere Mengen organischen Düngers zukaufen können.

Es sind häufig gerade die Betriebe mit geringer Kaufkraft, die versuchen das innerbetriebliche Nährstoffrecycling zu optimieren. Der Einsatz von Gründungsleguminosen bietet diesen Betrieben die Möglichkeit der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit bei weitgehendem Verzicht auf extern zugekaufte Düngemittel (LATHWELL 1990, ALTIERI 1999, JERANYAMA *et al.* 2000, BECKER 2002).

Ziel dieser Arbeit war es festzustellen, inwieweit sich der Maisanbau durch Mischanbau und Nutzung der Körnerleguminosen *Vigna unguiculata* (Augenbohne) und *Canavalia ensiformis* (Schwertbohne) als Gründungsleguminosen optimieren lässt, und ob es durch diese Techniken möglich ist, die Bodenfruchtbarkeit bei Verzicht auf den Einsatz extern verfügbarer Dünger zu erhalten.

Zu diesem Zweck wurden die folgenden Anbauverfahren miteinander verglichen:

- Mais als Monokultur mit Rindermist als Nährstoffquelle. Der Mais wurde wiederholt auf der gleichen Fläche angebaut.
- Rotation von Mais und einer der Körnerleguminosen.
- Mais in Mischkultur mit einer der Körnerleguminosen. Beide Kulturen reiften aus und wurden geerntet. Die Ernterückstände verblieben auf dem Feld.
- Mais in Mischkultur mit einer der Körnerleguminosen. Diese wurde beim Einsetzen der Maisblüte zur Gründungsleguminose genutzt. Von diesem Verfahren gab es mehrere Varianten, die im folgenden Kapitel detailliert erläutert werden. Bei dem Verfahren wurde angenommen, dass es aufgrund der hohen Temperaturen zu einer raschen Mineralisierung kommt und die freigesetzten Nährstoffe bereits einen Einfluss auf die Kolbenentwicklung des gleichzeitig angebauten Mais haben.

Die nachfolgenden, thematisch gruppierten Fragen sollten durch die Feldversuche und Laboruntersuchungen beantwortet werden:

Entwicklung der Kulturen

1. In welcher Größenordnung liegt die symbiotische Stickstofffixierung durch die Leguminosen?
2. Erfolgt eine ausreichend rasche Mineralisierung der Gründüngung, um der Maiskultur rechtzeitig zur Kolbenentwicklung Nährstoffe zur Verfügung zu stellen?
3. Wie entwickelt sich die Stickstoffversorgung der Maispflanzen während der Versuchslaufzeit?
4. Wie verläuft die Entwicklung der Kulturen im Hinblick auf Trockenmassezunahme und N-Aufnahme?

Erträge und Effizienz der Flächennutzung

5. Welche Auswirkungen haben die Varianten auf Kornertrag und Kolbenqualität des Mais?
6. Wie hoch sind die Kornerträge der Leguminosen?
7. Welche Auswirkung haben die Varianten auf die Effizienz der Flächennutzung?

Stickstoffbilanz und organische Bodensubstanz

8. Lassen sich Auswaschungsverluste von Stickstoff feststellen/quantifizieren?
9. Welche Stickstoffbilanzen haben die Varianten?
10. Welche Auswirkung haben die Varianten auf den Gehalt an organischer Bodensubstanz?

Nachhaltige Produktivität

11. Wie sind die Varianten bei gesamthafter Betrachtung im Hinblick auf ihre Ertragsstabilität zu bewerten?

Um Lesern, die nicht des Deutschen mächtig sind zu ermöglichen, einen Überblick der wichtigsten Resultate dieser Arbeit zu erhalten, sind außer dem in Englisch verfassten *Abstract* die Bild- und Tabellenbeschriftungen auch in Englisch wiedergegeben worden.

2 Material und Methoden

2.1 Standort

Die Feldversuche wurden von März 1996 bis Januar 1998 in Seropédica, etwa 80 km westlich von Rio de Janeiro (Stadt), Brasilien, durchgeführt (Abb. 1).



Abb. 1: Versuchsstandort im brasilianischen Bundesstaat Rio de Janeiro.

Experimental site in the Brazilian state of Rio de Janeiro.

Der Versuchsstandort hat die Koordinaten $22^{\circ}45'$ südliche Breite und $43^{\circ}42'$ westliche Länge, er befindet sich 33 m über NN am Oberhang eines für die Region charakteristischen flachen Hügels, einer sogenannten „Halborange“ (meia laranja). Die Höhe dieser „Halborangen“ übersteigt nur selten 60 m über NN. Sie entstanden durch fluviale Zerteilung eines älteren Talbodens (Talpedimentation - BIGARELLA & BECKER 1975) und haben einen charakteristischen Aufbau (Abb. 2): Der höchste Teil einer Kuppe wird i. d. R. durch Rotlehm gebildet, der von einem schluffigen Decksediment durch eine sogenannte „stoneline“ abgesetzt ist. An den Unterhängen und zwischen den Kuppen nimmt die Mächtigkeit des Decksediments zu und überdeckt im unteren Bereich eine Schicht umgelagerten Rotlehms. Im Talbereich treten z. T. versumpfte Senken auf. Ausgangsgestein der „Halborangen“, das bei größeren Exemplaren z. T. bis an die Oberfläche durchbricht, ist Granitzersatz bzw. darunterliegende feste Granitpartien.

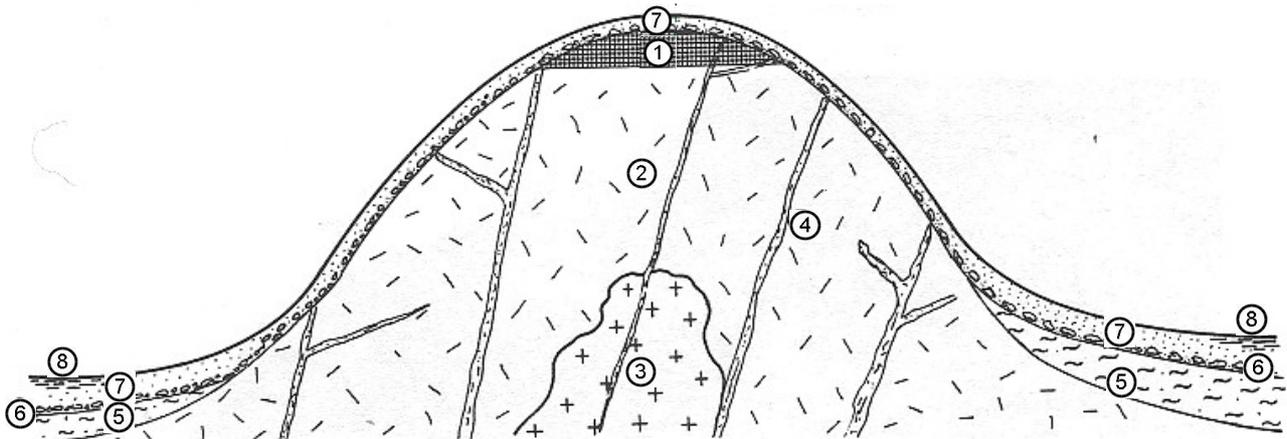


Abb. 2: Schematische Darstellung einer „Halborange“ (nach Bibus 1983).

①=Rotlehm (kann auch fehlen), ②=Granitzersatz, ③=Festere Granitpartien, ④=Quarzgänge, ⑤=Umgelagerter Rotlehm, ⑥=Gangquartz-Schwemmschut, ⑦=Gelbe schluffige Deckschicht, ⑧=z. T. versumpfte Senken.

Schematic representation of a „half orange“ (Bibus 1983). ①=red clay (may be lacking), ②=desintegrated granite, ③=solid granite, ④=quartz duct, ⑤=relocated red silt, ⑥=quartz rubble, ⑦=superficial yellow silt layer, ⑧=partially marshy depression.

Die Landwirtschaft der Region ist durch kleinbäuerliche Betriebe und extensive Viehhaltung geprägt. Die wirtschaftliche Situation dieser Betriebe ist gekennzeichnet durch geringe Kaufkraft. Mangels Transportfahrzeug, aufgrund sehr weiter Entfernungen und häufig nicht bestehender kleinbäuerlicher Vermarktungskoopertiven ergibt sich eine Abhängigkeit der Landwirte vom mehrstufigen Absatz. Weiterhin kennzeichnend ist für diese Betriebe die sehr einfache Maschinenausstattung und der niedrige Mechanisierungsgrad. Als einziges motorgetriebenes Bodenbearbeitungs- und Zuggerät besitzen mehrere Landwirtschaftsfamilien in der Regel gemeinsam eine Handfräse. Der Subsistenzgrad der Familien ist hoch: Mais, Reis, Bohnen, Maniok, Gemüse, Obst, Fleisch, Milch und Eier werden oft selbst erzeugt und nur Sojaöl und Zucker werden hinzugekauft (SCHULZ 1994).

2.1.1 Boden

Der Boden der Versuchsfläche wurde ausschließlich durch das Decksediment mit „stoneline“ und an einigen Stellen auch durch das nahe an die Oberfläche reichende Ausgangsgestein geprägt. Es handelte sich nach der brasilianischen Klassifizierung um einen rot-gelben Podsol (Podzólico vermelho amarelo), nach der Soil Taxonomy um einen Ultisol.

Chemische und physikalische Bodenparameter wurden zur Charakterisierung des Versuchsstandortes vor der ersten Versuchsperiode analysiert (Tab. 1). Um die Entwicklung der

organischen Bodensubstanz während der Versuchslaufzeit zu beobachten, wurde organischer Kohlenstoff (C_{org}) zusätzlich nach jeder Versuchsperiode analysiert.

Die Bestimmung der Bodenart, der Wasserleitfähigkeit, der Wasserspannungskurve und der Dichte wurde im Auftrag durch das Institut für Bodenkunde der Federaluniversität von Rio de Janeiro (*Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*) sowie durch das EMBRAPA-Zentrum für Bodenkunde (*Centro Nacional de Pesquisa do Solo - CNPS*) in Rio de Janeiro durchgeführt.

Tab. 1: Bodenphysikalische und -chemische Parameter zu Versuchsbeginn, September 1995.

C = Kohlenstoff, cm = Zentimeter, g = Gramm, h = Stunde, H₂O = Wasser, K = Kalium, N = Stickstoff, μm = Mikrometer, P = Phosphor, pH = pondus Hydrogenii, ppm = parts per million, sT = sandiger Ton.

Physical and chemical parameters at the initial state of the experiment, September of 1995. C = carbon, cm = centimeter, g = gram, h = hour, H₂O = water, K = potassium, N = nitrogen, μm = micrometer, P = phosphorous, pH = pondus hydrogenii, ppm = parts per million, sT = sandy loam.

Tiefe (cm)	pH in H ₂ O	%		ppm		g * cm ⁻³		%		cm * h ⁻¹	
		C	N	P ²	K	Material- dichte	Lagerungs- dichte	Poren <50μm	Poren >50μm	Wasserleit- fähigkeit	Boden- textur
0-20	5,85	0,53	0,07	75	108	2,56-2,63	1,50-1,68	23-32	6-13	0,18-10,17	s T
20-40	4,59	0,25	0,06	5	30	--	--	--	--	--	s T
40-60	4,61	0,17	0,00	2	16	2,60-2,67	1,35-1,58	28-36	6-14	0,03-25,00	s T

2.1.2 Witterung

In Abb. 3 sind sowohl langjährige Klimawerte (a) als auch die Witterung während der Versuchsjahre 1996 und 1997 (b, c) wiedergegeben. Im 10-jährigen Mittel (1988 - 1997) erreichte die Temperaturkurve im Februar mit 28°C ihr Maximum. Das Temperaturminimum betrug 21°C und wurde im Juli erreicht. In den Monaten Dezember, Januar und Februar fielen monatliche Niederschlagsmengen von 170 bis 180 mm.

Der Wechsel zwischen Trockenzeit und Regenzeit war erkennbar: Die Trockenzeit erstreckte sich vom April bis September und die Regenzeit von Oktober bis März. Die Übergänge waren im Bezug auf den Niederschlag ebenso wie im Bezug auf die Temperatur allmählich und nicht abrupt. So betrug die Niederschlagssumme der Regenzeit 910 mm im Gegensatz zu 379 mm in der Trockenzeit.

Im Versuchsjahr 1996 wichen Temperatur- und Niederschlagsverlauf vom langjährigen Mittel deutlich ab: Im Februar fielen sehr hohe Niederschlagsmengen. In den Wintermonate waren die Temperaturen höher als die 10-jährigen Mittelwerte dieser Monate.

2 Nach Mehlich I, so wie im Methodenhandbuch der EMBRAPA beschrieben (EMBRAPA 1979)

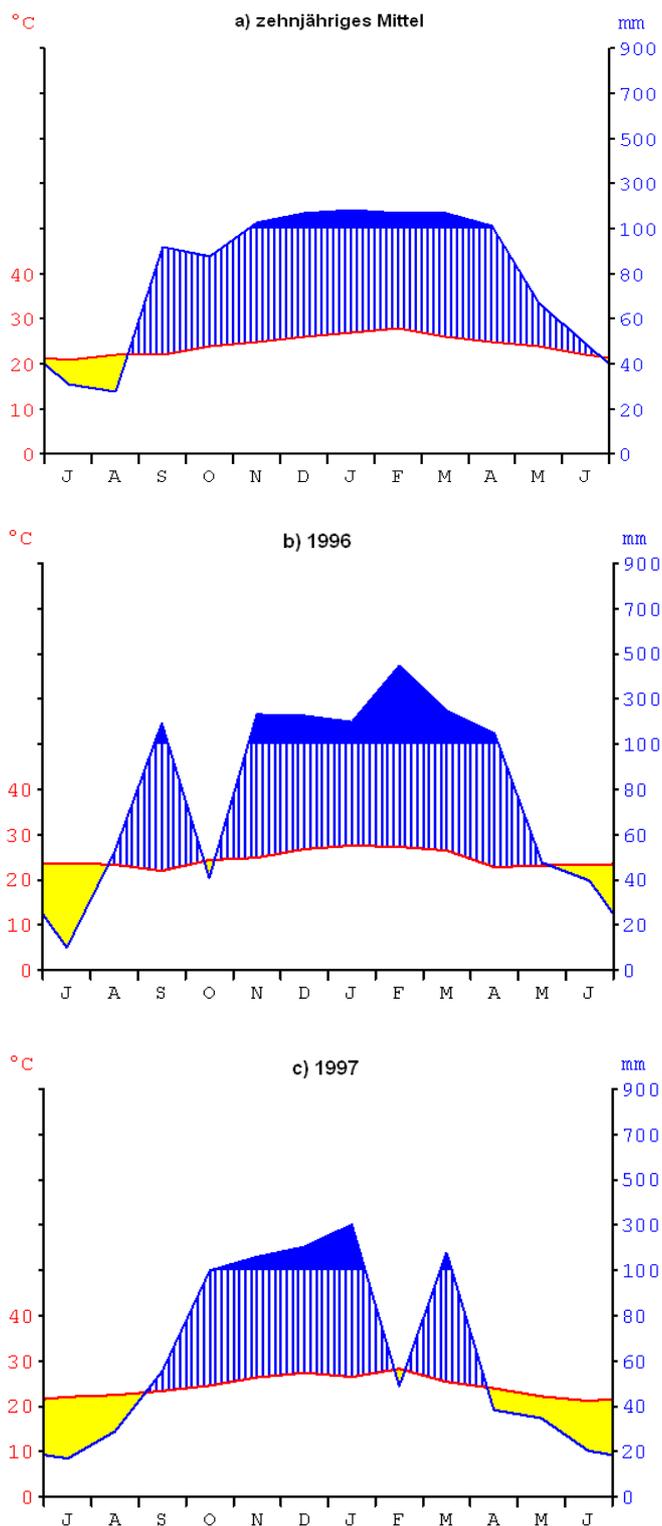


Abb. 3: Temperatur und Niederschlag a) im zehnjährigen Mittel, b) 1996 und c) 1997.

NS: Niederschlag, gelbe Fläche: Trockenzeit, blaue Fläche: Regenzeit³.

Temperature and precipitation of a) ten year average, b) 1996, and c) 1997. NS: precipitation, yellow area: dry season, blue area: rainy season.

³ Solide Blaufärbung: Oberhalb von 100 mm ist die rechte Y-Achse im Verhältnis 1:10 gestaucht.

Im Versuchsjahr 1997 wich die Temperaturkurve nicht so deutlich von der des langjährigen Mittels ab.

Beide Versuchsjahre unterschieden sich stark in Bezug auf Menge und Verteilung der Niederschläge. Während 1996 insgesamt 1880 mm fielen mit einer relativ kurzen Trockenphase von Mai bis August und einer zweiten im Oktober, erstreckte sich die Trockenzeit 1997 von April bis September und es fielen insgesamt nur 1187 mm, also lediglich 63 % der Menge von 1996.

2.1.3 Kulturpflanzen

Für die Versuche wurde die Maissorte BR 106 eingesetzt. Diese Sorte wurde vom EMBRAPA-Zentrum für Mais und Sorghum (*Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo* - CNPMS) gezüchtet, ist seit 1985 verfügbar und für alle Regionen Brasiliens geeignet (NOCE 2004). Ihr Entwicklungszyklus beträgt 130 Tage, 65 Tage nach Aussaat setzt die Blüte ein. BR 106 erreicht eine Wuchshöhe von etwa 240 cm, der durchschnittliche Ertrag unter konventionellen, intensiven Anbaubedingungen beträgt $5,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Laut Angaben der EMBRAPA ist die Sorte lagertolerant und resistent gegenüber den wichtigsten tierischen Schaderregern. Sie wird vom CNPMS ausdrücklich für den Einsatz in kleinbäuerlich strukturierten Betrieben empfohlen.

Während der ersten beiden Versuchsperioden wurde Mais gemeinsam mit Augenbohnen (*Vigna unguiculata*) angebaut. Aufgrund eines starken Befalls mit den Schadkäferarten *Cerotoma arcuata* und *Diabrotica speciosa* wurden sowohl der Kornertrag der Augenbohnen als auch die symbiotische Stickstofffixierung in der zweiten Versuchsperiode stark beeinträchtigt. Um eine Wiederholung dieser Situation zu vermeiden wurden in der dritten Versuchsperiode Schwertbohnen (*Canavalia ensiformis*) als Mischungspartner für den Mais eingesetzt.

Die Augenbohne (Abb. 4) gehört zur Familie der *Fabaceae* und stammt ursprünglich aus Zentralafrika. Bereits sehr früh gelangte sie in den Mittelmeerraum und nach Asien und ist heute mit mehreren Subspezies (Carjang-, Spargel- und Augenbohne) im Mittelmeerraum, den gesamten Tropen und den USA vertreten. Sie wächst teils strauchig, teils windend und bildet aus weißen Blüten ca. 25 cm lange Hülsen mit je 10 - 13 Samen. Als durchschnittlichen Kornertrag gibt FRANKE (1995) Mengen zwischen $0,3$ und $1,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ an. Für den Nord-Osten Brasiliens wurden Erträge von $0,3 - 0,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ bei Landsorten und $1,0 - 1,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ bei verbesserten Sorten angegeben (CAVALCANTE & ATROCH, 1995). Als Nahrungsmittel werden sowohl die grünen Früchte als auch die ausgereiften Samen genutzt. Die Samen enthalten 25 % Eiweiß, 3 % Rohfett, 55 % Kohlenhydrate, 4 % Rohfaser und 3 % Mineralstoffe (FRANKE 1995). Darüber hinaus wird die Augenbohne auch als Gründüngung eingesetzt.

An den Boden stellt diese Art keine hohen Ansprüche. Sie gedeiht auch auf sauren Böden und ist trockenheitstolerant (REHM & ESPIG 1996). Bei entsprechenden Umweltbedingungen kommt es zur Symbiose mit *Bradyrhizobien* und zur Ausbildung der charakteristischen Wurzelknöllchen (ALLEN & ALLEN 1981, REHM & ESPIG 1996).

Für die Versuche wurde die Sorte CNC 0434 eingesetzt. Diese Sorte wurde durch das EMBRAPA-Zentrum CNPAF (*Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijao*) im tropischen Norden Brasiliens gezüchtet und 1982 zum ersten Mal freigegeben (RIOS *et al.* 1982). Sie zeichnet sich durch einen kurzen Zyklus und einen semi-erectophilen bis erectophilen Habitus aus. Sie ist resistent sowohl gegen *Cowpea Severe Mosaic Virus*, *Cowpea Golden Mosaic Virus* als auch gegen *Pseudomonas syringae* *pv. Tabaci*.



Abb. 4: Augenbohne (*Vigna unguiculata* - links) im Misanbau mit Mais und ihre Hülsen (rechts).

*Cowpea plants (*Vigna unguiculata* - left) intercropped with maize and its pods (right).*

Die Schwertbohne (Abb. 5) gehört ebenfalls der Familie der *Fabaceae* an. Sie hat aufgrund diverser Inhaltsstoffe eine gewisse Bedeutung erlangt. Aus ihren Samen werden Urease, die leicht toxische Aminosäure Canavin und das Haemagglutinin Concanavalin A gewonnen. Als Nahrungspflanze hat die Schwertbohne keine größere Bedeutung, obwohl die jungen Hülsen und Samen nach Kochen (zur Zerstörung der leicht toxischen Substanzen) als Gemüse verzehrt werden können. Die Schwertbohne ist je nach Sorte eine buschig wachsende oder bis zu 12 m hoch windende, ein- bis mehrjährige Leguminose mit großen dreizähligen Blättern und weißlichen oder hellvioletten Blütentrauben. Sie bildet breite schwertförmige, bis zu 70 cm lange, fleischige Hülsen mit 10 - 15 platt-ovalen Samen, die ca. 26 % Eiweiß, 3 % Fett, 50 % Kohlenhydrate, 4 % Rohfaser und 3 % Mineralstoffe enthalten (FRANKE 1995). Die Erträge betragen zwischen 0,8 - 4,0 t * ha⁻¹ (FRANKE

1997). Hauptsächlich wird die Schwertbohne als Gründüngung und als Bodenverbesserer genutzt. Sie wurzelt tief, ist semi-trockenresistent, verträgt Beschattung und liefert hohe Erträge an Grünmasse (ALLEN & ALLEN 1981). Ihre vornehmlichen Anbauggebiete liegen in Lateinamerika und in den südlichen Staaten der USA, Südwestafrika und Südasien.

Das eingesetzte Saatgut stammte aus eigener Vermehrung des Zentrums für Agrarbiologie (*Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia* - CNPAB). Ursprüngliche Herkunft sowie Sortenname waren unbekannt.



Abb. 5: Schwertbohne (*Canavalia ensiformis* - links) im Mischanbau mit Mais und ihre Hülsen (rechts, GRIFFIN 2003).

*Jackbean plants (*Canavalia ensiformis* - left) intercropped with maize and their pods (right, GRIFFIN 2003).*

2.2 Versuchsanlage

Betrachtet man die gebräuchlichen Anbausysteme, so lässt sich eine Einteilung im Hinblick auf die Zuordnung der anzubauenden Kulturen und der zur Verfügung stehenden Fläche vornehmen. Die beiden grundlegenden Kriterien der Zuordnung sind die räumliche Aufteilung der Anbaufläche auf die Feldfrüchte und die zeitliche Abfolge des Anbaus. Tab. 2 stellt eine Kategorisierung der Anbausysteme anhand dieser Kriterien dar.

Tab. 2: Übersicht der gebräuchlichen Anbausysteme (modifiziert nach ANDREWS & KASSAM 1976 zit. in VANDERMEER 1992)

Overview of common cultivation systems (modified after ANDREWS & KASSAM 1976 cited in VANDERMEER 1992)

Bezeichnung	Anzahl der Früchte	Räumliche Aspekte		Zeitliche Abfolge
		Räuml. Interaktion	Räuml. Aufteilung	
Monokultur	1	----	----	sequentiell
Rotation	2 (mindestens)	nein	nein	sequentiell
Mischanbau	2 (mindestens)	ja	s.u.	gleichzeitig
Gemenge	2 (mindestens)	ja	ungezielt	gleichzeitig
Zwischenpflanzung	2 (mindestens)	ja	reihenweise	gleichzeitig
Streifenanbau	2 (mindestens)	Randbereiche	Streifen mit mehreren Reihen alternierend	gleichzeitig

Wird jedes Jahr auf derselben Fläche die gleiche Kultur angebaut, so handelt es sich um Monokulturanbau, es findet auf einem Schlag weder eine räumliche Aufteilung noch eine zeitliche Abfolge verschiedener Fruchtarten statt. Bei einer Rotation (*sequential cropping*) findet eine Abfolge verschiedener Fruchtarten auf ein und derselben Fläche statt (zeitabhängiges Anbauverfahren). Bei den verschiedenen Mischanbausystemen findet eine mehr oder weniger engräumige Aufteilung der verfügbaren Fläche auf verschiedene Fruchtarten zur gleichen Zeit statt, so dass es zu Interaktionen zwischen den Fruchtarten kommt (*intercropping*, raumabhängiges Anbauverfahren). Die verschiedenen Mischanbausysteme lassen sich durch die Art der Aufteilung der zur Verfügung stehenden Fläche weiter unterteilen: Bei einem Gemenge (*mixed intercropping*) erfolgt keine reihenweise, sondern eine ungezielte Aufteilung der Fläche. Die engräumigste, gezielte Aufteilung der Fläche ist die Zwischenpflanzung (*row intercropping*), bei der ein reihenweiser Wechsel zwischen den Fruchtarten stattfindet. Beim Wechsel jeweils mehrerer Reihen einer Kultur mit mehreren Reihen einer zweiten Kultur spricht man von Streifenanbau (*strip intercropping*). Streifenanbau ist das Mischanbausystem, das sich am besten für eine Mechanisierung von Feldarbeiten eignet, da diese bei beiden Kulturen unabhängig voneinander erfolgen können. Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Feldversuche umfassten Monokultur-, Rotations- und Mischanbauvarianten. Bei den Mischanbauvarianten handelte es sich um Zwischenpflanzungen.

2.2.1 Versuchsvarianten

Der Feldversuch umfasste 9 Varianten und wurde in Form von vollständig randomisierten Blöcken mit vierfacher Wiederholung angelegt. Tab. 3 gibt eine Übersicht der Varianten und der verwendeten Abkürzungen.

Tab. 3: Versuchsvarianten

M: Mulchen, E: Einarbeiten, R: Rotation, Mono: Monokultur, GD: Gründüngung

Treatments. M: Mulching, E: Incorporation, R: Rotation, Mono: Monoculture, GD: Green-Manuring

Nr.	Kürzel	Beschreibung	Wiederholungen	Zusammengefasst als ⁴	Wiederholungen
1	M/0 ⁵	Mischanbau: Eine Reihe Mais alternierte mit zwei Reihen Leguminosen. Beide Kulturen wurden geerntet.	4	Mischanbau ohne Gründüngung (GD0)	8
2	E/0 ⁵	Mischanbau: Eine Reihe Mais alternierte mit zwei Reihen Leguminosen. Beide Kulturen wurden geerntet.	4		
3	M/1	Mischanbau wie 1, jedoch wurde jeweils eine der beiden Leguminosenreihen zur Gründüngung genutzt, wenn der Mais in die Blüte eintrat und auf der Bodenoberfläche als Mulch belassen.	4	Mischanbau mit einreihiger Gründüngung (GD1)	8
4	E/1	Mischanbau wie 2, jedoch wurde jeweils eine der beiden Leguminosenreihen zur Gründüngung genutzt, wenn der Mais in die Blüte eintrat und oberflächlich in den Boden eingearbeitet.	4		
5	M/2	Mischanbau wie 1, jedoch wurden beide Leguminosenreihen zur Gründüngung genutzt wenn der Mais in die Blüte eintrat und auf der Bodenoberfläche als Mulch belassen.	4	Mischanbau mit doppelreihiger Gründüngung (GD2)	8
6	E/2	Mischanbau wie 2, jedoch wurden beide Leguminosenreihen zur Gründüngung genutzt wenn der Mais in die Blüte eintrat und oberflächlich in den Boden eingearbeitet.	4		
7	R I	Rotation: Mais, Augenbohne, Mais,	4	Rotation	4 pro Kultur
8	R II	Rotation: Augenbohne, Mais, Schwertbohne	4		
9	Mono	Maismonokultur mit Stickstoffversorgung über zugekauften Rinderdung	4	Monokultur	4

Als Grundlage zur Erläuterung der nachfolgend dargestellten Varianten und deren Unterschiede ist in Abb. 6 zunächst eine einzelne Parzelle mit Mischanbau von Mais und Augenbohnen ohne Gründüngung schematisch dargestellt.

⁴ Die Zusammenfassung erfolgte nach Reihen, d. h. alle Varianten mit gleicher Anzahl von Reihen wurden, unabhängig davon ob gemulcht oder eingearbeitet wurde, zu einer Gruppe zusammengefasst.

⁵ Praktisch unterschieden sich die Varianten M/0 (Mulchen von 0 Reihen Gründüngung) und E/0 (Einarbeiten von 0 Reihen Gründüngung) nicht. Formal wurde die Unterscheidung zur Erreichung eines orthogonalen Versuchslayouts beibehalten.

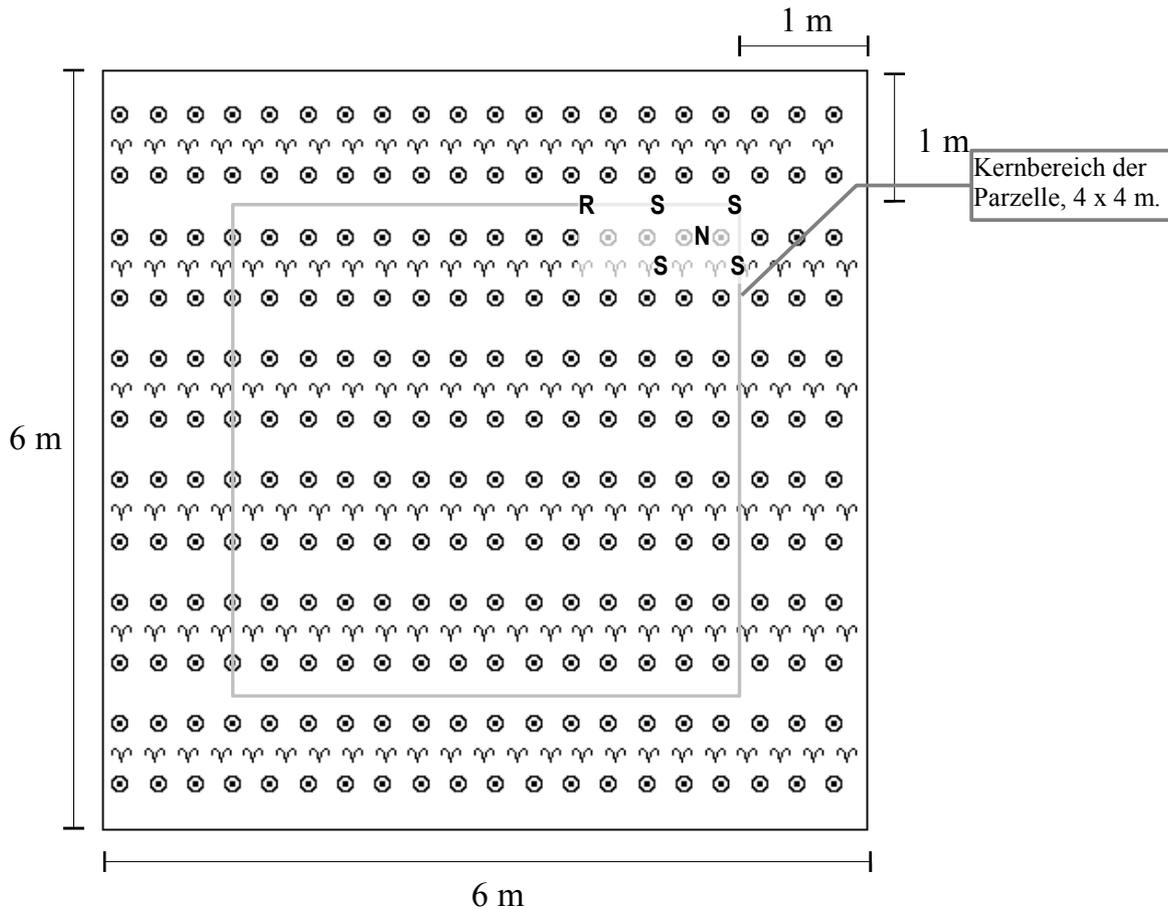


Abb. 6: Schematische Darstellung einer Versuchsparzelle.

⊙: Augenbohne, ∩: Mais, R: Regenmesser, S: Tensiometer, N: Neutronensonde.

Schematic representation of a single plot. ⊙: Cowpea, ∩: Maize, R: Rain gauge, S: Tensiometer, N: Access tube for a neutron probe.

Die Fläche jeder Parzelle betrug 6 x 6 m. Für die Auswertung des Versuchs wurde ein Kernbereich von 4 x 4 m genutzt. Auf jeder Mischanbauparzelle wurden 6 Maisreihen und 12 Reihen der jeweiligen Leguminose ausgesät. Dabei wurden die Reihen so angeordnet, dass sich links und rechts neben jeder Maisreihe in einem Abstand von 25 cm je eine Leguminosenreihe befand. Der Abstand zwischen zwei Maisreihen betrug jeweils 100 cm und jener zwischen zwei Leguminosenreihen jeweils 50 cm. Auf den Reinbestandsparzellen wurden entweder sechs Maisreihen bei Maisreinbestand oder zwölf Leguminosenreihen bei Leguminoseneinbestand ausgesät. Mais und die jeweilige Leguminose hatten immer jeweils den gleichen Reihenabstand und die gleiche Pflanzdichte, unabhängig davon, ob sie in Rein- oder in Mischkultur angebaut wurden.

In jeder Parzelle wurden die folgenden Messvorrichtungen und Geräte eingesetzt:

- Ein Regenschirm.
- Ein Zugangsrohr für Messungen mit einer Neutronensonde zur Bestimmung der Bodenfeuchte.
- Zwei Tensiometer zur Absorption der Bodenlösung in 20 cm Tiefe.
- Zwei Tensiometer zur Absorption der Bodenlösung in 60 cm Tiefe.

Zweck und Einsatz dieser Vorrichtungen werden weiter unten erläutert.

Die Behandlung der einzelnen Varianten ist in Abb. 7 schematisch dargestellt. Die Darstellung ist eine Matrix aus neun Zeilen und drei Spalten. In den Zeilen sind die Varianten aufgeführt, in den Spalten die Versuchsperioden. In der Kopfzeile ist für jede Versuchsperiode ein Zeitstrahl über die Dauer der Entwicklung der Kultur dargestellt. In den Zellen der Matrix befindet sich jeweils die symbolische Darstellung eines Parzellenausschnittes der jeweiligen Variante. Aus dieser Darstellung lässt sich bspw. bei den Rotationsvarianten die Abfolge der Kulturen auf einer Parzelle ablesen.

Bei den als „Mischanbau ohne Gründüngung“ zusammengefassten Varianten E/0 und M/0 wurde Mais gemeinsam mit einer Körnerleguminose angebaut. Beide Mischungspartner kamen zur Ausreife und die Körner wurden geerntet. Nach der Ernte wurden die Erntereste auf den Parzellen belassen. Beide Varianten waren identisch. Die Tatsache, dass sie formal wie zwei unterschiedliche Varianten behandelt wurden, liegt in der statistischen Versuchsauswertung begründet und wird weiter unten erläutert.

Die Varianten M/1 und E/1 (zusammengefasst als „Mischanbau mit einreihiger Gründüngung“) wurden auf die gleiche Weise angelegt wie Mischanbau ohne Gründüngung, jedoch wurde bei Einsetzen der Maisblüte eine der beiden mit Mais alternierenden Leguminosenreihen geschnitten und zur Gründüngung des Mais verwendet. Bei M/1 wurden die geschnittenen Leguminosen als Mulch auf der Bodenoberfläche belassen, bei E/1 wurden sie mit einer Hacke oberflächlich eingearbeitet.

Bei den als „Mischanbau mit doppelreihiger Gründüngung“ zusammengefassten Varianten M / 2 und E/2 wurden bei Einsetzen der Maisblüte beide mit Mais alternierenden Leguminosenreihen geschnitten und zur Gründüngung des Mais verwendet. Bei M/2 wurden die geschnittenen Leguminosen als Mulch belassen, bei E/2 wurden sie oberflächlich eingearbeitet.

Bei den Rotationsvarianten wurden im zeitlichen Wechsel auf der gleichen Fläche Mais im Reinbestand und Leguminosen im Reinbestand angebaut. Die beiden Varianten R I und R II waren zeitlich um ein Glied gegeneinander versetzt, so dass in jeder Versuchsperiode sowohl Mais als auch Leguminosen aus der Rotation geerntet wurden. Sowohl die Ernterückstände von Mais als auch diejenigen der jeweiligen Leguminose wurden auf den Parzellen belassen. Stickstoff wurde den Rotationsvarianten lediglich als luftbürtiger Stickstoff über die Erntereste der Leguminosen zugeführt.

Die einzige Variante mit Stickstoffzufuhr aus einer externen Quelle war die Maismonokultur (Mono). Wie durch die Namensgebung angedeutet, wurde bei dieser Variante Mais in allen Versuchsperioden im Reinbestand auf der gleichen Fläche angebaut. Die Stickstoffzufuhr erfolgte über Rindermist aus einem anderen landwirtschaftlichen Betrieb. Diese Variante stellt eine häufig praktizierte Form des Maisanbaus in der Region dar.

2.2.2 Anbautechnik

Die Grundbodenbearbeitung wurde mit einem Scheibenpflug durchgeführt. Daran schloss sich die Saatbettbereitung mit einer Bodenfräse an. In den Versuchsperioden eins und zwei wurde vor der Saat eine Grunddüngung von $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ K}$ und $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}$ in die Saatrillen appliziert. In der dritten Versuchsperiode wurde aufgrund ausreichender Nährstoffversorgung keine Grunddüngung verabreicht.

Die Aussaat erfolgte, wie in der Region üblich, von Hand. Zur Aussaat von Mais wurden mit Schlepper und Zinkengrubber etwa 5 cm tiefe Saatrillen in einem Reihenabstand von 100 cm gezogen. Der Abstand in der Reihe betrug 20 cm.

Augenbohnen wurden in der ersten Versuchsperiode eine Woche nach Mais und in der zweiten Versuchsperiode zum gleichen Termin wie Mais gesät. Das Augenbohnen-Saatgut wurde etwa eine halbe Stunde vor der Saat mit *Bradyrhizobium japonicum* (NEVES & RUMJANEK 1996) inokuliert: Etwa 1 kg Saatgut wurde zusammen mit 2 g Inokulum und 3 - 4 ml Wasser in eine Plastiktüte gegeben und gut vermischt, so dass alle Körner gleichmäßig mit dem Inokulum behaftet waren. Nach einer kurzen Trocknungszeit wurde das Saatgut ausgesät. Dazu wurden Saatrillen mit einer Hacke neben denen für Mais gezogen. Die Körner wurden in 25 cm Entfernung zur Maisreihe und mit einem Abstand von 10 cm in der Reihe abgelegt.

Schwertbohnen (dritte Versuchsperiode) wurden nicht zeitgleich mit Mais, sondern erst drei Wochen später in der gleichen Weise wie Augenbohnen (erste und zweite Versuchsperiode) ausgesät, da erwartet wurde, dass diese Leguminose die Maisentwicklung aufgrund ihrer Konkurrenzkraft zu

sehr beeinträchtigen könnte. Es wurde ein Abstand in der Reihe von 17 cm gewählt.

Sowohl bei Mais als auch bei den Leguminosen wurden je Saatloch jeweils zwei Saatkörner abgelegt. Zwei bis drei Wochen nach dem Auflaufen wurden Mais und Leguminosen manuell mit einer Hacke ausgedünnt. Dabei wurden die folgenden Pflanzdichten angestrebt:

- Mais: 50.000 Pflanzen/ha
- Augenbohne: 160.000 Pflanzen/ha
- Schwertbohne 100.000 Pflanzen/ha

Die Parzellen wurden nach dem Auflaufen und im 4-Blattstadium des Mais manuell gehackt.

Pflanzenschutzmaßnahmen wurden in der ersten und dritten Versuchsperiode nicht durchgeführt. Während der zweiten Versuchsperiode kam es zu einem starken Befall der Augenbohnen mit den Schadkäferarten *Cerotoma arcuata* und *Diabrotica speciosa*. Die adulten Käfer beeinträchtigten die Pflanzenentwicklung durch Blattfraß. Ein schwerwiegenderer Schaden für die Augenbohnen-Pflanzen wurde jedoch durch die Larven verursacht, die die Wurzelknöllchen befielen und so die symbiotische N₂-Fixierung stark reduzierten. Aufgrund dieses Befalls der gerade aufgelaufenen Augenbohnen wurde mehrfach eine Suspension von *Beauveria spp.* mit einer Rückenspritze ausgebracht. *Beauveria* ist ein parasitischer Pilz der die Schadkäfer befällt.

Zur Vermeidung von Wassermangel wurde in der Trockenzeit und bei Bedarf auch in der Regenzeit beregnet. Zum Einsatz kam ein Verfahren mit Schnellkupplungsrohren. Auf der Versuchsfläche wurden zentral 6 Mittelstarkregner installiert. Position und Abstände wurden so gewählt, dass eine möglichst homogene Beregnung erreicht wurde. Das Beregnungswasser stammte aus einem Reservoir, das sich während der Regenzeit füllte. Beregnet wurde mit einer Intensität von 15 mm * h⁻¹.

2.3 Messparameter

Tab. 4 bietet eine Übersicht der zur Beantwortung der Versuchsfragen erhobenen Parameter und der Arbeitsschritte, die zur Bestimmung dieser Parameter durchgeführt wurden.

Tab. 4: Arbeitsprogramm.*Work load.*

<i>Versuchsfrage</i>		<i>Zu bestimmende Parameter</i>	<i>Abhängigkeit von anderen Versuchsfragen</i>	<i>Arbeitsschritte</i>
(1)	In welcher Größenordnung liegt die symbiotische Stickstofffixierung durch die Leguminosen?	Symbiotische N ₂ -Fixierung (BNF)	keine	Aufschluss von Proben des Gründüngers, des Erntematerials und der Erntereste. Bestimmung der natürlichen Abundanz des Probenmaterials. Berechnung der symbiotischen Stickstofffixierung
(2)	Erfolgt eine ausreichend rasche Mineralisierung der Gründüngung, um der Maiskultur rechtzeitig zur Kolbenentwicklung Stickstoff zur Verfügung zu stellen?	N-Konzentration der Maisblätter	keine	Entnehmen und Aufbereiten von Blattproben. Bestimmung des Stickstoffs mittels Kjeldahl-Analyse.
(3)	Wie entwickelt sich die Stickstoffversorgung der Maispflanzen während der Versuchslaufzeit?	N-Konzentration der Maisblätter	(2)	Erstellen einer Zusammenschau der Einzelergebnisse aus (2).
(4)	Wie verläuft die Entwicklung der Kulturen im Hinblick auf Trockenmassezunahme und N-Aufnahme?	TM-Zunahme, N-Aufnahme	keine	Durchführung von Zeiternten. Aufbereiten der Proben Trockenmassebestimmung Kjeldahl-Analyse der Proben. Berechnung von TM-Zunahme und N-Aufnahme der Kulturen.
(5)	Welche Auswirkungen haben die Varianten auf Kornertrag und Kolbenqualität des Mais?	Kornertrag von Mais Kolbenqualität von Mais	keine	Ernte. Klassifikation der Maiskolben nach Qualitätsparametern Aufbereitung der Proben. Trockenmassebestimmung Berechnung des Kornertrags.
(6)	Wie hoch sind die Kornerträge der Leguminosen?	Kornertrag von Leguminosen	keine	Ernte. Aufbereitung der Proben. Trockenmassebestimmung Berechnung des Kornertrags.
(7)	Welche Auswirkung haben die Varianten auf die Effizienz der Flächennutzung?	LER (auf Basis der Kornerträge von Mais u. Leguminosen)	(5), (6)	Berechnung des in der internationalen Literatur üblichen Kennwertes LER
(8)	Lassen sich Auswaschungsverluste von Stickstoff feststellen und quantifizieren?	N-Auswaschung	keine	Bestimmung der Bodenfeuchte. Entnehmen von Bodenlösung. Bestimmung von N _{min} in der Bodenlösung.

	<i>Versuchsfrage</i>	<i>Zu bestimmende Parameter</i>	<i>Abhängigkeit von anderen Versuchsfragen</i>	<i>Arbeitsschritte</i>
(9)	Welche Stickstoffbilanzen haben die Varianten?	N-Bilanz	(1), (4), (5), (6), (8)	Berechnung der N-Bilanzen.
(10)	Welche Auswirkung haben die Varianten auf den Gehalt an organischer Bodensubstanz?	C _{org}	keine	Entnahme von Bodenproben. Bestimmung des organischen Kohlenstoffs. Berechnung der org. Bodensubstanz.
(11)	Wie sind die Varianten bei gesamthafter Betrachtung im Hinblick auf ihre Ertragsstabilität zu bewerten?	Ertragsentwicklung, N-Bilanz, LER, akk. Kornerträge Mais, akk. Kornerträge von Mais + Leguminosen	(5), (6), (7), (9), (10)	Zusammenfassende Darstellung relevanter Parameter anhand eines Radardiagramms.

2.3.1 Felderhebungen

Zur Beobachtung der Bestandesentwicklung wurden während der zweiten und dritten Versuchsperiode wiederholt Zeiternten der Kulturen durchgeführt. Die Termine können dem Anhang entnommen werden (Seite 131 ff.). Je Parzelle und Beprobungstermin wurden repräsentative Proben der Mais- und Leguminosenpflanzen entnommen. Ermittelt wurden Trockenmassezunahme und N-Aufnahme der Kulturen: Der Spross wurde abgeschnitten, getrennt nach Pflanzenart in Papierbeutel verpackt, gewogen und in einem Trockenschrank bei 60°C 72 Stunden lang getrocknet. Im Anschluss daran wurde das Trockengewicht der Proben bestimmt, sie wurden in einer Retschmühle gemahlen (0,25 mm) und zur weiteren Analyse in luftdicht verschließbare Plastikbehälter gefüllt.

Die Bodenfeuchte wurde mit Hilfe einer Neutronensonde (Modell: CPN 503 Neutron Probe) der Firma CPN International⁶ bestimmt. Die Messungen wurden in den Tiefen 20, 50, 60 und 70 cm durchgeführt. Dazu wurden Aluminiumrohre von je 1 m in den Boden eingelassen. Die Neutronensonde wurde nach dem von BACCHI & REICHARDT (1990) beschriebenen Verfahren *in situ* kalibriert. Die Bestimmung der Bodenfeuchte wurde, jeweils zeitgleich mit dem Entnehmen der Bodenlösung (s. u.), in zweiwöchigem Rhythmus durchgeführt.

Zur Bestimmung des in der Bodenlösung vorhandenen mineralischen Stickstoffs wurde diese mit Hilfe von Tensiometern gewonnen. Bei der Untersuchung von Bodenprofilen wurde festgestellt,

⁶ CPN International Inc, Henderson, CO, United States. Die Firma wurde 2008 durch InstroTek Inc aufgekauft.

dass sich in ca. 45 cm Tiefe ein durch Tonverlagerung gebildeter B_t-Horizont befand. Es wurde beobachtet, dass Wurzeln bei Erreichen dieses Horizontes die Wachstumsrichtung änderten und horizontal auf diesem verliefen. Um Bodenlösung sowohl aus der stark durchwurzelten oberflächennahen als auch aus der gering durchwurzelteten tieferen Schicht zu gewinnen, wurden je Parzelle 2 Tensiometer in 20 cm Tiefe und 2 Tensiometer in 60 cm Tiefe eingebaut (Abb. 6). Die Tensiometer bestanden aus PVC-Rohren mit einem Durchmesser von 2 cm, an deren unteren Enden Saugkerzen aus Keramik angebracht wurden. Abb. 8 zeigt schematisch den Aufbau eines solchen Tensiometers. Die Tensiometer wurden so eingebaut, dass sich die Mitte der Saugkerzen in der Höhe befanden, aus der die Bodenlösung entnommen werden sollte (SAAD & LIBARDI 1992).

Nach der Messung der Bodenfeuchte wurde mit einer Handpumpe ein Unterdruck von 400 bis 500 hPa an die Tensiometer gelegt. Der Unterdruck wurde mittels eines an der Handpumpe befindlichen Manometers gemessen. Am darauffolgenden Tag wurden die Glasflaschen mit der über Nacht eingeströmten Bodenlösung eingesammelt und für die weitere Analyse aufbewahrt. Probleme wies dieses Verfahren dann auf, wenn bei Trockenheit die Saugspannung, mit der die Wassermoleküle an die Bodenteilchen gebunden wurden, größer war als der Unterdruck im Innern der Tensiometer. In diesem Fall konnten mit der Methode keine ausreichenden Mengen an Bodenlösung gewonnen werden.

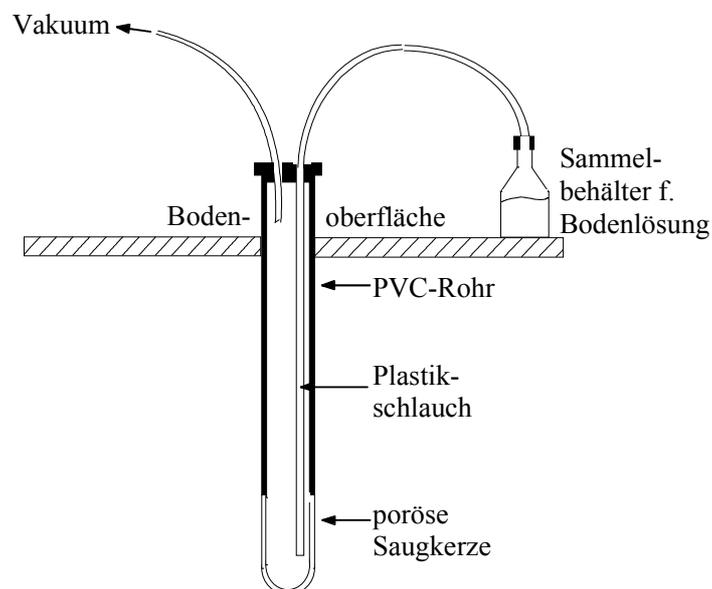


Abb. 8: Für den Feldversuch wurden einfache Tensiometer hergestellt.

Simple tensiometer were built for the field experiment.

Bodenproben von jeweils etwa 500 g wurden aus den Tiefen 0-20 cm, 20-40 cm und 40-60 cm entnommen: Je Parzelle und Bodenschicht wurde eine Mischprobe aus Material von 3 Bohrungen erstellt, luftgetrocknet, gesiebt und für die weitere Analyse aufbewahrt (EMBRAPA 1979).

Die Gründüngung war für den Versuch von zentraler Bedeutung: Über sie sollte der Stickstoff-Import der Mischbauvarianten gesteuert werden. Die Gründüngung erfolgte zu Beginn der Maisblüte (Termine s. Tabellenanhang 1, S. 131).



Abb. 9: Mulchen (links) und Einarbeiten (rechts) der Gründüngung.

Mulching (left) and incorporation (right) of green manure.

Je nach Behandlung wurden 6 (M/1, E/1) oder 12 Reihen (M/2, E/2) der Leguminosen auf den entsprechenden Parzellen geschnitten, reihenweise abgewogen und, nach Entnahme einer Probe, direkt neben den Maispflanzen gleichmäßig verteilt. Auf den Parzellen der Behandlungen E/1 und E/2 wurde die Gründüngung dann mit der Handhacke zerkleinert und mit dem Oberboden vermischt an die Maisreihen gehäufelt (Abb. 9).

Zeitgleich mit der Gründüngung wurde auf den Parzellen mit Maismonokultur die Düngung mit Rindermist durchgeführt. Je Parzelle wurden 12 kg (entsprechend 3,34 t * ha⁻¹) Rottemist, von dem zuvor eine Probe zur Bestimmung von Trockenmasse und Nährstoffgehalt (Tab. 5) entnommen worden war, gleichmäßig in den Maisreihen verteilt. Ähnlich dem Verfahren bei der Gründüngung wurde der Mist eingearbeitet und an die Maisreihen gehäufelt.

Tab. 5: pH-Wert, Nährstoffgehalte und C/N-Verhältnis des verwendeten Rindermistes.

pH, nutrient content and C/N relation of farm yard manure.

<i>pH</i>	<i>P (g/kg)</i>	<i>K (g/kg)</i>	<i>C (%)</i>	<i>N (%)</i>	<i>C/N</i>
7,3	3,4	5,8	35,6	1,7	20,9

Nach der Gründung wurde von jeder Parzelle eine repräsentative Anzahl von 40 Maisblättern entnommen. Um festzustellen, wie schnell freigesetzter Stickstoff den Maispflanzen zur Verfügung stand (Versuchsfrage 2, S. 3), wurde ein recht kurzer Zeitraum zwischen der Applikation der Gründung und dem Einsammeln der Blattproben gewählt. Er betrug in der ersten Versuchsperiode sieben Tage, in der zweiten Versuchsperiode 14 und in der dritten Versuchsperiode 16 Tage. Die Entnahmeorte waren gleichmässig über die Kernparzelle verteilt. In Anlehnung an die von TRANI (1983) beschriebene Methode wurde jeweils das viertoberste Blatt, dessen Ansatz vollständig zu sehen war, ausgewählt. Von diesen Blättern wurde das basale Drittel verwendet und dessen Mittelnervatur entfernt. Die so vorbereiteten Proben wurden bei 60°C 72 h lang getrocknet, fein vermahlen und für die weitere Analyse in luftdicht verschließbaren Plastikbehältern aufbewahrt.

Die Augenbohnernte wurde vor der Maisernte durchgeführt. Je Parzelle wurden die Hülsen des Kernbereiches der Parzelle (4 x 4 m) geerntet. Die Erntereste (Wurzeln und Spross ohne Hülsen) verblieben jeweils auf der Parzelle. Die Hülsen wurden im lufttrockenen Zustand gedroschen. Für jede Parzelle wurde das Gewicht von Samen und Hülsen ermittelt und je eine Probe zur Bestimmung von Trockenmasse und Stickstoffgehalt entnommen. Von den Ernteresten wurde je Parzelle eine repräsentative Probe gesammelt. Auch bei dieser wurden Trockengewicht und Stickstoffgehalte bestimmt.

Bei der Ernte der Schwertbohnen wurden die gleichen Arbeitsschritte durchgeführt wie bei der Ernte der Augenbohnen mit dem Unterschied, dass die Schwertbohne einen Entwicklungszyklus von 180 Tagen hatte und zweimal geerntet wurde, das erste Mal nach 150 Tagen und das zweite Mal nach 180 Tagen.

Bei der Maisernte wurden die Maiskolben des Kernbereiches einer jeden Parzelle geerntet. Zunächst wurde die Anzahl Maispflanzen auf der zu beerntenden Fläche bestimmt. Im Anschluss wurden die Kolben manuell ausgebrochen. Dabei wurde die Anzahl Kolben je Maispflanze festgestellt. Das Maisstroh wurde auf der Fläche belassen.

Um eine Aussage über den Einfluß der Varianten auf die Qualität der Maiskolben treffen zu können, wurden die Kolben jeder Parzelle vor dem Dreschen mittels optischer Bonitur in drei Qualitätsklassen - gut, mittel und schlecht ausgebildete Kolben - eingestuft. Als Kriterien dienten die Kolbengröße sowie das Erscheinungsbild der Kolben, also Merkmale wie Vorhandensein von nicht gefüllten, kranken oder faulen Körnern und Fehlstellen am Kolben. Die Anzahl der Kolben jeder Klasse und deren lufttrockenes Gewicht wurden bestimmt. Im Anschluss an das Dreschen der Kolben wurde das Gesamtgewicht der Körner sowie der Spindeln jeder Parzelle bestimmt und es wurde pro Parzelle je eine Probe der Körner und der Spindeln zur Bestimmung von Trockenmasse

und Stickstoffgehalt entnommen.

2.3.2 Laboranalysen

Der Stickstoffgehalt der Proben wurde mit dem Kjeldahl-Verfahren (BREMNER & MULVANEY 1982) bestimmt. Der organisch gebundene Stickstoff wurde durch Kochen mit konzentrierter Schwefelsäure in Ammoniakstickstoff umgesetzt. Dann wurde der klaren Probenlösung zur Alkalisierung 50% NaOH zugesetzt. Durch NaOH wurde das Ammoniak aus seiner Verbindung (NH₄Cl) verdrängt und in eine Vorlageflüssigkeit aus 2%iger Borsäure mit Indikatorflüssigkeit destilliert. Das Destillat wurde gegen 0,02 n H₂SO₄ (Pflanzenproben) oder 0,01 n H₂SO₄ (Bodenproben) titriert. Zur Durchführung der Destillation und der Titration wurde ein Kjeltec Auto Analyser 1030 der Firma Foss Tecator (Dänemark) eingesetzt.

Grundlage zur Bestimmung der symbiotischen Stickstofffixierung der Leguminosen war die Bestimmung der natürlichen Abundanz des ¹⁵N-Stickstoffisotops (UNKOVICH *et al.* 1993, PATE *et al.* 1994, UNKOVICH *et al.* 1994). Diese Methode ähnelt weitgehend der ¹⁵N-Verdünnungsmethode (BODDEY *et al.* 1995). Anders als bei dieser wird jedoch kein mit ¹⁵N markierter Düngerstickstoff eingesetzt, sondern sie beruht darauf, dass es im Boden durch Fraktionierung zu einer gegenüber der natürlichen Zusammensetzung des Luftstickstoffs veränderten Stickstoffisotopen-Zusammensetzung kommt. Die Zusammensetzung des Luftstickstoffs ist konstant und der Anteil von ¹⁵N in der Atmosphäre beträgt 0,3663 Atomprozent. Bei einer Situation behinderten Luftaustausches, wie es in Böden der Fall ist, verflüchtigt sich ¹⁴N-Stickstoff (¹⁴N) aufgrund seiner geringeren Masse leichter als ¹⁵N. Auf diese Weise reichert sich ¹⁵N in Böden stärker an als ¹⁴N. Die Rate der Anreicherung ist u. a. abhängig von der Zusammensetzung der Böden. In tonreichen Böden ist der Luftaustausch stärker behindert und es kommt zu einer stärkeren Anreicherung von ¹⁵N als in sandigen, besser durchlüfteten Böden.

Die Nutzung der natürlichen Verschiebung der Stickstoffzusammensetzung im Boden hat für die Untersuchung von Anbausystemen des Organischen Landbaus im Vergleich mit der ¹⁵N-Verdünnungsmethode mehrere Vorteile:

- Der Einsatz mineralischen N-Düngers steht im Widerspruch zu den Prinzipien des Organischen Landbaus.
- Schon geringe Mengen mineralischen N-Düngers können die symbiotische Stickstofffixierung reduzieren (RICHARDS & SOPER 1979).
- Die natürliche Anreicherung des Bodens mit ¹⁵N ist im Hinblick auf das Bodenprofil gleichmäßiger als bei oberflächlichem Einsatz von markiertem Stickstoffdünger (FEIGIN *et al.*

1974, RENNIE *et al.* 1976, KARAMANOS & RENNIE 1980, LEDGARD *et al.* 1984, BODDEY 1987). Aus diesem Grund ist es leichter eine geeignete Referenzpflanze zu finden, da ihre Wurzelverteilung im Profil nicht in gleichem Maße mit dem der untersuchten Pflanze übereinstimmen muss, als dies bei der ¹⁵N-Verdünnungsmethode der Fall ist. BODDEY (1987) geht davon aus, dass bei vollkommener Gleichverteilung des ¹⁵N-Stickstoffisotops im Profil jede bekanntermaßen nicht fixierende Pflanze als Referenzpflanze in Betracht kommt.

Die Bestimmung der natürlichen Abundanz erfolgte nach dem von UNKOVICH *et al.* (1993) beschriebenen Verfahren.

Die Konzentration von Nitrat und Ammonium in der Bodenlösung wurde mittels einer *flow injection* Analyse nach ALVES *et al.* (1993) und HUNGRIA & ARAUJO (1994) ermittelt.

Der Gehalt an organischer Bodensubstanz wurde auf Grundlage der Bestimmung des Gehaltes an organischem Kohlenstoff (C_{org}) berechnet. Letzterer wurde volumetrisch nach Aufschluss der Proben mit 0,04 n Kaliumdichromat bestimmt (EMBRAPA 1979).

2.3.3 Abgeleitete Parameter

Zur Ermittlung der Kornerträge sowohl des Mais als auch der Leguminosen wurden die Erträge der Kernparzellen (16 m²) auf Hektarerträge hochgerechnet. Die Hektarerträge wurden auf einen Restfeuchtegehalt von 14 % korrigiert.

In der internationalen landbauwissenschaftlichen Literatur werden verschiedene Kennwerte für den Vergleich von Mischanbau mit Anbau in Reinkultur eingesetzt:

- *Relative Yield Total* (RYT - VAN DEN BERGH 1968)
- *Land Equivalent Ratio* (LER - WILLEY & OSIRU 1972, MEAD & WILLEY 1980)
- *Area Time Equivalent Ratio* (HIEBSCH 1980, MCCOLLUM 1982)
- *Staple Land Equivalent Ratio* (CHETTY & REDDY, 1984)

Die Begriffe *Relative Yield Total* und *Land Equivalent Ratio* bezeichnen rechnerisch den gleichen Kennwert; sie unterscheiden sich jedoch in der Deutung: Während der Begriff *Relative Yield Total* die Berechnung (Summe der Relativerträge, s. u.) verbalisiert, zielt der Begriff *Land Equivalent Ratio* auf die Effizienz der Flächennutzung ab, indem es den Kennwert als den Faktor interpretiert, mit dem man die bei Mischanbau für einen bestimmten Ertrag benötigte Fläche multiplizieren muss, um die Fläche für den gleichen Ertrag bei Reinkultur der beteiligten Kulturen zu erhalten.

Die anderen o. g. Kennwerte *Area Time Equivalent Ratio* und *Staple Land Equivalent Ratio*

beziehen spezielle Rahmenbedingungen in den Vergleich ein (OFORI & STERN, 1987). Für die vorliegende Arbeit reichte die Betrachtung des generischen Falles ohne Einbeziehung spezieller Rahmenbedingungen aus. Deshalb werden nachfolgend die Begriffe *Land Equivalent Ratio* (LER-Wert) oder, wenn es im Kontext eher um die Summe der Relativerträge geht, *Relative Yield Total* (RYT) als Grundlage für die Beurteilung der Anbauverfahren benutzt.

Der LER-Wert (bzw. der RYT-Wert) stellt die Summe der Verhältnisse von Mischkulturertrag zu Reinkulturertrag aller zusammen angebauten Kulturen dar. Für den in der vorliegenden Arbeit relevanten Fall, dass es sich um die Kornerträge zweier Kulturen handelt, ist die Formel zur Berechnung am Beispiel von Mais und einer Leguminose nachfolgend dargestellt:

$$LER = \frac{(\text{Maisertrag aus Mischkultur})}{(\text{Maisertrag aus Reinkultur})} + \frac{(\text{Leguminosenertrag aus Mischkultur})}{(\text{Leguminosenertrag aus Reinkultur})} \quad (1)$$

Aus (1) ergibt sich in diesem Beispiel der LER-Wert als die Summe der relativen Einzelerträge (Kornerträge) von Mais und Leguminosen. Ist er größer als eins, so ist die Mischkultur der Reinkultur überlegen. Dementsprechend ist die Mischkultur der Reinkultur unterlegen, wenn der LER-Wert kleiner als eins ist.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Reinkulturen-Varianten (R I, R II) in Rotation angebaut, so dass das Mischanbausystem nicht mit einem Monokultursystem, sondern mit einem Anbausystem verglichen wurde, in dem Fruchtwechsel und Zufuhr von luftbürtigem Stickstoff über die Erntereste der Leguminosen erfolgte, das also in Bezug auf die angebauten Kulturarten und die N-Zufuhr mit dem Mischanbausystem vergleichbar war.

Der LER-Wert wurde auch für die Varianten M/2 und E/2 berechnet, in denen *de facto* nur der Kornertrag des Mais vorlag. In diesem Fall wurde der „Leguminosen-Ertrag aus Mischkultur“, und damit der rechte Summand der obigen Formel, gleich null gesetzt. Ein Vorteil des Mischanbaus konnte in diesem Fall nur durch den aufgrund der zuvor erfolgten Gründüngung möglicherweise erhöhten Maisertrag der Mischkultur realisiert werden.

Die Berechnung der symbiotischen Stickstofffixierung basiert auf der Ermittlung der natürlichen Abundanz (s. Kap. 2.3.2, S. 23) von ^{15}N im Probenmaterial der Leguminosen.

Kulturen, die nicht über die Fähigkeit der symbiotischen Stickstofffixierung verfügen, nehmen ihren gesamten Stickstoff aus dem in der Bodenlösung enthaltenen Stickstoffvorrat auf. Die Anreicherung mit ^{15}N bei diesen Kulturen entspricht derjenigen des Bodens. Die Anreicherung mit dem ^{15}N bei Leguminosen, die ihren gesamten Stickstoff aus der symbiotischen Stickstofffixierung beziehen,

etwa weil sie in einem stickstofffreien Substrat wachsen, gleicht derjenigen der Atmosphäre⁷. Dies wird aber nur unter kontrollierten Bedingungen zu erreichen sein. Unter natürlichen Bedingungen liegt die Anreicherung mit dem ¹⁵N in Leguminosen zwischen derjenigen des Bodens und derjenigen der Atmosphäre. Sind alle drei Größen bekannt, so kann der Anteil des aus der symbiotischen Stickstofffixierung stammenden, luftbürtigen Stickstoffs (*Nitrogen derived from air*, Ndfa) am Gesamtstickstoffgehalt einer Kultur errechnet werden.

Als Maß für die Anreicherung des Bodens mit ¹⁵N wird die Anreicherung einer Kultur, die bekanntermaßen nicht über die Fähigkeit der symbiotischen Stickstofffixierung verfügt, herangezogen. Der Anteil symbiotisch fixierten Stickstoffs (Ndfa) an der gesamten von einer Leguminosenkultur aufgenommenen Stickstoffmenge wird dann nach der folgenden Formel berechnet (BODDEY 1987):

$$Ndfa = \frac{(\delta^{15}N \text{ der Referenzpflanze} - \delta^{15}N \text{ der Leguminose})}{(\delta^{15}N \text{ der Referenzpflanze} - B)} \times \left(\frac{100}{1}\right) \quad (2)$$

Der in der obigen Formel verwendete Ausdruck „ $\delta^{15}N$ “ einer Probe⁸ berechnet sich wie folgt:

$$\delta^{15}N = \frac{(\text{Atom\% des } ^{15}N \text{ der Probe} - \text{Atom\% des } ^{15}N \text{ der Atmosphäre})}{(\text{Atom\% des } ^{15}N \text{ der Atmosphäre})} \times \left(\frac{1000}{1}\right) \quad (3)$$

Bei „B“ handelt es sich um die Abweichung des in N-freiem Kulturmedium gemessenen ¹⁵N der Pflanze von ¹⁵N in der Atmosphäre. In der vorliegenden Arbeit wurde für B bei Augenbohnen -1,759 eingesetzt (PULE-MEULENBERG *et al.* 2010). Für die eingesetzten Schwertbohnen wurde B nicht experimentell bestimmt und es konnten keine entsprechenden Literaturangaben ermittelt werden. Deshalb wurde aufgrund einer konservativen Schätzung ein Wert von -2 angenommen.

In der ersten Versuchsperiode wurde der in Reinbestand wachsende Mais als Referenzpflanze gewählt. Nach der ersten Versuchsperiode war durch Erntereste und Gründüngung luftbürtiger Stickstoff in den Boden der betreffenden Parzellen gelangt. Um zu gewährleisten, dass die Referenzpflanze unter den gleichen Rahmenbedingungen angebaut wurde wie die Leguminosen, deren symbiotische Stickstofffixierung bestimmt werden sollte, wurde in der zweiten und dritten Versuchsperiode der als Mischungspartner auf der gleichen Parzelle angebaute Mais als

⁷ Die Anreicherung von ¹⁵N in der Atmosphäre beträgt konstant 0,3663 Atomprozent (Atom%).

⁸ „Probe“ steht sowohl für die Referenzpflanze als auch für die Leguminose.

Referenzpflanze gewählt.

Die Stickstoffbilanz wurde als erweiterte N-Flächenbilanz (JUNG 2003) auf Grundlage der N-Flüsse im Boden-Pflanze-System ermittelt. Die Werte für die Rhizodeposition wurden basierend auf Literaturangaben geschätzt (HEINZMANN 1981, HAYNES *et al.* 1993).

Im Folgenden werden die einzelnen Größen, die in die Berechnung der N-Flächenbilanz eingingen, erläutert. Für die korrekte Bestimmung des N-Importes und -Exportes der übrigen Varianten in bzw. aus dem Boden-Pflanze-System müssen vier unterschiedliche Szenarien berücksichtigt werden:

1. Die N-Aufnahme der Maiskultur erfolgte ausschließlich aus der Bodenlösung. Ein Import von außerhalb des Boden-Pflanze-Systems erfolgte nicht oder wurde nicht berücksichtigt. Ebenso wurden mögliche N-Mengen, die aus symbiotischer N₂-Fixierung oder aus mineralisiertem Stickstoff z. B. der Wurzeln der Leguminosen stammten nicht berücksichtigt. Die N-Mengen, die mit dem Erntegut abtransportiert wurden, stellten den N-Export dar. Das Maisstroh verblieb auf dem Feld. Die darin enthaltenen N-Mengen wurden dem Boden-Pflanze-System mithin zurückgeführt.

Identifizierte Bilanzkomponenten:

- NExp_Mais_Korn - durch Maiskörner exportierter Stickstoff.
 - NExp_Mais_Spindel - die Spindeln wurden zusammen mit den Maiskörnern abtransportiert, dem Boden aber nicht wieder zugeführt.
2. Bei der Monokultur erfolgte die gesamte N-Zufuhr über Rinderdung. Die N-Mengen, die mit dem Erntegut abtransportiert wurden, stellten den N-Export dar. Das Maisstroh verblieb auf dem Feld. Die darin enthaltenen N-Mengen wurden dem Boden-Pflanze-System mithin zurückgeführt.

Identifizierte Bilanzkomponenten:

- NImp_Rinderdung – durch Rinderdung zugeführter Stickstoff
 - NExp_Mais_Korn – durch Maiskörner exportierter Stickstoff.
 - NExp_Mais_Spindel – durch Spindeln exportierter Stickstoff.
3. Die als Gründung verwendeten Leguminosen nahmen sowohl N aus der Bodenlösung auf, als auch luftbürtiges N durch die symbiotische Stickstofffixierung. Da sie zur Gründung eingesetzt wurden, verblieb ihre gesamte Biomasse auf dem Feld. Die darin enthaltenen N-

Mengen wurden dem Boden-Pflanze-System zugeführt. Der luftbürtige Anteil des zugeführten Stickstoffs stellt den N-Import in das System dar. Da die in den Wurzeln enthaltenen N-Mengen auf Grund von Literaturangaben geschätzt wurden, wurde nach luftbürtigem N in der Sprossmasse und luftbürtigem N in den Wurzeln unterschieden.

Identifizierte Bilanzkomponenten:

- NImp_Gründung – über den Spross der zur Gründung genutzten Leguminose importierter Stickstoff
 - NImp_Leg_Wurzel – über die Wurzel der Leguminose importierter Stickstoff
4. Die zur Körnerproduktion verwendeten Leguminosen nahmen sowohl N aus der Bodenlösung auf, als auch luftbürtiges N durch die symbiotische Stickstofffixierung. Mit dem Erntegut wurde auch ein Teil des aufgenommenen Stickstoffs exportiert. Der exportierte Stickstoff bestand zum Teil aus luftbürtigem und zum Teil aus bodenbürtigem Stickstoff. Auch die auf dem Feld verbliebenen Erntereste enthielten sowohl luftbürtigen als auch bodenbürtigen Stickstoff. Die mit dem Erntegut abgeführten luft- und bodenbürtigen N-Mengen stellten den N-Export aus dem Boden-Pflanze-System dar. Die luftbürtigen Stickstofffraktionen sowohl des Ernteguts als auch der Erntereste stellten den N-Import in das System dar. Bei den Ernteresten wird wie unter (2.) nach luftbürtigem Stickstoff im Spross und solchem in der Wurzel unterschieden.

Identifizierte Bilanzkomponenten:

- NImp_Leg_Spross – luftbürtiger Anteil des in den Ernteresten enthaltenen Stickstoffs
- NImp_Leg_Korn – luftbürtiger Anteil des in den Körnern enthaltenen Stickstoffs
- NImp_Leg_Hülse – luftbürtiger Anteil des in den Hülsen enthaltenen Stickstoffs (wurde aus verfahrenstechnischen Gründen getrennt vom Stickstoff der Körner bestimmt).
- NImp_Leg_Wurzel – luftbürtiger Anteil des in der Wurzel enthaltenen Stickstoffs
- NExp_Leg_Korn – mit den Leguminosenkörnern exportierter Stickstoff
- NExp_Leg_Hülse – die Hülsen wurden zusammen mit den Leguminosenkörnern abtransportiert, der enthaltene Stickstoff wurde dem System nicht wieder zugeführt.

Je nach Variante müssen zur Bildung der N-Flächenbilanz unterschiedliche identifizierte Bilanzkomponenten berücksichtigt werden. Tab. 6 gibt einen Überblick der Varianten und der zur

Berechnung der jeweiligen N-Flächenbilanz benötigten Bilanzkomponenten. Für jede Variante ergibt sich so eine einfache Summenformel mit den Bilanzkomponenten als Summanden.

Tab. 6: Übersicht der Summanden zur Berechnung der Flächenbilanz.

M: Mulchen, E: Einarbeiten, Mono: Monokultur, /0: keine Gründüngung, /1: einreihige Gründüngung, /2: doppelreihige Gründüngung.

Overview of summands necessary for the calculation of the nitrogen balance. M: Mulching, E: Incorporation, Mono: Monoculture, /0: without utilization of legumes as green manure, /1: single row green manuring, /2: double row green manuring.

Bilanzkomponenten	Varianten					
	Reinbestand Mais	Reinbestand Leguminose	Mono	M/0, E/0	M/1, E/1	M/2, E/2
+ NImp_Gründüngung					x	x
+ NImp_Leg_Spross		x		x	x	
+ NImp_Leg_Korn		x		x	x	
+ NImp_Leg_Hülse		x		x	x	
+ NImp_Leg_Wurzel		x		x	x	x
+ NImp_Rinderdung			x			
- NExp_Mais_Korn	x		x	x	x	x
- NExp_Mais_Spindel	x		x	x	x	x
- NExp_Leg_Korn		x		x	x	
- NExp_Leg_Hülse		x		x	x	

Die Bilanzkomponenten lassen sich auf Grundlage der zuvor im Labor bestimmten Parameter ermitteln. Tab. 7 stellt die nötigen Schritte zur Berechnung der einzelnen Bilanzkomponenten dar.

Tab. 7: Berechnung der einzelnen Summanden.

TM: Trockenmasse in kg, N: Stickstoffgehalt in %, Ndfa: Anteil luftbürtigen Stickstoffs in %

Calculation of individual summands. TM: dry matter in kg, N: nitrogen concentration in %, Ndfa: nitrogen derived from air in %

Bilanzkomponenten	Berechnung
+ NImp_Gründung	TMGründung x NGründung x NdfaGründung
+ NImp_Leg_Spross	TMSpross x NSpross x NdfaSpross
+ NImp_Leg_Korn	TMKorn x NKorn x NdfaKorn
+ NImp_Leg_Hülse	TMHülse x NHülse x NdfaHülse
+ NImp_Leg_Wurzel	Aufgrund von Literaturangaben wurde der Anteil luftbürtigen Stickstoffs in der Wurzel konservativ auf 7 % geschätzt (HEINZMANN 1981, HAYNES <i>et al.</i> 1993).
+ NImp_Rinderdung	TMRinderdung x NRinderdung
- NExp_Mais_Korn	TMKorn x NKorn
- NExp_Mais_Spindel	TMSpindel x NSpindel
- NExp_Leg_Korn	TMKorn x NKorn
- NExp_Leg_Hülse	TMHülse x NHülse

2.4 Statistische Auswertung und Darstellung der Ergebnisse

Aus den eingangs genannten Zielen und Versuchsfragen folgten konkrete Anforderungen, die es bei der Anlage des Feldversuchs zu berücksichtigen galt. Er sollte die Möglichkeit bieten,

- die Mischbau-Varianten im Hinblick auf verschiedene Gründungsmengen und -techniken zu vergleichen.
- die verschiedenen Anbausysteme anhand des LER-Wertes im Hinblick auf die Effizienz der Flächennutzung zu vergleichen. Die Reinbestandsvarianten von Mais und der jeweiligen Leguminose wurden in Rotation angebaut. Sie dienten in erster Linie zur Berechnung des LER-Wertes.
- die in der Region häufig praktizierte Mais-Monokultur mit Einsatz eines externen organischen Stickstoffdüngers einzubeziehen.

Aus diesen Anforderungen resultierte ein Versuchslayout, das nicht insgesamt durch eine übliche Varianzanalyse ausgewertet werden konnte. Nachfolgend wird das Versuchslayout und die Auswertung der verschiedenen Ergebnisse detailliert erläutert (Tab. 8).

Tab. 8: Schematische Darstellung des Versuchslayouts.

Schematic representation of experimental layout.

	GD0: Mischbau ohne Gründung	GD1: Mischbau mit einreihiger Gründung	GD2: Mischbau mit doppelreihiger Gründung		
Mulchen	M/0	M/1	M/2	R I bzw. R II	Mono
Einarbeiten	E/0	E/1	E/2		
Zweifaktorielle Varianzanalyse					

In der unteren Hälfte von Tab.8 sind in dem grau unterlegten Bereich die einzelnen Versuchsvarianten dargestellt. Wie durch die unter der Tabelle befindliche Klammer angezeigt wird, wurden die Varianten M/x⁹ und E/x durch eine zweifaktorielle Varianzanalyse ausgewertet. Die Varianten R I, R II und Mono wurden nicht in die Varianzanalyse einbezogen. R I und R II dienten hauptsächlich als Grundlage für die Berechnung der LER-Werte. Die Resultate der Varianten R I, R II und Mono wurden in Tabellen und Grafiken neben den Resultaten der Mischbauvarianten dargestellt, sie wurden aber nicht in die statistische Auswertung einbezogen.

⁹ „x“ ist hier Platzhalter für die Ziffern null bis zwei.

2.4.1 Einzelergebnisse

Die Parameter Stickstoffversorgung, Trockenmassezunahme, Stickstoffaufnahme, Kornertrag und Effizienz der Flächennutzung wurden mittels zweifaktorieller Varianzanalyse mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$ ausgewertet. Dabei galt es zu berücksichtigen, dass die Varianten M/0 und E/0 identisch waren. Die zugrundeliegende Behandlung, Mischanbau ohne Gründüngung, wurde auf zwei Parzellen angewendet um ein komplettes 3*2 Versuchslayout¹⁰ zu erreichen. Um diesen Randbedingungen bei der Auswertung gerecht zu werden, wurde die zweifaktorielle Varianzanalyse nach JOHN & QUENOUILLE (1977) durchgeführt, bei der das Vorhandensein zweier identischer Null-Varianten durch sog. "Dummy-Vergleiche" berücksichtigt wird.

Um eine konsistente Benutzung der Begriffe zu erreichen, wurden Zusammenfassungen von Varianten, die in der oberen Hälfte von Tab. 8 dargestellt sind, als "Behandlungsgruppen" bezeichnet und im Text mit der kompletten Bezeichnung, also bspw. "Mischanbau ohne Gründüngung" referenziert. Lediglich in Grafiken oder Tabellen werden aus Platzgründen die in Tab. 8 genannten Abkürzungen (GD0, GD1, GD2) eingesetzt. Mit "Varianten" sind die konkret auf den einzelnen Parzellen verwirklichten Verfahren gemeint, also diejenigen, die in Tab. 8 im unteren Teil grau unterlegt dargestellt sind. Diese werden im Text mit dem jeweiligen Kürzel, also z. B. "M/2", referenziert.

Im Unterschied zu den Kornerträgen des Mais wurden die Kornerträge der Leguminosen nicht varianzanalytisch ausgewertet, da die Leguminosen durch die Nutzung als Gründüngung und als Erntereste z. T. als Versuchsfaktor anzusehen waren.

Die Ergebnisse sind in Form von Tabellen dargestellt. Die Darstellungsform wird im Zusammenhang mit den Ergebnissen der ersten Tabelle erläutert.

Bei Auswertung der Analyseergebnisse zum Gehalt des Bodens an organischer Substanz wurde die Versuchsperiode als zusätzlicher Versuchsfaktor einbezogen, um die Entwicklung über die Versuchslaufzeit darzustellen. Die statistische Auswertung wurde mittels Gruppenvergleichen (KÖHLER *et al.* 1984) im Hinblick auf die Gründüngungsmenge, die Gründüngungstechnik und im Hinblick auf die Versuchsperioden durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Form von Säulendiagrammen dargestellt.

¹⁰ 3 Gründüngungsmengen * 2 Gründüngungstechniken = 6 Varianten

2.4.2 Gesamtbewertung

Teil der Zielsetzung dieser Arbeit war es, eine Gesamtbewertung der Ergebnisse unter besonderer Berücksichtigung Ertragsstabilität vorzunehmen.

Für den zusammenfassenden Vergleich multipler Indikatoren wird im Rahmen von Benchmarking-Projekten¹¹ oft das sogenannte Radardiagramm als Darstellungsform und als Analysewerkzeug eingesetzt. Durch die Europäische Union wird seit 1996 ein Benchmarking-Projekt zum Vergleich der Arbeitsmarkt-Leistungsfähigkeit ihrer Mitgliedstaaten durchgeführt. Im Rahmen dieses Projektes wurde eine Methode zur quantitativen Auswertung von Radardiagrammen entwickelt (MOSLEY & MAYER 1999). Die Gesamtbewertung der Ergebnisse dieser Arbeit basiert auf diesem Ansatz.

Tab. 9: Parameter zur Erstellung der Gesamtbewertung

Parameters used for the overall evaluation of the experiment .

	<i>Indikator</i>	<i>Beschreibung</i>
<i>leistungsorientiert</i>	Gesamtkornertrag	Die über alle Versuchsperioden summierten Kornerträge von Mais und Leguminosen der Varianten. Der Gesamtkornertrag dient als Maßstab für die Gesamtproduktivität während der Versuchslaufzeit.
	Kornertrag Mais	Die über alle Versuchsperioden summierten Maiskornerträge der Behandlungsgruppen. Da Mais als Verkaufsfrucht betrachtet wird, dient dieser Parameter als Maßstab für den monetären Ertrag.
	LER	Der über alle Versuchsperioden berechnete LER-Wert der Behandlungsgruppen. Er dient zur Beurteilung der Flächennutzungseffizienz der Behandlungsgruppen.
<i>stabilitätsorientiert</i>	Stickstoffbilanz	Die über alle Versuchsperioden berechnete N-Bilanz der Behandlungsgruppen. Dient als Teilaspekt zur Beurteilung der Nachhaltigkeit der Behandlungsgruppen.
	Ertragsentwicklung	Abweichung des über alle Versuchsperioden gemittelten Ertrags einer Variante von deren Anfangsertrag. Eine abnehmende Ertragsentwicklung ist ein Hinweis auf mangelnde Ertragsstabilität einer Behandlungsgruppe.
	Entwicklung der Organischen Bodensubstanz (org. BS)	Abweichung des über alle Versuchsperioden gemittelten Gehaltes an organischer Bodensubstanz einer Behandlungsgruppe von ihrem initialen Gehalt. Dient als Indiz zur Beurteilung der Ertragsstabilität der Behandlungsgruppen. Hierbei handelt es sich um Werte die durch die Bestimmung von organischem Kohlenstoff ermittelt wurden. Es wurde nicht zwischen Humusstoffen und frischen Bestandes- oder Wurzelrückständen unterschieden.

¹¹ Unter Benchmarking wird eine vergleichende Analyse mit einem festgelegten Referenzwert verstanden.

Als Kriterien für die Gesamtbewertung wurden die in Tab. 9 dargestellten Indikatoren gewählt. Bei der Auswahl wurde darauf geachtet, dass sowohl vorwiegend kurzfristige (im Sinne einer Ertragsmaximierung) als auch vorwiegend langfristige Aspekte (im Sinne der Erreichung von Ertragsstabilität) Berücksichtigung fanden. Die Indikatoren für die vorwiegend kurzfristigen Aspekte wurden als „leistungsorientiert“ und diejenigen für die vorwiegend langfristigen Aspekte als „stabilitätsorientiert“ bezeichnet.

Als Methode für die quantitative Analyse von Radardiagrammen wurde während des o. g. Projektes am „Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung“ ein als „SMOP“ (**S**urface **M**easure of **O**verall **P**erformance) bezeichnetes Verfahren entwickelt (ALBACH & MOERKE 1996, SCHÜTZ *et al.* 1998, MOSLEY & MAYER 1999). Bei der SMOP-Analyse wird die Ausprägung der einzelnen Indikatoren standardisiert, so dass diese in einen Wertebereich zwischen Null und Eins fallen. Die Bestimmung des Maximalwertes „Eins“ erfolgt nach dem „best practice“-Ansatz: Der beste durch einen Untersuchungsgegenstand realisierte Wert eines Indikators dient bei der Standardisierung als Obergrenze.

Jeder anhand eines Radardiagramms dargestellte Untersuchungsgegenstand wird durch einen Polygonzug repräsentiert (Abb. 10), der die Ausprägungen der Indikatoren auf den Wertachsen miteinander verbindet. Die Fläche innerhalb eines Polygonzuges stellt den SMOP-Wert dar. Sie ist ein Maß für das durch den Untersuchungsgegenstand erreichte Gesamtergebnis.

Der SMOP-Wert wird nach der folgenden allgemeinen Formel berechnet:

$$SMOP = \left((P1 * P2) + (P2 * P3) + (P3 * P4) + (Pn * P1) \right) * \sin(360/n) / 2 \quad (4)$$

mit: P: Ausprägung eines Indikators

Bei maximaler Ausprägung von bspw. sechs Indikatoren (Fläche G in Abb. 10) beträgt der SMOP-Wert ca. 2,6.

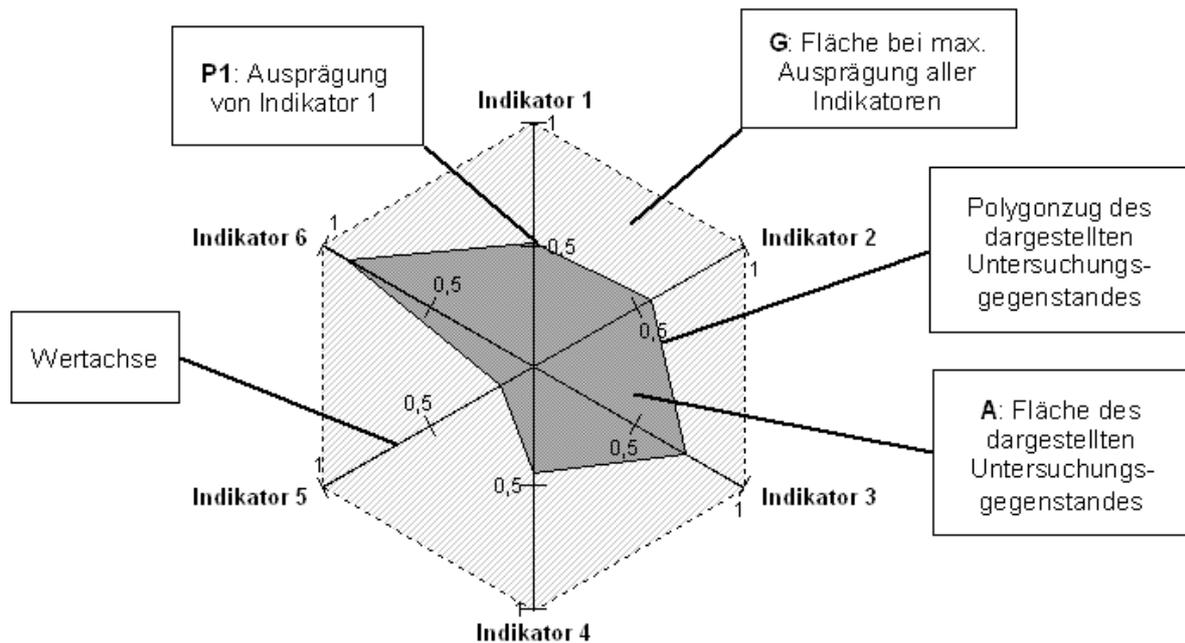


Abb. 10: Schematische Darstellung eines Radardiagramms und seiner Elemente.

Schematical illustration of a radar chart and its elements.

Die Stärke des dargestellten Verfahrens liegt in der intuitiv erfassbaren Darstellung multipler Indikatoren. Allerdings weist es auch Schwächen auf: Eine durch zwei Indikatorachsen begrenzte Teilfläche ist gleich null, wenn die Ausprägung eines Indikators null ist. Wenn die Ausprägung jedes zweiten Indikators null ist, so ist die Gesamtfläche null; eine Vergleichbarkeit ist dann nicht mehr gegeben. Außerdem kommt man bei unveränderter Ausprägung aller Indikatoren allein durch deren unterschiedliche Anordnung im Radardiagramm zu abweichenden Ergebnissen. In dem von MOSLEY & MAYER beschriebenen Verfahren (1999) wurde das Problem dadurch gelöst, dass der Mittelwert all jener SMOP-Werte berechnet wurde, die sich aus den möglichen Anordnungen der Indikatoren im Radardiagramm ergaben. Um solche Probleme von vorneherein auszuschließen, wurde in der vorliegenden Arbeit ein abgewandelter Ansatz gewählt: Statt der durch den jeweiligen Polygonzug umfassten Fläche, wurde die Summe der von diesem Polygonzug begrenzten Achsenabschnitte als Basis für die quantitative Auswertung eines Radardiagramms zu benutzt. Der daraus resultierende Kennwert wird hier in Analogie zu SMOP als LMOP (**L**ength **M**easure of **O**verall **P**erformance) bezeichnet. Er wird folgendermaßen berechnet:

$$LMOP = \sum_{i=1}^n \text{Ausprägung}(\text{Indikator}_i) \quad (5)$$

mit n : Anzahl der im Radardiagramm dargestellten Indikatoren

Das Ergebnis der Berechnung ist unabhängig von der Anordnung der Indikatoren im Radardiagramm. Da es sich um einen standardisierten Wert handelt, können die verschiedenen im Radardiagramm dargestellten Untersuchungsgegenstände direkt anhand des LMOP-Wertes verglichen werden.

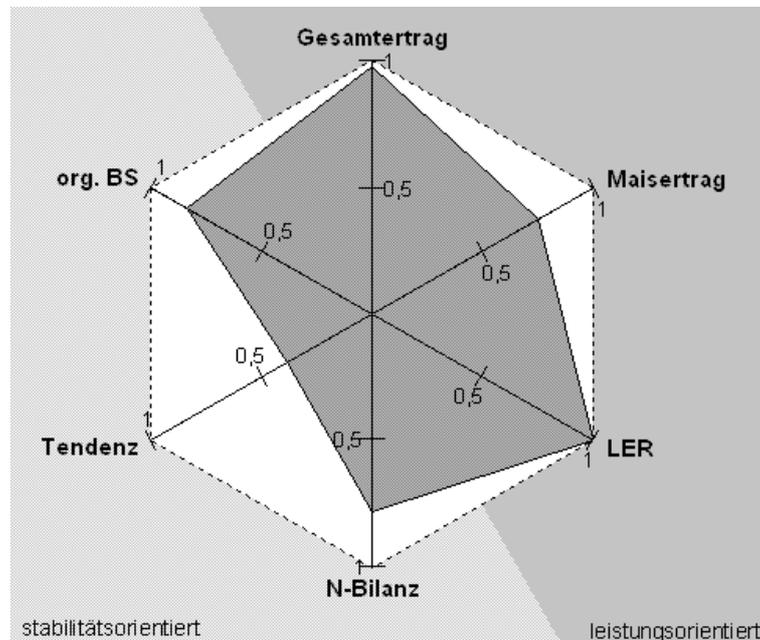


Abb. 11: Thematische Anordnung der Indikatoren im Radardiagramm.

Auf der linken Seite des Diagramms befinden sich die stabilitätsorientierten und auf der rechten die leistungsorientierten Indikatoren.

Thematic arrangement of the indicators. Stability-oriented indicators are located on the right hand side, performance-oriented indicators on the left hand side.

Die Indikatoren wurden im Radardiagramm thematisch sortiert: Auf der linken Seite wurden die stabilitätsorientierten Indikatoren dargestellt, auf der rechten Seite die leistungsorientierten Indikatoren (Abb. 11). Eine Diagonale von links oben nach rechts unten unterteilt die Fläche des Radardiagramms in eine leistungsorientierte und eine stabilitätsorientierte Hälfte. Die durch den Polygonzug einer Behandlungsgruppe umfasste Fläche liegt zum Teil in der stabilitätsorientierten und zum Teil in der leistungsorientierten Hälfte des Diagramms. Aus der Lage eines Polygonzuges im Radardiagramm können Aussagen bzgl. des durch eine Behandlungsgruppe erreichten Kompromisses im Spannungsfeld zwischen kurzfristiger Ertragsfähigkeit und langfristiger Stabilität visualisiert werden. Die Lage eines Polygonzuges im Radardiagramm kann mithilfe der prozentualen Verteilung des LMOP-Wertes auf die beiden Hälften des Radardiagramms quantifiziert werden.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Reihenfolge der Ergebnisdarstellung basiert auf einer aus pflanzenbaulicher Sicht relevanten chronologischen Abfolge. Außerdem sind die Ergebnisse nach thematischen Gesichtspunkten gegliedert: Zunächst werden Ergebnisse bzgl. der Entwicklung der Kulturen dargestellt. Daran schließt sich die Wiedergabe der Ergebnisse bzgl. der leistungsorientierten Parameter Kornertrag und Effizienz der Flächennutzung an. Danach werden die Ergebnisse bzgl. der stabilitätsorientierten Parameter Stickstoffbilanz und organische Bodensubstanz erläutert. Schließlich wird eine Gesamtbewertung der Ergebnisse vorgenommen.

3.1 Entwicklung der Kulturen

Nachfolgend werden die Ergebnisse im Hinblick auf die symbiotische Stickstofffixierung, die Stickstoffversorgung des Mais sowie im Hinblick auf die Ertragsbildung und N-Aufnahme des Mais dargestellt.

3.1.1 Symbiotische Stickstofffixierung

In Tab. 10 sind die prozentualen und absoluten Anteile luftbürtigen, symbiotisch fixierten Stickstoffs (Ndfa) an den Stickstoffaufnahmen von Augenbohnen (erste und zweite Versuchsperiode) und von Schwertbohnen (dritte Versuchsperiode) dargestellt. In der oberen Hälfte der Tabelle wurden die Ndfa-Werte der Gründung und in der unteren Hälfte diejenigen der Leguminosen zum Zeitpunkt der Ernte wiedergegeben.

Die prozentualen Ndfa-Werte zum Zeitpunkt der Ernte betragen während der drei Versuchsperioden zwischen 58 % und 89 %. Sie waren in der ersten Versuchsperiode mit einem Mittelwert von 71 % deutlich niedriger als in den darauf folgenden Versuchsperioden mit Mittelwerten von 81 bzw. 80 %. Eine mögliche Erklärung dafür ist die Tatsache, dass die Versuchsfläche vor dem Feldversuch brachgelegen hatte bzw. extensiv genutzt worden war. Dadurch waren möglicherweise in der ersten Versuchsperiode die inter- und intraspezifischen Konkurrenzsituationen aufgrund einer höheren N-Verfügbarkeit weniger ausgeprägt als in den darauf folgenden, so dass die Augenbohnen einen größeren Anteil ihrer N-Aufnahme aus dem Bodenvorrat decken konnten.

Während der ersten Versuchsperiode wurde außerdem beobachtet, dass die Augenbohnen im Reinbestand einen deutlich niedrigeren Anteil luftbürtigen Stickstoffs aufwiesen als Augenbohnen in Misanbau mit Mais: Zum Zeitpunkt der Ernte betrug der Anteil luftbürtigen Stickstoffs des Reinbestands 58 % und des Misanbaus 76 %. Diese Beobachtung deckt sich mit Angaben anderer Autoren (DANSO *et al.* 1987, AITA & GIACOMINI 2003). PERIN *et al.* (2004) stellten bei gemeinsamem

Anbau von *Crotalaria juncea* und *Pennisetum americanum* einen Anteil von 61 % luftbürtigem Stickstoff am gesamten durch *Crotalaria* aufgenommenen Stickstoff fest. Bei alleinigem Anbau von *Crotalaria* waren es nur 57 %. GILLER (2001) zeigte, dass der gemeinsame Anbau von Gramineen und Leguminosen die symbiotische Stickstofffixierung förderte. Die Förderung beruhte auf einer geringeren Verfügbarkeit von mineralischem N in der Bodenlösung als Folge der Senkenfunktion der Nichtleguminose. Auch im Hinblick auf den Misanbau von Mais und Augenbohnen bestätigten mehrere Autoren (WAHUA 1983, VAN KESSEL & ROSKOWSKI 1988) einen kompetitiven Vorteil von Mais bei der N-Aufnahme. Dieser Sachverhalt führte zu einer stärkeren Abhängigkeit der Augenbohnen von der symbiotischen Stickstofffixierung und dazu, dass Augenbohnen bei Misanbau mit Mais einen größeren Anteil des Stickstoffs aus der symbiotischen Stickstofffixierung bezogen als bei alleinigem Anbau.

Tab. 10: Anteile symbiotisch fixierten Stickstoffs (Ndfa) in Gründüngung und reifen Leguminosen.

Ndfa: luftbürtiger Stickstoff (Nitrogen derived from atmosphere).

Symbiotically fixed Nitrogen in green manure and mature legumes. Ndfa: Nitrogen derived from atmosphere

<i>Zeitpunkt</i>	<i>Ndfa</i>					
	<i>1. Versuchsperiode, Augenbohnen</i>		<i>2. Versuchsperiode, Augenbohnen</i>		<i>3. Versuchsperiode, Schwertbohnen</i>	
Gründüngung	%	kg * ha⁻¹	%	kg * ha⁻¹	%	kg * ha⁻¹
Misanbau mit einreihiger Gründüngung	73	11	89	6	75	8
Misanbau mit doppelreihiger Gründüngung	73	32	77	13	82	26
Mittelwert	73		83		79	
Ernte	%	kg * ha⁻¹	%	kg * ha⁻¹	%	kg * ha⁻¹
Reinbestand	58	25	82	30	82	203
Misanbau ohne Gründüngung	76	19	70	6	75	148
Misanbau mit einreihiger Gründüngung	76	11	89	5	84	88
Mittelwert	70		80		80	

Der Mittelwert der Fixierungsraten in der dritten Versuchsperiode (als Leguminose wurde die Schwertbohne eingesetzt) betrug 80 % (Ndfa zum Zeitpunkt der Ernte). Dieses Ergebnis entspricht Angaben von CARSKY (1989), der für Schwertbohnen einen Anteil luftbürtigen Stickstoffs von 78 %

unter ähnlichen Rahmenbedingungen fand.

Die absoluten Mengen des durch symbiotische Stickstofffixierung aufgenommenen Stickstoffs zum Zeitpunkt der Gründüngung betragen zwischen 6 und 32 kg * ha⁻¹. In der ersten Versuchsperiode wurden der Maiskultur durch die Gründüngung bei einreihiger Gründüngung 11 und bei doppelreihiger Gründüngung 32 kg * ha⁻¹ an luftbürtigem Stickstoff zugeführt. In der zweiten Versuchsperiode waren die absoluten Mengen an fixiertem luftbürtigem Stickstoff aufgrund des Befalls mit *Cerotoma arcuata* und *Diabrotica speciosa* wesentlich geringer und betragen bei einreihiger Gründüngung 6 kg * ha⁻¹, bei doppelreihiger Gründüngung 13 kg * ha⁻¹. In der dritten Versuchsperiode wurden durch die zur Gründüngung verwendeten Schwertbohnen bei einreihiger Gründüngung 8 kg N * ha⁻¹ fixiert und dem Boden/Pflanze-System zugeführt, bei doppelreihiger Gründüngung waren es 26 kg N * ha⁻¹. PANDEY & PENDLETON (1986) nutzten Soja als Gründüngung für gemeinsam angebauten Mais und führten diesem über die Soja-Sprossmasse 28 kg N * ha⁻¹ zu.

Bei der Betrachtung der absoluten Mengen fixierten Stickstoffs fällt auf, dass bei doppelreihiger Gründüngung in der ersten und der dritten Versuchsperiode dem Boden etwa dreimal soviel luftbürtiger Stickstoff zugeführt wurde als bei einreihiger Gründüngung. Da die Reihen gleich behandelt worden waren, wäre zu erwarten gewesen, dass dem Boden durch doppelreihige Gründüngung etwa doppelt so viel luftbürtiger Stickstoff zugeführt würde wie bei einreihiger Gründüngung. Diese Diskrepanz kann durch unterschiedliche Lichtverhältnisse der beiden jeweils links und rechts neben einer Maisreihe gesäten Leguminosenreihen erklärt werden: Die Kulturen wurden parallel zu den in Ost-Westrichtung verlaufenden Höhenlinien gesät, um Erosionsvorgängen entgegenzuwirken. Sowohl die erste als auch die dritte Versuchsperiode lagen im Winter. Der Versuchsstandort befand sich in der Breite des südlichen Wendekreises. Da auf der Südhalbkugel im Winter die Sonne tiefer im Norden steht, bildete sich auf der Südseite der Maisreihen ein Schlagschatten aus. Auf der Südseite befanden sich die Leguminosenreihen, die für die einreihige Gründüngung genutzt wurden. Im Winter (Versuchsperioden eins und drei) erhielten die Leguminosenreihen, die nur bei doppelreihiger Gründüngung genutzt wurden eine höhere Einstrahlung und konnten infolgedessen mehr assimilieren und mehr Stickstoff fixieren als diejenigen Leguminosen, die bei einreihiger Gründüngung genutzt wurden. Während der Sommermonate (Versuchsperiode zwei) stand die Sonne im Zenit. Aus diesem Grund bildete sich während des Sommers kaum ein Schlagschatten aus und die Menge luftbürtigen Stickstoffs, die dem Boden über doppelreihige Gründüngung zugeführt wurde war nur um den Faktor zwei größer als diejenige die dem Boden bei einreihiger Gründüngung zugeführt wurde.

Bei der Ernte wurden große Unterschiede der Aufnahme von luftbürtigem Stickstoff in den

Ernteresten der Leguminosen in Abhängigkeit von der Art der als Mischungspartner für Mais angebauten Leguminosen festgestellt. In der ersten Versuchsperiode betrug die durchschnittliche Aufnahme der Augenbohne an luftbürtigem Stickstoff zum Zeitpunkt der Ernte $19 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ bei Misanbau ohne Gründüngung und $11 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ bei Misanbau mit einreihiger Gründüngung. Bei Einsatz von Schwertbohnen als Mischungspartner für Mais in der dritten Versuchsperiode betrug deren Aufnahme an luftbürtigem Stickstoff zum Zeitpunkt der Ernte $148 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ bei Misanbau ohne Gründüngung und $88 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ bei Misanbau mit einreihiger Gründüngung. Eine Ursache für die höhere Aufnahme von luftbürtigem Stickstoff durch die Schwertbohnen war eine im Vergleich mit Augenbohnen bessere Entwicklung verbunden mit höherem Massenwachstum und höheren Erträgen (s. u.). Außerdem muss berücksichtigt werden, dass die Augenbohnen gemeinsam mit Mais geerntet wurden. Zu diesem Zeitpunkt hatte schon eine beträchtliche Abnahme der Sprossmasse durch Bestandesabfall stattgefunden, da der Vegetationszyklus der Augenbohnen wesentlich kürzer als der des Mais war. Die Menge an luftbürtigem N im Bestandesabfall wurde in der vorliegenden Arbeit nicht nachgehalten. VESTERAGER *et al.* (2008) fanden bei Misanbau von Mais und Augenbohnen $41 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ im Bestandesabfall von Augenbohnen.

Im Rahmen eines Workshops zur Bestimmung der natürlichen Abundanz von ^{15}N (UNKOVICH 1996) wurden in der ersten Versuchsperiode auch die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Maispflanzen aus dem Feldversuch der vorliegenden Arbeit bestimmt (HÖDTKE *et al.* 1997). Basierend auf den gemessenen $\delta^{15}\text{N}$ -Werten wurde die Aufnahme luftbürtigen Stickstoffs (Ndfa) durch die Maispflanzen berechnet.

Tab. 11: Natürliche Abundanz von ^{15}N und Gehalt luftbürtigen Stickstoffs (Ndfa) bei gemeinsam mit Leguminosen angebauten Maispflanzen, Juli 1996 (mod. nach HÖDTKE *et al.* 1997).

*Natural abundance of ^{15}N and content of nitrogen derived from air (Ndfa) in maize plants intercropped with legumes, July 1996 (based on HÖDTKE *et al.* 1997).*

<i>Variante</i>	$\delta^{15}\text{N}$	<i>Ndfa (%)</i>
Mais-Reinbestand	8,42	0,0
Misanbau ohne Gründüngung	7,91	6,5
Misanbau mit Mulchen doppelreihiger Gründüngung	7,57	10,8
Misanbau mit Einarbeiten doppelreihiger Gründüngung	6,84	20,1

Für einige Maissorten wurde an tropischen Standorten eine assoziative N_2 -Fixierung durch diazotrophe Bakterien festgestellt (BÜLOW & DÖBEREINER 1975). In einer anderen Untersuchung wurde bei der eingesetzten Maissorte BR 106 assoziative N_2 -Fixierung nach Inokulation des Saatgutes mit *Herbaspirillum seropedicae* nachgewiesen (LOPES *et al.* 2008). Da der Mais im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht inokuliert wurde und keine assoziative N_2 -Fixierung festgestellt wurde, deuten die in der Tabelle angegebenen Ndfa-Werte darauf hin, dass luftbürtiger

Stickstoff durch Rhizodeposition oder Gründüngungsnutzung der gemeinsam angebauten Leguminosen in den Boden gelangte und durch die Maispflanzen aufgenommen wurde. Eine Reihe von Autoren stellten einen N-Transfer von Leguminosen zu gemeinsam angebauten Nichtleguminosen fest. So fanden BURITY *et al.* (1989), dass zwischen 26 und 46 % des durch die Gramineen *Phleum pratense* bzw. *Bromus inermis* aufgenommenen Stickstoffs luftbürtiger Stickstoff war, der von der gemeinsam angebauten Luzerne stammte. EAGLESHAM *et al.* (1981) wiesen anhand von markiertem Stickstoffdünger einen Stickstofftransfer von Augenbohnen zum gemeinsam angebauten Mais nach. SIERRA & DESFONTAINES (2009) ermittelten einen N-Transfer von Schwertbohnen zu gemeinsam angebauten Bananen in der Größenordnung von 38 % des durch die Bananen aufgenommenen Stickstoffs.

Bei dem im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Feldversuch wurde für Misanbau ohne Gründüngung ein N-Transfer von der Leguminose zum gemeinsam angebauten Mais in der Größenordnung von 7 % festgestellt (Tab.11). Bei den Varianten mit Mulchen oder Einarbeiten doppelreihiger Gründüngung enthielt der gemeinsam angebaute Mais 11 bzw. 20 % luftbürtigen Stickstoff. In diesen Fällen stammte der luftbürtige Stickstoff sowohl via N-Transfer aus der Rhizodeposition durch die gemeinsam angebaute Leguminose als auch aus der applizierten Gründüngung¹².

12 Luftbürtiger Stickstoff, der via Gründüngung in den Boden gelangt, wird nicht als Transfer-Stickstoff betrachtet.

3.1.2 Stickstoffgehalt der Maisblätter

Die Stickstoffgehalte des Mais wurden mittels Blattanalyse (s. Tab. 4, S. 18) ermittelt. Zum besseren Verständnis wird die tabellarische Ergebnisdarstellung hier kurz erläutert. Tab. 12 stellt die Stickstoffversorgung des Mais während der drei Versuchsperioden dar. Jede Versuchsperiode ist in Form einer Kreuztabelle innerhalb der übergeordneten Tabelle dargestellt.

Den Kernbereich einer jeden der drei Kreuztabellen nimmt die Darstellung des zweifaktoriellen Versuchsteils als Kombinationen der Faktoren „Gründungsmenge“ (ohne Gründung, einreihige Gründung, zweireihige Gründung) und „Gründungstechnik“ (Mulchen, Einarbeiten) ein. In der Spalte mit der Überschrift „Referenzvarianten/Mittelwerte“ werden die Mittelwerte einer jeden Gründungsmenge über die Werte für „Mulchen“ und „Einarbeiten“ gebildet. Außerdem beinhaltet diese Spalte die Ergebnisse der Behandlungen „R I“ bzw. „R II“ und „Mono“, die, wie bereits zuvor erläutert (Kapitel 2.4), nicht varianzanalytisch ausgewertet wurden. In der Spalte mit der Überschrift „Grenzdifferenz“ sind zur Nachvollziehung signifikanter Unterschiede die Grenzdifferenzen der Werte für „Mulchen“ und „Einarbeiten“ aufgeführt. Die Mittelwerte, für jede der beiden Gründungstechniken gebildet über die Einzelwerte für die Gründungsmenge, sind in der Zeile „Mittelwerte“ aufgeführt. Die Zeile „Grenzdifferenz“ beinhaltet jeweils die Grenzdifferenzen zur Nachvollziehung signifikanter Unterschiede zwischen den einzelnen Gründungsmengen.

Bereiche, in denen signifikante Unterschiede gefunden wurden, sind grau unterlegt. Handelte es sich um eine signifikante Wechselwirkung der beiden Versuchsfaktoren, so wurden die sechs sich ergebenden Kombinationen der Faktorstufen grau unterlegt. Handelte es sich hingegen um einen Haupteffekt, so wurden die drei betroffenen Mittelwerte grau unterlegt. Die Grenzdifferenz unter Spalten bzw. neben Zeilen mit signifikanten Unterschieden ist dann fett dargestellt. Zur eindeutigen Kennzeichnung signifikanter Unterschiede wurden Buchstaben tiefgestellt hinter die betreffenden Werte platziert. Dabei kennzeichnen „a“, „b“ signifikante Unterschiede der verschiedenen Gründungsmengen innerhalb einer Gründungstechnik und „A“, „B“ signifikante Unterschiede der Gründungstechniken innerhalb einer Gründungsmenge. Der Versuchsmittelwert der sechs anhand einer Varianzanalyse untersuchten Varianten jeder Versuchsperiode ist jeweils einfach unterstrichen.

Tab. 12: Stickstoffgehalt der Maispflanzen nach Applikation der Gründüngung.

a, b: Kennzeichnung signifikanter Unterschiede.

Nutritional status of maize concerning nitrogen. Indicators a, b mark significant differences.

<i>Behandlung</i>	<i>N-Gehalt (%)</i>			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten ¹³ /Mittelwerte	Grenzdifferenz ¹⁴
Erste Versuchsperiode				
Mono	----	----	2,36	----
R I	----	----	2,29	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	2,44	2,35b	2,39	0,18
einreihige Gründüngung	2,46	2,43b	2,45	
zweireihige Gründüngung	2,52	2,65a	2,59	
Mittelwert	2,47	2,48	<u>2,48</u>	0,15
Grenzdifferenz ¹⁵	0,22		0,15	----
Zweite Versuchsperiode				
Mono	----	----	1,94	----
R II	----	----	2,06	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	2,06	2,04	2,05b	0,21
einreihige Gründüngung	2,02	2,03	2,02b	
zweireihige Gründüngung	2,21	2,21	2,21a	
Mittelwerte	2,10	2,09	<u>2,09</u>	0,18
Grenzdifferenz ¹⁵	0,25		0,12	----
Dritte Versuchsperiode				
Mono	----	----	1,64	----
R I	----	----	1,73	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	1,60	1,60	1,60b	0,20
einreihige Gründüngung	1,66	1,71	1,68b	
zweireihige Gründüngung	1,82	1,83	1,83a	
Mittelwerte	1,69	1,71	<u>1,70</u>	0,17
Grenzdifferenz ¹⁵	0,24		0,11	----

13 Als Referenzvarianten werden hier die statistisch nicht ausgewerteten Varianten Mono , R I und R II bezeichnet.

14 Grenzdifferenzen (Irrtumswahrsch. $\alpha = 5\%$) der Werte für „Mulchen“ und „Einarbeiten“ in der jeweiligen Zeile.15 Grenzdifferenzen (Irrtumswahrsch. $\alpha = 5\%$) der Werte für „ohne Gründüngung“ „einreihige Gründüngung“ und „zweireihige Gründüngung“ in der jeweiligen Spalte.

In allen drei Versuchsperioden nahmen die Stickstoffgehalte der Maisblätter mit zunehmender Gründüngungsmenge zu. In der ersten Versuchsperiode trat dieser Effekt nur dann ein, wenn die Gründüngung eingearbeitet worden war. Wenn sie als Mulchauflage belassen worden war, ließ sich nur ein geringfügiger, nicht signifikanter Effekt der Gründüngungsmenge erkennen. In den nachfolgenden Versuchsperioden nahmen die Stickstoffgehalte in den Maisblättern generell mit zunehmender Gründüngungsmenge zu, unabhängig davon, ob die Gründüngung eingearbeitet worden war oder nicht.

Eine mögliche Erklärung für die während der ersten Versuchsperiode beobachtete Wechselwirkung zwischen Gründüngungsmenge und -technik bietet der kurze Zeitraum von sieben Tagen, der in der ersten Versuchsperiode zwischen Gründüngung und Probenahme für die Blattanalyse lag. Wurde die Gründüngung eingearbeitet, so kam sie in intensiveren Kontakt mit den Bodenteilchen, es kam zu einer schnelleren Mineralisierung und in der Folge zu einer schnelleren Aufnahme des Stickstoffs durch die Maiskultur. Wurde die Gründüngung als Mulchauflage belassen, dann fanden diese Prozesse vermutlich nicht so schnell statt und dementsprechend kam es in dem kurzen Zeitraum nicht zu einer signifikanten Erhöhung der Stickstoffgehalte der Maisblätter. Ähnliche Beobachtungen bzgl. der Mineralisierungsgeschwindigkeit von zur Gründüngung eingesetzten Leguminosen werden auch von anderen Autoren berichtet. So fanden THÖNNISSEN *et al.* (2000) im Rahmen von Untersuchungen zur N-Freisetzung in Taiwan eine signifikant schnellere Mineralisierung von eingearbeiteter im Vergleich zu gemulchter Gründüngung. Sie berichteten von einer Erhöhung des $\text{NH}_4\text{-N}$ im Boden von 10 bis 30 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ innerhalb der ersten Woche nach Gründüngung, wenn diese eingearbeitet wurde. Die Unterschiede zwischen Einarbeiten und Mulchen bzgl. der Mineralisierung und N-Freisetzung waren bis zu sechs Wochen nach der Gründüngung signifikant, danach nahmen sie ab. Im Rahmen von Feldversuchen zur Mineralisierung von Augenbohnen-Gründüngung im Niger stellten FRANZLUEBBERS *et al.* (1994) eine Zunahme des mineralischen Bodenstickstoffs von 2 auf 7 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ während eines Zeitraums von sechs Tagen nach dem Einarbeiten der Gründüngung fest.

Das Fehlen signifikanter Unterschiede zwischen Mulchen und Einarbeiten in den darauf folgenden Versuchsperioden kann durch den längeren Zeitraum zwischen Gründüngung und Probennahme für die Blattanalyse bedingt sein. Es lagen jeweils 2 Wochen dazwischen. Nach den oben angeführten Ergebnissen von THÖNNISSEN *et al.* (2000) konnte jedoch zu dieser Zeit noch ein deutlicher Unterschied bei Mineralisierung und N-Freisetzung erwartet werden. Eine weitere Erklärung für das Fehlen signifikanter Unterschiede ist, dass es durch die Mengen an Gründüngung, die sich von der ersten Versuchsperiode auf den Flächen und im Prozess der Mineralisierung befanden, zu einer

Nivellierung der Ergebnisse kam.

Zwar konnte in allen drei Versuchsperioden eine Zunahme der Stickstoffgehalte in den Maisblättern der Varianten mit höheren Gründungsmengen festgestellt werden, insgesamt jedoch nahm die Höhe der Stickstoffgehalte von der ersten zur dritten Versuchsperiode ab. In der ersten Versuchsperiode betrug der Versuchsmittelwert 2,48 %, in der zweiten 2,09 % und in der dritten 1,70 %. Gemäß Angaben von REUTER (1986) ist die N-Konzentration der ersten Versuchsperiode als „*marginal*“ einzustufen. Die N-Konzentrationen der Maispflanzen in der zweiten und dritten Versuchsperiode waren demnach „*deficient*“ (s. Tab.13). Die unten wiedergegebene Beurteilung der N-Konzentration in Maispflanzen ist für die Orientierung unter konventionellen Anbaubedingungen, also bei Einsatz von mineralischem N-Dünger, gedacht und deshalb nicht ohne Weiteres auf die Bedingungen organischen Anbaus in der kleinbäuerlichen Landwirtschaft zu übertragen. Trotzdem kann den Angaben aus Tab.13 entnommen werden, dass sich die N-Konzentration des Mais zu Beginn des Versuches in einem unteren Versorgungsbereich befand („*marginal*“ nach REUTER 1986) und mit den eingesetzten Mitteln bei keiner Variante in diesem Bereich stabil gehalten werden konnte (s. Tab.12).

Tab. 13: Beurteilung der N-Konzentration von Maispflanzen unter subtropischen Bedingungen (nach REUTER 1986).

Interpretation of the N-Concentration in maize plants under subtropical conditions (according to REUTER 1986).

<i>Wachstums- phase</i>	<i>Defizitär (%)</i>	<i>Marginal (%)</i>	<i>Kritisch (%)</i>	<i>Angemessen (%)</i>	<i>Hoch (%)</i>	<i>Toxisch (%)</i>
60-70 DAS	< 2,4	2,4 – 2,7	2,7 – 3,0	3,0 – 3,5	3,5 – 3,75	> 3,75

3.1.3 Trockenmassezunahme und N-Aufnahme des Mais

Der Mais hatte eine Entwicklungszeit von 110 Tagen in der zweiten und von 151 Tagen in der dritten Versuchsperiode. Die durchschnittliche Sprosstrockenmasse zum Zeitpunkt der Ernte betrug in der zweiten Versuchsperiode 7,7 t * ha⁻¹ und in der dritten 7,2 t * ha⁻¹.

Die Entwicklung von Sprosstrockenmasse und N-Aufnahme des Maisreinbestandes (Rotation) war zu Beginn der zweiten Versuchsperiode deutlich stärker als die der anderen Varianten. Mit 0,93 t * ha⁻¹ war die Sprosstrockenmasse des Reinbestandes deutlich größer als die der anderen Varianten mit Werten zwischen 0,45 und 0,63 t * ha⁻¹ (Tab. 14). Dieser Sachverhalt kann durch eine hohe Vorfruchtwirkung des Augenbohnen-Reinbestandes, der in der ersten Versuchsperiode auf der Parzelle gestanden hatte, erklärt werden (FRANKE 1995, CARSKY *et al.* 2001, AHIABOR *et al.* 2007). Die

Menge der Erntereste des Augenbohnenreinbestandes war etwa doppelt so groß, wie in den Mischanbauvarianten ohne Gründüngung. Über die größeren Mengen an Ernteresten des Augenbohnenreinbestandes gelangten entsprechend größere Mengen an Stickstoff in den Boden. Dementsprechend wies der Maisreinbestand zur zweiten Zeiternte (43 DAS¹⁶) eine erheblich höhere N-Aufnahme auf als die anderen Varianten. Mit 17,4 kg N * ha⁻¹ war diese fast doppelt so hoch wie der Mittelwert der Mischanbauvarianten mit 9,7 kg N * ha⁻¹ (Tab. 14).

Tab. 14: Trockenmasse und N-Aufnahme des Mais zu Beginn (43 DAS) der zweiten Versuchsperiode.

Dry matter and nitrogen uptake at the beginning of the second experimental period. TM = dry matter, N = nitrogen uptake.

Behandlung	Trockenmasse (TM) und N-Aufnahme (kg*ha⁻¹)							
	Mulchen		Einarbeiten		Referenzvariante n ¹⁷ / Mittelwerte		Grenzdifferenz ¹⁸	
Zweite Versuchsperiode, zweite Zeiternte	TM	N	TM	N	TM	N	TM	N
Mono	----	----	----	----	601	10,6	----	----
R II	----	----	----	----	933	17,4	----	----
Mischanbau								
ohne Gründüngung	470	8,1	634	11,6	552	9,8	249	4,8
einreihige Gründüngung	619	10,8	453	8,9	536	9,8		
zweireihige Gründüngung	581	10,3	493	8,8	537	9,6		
Mittelwerte	557	9,7	527	9,8	<u>542</u>	<u>9,7</u>	144	2,8
Grenzdifferenz ¹⁹	304	5,8	304	5,8	215	4,1	----	----

Auch zum Ende der Entwicklung der zweiten Versuchsperiode und während der dritten Versuchsperiode waren die Trockenmasse-Werte des Reinbestandes höher als die der anderen Varianten, der Unterschied fiel aber insbesondere im Vergleich mit den Varianten, die eine doppelreihige Gründüngung erhalten hatten, nicht so deutlich aus. Alle erfassten Trockenmasse- und N-Aufnahme-Werte sind im Tabellenanhang (ab Seite 131) wiedergegeben.

Der faktorielle Teil des Feldversuches wies während der zweiten Versuchsperiode im Hinblick auf die Entwicklung der Trockenmasse und die N-Aufnahme des Mais keine signifikanten Unterschiede auf. Es konnte jedoch eine zeitliche Verzögerung der Mineralisierung bei Mulchen im Vergleich mit Einarbeiten der Gründüngung beobachtet werden (Abb. 12).

16 Days After Sowing

17 Als Referenzvarianten werden hier die statistisch nicht ausgewerteten Varianten Mono und R II bezeichnet.

18 Grenzdifferenzen (Irrtumswahrsch. $\alpha = 5\%$) der Werte für „Mulchen“ und „Einarbeiten“ in der jeweiligen Zeile.

19 Grenzdifferenzen (Irrtumswahrsch. $\alpha = 5\%$) der Werte für „ohne Gründüngung“ „einreihige Gründüngung“ und „zweireihige Gründüngung“ in der jeweiligen Spalte.

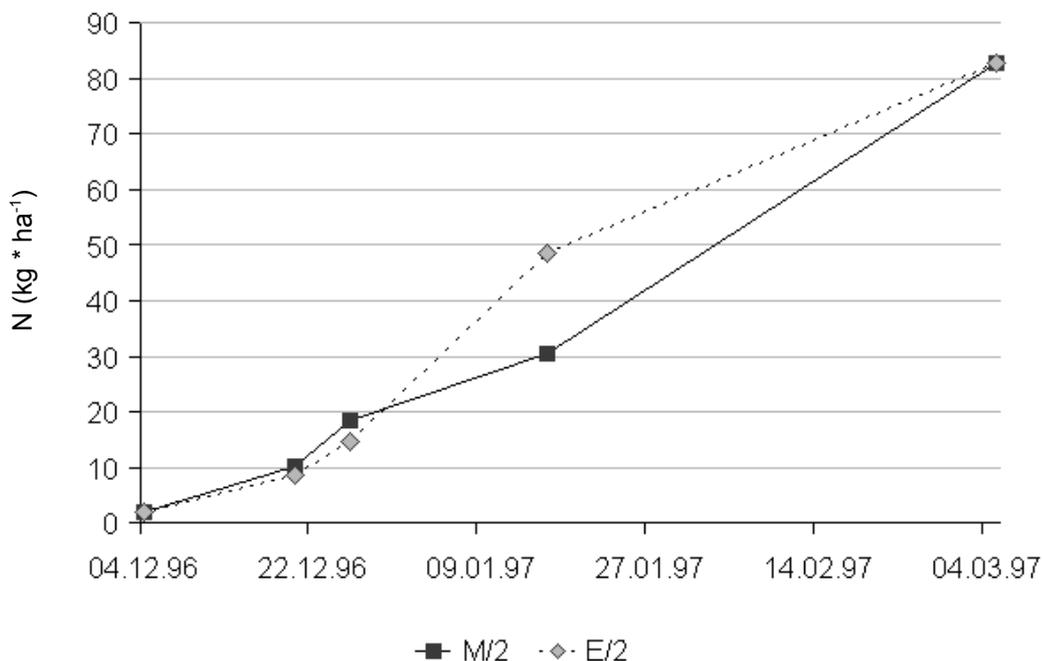


Abb. 12: N-Aufnahme des Mais während der zweiten Versuchsperiode.

M/2 = Mulchen doppelreihiger Gründüngung, E/2 = Einarbeiten doppelreihiger Gründüngung.

N-uptake of maize during the second experimental period. M/2 = double-row mulching of green manure, E / 2 = double-row incorporation of green manure.

Die Gründüngung war am 08.01.1997 erfolgt, also zwischen der dritten und der vierten Zeiternte. In diesem Zeitraum nahm die N-Aufnahme der Variante mit Einarbeiten doppelreihiger Gründüngung um über 200 % von 14,8 auf 48,7 kg * ha⁻¹ zu. Im gleichen Zeitraum nahm die N-Aufnahme der Variante mit Mulchen doppelreihiger Gründüngung nur um etwa 70 % zu (von 18,5 auf 30,6 kg * ha⁻¹). Zwischen dem vierten und dem fünften Termin kehrten sich die Verhältnisse im Hinblick auf den Anstieg der N-Aufnahme um: M/2 nahm um 170 % zu, während E/2 nur um 65 % zunahm. Zur Ernte war die N-Aufnahme beider Varianten gleich und betrug 83 kg * ha⁻¹. Zwischen Gründüngung und der vierten Zeiternte lagen lediglich acht Tage. Diese Zeit reichte offensichtlich für die Mineralisierung und Aufnahme des Gründüngerstickstoffs aus, sofern dieser eingearbeitet worden war. Ein ähnlich kurzer Zeitraum für Mineralisierung und Aufnahme von N nach Einarbeiten doppelreihiger Gründüngung wurde auch bereits bei der Blattanalyse in der ersten Versuchsperiode (s. Kap. 3.1.2) beobachtet. Wurde das Gründüngungsmaterial gemulcht, so fanden Mineralisierung und Aufnahme des N mit einer Verzögerung statt, denn die in größerem zeitlichen Abstand zur Gründüngung durchgeführten Blattanalyse der zweiten und dritten Versuchsperiode ergaben keine Wechselwirkungen aufgrund der Gründüngungstechnik mehr (s. S. 44).

Diese Ergebnisse decken sich mit den Angaben von THÖNISSEN *et al.* (2000) die eine deutlich

schnellere Mineralisierung und N-Freisetzung nach Einarbeiten verglichen mit Mulchen feststellten. Die dritte Versuchsperiode begann im Juni. Ihre erste Hälfte lag in der Trockenzeit. In der Trockenzeit des Jahres 1997 fiel im Vergleich mit dem zehnjährigen Mittel ungewöhnlich wenig Niederschlag. Von Anfang April bis Anfang September betrug die Niederschlagsmenge weniger als 50 mm pro Monat (Abb. 3, S. 7). Im zehnjährigen Mittel waren nur in den Monaten Juli und August die Niederschlagsmengen so gering. Aufgrund der geringen Niederschlagsmengen gingen die zur Bewässerung zur Verfügung stehenden Wasservorräte im August zur Neige. Dies führte in der Zeit von Mitte August bis Mitte September zu einer Stagnation sowohl der Trockenmassezunahme als auch der N-Aufnahme des Mais (Abb. 13).

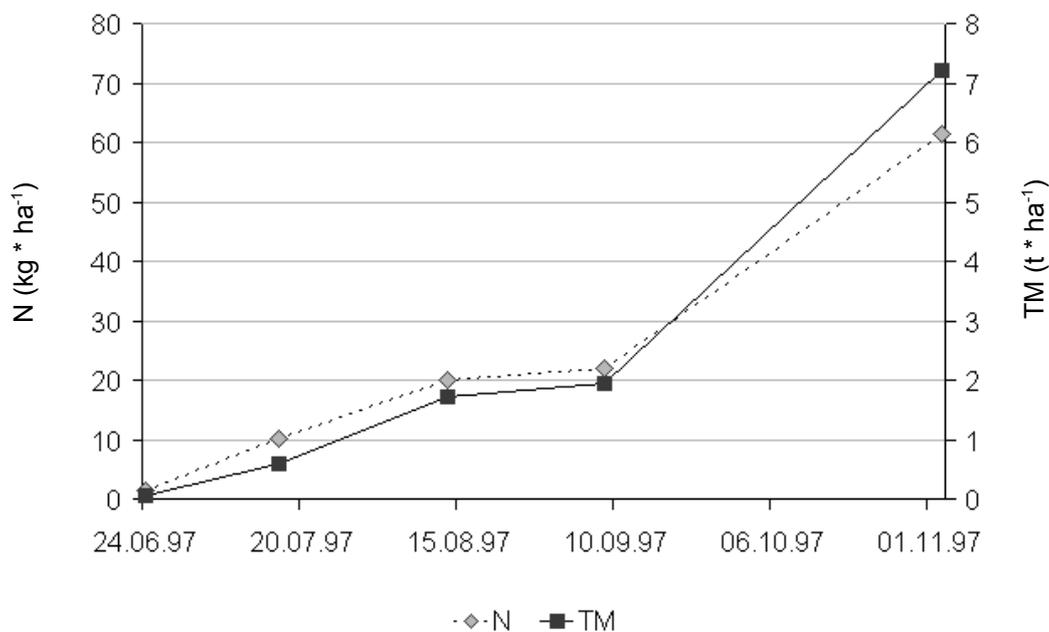


Abb. 13: Trockenmasse und N-Aufnahme²⁰ während der dritten Versuchsperiode.

TM = Trockenmasse, N = Stickstoffaufnahme

Dry matter and nitrogen uptake²¹ during the third experimental period. TM = dry matter, N = nitrogen uptake.

In der dritten Versuchsperiode wurden signifikante Effekte der Gründüngung auf die N-Aufnahme festgestellt (Tab. 15): In den Varianten mit Mulchen der Gründüngung war die N-Aufnahme von Mais mit doppelreihiger Gründüngung zu Beginn der dritten Versuchsperiode (zweite Zeiternte) signifikant höher als diejenige von Mais mit einreihiger Gründüngung. Bei Einarbeiten der Gründüngung wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt. Da zu dem Zeitpunkt die

²⁰ Mittelwerte der Mischbauvarianten

²¹ Mean values of intercropping-treatments.

Gründung der dritten Versuchsperiode noch gar nicht durchgeführt worden war handelte es sich zu diesem Zeitpunkt um Vorfrucheffekte des Gründungs mulch der zweiten Versuchsperiode. Auch dieser Sachverhalt deutet darauf hin, dass die Mineralisierung der Gründung durch das Mulchen zeitlich verzögert war, so dass die dadurch freigesetzten N-Mengen zu einer höheren N-Aufnahme des Mais zu Beginn der dritten Versuchsperiode führten.

Tab. 15: N-Aufnahme des Mais zu Beginn und zum Ende der dritten Versuchsperiode.

a, b: Kennzeichnung signifikanter Unterschiede (s. Kap. 3.1.2, S. 42).

Nitrogen uptake at the beginning and at the end of the third experimental period. Indicators a, b mark significant differences.

Behandlung	N-Aufnahme (kg*ha⁻¹)			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten ²² / Mittelwerte	Grenzdifferenz ²³
Dritte Versuchsperiode, zweite Zeiternte				
Mono	----	----	10,87	----
R I	----	----	10,57	----
Mischanbau				
ohne Gründung	11,11ab	9,69	10,40	5,13
einreihige Gründung	6,31b	8,87	7,59	
zweireihige Gründung	13,63a	10,81	12,22	
Mittelwerte	10,35	9,79	<u>10,07</u>	2,96
Grenzdifferenz ²⁴	6,25		4,42	----
Dritte Versuchsperiode, fünfte Zeiternte				
Mono	----	----	59,0	----
R I	----	----	71,6	----
Mischanbau				
ohne Gründung	54,2	56,6	55,4b	12,7
einreihige Gründung	63,3	52,2	57,7b	
zweireihige Gründung	70,4	73,9	72,2a	
Mittelwerte	62,6	60,9	<u>61,8</u>	7,3
Grenzdifferenz ²⁴	15,5		10,9	----

Es wurde jedoch nicht nur der beschriebene Wechselwirkungseffekt der Gründung aus der zweiten Versuchsperiode auf die Jugendentwicklung des Mais der dritten Versuchsperiode festgestellt, sondern auch ein Haupteffekt der Gründung auf die N-Aufnahme des Mais zum

²² Als Referenzvarianten werden hier die statistisch nicht ausgewerteten Varianten Mono und R I bezeichnet.

²³ Bezieht sich auf die Felder der Spalten „Mulchen“ und „Einarbeiten“ jeweils in der aktuellen Zeile

²⁴ Grenzdifferenzen (Irrtumswahrsch. $\alpha = 5\%$) der Werte für „ohne Gründung“ „einreihige Gründung“ und „zweireihige Gründung“ in der jeweiligen Spalte.

Ende der dritten Versuchsperiode (fünfte Zeiternte, Tab. 15): Varianten mit doppelreihiger Gründüngung wiesen eine signifikant höhere N-Aufnahme ($72 \text{ kg} * \text{ha}^{-1}$) auf als Mischbauvarianten ohne Gründüngung ($55 \text{ kg} * \text{ha}^{-1}$) oder mit einreihiger Gründüngung ($58 \text{ kg} * \text{ha}^{-1}$).

3.1.4 Teilzusammenfassung

- Der **prozentuale Anteil luftbürtigen Stickstoffs** an der Stickstoffaufnahme der Leguminosen betrug im Durchschnitt aller Versuchsperioden und Varianten 76 %. Der Anteil luftbürtigen Stickstoffs war in der ersten Versuchsperiode als Folge vorhergehender Brache und dadurch bedingt hoher N-Verfügbarkeit mit durchschnittlich 71 % deutlich niedriger als in den folgenden Versuchsperioden mit 81 bzw. 80 % (Versuchsfrage 1).
- Die absoluten **Mengen fixierten Stickstoffs** in den zur Gründüngung verwendeten Leguminosen unterschieden sich nicht wesentlich. Dem Mais wurden bei doppelreihiger Gründüngung mit Augenbohnen durchschnittlich $32 \text{ kg} * \text{ha}^{-1}$ (erste Versuchsperiode) und bei Gründüngung mit Schwertbohnen $26 \text{ kg} * \text{ha}^{-1}$ zugeführt. Die Menge fixierten Stickstoffs zum Zeitpunkt der Ernte war jedoch bei Schwertbohnen um ein Vielfaches höher als bei Augenbohnen. Sie betrug bei Augenbohnen im Schnitt $19 \text{ kg} * \text{ha}^{-1}$ (erste Versuchsperiode) und bei Schwertbohnen $148 \text{ kg} * \text{ha}^{-1}$ (Versuchsfrage 1).
- In allen 3 Versuchsperioden konnte durch doppelreihige Gründüngung eine signifikante Erhöhung der **Stickstoffversorgung des Mais** im Vergleich zum Mischbau ohne Gründüngung festgestellt werden. Jedoch waren die durch die Gründüngung zugeführten N-Mengen trotzdem nicht ausreichend, um die Versorgung auf einem ausreichend hohen Niveau zu halten. So war zu Beginn der dritten Versuchsperiode durch eine Blattanalyse bei allen Varianten ein leichter N-Mangel festzustellen (Versuchsfragen 2 und 3).
- Der in Rotation nach Augenbohnen angebaute Maisreinbestand wies zu Beginn der zweiten Versuchsperiode knapp doppelt so hohe Mengen an Trockenmasse und N-Aufnahme wie die Mischbauvarianten auf. Eine hohe Vorfruchtwirkung des Augenbohnenreinbestandes der ersten Versuchsperiode hatte somit einen positiven Effekt auf die **Jugendentwicklung** des nachfolgenden Maisreinbestandes (Versuchsfrage 4).
- Doppelreihige Gründüngung erhöhte zum Ende der dritten Versuchsperiode die **N-Aufnahme von Mais** signifikant gegenüber den Mischbauvarianten ohne Gründüngung oder mit einreihiger Gründüngung, unabhängig davon, ob diese gemulcht oder eingearbeitet wurde (Versuchsfrage 4).
- In mehreren Fällen wurden Wechselwirkungen der Versuchsfaktoren “Gründüngungsmenge” und “Gründüngungstechnik” festgestellt, die auf eine unterschiedliche **Mineralisierungs-**

geschwindigkeit von gemulchter und eingearbeiteter Gründüngung hindeuteten. Einarbeiten doppelreihiger Gründüngung bspw. führte bereits sieben Tage nach der Applikation zu signifikant erhöhten Stickstoffgehalten in Maisblättern verglichen mit Mischanbau ohne Gründüngung. Wurde die doppelreihige Gründüngung gemulcht, so erfolgte eine erhöhte N-Aufnahme durch die Maispflanzen mit einer zweiwöchigen Verzögerung (Versuchsfrage 2).

3.2 Kornerträge und Effizienz der Flächennutzung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse bzgl. der leistungsorientierten Parameter dargestellt.

3.2.1 Kornertrag Mais

Der Maiskornertrag betrug bei den Mischbauvarianten während der ersten Versuchsperiode durchschnittlich $3,2 \text{ t} * \text{ha}^{-1}$ (Tab. 16). Nachdem er in der zweiten Versuchsperiode mit $3,1 \text{ t} * \text{ha}^{-1}$ nur geringfügig geringer war, nahm er in der dritten Versuchsperiode stark ab und betrug nur noch $1,7 \text{ t} * \text{ha}^{-1}$.

Der Kornertrag der Mais-Monokultur entwickelte sich über die gesamte Versuchsdauer gesehen ähnlich wie der mittlere Kornertrag der Mischbauvarianten: Er betrug in der ersten Versuchsperiode $3,4 \text{ t} * \text{ha}^{-1}$, in der zweiten $3,1 \text{ t} * \text{ha}^{-1}$ und dritten $1,9 \text{ t} * \text{ha}^{-1}$.

Der Kornertrag von Mais, der in Rotation mit den Leguminosen angebaut wurde, hatte eine andere Entwicklung: Während der ersten Versuchsperiode betrug er $3,2 \text{ t} * \text{ha}^{-1}$. Er war demnach ebenso hoch wie der mittlere Kornertrag der Mischbauvarianten. In der zweiten Versuchsperiode betrug der Kornertrag des Rotations-Mais $3,9 \text{ t} * \text{ha}^{-1}$ und war damit ca. $0,8 \text{ t} * \text{ha}^{-1}$ oder 26 % größer als der Kornertrag der Monokultur bzw. der mittlere Kornertrag der Mischbauvarianten. Auch der Kornertrag des in Rotation angebauten Mais war in der dritten Versuchsperiode mit $2,8 \text{ t} * \text{ha}^{-1}$ beträchtlich geringer als der der Vorperiode, aber immer noch etwa $0,9 \text{ t} * \text{ha}^{-1}$ größer als der Kornertrag der Monokultur bzw. der Mittelwert der Mischbauvarianten.

Während der ersten beiden Versuchsperioden waren die Ergebnisse des vorliegenden Feldversuchs deutlich oberhalb des mit $2,4 \text{ t} * \text{ha}^{-1}$ angegebenen brasilianischen Mittelwertes für den Maiskornertrag des Jahres 1996 (MENG & EKBOIR 2000). In der dritten Versuchsperiode lagen die Werte der Monokultur und diejenigen der Mischbauvarianten mit Ausnahme des Mischbau mit doppelreihiger Gründung ($2,5 \text{ t} * \text{ha}^{-1}$) unter dem brasilianischen Durchschnitt. Die Erträge der Rotationsvariante waren in allen drei Versuchsperioden höher als der brasilianische Durchschnitt.

Zum deutlichen Rückgang des Maiskornertrags in der dritten Versuchsperiode trugen offensichtlich zwei Faktoren bei:

- Die dritte Versuchsperiode erstreckte sich von Mai 1997 bis Januar 1998. Während der Monate von Mai bis August 1997 kam es zu einer ungewöhnlich lang andauernden Trockenzeit mit minimalen Niederschlagsmengen. Der Wasservorrat für die Bewässerung erschöpfte sich gegen Ende dieser Zeitspanne und die nur begrenzt verfügbare Bewässerungsmenge wurde bereits einige Zeit vorher reduziert. Dies führte zu einer

Stagnation des Wachstums bei Mais und den gemeinsam angebauten Schwertbohnen (s. 3.1.3, S. 48).

- Aus dem starken Befall der Augenbohnen mit *Cerotoma arcuata* und *Diabrotica speciosa* in der zweiten Versuchsperiode resultierte eine stark beeinträchtigte Entwicklung der Augenbohnen. Entsprechend gering fielen die in der zweiten Versuchsperiode auf den Parzellen verbliebenen Erntereste und die damit einhergehende Stickstoffzufuhr aus. Auch die Gründung der dritten Versuchsperiode konnte den Mangel an N nicht ausgleichen, insbesondere deshalb weil das Massenwachstum der Schwertbohnen zum Zeitpunkt der Gründung noch nicht eingesetzt hatte. Aus diesen Rahmenbedingungen resultierte eine unzureichende Stickstoffversorgung der Maispflanzen in der dritten Versuchsperiode (Kap. 3.1.2, S. 45).

Die unterschiedliche Ertragsentwicklung der Mischbauvarianten auf der einen Seite und der Rotation auf der anderen Seite kann sowohl durch die Vorfruchteffekte der Leguminosen in Reinkultur als auch durch die geringere Inanspruchnahme der Ressourcen bei Rotation erklärt werden: Insbesondere die Augenbohnen, die ja während der ersten beiden Versuchsperioden gemeinsam mit dem Mais oder in Reinkultur angebaut wurden, entwickelten sich in Reinkultur wesentlich stärker als bei gemeinsamem Anbau mit Mais. Dieser Sachverhalt hatte zur Folge, dass bei alleinigem Anbau der Augenbohnen wesentlich größere Mengen an Ernteresten auf dem Feld verblieben als bei Mischbau. Daraus resultierte eine höhere N-Zufuhr und ein insgesamt höherer Vorfruchtwert. Ein Indiz dafür ist die deutliche Erhöhung des Maiskornertrages nach Augenbohnen in der zweiten Versuchsperiode. Außerdem muss beim Vergleich der absoluten Ertragshöhen von Maiskörnern pro Hektar zwischen Rotation und Mischbau natürlich berücksichtigt werden, dass die Ressourcen, die sich Mais und Augenbohnen bei gemeinsamem Anbau teilten, bei alleinigem Anbau von Mais diesem ausschließlich zur Verfügung standen.

Im Hinblick auf die Mischbauvarianten geht aus Tab. 16 hervor, dass der Kornertrag des Mais bei doppelreihiger Gründung in allen drei Versuchsperioden höher war als derjenige von Mischbau ohne Gründung oder von Mischbau mit einreihiger Gründung. In der ersten Versuchsperiode kam es nur dann zu einer signifikanten Steigerung (32 %) des Kornertrags von Mischbau mit doppelreihiger Gründung gegenüber Mischbau ohne Gründung, wenn zuvor die Gründung eingearbeitet worden war.

Tab. 16: Kornerträge des Mais der Versuchsperioden eins bis drei.

a, b: Kennzeichnung signifikanter Unterschiede (s. Kap. 3.1.2, S. 42).

Grain yield of maize in the experimental periods one to three. Indicators a, b mark significant differences.

<i>Behandlung</i>	<i>Kornertrag Mais (t*ha⁻¹)</i>			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten ²⁵ / Mittelwerte	Grenzdifferenz ²⁶
Erste Versuchsperiode				
Mono	----	----	3,37	----
R I	----	----	3,23	----
Mischanbau				
ohne Gründung	3,12	2,78b	2,95	0,56
einreihige Gründung	3,30	2,93b	3,11	
zweireihige Gründung	3,18	3,68a	3,43	
Mittelwerte	3,20	3,13	<u>3,16</u>	0,32
Grenzdifferenz ²⁷	0,68		0,48	0,00
Zweite Versuchsperiode				
Mono	----	----	3,11	----
R II	----	----	3,91	----
Mischanbau				
ohne Gründung	2,57	3,04	2,81	0,11
einreihige Gründung	3,22	2,72	2,97	
zweireihige Gründung	3,44	3,64	3,54	
Mittelwerte	3,08	3,13	<u>3,11</u>	0,61
Grenzdifferenz ²⁷	1,28		0,90	----
Dritte Versuchsperiode				
Mono	----	----	1,92	----
R I	----	----	2,75	----
Mischanbau				
ohne Gründung	1,40	1,33	1,37b	0,59
einreihige Gründung	1,30	1,42	1,36b	
zweireihige Gründung	2,32	2,60	2,46a	
Mittelwerte	1,67	1,78	<u>1,73</u>	0,34
Grenzdifferenz ²⁷	0,72		0,51	----

25 Als Referenzvarianten werden hier die statistisch nicht ausgewerteten Varianten Mono, R I und R II bezeichnet.

26 Grenzdifferenzen (Irrtumswahrsch. $\alpha = 5\%$) der Werte für „Mulchen“ und „Einarbeiten“ in der jeweiligen Zeile.27 Grenzdifferenzen (Irrtumswahrsch. $\alpha = 5\%$) der Werte für „ohne Gründung“, „einreihige Gründung“ und „zweireihige Gründung“ in der jeweiligen Spalte.

In der zweiten und dritten Versuchsperiode steigerte doppelreihige Gründüngung den Kornertrag des Mais unabhängig von der Gründüngungstechnik. Die Erhöhung des Kornertrags in der dritten Versuchsperiode war signifikant und betrug 80 % des Kornertrages der Variante „Mischanbau ohne Gründüngung“. In der zweiten Versuchsperiode war der Ertrag von Mischanbau mit doppelreihiger Gründüngung 26 % höher als Mischanbau ohne Gründüngung. Aufgrund einer hohen Standardabweichung konnte diese Ertragssteigerung jedoch statistisch nicht abgesichert werden.

In einem Versuch zur Nutzung von Soja als Gründüngung für den gemeinsam als Mischungspartner aufwachsenden Mais stellten PANDEY & PENDLETON (1986) eine signifikante Zunahme des Maiskornertrags um $0,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ fest. Ähnlich wie in der vorliegenden Arbeit wurde dabei eine doppelreihige Gründüngung mit Soja-Sprossmasse in den wachsenden Maisbestand appliziert und oberflächlich eingearbeitet.

Eine in der ersten Versuchsperiode festgestellte Wechselwirkung zwischen Gründüngungsmenge und -technik bestätigt das unter Kapitel 3.1.2 auf Seite 42 dargestellte Ergebnis der Blattanalyse aus der ersten Versuchsperiode: Die Gründüngung hatte dann einen signifikanten Effekt auf den Kornertrag der aktuellen Versuchsperiode, wenn sie eingearbeitet wurde. Wenn sie als Mulchauflage belassen wurde unterschieden sich die Kornerträge des Mais nicht signifikant. Wie bereits in Kap. 3.1.3 (S.45) erläutert, dauerten die Prozesse der Mineralisierung und der N-Aufnahme bei Mulchen der Gründüngung zu lange, um eine signifikante Auswirkung auf den Kornertrag der aktuellen Versuchsperiode zu haben. Diese Beobachtung deckt sich mit Ergebnissen einer Untersuchung von THÖNNISSEN *et. al* (2000): Während einer Dauer von bis zu sechs Wochen nach Durchführen einer Gründüngung wurde ein signifikanter Unterschied zwischen Mulchen und Einarbeiten der Gründüngung hinsichtlich der Mineralisierung festgestellt.

Die Tatsache, dass das Einarbeiten der Gründüngung einen signifikanten Einfluss nicht nur auf die N-Gehalte in den Maisblättern zum Zeitpunkt der Maisblüte, sondern auch auf den Kornertrag hatte, unterstreicht, dass einer zeitlich synchronisierten N-Versorgung des Mais im Stil einer Kopfdüngung eine Bedeutung zukommt, die über die allgemeine Bedeutung der N-Verfügbarkeit (ohne Zeitbezug, im Sinne einer ausgeglichenen oder positiven N-Bilanz) hinausgeht. Auch durch Mulchen der Gründüngung wurde N zur Verfügung gestellt. Durch eine langsamere Mineralisierung erfolgte dies aber in einer späteren Entwicklungsphase und ein signifikanter, ertragswirksamer Effekt blieb in der ersten Versuchsperiode aus.

Im Unterschied zur ersten Versuchsperiode wurde in der zweiten und dritten Versuchsperiode keine Wechselwirkung der Versuchsfaktoren festgestellt. Die Varianten mit doppelreihiger Gründüngung wiesen sowohl bei Mulchen als auch bei Einarbeiten einen höheren Kornertrag auf. Für das Fehlen

der in der ersten Versuchsperiode festgestellten Wechselwirkung der Versuchsfaktoren gibt es mehrere mögliche Gründe:

- Da Temperaturen und Luftfeuchtigkeit in der zweiten Versuchsperiode (Sommer) wesentlich höher waren als in der ersten (Winter), sind Mineralisierung und N-Aufnahme mglw. schneller erfolgt. Darauf deuten die Ergebnisse von Kapitel 3.1.3 auf Seite 47 hin: Im Bezug auf den N-Gehalt der Maisblätter konnte eine Woche nach der Gründung eine Wechselwirkung der Versuchsfaktoren festgestellt werden, nach zwei Wochen bereits nicht mehr.
- Es deutet einiges darauf hin, dass die N-Nachlieferung aus den Mulchvarianten wesentlich länger anhielt, als diejenige aus den Varianten mit Einarbeitung der Gründüngung. Möglicherweise war der Unterschied der N-Aufnahme und aller damit in Zusammenhang stehenden Größen zwischen M/2 und E/2 in der zweiten Versuchsperiode nicht so groß wie in der ersten, da bei M/2 noch eine Nachlieferung von N aus der Gründüngung der ersten Versuchsperiode erfolgte (der Versuch wurde in ca. eineinhalb Jahren dreimal durchgeführt). Im Rahmen einer Untersuchung zur N-Freisetzung aus eingearbeiteter Leguminosen-Sprossmasse fand CARSKY (1989) unter ähnlichen klimatischen Bedingungen Freisetzungsraten zwischen 40 und 85 % in 152 Tagen. D. h., dass nach diesem Zeitraum je nach Leguminosenart noch nennenswerte Mengen an N-Freisetzung zu erwarten waren. Das C/N-Verhältnis war dabei negativ mit der N-Freisetzung korreliert. Das Bestimmtheitsmaß betrug 0,65. Schwertbohnen (C/N = 15,0) wiesen in dieser Untersuchung die höchste Freisetzungsraten auf.

Durch einreihige Gründüngung wurden die Kornerträge des Mais nicht oder nur geringfügig erhöht. In der ersten und der dritten Versuchsperiode war der Kornertrag von Mischanbau mit doppelreihiger Gründüngung signifikant höher als derjenige von Mischanbau mit einreihiger Gründüngung.

Doppelreihige Gründüngung hatte nicht nur Einfluss auf die Höhe des Kornertrages, sondern auch auf die Qualität der Maiskolben und auf die prozentuale Verteilung des Kornertrages auf die mittels optischer Bonitur gebildeten Qualitätsklassen (zur Klassifizierung der Maiskolben nach Qualitätsmerkmalen s. Kap. 2.3.1, S. 22).

Der prozentuale Anteil des von Kolben hoher Qualität stammenden Kornertrags am gesamten Kornertrag (nachfolgend: Ertragsanteil) wies in allen drei untersuchten Versuchsperioden signifikante Wechselwirkungen der Faktoren „Gründüngungsmenge“ und „Gründüngungstechnik“ auf: Während der ersten beiden Versuchsperioden nahm der Ertragsanteil von Kolben hoher Qualität dann signifikant zu, wenn die Gründüngung eingearbeitet wurde, nicht jedoch, wenn sie als

Mulchauflage belassen wurde. In der dritten Versuchsperiode kam es nur bei den Mulchvarianten zu einer signifikanten Zunahme des von Kolben hoher Qualität stammenden Ertragsanteils (Tab. 17).

Der Ertragsanteil von Kolben mittlerer Qualität wies in keiner der drei untersuchten Versuchsperioden signifikante Unterschiede auf. Er wurde nicht wesentlich durch die Versuchsfaktoren beeinflusst. Aus diesem Grund sind die entsprechenden Werte nicht in Tab. 17 dargestellt. Sie können jedoch im Anhang nachgeschlagen werden (Tabellenanhang 23, S. 142).

Der Ertragsanteil von Kolben niedriger Qualität wies in der ersten und in der dritten Versuchsperiode signifikante Wechselwirkungen der Versuchsfaktoren auf: In der ersten Versuchsperiode nahm er ab, wenn die Gründüngung eingearbeitet wurde, nicht jedoch, wenn sie als Mulchauflage auf der Oberfläche verblieb. In der dritten Versuchsperiode war die Wechselwirkung umgekehrt: Die Abnahme des Ertragsanteils von Kolben niedriger Qualität war nur bei den Varianten signifikant, bei denen die Gründüngung als Mulchauflage verblieb, jedoch nicht bei denjenigen Varianten, bei denen sie eingearbeitet wurde.

In den ersten beiden Versuchsperioden hatte demnach das Einarbeiten doppelreihiger Gründüngung einen signifikant positiven Einfluss auf die Ausbildung der Maiskolben und auf die Verteilung des Kornertrages auf die Qualitätsklassen. Da zwischen dem Zeitpunkt der Gründüngung (Maisblüte) und der Kornanlage nur ein kurzer Zeitraum von ca. zwei Wochen lag, bedeutet dieses Ergebnis, dass die Gründüngung sehr schnell in einem signifikanten Umfang mineralisiert wurde und so zur Zeit der Kornanlage genügend N aus der eingearbeiteten Gründüngung aufgenommen worden war, um einen positiven Effekt auf diesen Prozess zu haben. Diese Feststellung deckt sich mit den Ergebnissen bzgl. der N-Versorgung des Mais, da Einarbeiten doppelreihiger Gründüngung zu einer signifikanten Erhöhung des N-Gehaltes der Maisblätter bereits 7 bis 14 Tage nach Durchführen der Gründüngung führte (Kap. 3.1.2, S. 42).

Tab. 17: Verteilung des Maiskornertrags in Abhängigkeit von der Gründüngungsmenge.

a, b: Kennzeichnung signifikanter Unterschiede (s. Kap. 3.1.2, S. 42).

Distribution of maize grain yield depending on the amount of green manure applied. Indicators a, b mark significant differences.

Behandlung	Anteil am gesamten Maiskornertrag: Kornertrag von							
	Kolben hoher Qualität (%)				Kolben niedriger Qualität (%)			
	Mul- chen	Einar- beiten	Ref. var. ²⁸ / MW	Grenz- dif- ferenz ²⁹	Mul- chen	Einar- beiten	Ref. var. ²⁸ / MW	Grenz- dif- ferenz ²⁹
Erste Versuchsperiode								
Mono	----	----	63	----	----	----	9	----
R I	----	----	57	----	----	----	14	----
Mischanbau								
ohne Gründüngung	47	45b	46	14	20	15b	18	7
einreihige Gründüngung	56	49ab	53		14	18b	16	
zweireihige Gründüngung	51	64a	57		13	7a	10	
Mittelwerte	51	53	<u>52</u>	8	16	14	<u>15</u>	4
Grenzdifferenz ³⁰	17		12	----	8		6	----
Zweite Versuchsperiode								
Mono	----	----	42	----	----	----	24	----
R II	----	----	43	----	----	----	17	----
Mischanbau								
ohne Gründüngung	34	37ab	36	13	32	21	27	15
einreihige Gründüngung	35	34b	34		28	26	27	
zweireihige Gründüngung	42	49a	46		18	20	19	
Mittelwerte	37	40	<u>39</u>	7	26	22	<u>24</u>	8
Grenzdifferenz ³⁰	15		11	----	18		13	----
Dritte Versuchsperiode								
Mono	----	----	11	----	----	----	35	----
R I	----	----	35	----	----	----	20	----
Mischanbau								
ohne Gründüngung	5b	10	8	19	47ab	41	44	21
einreihige Gründüngung	5b	11	8		55b	36	46	
zweireihige Gründüngung	34a	31	33		26a	21	24	
Mittelwerte	15	18	<u>16</u>	11	43	33	<u>38</u>	12
Grenzdifferenz ³⁰	23		16	----	25		18	----

28 Als Referenzvarianten werden hier die statistisch nicht ausgewerteten Varianten Mono, R I und R II bezeichnet.

29 Grenzdifferenzen (Irrtumswahrsch. $\alpha = 5\%$) der Werte für „Mulchen“ und „Einarbeiten“ in der jeweiligen Zeile.30 Grenzdifferenzen (Irrtumswahrsch. $\alpha = 5\%$) der Werte für „ohne Gründüngung“, „einreihige Gründüngung“ und „zweireihige Gründüngung“ in der jeweiligen Spalte.

Das Ergebnis der dritten Versuchsperiode, in der eine Erhöhung des von Kolben hoher Qualität stammenden Ertragsanteils nur bei der Variante mit Mulchen doppelreihiger Gründung beobachtet wurde, ist mglw. auf die lang anhaltende Trockenzeit (von April bis September) im Jahr 1997 zurückzuführen. Die Gründung erfolgte am 12. August. Ab diesem Zeitpunkt stand aufgrund der ungewöhnlich lang anhaltenden Trockenzeit bis zum Wiedereinsetzen der Niederschläge Mitte September kein Wasser für die Beregnung zur Verfügung und aufgrund dieses Wassermangels konnte die Mineralisierung der applizierten Gründung nur eingeschränkt erfolgen. Möglicherweise stand zum Zeitpunkt der Kornanlage des Mais mehr mineralischer Stickstoff aus gemulchter Gründung und Ernteresten der vorangegangenen Versuchsperiode als aus der eingearbeiteten Gründung der aktuellen Versuchsperiode zur Verfügung, ein Sachverhalt, der wiederum zu einer besseren Kornanlage der Varianten mit Mulchen doppelreihiger Gründung geführt haben könnte.

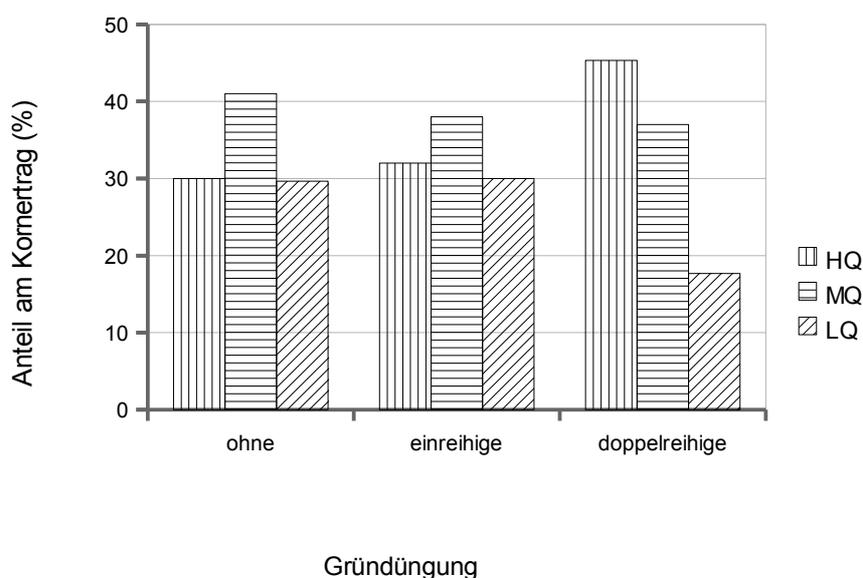


Abb. 14: Verteilung des Maiskornertrages auf Kolben hoher, mittlerer und niedriger Qualität.

HQ = hohe Qualität, MQ = mittlere Qualität, LQ = niedrige Qualität.

Distribution of maize grain yield on cobs of high, medium and low quality. HQ = high quality, MQ = medium quality, LQ = low quality.

Im Durchschnitt aller drei Versuchsperioden resultierten die Behandlungsgruppen „Misanbau ohne Gründung“ und „Misanbau mit einreihiger Gründung“ im Hinblick auf die Verteilung des Kornertrages auf die Kolbenklassen in ähnlichen Ergebnissen (Abb. 14). Der von Kolben hoher und niedriger Qualität stammende Anteil des Kornertrages betrug jeweils etwa 30 %. Der von Kolben mittlerer Qualität stammende Ertragsanteil betrug etwa 40 %. Bei doppelreihiger

Gründüngung hingegen betrug der von Kolben hoher Qualität stammende Ertragsanteil 45 %, derjenige von Kolben mittlerer Qualität stammende 37 % und derjenige von Kolben niedriger Qualität stammende Ertragsanteil betrug 18 %. Auch diese Verteilung belegt, dass durch doppelreihige Gründüngung eine Steigerung des Anteils von Kolben hoher Qualität und gleichzeitig eine Senkung des Anteils von Kolben niedriger Qualität bei gleich bleibendem Anteil von Kolben mittlerer Qualität erreicht wurde. Eine während der Maisblüte ähnlich einer Kopfdüngung applizierte Gründüngung gemeinsam angebaute Leguminosen hatte eine beträchtliche, positive Auswirkung auf die Kolbenqualität des Mais. Dieses Verfahren bietet deshalb insbesondere im Hinblick auf den Anbau von Kolbenmais wesentliche Vorzüge.

Im Rahmen eines Feldversuchs untersuchte CHERR (2004) den Einfluss von Leguminosen-Gründüngung (*Crotalaria juncea*, *Vicia sativa*) auf Entwicklung und Ertrag von Kolbenmais. Die Gründüngung wurde vor der Aussaat des Mais appliziert. Der Autor stellte fest, dass die Wurzellängendichte aufgrund der Gründüngung höher war, als bei einer Kombination von Gründüngung und mineralischer N-Düngung oder bei alleiniger mineralischer N-Düngung. Allerdings erbrachten die Varianten mit mineralischer N-Düngung im Hinblick auf die Ertragsparameter der Maiskolben höhere Erträge als die Gründüngung. CHERR (2004) zog aus diesen Ergebnissen die Schlussfolgerung, dass für eine optimale Kolbenentwicklung die Applikation zusätzlicher Gründüngung oder einer ergänzenden Gabe mineralischen Stickstoffs notwendig ist. Die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Applikation von Gründüngung in der Art einer Kopfdüngung bietet hier bei entsprechenden Rahmenbedingungen eine geeignete Alternative zu einer ergänzenden Gabe mineralischen Stickstoffs.

3.2.2 Kornertrag Leguminosen

In Tab. 18 sind die Augenbohnen-Kornerträge der Versuchsperioden eins und zwei dargestellt. Es wurden nur die Varianten dargestellt, bei denen tatsächlich Augenbohnen geerntet wurden. Mischanbau mit doppelreihiger Gründung wurde nicht aufgeführt, da die gesamte Sprossmasse der Augenbohnen bereits in einem früheren Stadium als Gründung genutzt worden war.

In der ersten Versuchsperiode wurde mit Augenbohnen im Reinbestand (Rotation) ein Kornertrag von 0,66 t * ha⁻¹ erzielt. Bei Mischanbau ohne Gründungsnutzung von Augenbohnen betrug ihr Kornertrag 0,36 t * ha⁻¹. Bei einreihiger Gründung halbierte sich der Ertrag in etwa und es wurden durchschnittlich lediglich 0,17 t * ha⁻¹ erzielt.

Tab. 18: Kornerträge von Augenbohnen in der ersten und zweiten Versuchsperiode.

Grain yield of cowpeas in the first and second experimental period.

<i>Behandlung</i>	<i>Erträge (t*ha⁻¹)</i>		
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten ³¹ / Mittelwerte
Erste Versuchsperiode			
Rotation	----	----	0,66
Mischanbau			
ohne Gründung	0,42	0,30	0,36
einreihige Gründung	0,16	0,19	0,17
Mittelwerte	0,29	0,24	0,27
Zweite Versuchsperiode			
Rotation	----	----	0,04
Mischanbau			
ohne Gründung	0,01	0,01	0,01
einreihige Gründung	0,01	0,01	0,01
Mittelwerte	0,01	0,01	0,01

FRANKE (1997) gab für Augenbohnen ein Ertragsspektrum von 0,30 bis 1,50 t * ha⁻¹ an. Für die im vorliegenden Versuch verwendete Sorte CNC 0434 gaben CAVALCANTE & ATROCH (1995) ein Ertragsniveau von 0,92 t * ha⁻¹ genannt. Als übliches Ertragsniveau für Lateinamerika wurden 0,50 t * ha⁻¹ angegeben. Durchschnittliche Erträge in Brasilien betragen zwischen 0,28 t * ha⁻¹ und 0,45 t * ha⁻¹ und befanden sich somit am unteren Rand des globalen Ertragsspektrums. Diese Zahlen beziehen sich auf Reinbestandserträge. Damit kann der in der ersten Versuchsperiode erzielte Ertrag des Reinbestandes von 0,66 t * ha⁻¹ im regionalen Vergleich als überdurchschnittlich angesehen werden. AGBOOLA & FAYEMI (1971) gaben einen Ertrag von 0,59 t * ha⁻¹ bei Mischanbau von

³¹ Als Referenzvarianten werden hier die Varianten Mono , R I und R II bezeichnet.

Augenbohnen mit Mais an. AHMED & GUNASENA (1979) berichteten, dass bei Versuchen in Nigeria zum Misanbau von Mais und Augenbohnen ohne Düngung von mineralischem Stickstoff ein Ertrag von $0,43 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ erreicht wurde. Auf Hawaii wurde in einem ähnlichen Versuch mit einer Stickstoffdüngung, die 25 % der für die Region üblichen Düngermenge betrug, ein Ertrag von $0,50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ erreicht. Demzufolge war der Ertrag von Misanbau ohne Gründüngung mit $0,36 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ etwas geringer als die in der Literatur berichteten Werte.

Aufgrund des bereits weiter oben erläuterten starken Befalls der Augenbohnen mit den Schädlingen *Cerotoma arcuata* und *Diabrotica speciosa* und des daraus resultierenden Ertragsausfalls in der zweiten Versuchsperiode, wurde in der dritten Versuchsperiode die Schwertbohne als Mischungspartner für Mais eingesetzt.

In Tab. 19 werden die Kornerträge von Schwertbohnen in der dritten Versuchsperiode wiedergegeben. Sie waren erheblich höher als diejenigen der Augenbohnen. Der Reinbestandsertrag (Rotation) betrug $3,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. In der Literatur wird für Schwertbohnen im Reinbestand ein Ertragspektrum von $0,8$ bis $4,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ angegeben (OKONKWO & UDEDIBIE 1991, FRANKE 1997).

Der Kornertrag bei Misanbau ohne Gründüngung betrug $1,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Wurde eine der Reihen zu Gründüngung genutzt, so reduzierte sich zwar der Kornertrag der Schwertbohnen, jedoch halbierte er sich nicht wie es bei den Augenbohnen der Fall war (Tab. 18). Auch mit nur einer Reihe pro Maisreihe wurde noch ein Ertrag von $1,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ erreicht. Es war hier offensichtlich zu einer teilweisen Kompensation der als Gründüngung genutzten Reihe durch eine kräftigere Entwicklung der verbliebenen Pflanzen gekommen. Diese Ertragsdaten deuten darauf hin, dass Schwertbohnen gegenüber Mais konkurrenzkräftiger waren als Augenbohnen.

Tab. 19: Kornertrag von Schwertbohnen während der dritten Versuchsperiode.

Grain yield of jack beans in the third experimental period.

<i>Behandlung</i>	<i>Kornertrag ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)</i>		
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten ³² / Mittelwerte
Dritte Versuchsperiode			
Rotation	----	----	3
Misanbau			
ohne Gründüngung	1,6	1,9	1,7
einreihige Gründüngung	1,3	1,3	1,3
Mittelwerte	1,4	1,6	1,5

32 Als Referenzvarianten werden hier die Varianten Mono, R I und R II bezeichnet.

3.2.3 Effizienz der Flächennutzung

In Tab. 20 sind die LER-Werte der ersten und der dritten Versuchsperiode jeweils als Maß für die Effizienz der Flächennutzung durch die Varianten dargestellt. Die LER-Werte der zweiten Versuchsperiode sind im Tabellenanhang (Tabellenanhang 22 auf S. 141) zu finden. Ihnen wurde aufgrund von äußerst geringen Augenbohnerträgen (Tab. 19, S. 62) und einer hohen Standardabweichung nach dem Befall mit *Cerotoma arcuata* und *Diabrotica speciosa* geringere Bedeutung zugemessen. VANDERMEER (1992) wies darauf hin, dass der LER-Wert in solchen Grenzsituationen an Aussagekraft verliert³³.

Die LER-Werte von Mischbau mit Gründüngung waren nur in der ersten Versuchsperiode größer als eins, in der dritten Versuchsperiode wurden die flächengebundenen Ressourcen durch Mischbau mit Gründüngung weniger effizient genutzt als bei alleinigem Anbau der Kulturen. Mischbau ohne Gründüngung hingegen führte in beiden ausgewerteten Versuchsperioden zu einem Ertragsvorteil des Mischbaus gegenüber dem alleinigen Anbau der Kulturen: Die LER-Werte betrugen zwischen 1,08 und 1,67.

Zahlreiche Autoren stellten fest, dass Mischbau von Mais und Leguminosen zu einem Ertragsvorteil und zu effizienter Nutzung der vorhandenen flächengebundenen Ressourcen führte (AGBOOLA & FAYEMI 1971, WILLEY & OSIRU 1972, RAO & MORGADO 1984, OFORI & STERN 1987, PETER & RUNGE-METZGER 1994, ALTIERI 1999, DAHMARDEH *et al.* 2010).

DAS & MATHUR (zit. in STEINER 1984) stellten beim gemeinsamen Anbau von Mais und Augenbohnen einen LER-Wert von 1,24 fest. OFORI *et al.* (1987) führten einen dreijährigen Feldversuch zum gemeinsamen Anbau von Mais und Augenbohnen mit und ohne Dünger-N Zufuhr durch. Sie ermittelten LER-Werte in der Größenordnung von 1,65 bis 1,73 bei einer Variante ohne N-Düngung. Bei der Variante mit einer N-Gabe von 25 kg * ha⁻¹ war der LER-Wert geringer und betrug zwischen 1,37 und 1,60.

In einem zweijährigen Versuch zur Nutzung von Soja-Sprossmasse als Gründüngung für den gemeinsam als Mischungspartner aufwachsenden Mais stellten PANDEY & PENDLETON (1986) ohne zusätzliche N-Düngung einen LER-Wert von 1,11 fest. Das mit der Soja-Sprossmasse (Wurzelrückstände blieben unberücksichtigt) applizierte N-Düngeräquivalent gaben sie mit

³³ In der zweiten Versuchsperiode war der Augenbohnertrag aufgrund des Schädlingsbefalls ausgesprochen niedrig. Dies lässt sich aber aus der zur Berechnung des LER-Wertes verwendeten Ertragsrelation (Ertrag aus Mischbestand dividiert durch den Ertrag aus Reinbestand, s. Formel auf Seite 25) für die Augenbohnen nicht entnehmen, denn sowohl bei einem Mischbestandsenertrag von 400 kg * ha⁻¹ und einem Reinbestandsenertrag von 600 kg * ha⁻¹ als auch bei einem Mischbestandsenertrag von 30 kg * ha⁻¹ und einem Reinbestandsenertrag von 45 kg * ha⁻¹ ergibt sich eine Ertragsrelation von 0,66. Dabei handelt es sich im ersten Fall um einen Ertragsunterschied von 200 kg * ha⁻¹, im zweiten Fall lediglich um einen Ertragsunterschied von 15 kg * ha⁻¹.

28 kg N * ha⁻¹ an. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden mit der Nutzung von zwei Augenbohnenreihen als Gründung in der ersten Versuchsperiode durchschnittlich 31 kg N * ha⁻¹ appliziert (Tab. 10, S. 38) und es wurde ebenfalls ein LER Wert von durchschnittlich 1,11 ermittelt (Tab. 20).

Tab. 20: Effizienz der Flächennutzung (LER) basierend auf den Kornerträgen des Mais und der Körnerleguminosen in der ersten und dritten Versuchsperiode.

A, B, a, b: Indikatoren zur Kennzeichnung signifikanter Unterschiede (s. Kap. 3.1.2, S. 42).

Land Equivalent Ratio (LER) based on grain yields of maize and legumes in the first and third experimental period. Indicators A, B, a, b mark significant differences.

Behandlung	LER-Wert			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten ³⁴ / Mittelwerte	Grenzdifferenz ³⁵
Erste Versuchsperiode				
Rotation	----	----	1,00	----
Mischanbau				
ohne Gründung	1,67Aa	1,38B	1,52	0,29
einreihige Gründung	1,36ab	1,26	1,31	
zweireihige Gründung	1,03b	1,18	1,11	
Mittelwerte	1,35	1,27	1,31	0,17
Grenzdifferenz ³⁶	0,36		0,25	----
Dritte Versuchsperiode				
Rotation	----	----	1,00	----
Mischanbau				
ohne Gründung	1,08	1,13	1,10a	0,23
einreihige Gründung	0,92	0,99	0,96ab	
zweireihige Gründung	0,85	0,95	0,90b	
Mittelwerte	0,95	1,02	0,99	0,13
Grenzdifferenz ³⁶	0,28		0,20	----

Es wurden zwei signifikante Wechselwirkung zwischen Gründungsmenge und Gründungstechnik festgestellt:

1. Der LER-Wert der Variante E/0 unterschied sich signifikant von demjenigen der Variante M/0. Bei den anderen Gründungsmengen (einreihige und doppelreihige Gründung) war dieser Unterschied nicht feststellbar. Formal handelt es sich um eine signifikante Wechselwirkung der

³⁴ Als Referenzvarianten werden hier die statistisch nicht ausgewerteten Varianten Mono, R I und R II bezeichnet.

³⁵ Grenzdifferenzen (Irrtumswahrsch. $\alpha = 5\%$) der Werte für „Mulchen“ und „Einarbeiten“ in der jeweiligen Zeile.

³⁶ Grenzdifferenzen (Irrtumswahrsch. $\alpha = 5\%$) der Werte für „ohne Gründung“, „einreihige Gründung“ und „zweireihige Gründung“ in der jeweiligen Spalte.

Faktoren Gründungs­menge und Gründungs­technik. Eine Interpretation dieser Wechselwirkung war jedoch nicht sinnvoll, da die Varianten M/0 und E/0 *de facto* die gleiche Behandlung, nämlich die Unterlassung der Gründungs­ung, erhalten hatten. Es handelt sich hier offensichtlich um den Fall, dass bei der statistischen Auswertung ein mit 5 %iger Wahrscheinlichkeit möglicher Irrtum eingetreten ist. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Variante E/0 eine hohe Standardabweichung von 29 % aufwies.

2. Bei Mulchen der Gründungs­ung kam es in der ersten Versuchsperiode zu einer deutlichen Abstufung der LER-Werte: Derjenige von Mischanbau ohne Gründungs­ung betrug 1,67 und war signifikant größer als der LER-Wert von Mischanbau mit doppelreihiger Gründungs­ung (1,03). Bei Mischanbau mit Einarbeiten der Gründungs­ung konnte solch eine deutliche Abstufung nicht festgestellt werden. Die Unterschiede zwischen den LER-Werten waren nicht signifikant. Dieser Sachverhalt zeigt, dass es bei Einarbeiten der Gründungs­ung zu einer Kompensation des Ertragsausfalls bei Augenbohnen kam: Die Nutzung der Augenbohnen als Gründungs­ung führte zwar zwangsläufig zu einem teilweisen (einreihige Gründungs­ung) oder zu einem kompletten Augenbohnen-Ertragsausfall (doppelreihige Gründungs­ung). Dieser wurde aber durch eine Steigerung des Mais­korn­ertrages kompensiert, so dass die Effizienz der Flächennutzung durch diese Art des Mischanbaus höher war als bei Anbau des Mais im Reinbestand, auch wenn, vergleichbar dem Mais-Reinbestand, nur Mais­körner geerntet wurden.

In der dritten Versuchsperiode konnte solch eine Kompensation basierend auf der Untersuchung der LER-Werte nicht festgestellt werden. Diese nahmen bei zunehmender Gründungs­menge signifikant ab, unabhängig davon, ob die Gründungs­ung gemulcht oder eingearbeitet wurde. Dies ist nachvollziehbar, denn das Massenwachstum der Schwertbohnen setzte, anders als bei den Augenbohnen, erst nach dem Zeitpunkt der Gründungs­ung ein. Der durch einen höheren Mais­ertrag zu kompensierende Ertragsausfall an Schwertbohnen­körnern betrug $1,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, ein Vielfaches des Augenbohnen­ertrages aus der ersten Versuchsperiode ($0,36 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Die aufgrund der doppelreihigen Gründungs­ung in der dritten Versuchsperiode erreichte Ertragserhöhung des Mais in Höhe von $1,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ betrug etwa zwei Drittel des durch die Gründungs­ung verursachten Ertragsausfalls bei Schwertbohnen.

3.2.4 Teilzusammenfassung

- Mit durchschnittlich 3,2 bzw. 3,1 t * ha⁻¹ war der **Maiskornertag** des faktoriellen Versuchsteils während der ersten beiden Versuchsperioden größer als der regionale Mittelwert des Jahres 1996 (2,4 t * ha⁻¹). In der dritten Versuchsperiode war er wesentlich geringer und betrug lediglich 1,7 t * ha⁻¹. Die Abnahme des Ertrages wurde durch geringe Mengen an Gründüngung in der zweiten Versuchsperiode und eine langanhaltende Trockenphase während der Entwicklung in der dritten Versuchsperiode verursacht (Versuchsfrage 5).
- Durch doppelreihige Gründüngung wurde der Maisertrages signifikant erhöht. In der ersten Versuchsperiode war das dann der Fall, wenn die Gründüngung eingearbeitet wurde. In den darauf folgenden Versuchsperioden wurde die Ertragssteigerung durch doppelreihige Gründüngung erreicht, unabhängig von der Gründüngungstechnik „Einarbeiten“ oder „Mulchen“ (Versuchsfrage 5).
- Durch doppelreihige Gründüngung wurde eine Vergrößerung des Anteils von Kolben hoher **Qualität** und eine Verringerung des Anteils von Kolben niedriger Qualität erreicht (Versuchsfrage 5).
- In der ersten Versuchsperiode betrug der **Kornertag von Augenbohnen** im Reinbestand 0,66 t * ha⁻¹ und war höher als der brasilianische Durchschnitt mit 0,37 t * ha⁻¹. Der Ertrag von Augenbohnen bei Mischanbau mit Mais entsprach mit 0,36 t * ha⁻¹ dem Landesdurchschnitt. Bei Gründüngungsnutzung der Hälfte des Augenbohnenbestandes halbierte sich der Kornertag in etwa. In der zweiten Versuchsperiode wurde aufgrund eines Schädlingsbefalls kein nennenswerter Augenbohnenertag geerntet (Versuchsfrage 6).
- Der **Kornertag von Schwertbohnen** im Reinbestand (R II) betrug 3,0 t * ha⁻¹. Der Ertrag von Mischanbau ohne Gründüngung betrug 1,7 t * ha⁻¹. Wenn die Hälfte des Schwertbohnenbestandes als Gründüngung genutzt wurde, konnte die Reduzierung des Bestandes auf 50 % durch eine stärkere Entwicklung der verbliebenen Pflanzen teilweise kompensiert werden. Schwertbohnen erwiesen sich gegenüber Mais als konkurrenzkräftiger als Augenbohnen (Versuchsfrage 6).
- In den beiden ausgewerteten Versuchsperioden eins und drei war die **Effizienz der Flächennutzung** bei Mischanbau ohne Gründüngung höher als bei den Reinbeständen. In der ersten Versuchsperiode wurde darüber hinaus beobachtet, dass durch Gründüngung eine Kompensation des ausgefallenen Leguminosenertrages durch einen erhöhten Maisertrag erfolgte, wenn die Gründüngung eingearbeitet wurde (Versuchsfrage 7).

3.3 Stickstoffbilanz und organische Bodensubstanz

In diesem Kapitel sind die Ergebnisse bzgl. der vorwiegend stabilitätsorientierten Parameter Stickstoffbilanz, Auswaschungsverluste von Stickstoff und Entwicklung der organischen Bodensubstanz dargestellt.

3.3.1 Stickstoffbilanz

Die Darstellung der Stickstoffbilanz (Tab. 21) wurde in drei Bereiche gegliedert: Import, Export und Saldo von Im- und Export. Unter „Import“ und „Export“ sind die in Kapitel 2.3.3 (S. 24) identifizierten Bilanzkomponenten aufgeführt. Berücksichtigt wurden der Stickstoffimport durch luftbürtigen Stickstoff und Rinderdung sowie der Stickstoffexport durch die Ernteprodukte des Mais (Körner, Spindeln) und der Leguminosen (Körner, Hülsen). Der Anteil luftbürtigen Stickstoffs in den Leguminosenwurzeln wurde aufgrund von Literaturangaben geschätzt (Tab. 7, S. 30).

In der ersten Versuchsperiode hatte nur der Reinbestand von Augenbohnen (Rot II) eine fast ausgeglichene Bilanz: Der Export von Stickstoff war lediglich um $0,8 \text{ kg} * \text{ha}^{-1}$ größer als der Import. Die Zufuhr luftbürtigen Stickstoffs in das Boden-Pflanze-System betrug $24,7 \text{ kg} * \text{ha}^{-1}$. Durch Körner und Hülsen wurden dem Boden-Pflanze-System $25,5 \text{ kg N} * \text{ha}^{-1}$ entzogen. Alle anderen Varianten wiesen eine defizitäre Bilanz auf: Diejenige des Maisreinbestandes (Rot I) wies mit einem N-Export von $42,5 \text{ kg N} * \text{ha}^{-1}$ das größte N-Defizit auf. Der N-Export wurde in diesem Fall nicht durch einen Import luftbürtigen Stickstoffs ausgeglichen. Die Reinbestände stellten somit die Eckwerte der Stickstoffbilanz dar.

Im Bezug auf die Mischbau-Varianten wurde eine Abnahme des N-Defizits mit steigenden Gründüngungsmengen beobachtet: Die beiden Mischbau-Varianten ohne Gründüngung hatten einen N-Saldo von durchschnittlich $-33,7 \text{ kg N} * \text{ha}^{-1}$. Demgegenüber hatten die Mischbau-Varianten mit einreihiger Gründüngung einen N-Saldo von durchschnittlich $-26,3 \text{ kg N} * \text{ha}^{-1}$ und diejenigen mit doppelreihiger Gründüngung hatten einen durchschnittlichen Saldo von $-14,8 \text{ kg N} * \text{ha}^{-1}$.

Die mit Rindermist gedüngte Mais-Monokultur hatte eine negative N-Bilanz von $-17,4 \text{ kg N} * \text{ha}^{-1}$. Sie war somit im Bezug auf die N-Bilanz und auf die Menge an zugeführtem Stickstoff ($25,5 \text{ kg N} * \text{ha}^{-1}$) den Varianten mit doppelreihiger Gründüngung vergleichbar.

Tab. 21: Stickstoffbilanz (kg * ha⁻¹) der ersten Versuchsperiode.

E = Einarbeiten, Lg = Leguminosen, M = Mulchen, Mono = Monokultur, Rot I = Rotationsvariante I, Rot

II = Rotationsvariante II, /0 = keine Gründüngung, /1 = einreihige Gründüngung, /2 = doppelreihige Gründüngung

*N-Balance (kg * ha⁻¹) of the first experimental period. E = incorporation, Lg = Leguminosae, M = mulching,*

Mono = monoculture, Rot I = rotation I, Rot II = rotation II, /0 = no green manuring, /1 = single row application of green manure, /2 = double row application of green manure

Import									
	Rot I (Mais)	Rot II (Lg)	Mono	M/0	E/0	M/1	E/1	M/2	E/2
NImp_Gründüngung						10,4	11,2	29,8	29,2
NImp_Leg_Spross		8,4		6,4	8,2	4,2	4		
NImp_Leg_Korn		12,4		10,5	7,5	4,2	4,8		
NImp_Leg_Hülse		2,0		1,9	1,6	0,8	1,2		
NImp_Leg_Wurzel		1,6		1,3	1,2	1,4	1,5	2,1	2,0
NImp_Rinderdung			25,5						
Summe Import	0,0	24,7	25,5	20,1	18,5	21	22,8	31,9	31,2

Export									
	Rot I (Mais)	Rot II (Lg)	Mono	M/0	E/0	M/1	E/1	M/2	E/2
NExp_Mais_Korn	39,6		40,6	38,2	34,6	39,8	36,6	40,1	46,0
NExp_Mais_Spindel	2,9		2,3	2,8	2,2	2,9	2,3	3,2	3,5
NExp_Leg_Korn		22,0		13,7	9,9	5,4	6,4		
NExp_Leg_Hülse		3,5		2,5	2,1	1,1	1,7		
Summe Export	42,5	25,5	42,9	57,2	48,8	49,3	47,0	43,3	49,5

Saldo (Summe Import – Summe Export)									
	Rot I (Mais)	Rot II (Lg)	Mono	M/0	E/0	M/1	E/1	M/2	E/2
Saldo	-42,5	-0,8	-17,4	-37,1	-30,3	-28,3	-24,2	-11,4	-18,3

In der zweiten Versuchsperiode waren die N-Bilanzen z. T. wesentlich defizitärer als in der ersten. Ähnlich wie in der ersten Versuchsperiode stellten die Reinbestände die Extremwerte dar, die Salden der anderen Varianten befanden sich zwischen diesen Extremen.

Der Kornertrag des Maisreinbestandes (Rot II), auf der Parzelle des Augenbohnen-Reinbestandes

aus der ersten Versuchsperiode, war in der zweiten Versuchsperiode höher als in der ersten. Einem N-Export von $56,5 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ durch Körner und Spindeln stand kein Import luftbürtigen Stickstoffs gegenüber. Die Bilanz war demnach mit $-56,5 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ stark defizitär. Der Augenbohnen-Reinbestand (Rot I) wies als einzige Variante eine positive Bilanz von $23,3 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ auf. Dies war in dem nahezu kompletten Ertragsausfall in der zweiten Versuchsperiode begründet: Über Körner und Hülsen wurden dem Boden-Pflanze-System nur $6,2 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ entzogen. Demgegenüber wurden $29,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ luftbürtigen Stickstoffs in das System importiert.

Im Hinblick auf die Misanbau-Varianten konnte kein eindeutiger Trend wie in der ersten Versuchsperiode festgestellt werden: Misanbau ohne Gründung hatte einen durchschnittlichen Saldo von $-37,3 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Für die Varianten mit einreihiger Gründung betrug der durchschnittliche Saldo $-33 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ und für diejenigen mit doppelreihiger Gründung betrug er $-40,3 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Die Misanbau-Varianten wiesen eine der Gründungsmenge proportionale Abstufung des Imports luftbürtigen Stickstoffs auf. Die Unterschiede der importierten Mengen luftbürtigen Stickstoffs (zwischen $5,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ und $14,6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) waren aber gegenüber den Unterschieden der durch das Erntegut exportierten N-Mengen (zwischen $40,3 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ und $56,4 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) zu gering, um als eindeutiger, durch die Gründung verursachter Effekt in der Bilanz Niederschlag zu finden. Die Variante „E/2“ wies von allen Misanbau-Varianten sowohl den höchsten Ertrag (s. Tab.16, S. 54) als auch den höchsten N-Export auf. Obwohl diese Variante, auf niedrigem Niveau, auch den höchsten N-Import aller Misanbau-Varianten aufwies, war ihr N-Saldo der am meisten defizitäre aller Misanbau-Varianten. Diese Beobachtung kann durch die relativ guten Vorfruchteffekte der Variante „E/2“ aus der ersten Versuchsperiode erklärt werden: Diese führten zu einer vglw. hohen Kornproduktion und damit N-Export des Mais in der zweiten Versuchsperiode, der allerdings nicht durch einen adäquaten N-Import ausgeglichen werden konnte.

Insgesamt wurde die zweite Versuchsperiode durch die schädlingsbedingte schwache Entwicklung der Augenbohnen geprägt (s. Kap. 2.2.2, S. 17). Diese ging einher mit geringen Mengen symbiotisch fixierten Stickstoffs und damit geringen N-Importen der Varianten.

Dementsprechend hatte die von der symbiotischen Stickstofffixierung unabhängige Variante „Mono“ die am wenigsten defizitäre Bilanz verglichen mit den anderen Varianten, in denen Mais angebaut wurde. Durch die Düngung mit Rindermist wurden dem Boden-Pflanze-System $33,6 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ zugeführt, der N-Export durch die Ernteprodukte von Mais betrug $49,7 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, so dass der Saldo $-16,1 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ betrug.

Tab. 22: Stickstoffbilanz (kg * ha⁻¹) der zweiten Versuchsperiode.

E = Einarbeiten, Lg = Leguminosen, M = Mulchen, Mono = Monokultur, Rot I = Rotationsvariante I, Rot II = Rotationsvariante II, /0 = keine Gründüngung, /1 = einreihige Gründüngung, /2 = doppelreihige Gründüngung

*N-Balance (kg * ha⁻¹) of the second experimental period. E = incorporation, Lg = Leguminosae, M = mulching, Mono = monoculture, Rot I = rotation I, Rot II = rotation II, /0 = no green manuring, /1 = single row application of green manure, /2 = double row application of green manure*

Import									
	<i>Rot I (Lg)</i>	<i>Rot II (Mais)</i>	<i>Mono</i>	<i>M/0</i>	<i>E/0</i>	<i>M/1</i>	<i>E/1</i>	<i>M/2</i>	<i>E/2</i>
NImp_Gründüngung						5,6	6,1	11,1	13,6
NImp_Leg_Spross	22,0			4,9	4,4	2,9	4,4		
NImp_Leg_Korn	1,6			0,4	0,5	0,4	0,4		
NImp_Leg_Hülse	3,4			0,6	0,5	0,5	0,4		
NImp_Leg_Wurzel	1,9			0,4	0,4	0,7	0,8	0,8	1
NImp_Rinderdung			33,6						
Summe Import	29,5	0,0	33,6	6,3	5,8	10,1	12	11,9	14,6

Export									
	<i>Rot I (Lg)</i>	<i>Rot II (Mais)</i>	<i>Mono</i>	<i>M/0</i>	<i>E/0</i>	<i>M/1</i>	<i>E/1</i>	<i>M/2</i>	<i>E/2</i>
NExp_Mais_Korn		53,1	46,8	36,0	42,1	43,1	37,5	47,7	52,8
NExp_Mais_Spindel		3,4	2,9	2,8	2,8	2,5	3,1	3,1	3,6
NExp_Leg_Korn	2,0			0,6	0,7	0,4	0,4		
NExp_Leg_Hülse	4,2			0,9	0,8	0,6	0,4		
Summe Export	6,2	56,5	49,7	40,3	46,4	46,7	41,4	50,7	56,4

Saldo (Summe Import – Summe Export)									
	<i>Rot I (Lg)</i>	<i>Rot II (Mais)</i>	<i>Mono</i>	<i>M/0</i>	<i>E/0</i>	<i>M/1</i>	<i>E/1</i>	<i>M/2</i>	<i>E/2</i>
Saldo	23,3	-56,5	-16,1	-34	-40,6	-36,6	-29,4	-38,8	-41,8

In der dritten Versuchsperiode wurden Schwertbohnen statt der Augenbohnen als Leguminosen eingesetzt, um eine Wiederholung des augenbohnenpezifischen Befalls durch *Cerotoma arcuata* und *Diabrotica speciosa* zu vermeiden. Die Charakteristika der Schwertbohne im Hinblick auf Geschwindigkeit und Dauer der Entwicklung, Trockenmassezunahmen sowie N-Aufnahmen unterschieden sich stark von denen der Augenbohne.

Die Reinbestände stellten, wie auch in den ersten beiden Versuchsperioden, die Extreme dar: Der Maisreinbestand (Rot I) wies mit $-38,3 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ die am meisten defizitäre N-Bilanz aller Varianten auf, der Schwertbohnenreinbestand (Rot II) lieferte mit $75 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ den größten N-Überschuss. Die Salden der anderen Varianten befanden sich zwischen diesen Extremwerten. Außer bei den Mischbauvarianten mit doppelreihiger Gründüngung waren sie durch einen N-Überschuss gekennzeichnet. Die in der ersten Versuchsperiode beobachtete Abstufung der Salden war in der dritten Versuchsperiode genau umgekehrt: Der durchschnittliche Saldo der Mischbau-Varianten ohne Gründüngung betrug $50 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, derjenige der Mischbau-Varianten mit einreihiger Gründüngung $18,5 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ und derjenige der Varianten mit doppelreihiger Gründüngung $-11 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Der Grund für diese Abstufung wird durch Betrachtung der importierten Mengen luftbürtigen Stickstoffs erkennbar: Bei Mischbau-Varianten ohne Gründüngung betrug der N-Import durchschnittlich $147,9 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, bei Mischbau mit einreihiger Gründüngung waren es im Schnitt $95,6 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ und bei doppelreihiger Gründüngung waren es $25,6 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. D. h., die Mengen luftbürtigen Stickstoffs, die durch die Erntereste in das Boden-Pflanze-System gelangten, übertrafen die Mengen bei weitem, die über die als Gründüngung genutzten Pflanzen ins System gelangten. Bei Schwertbohnen erfolgte die Gründüngungsnutzung in einem frühen Entwicklungsstadium (im Vergleich mit Augenbohnen hatten sie einen fast doppelt so langen Entwicklungszyklus - Tabellenanhang 1, S.131). Dadurch wurde die Senkenkapazität für luftbürtiges N früh reduziert und das N₂-Fixierungspotenzial der zur Gründüngung genutzten Pflanzen wurde nur in geringem Umfang genutzt. Insofern wurde durch den Einsatz von Schwertbohnen-Sprossmasse als Gründüngung die Menge an luftbürtigem N, die der jeweiligen Variante zugeführt wurde, verringert. Die N-Zufuhr über die Gründüngung bei den Varianten mit doppelreihiger Gründüngung konnte den N-Export durch das Erntegut nicht ausgleichen.

Tab. 23: Stickstoffbilanz (kg * ha⁻¹) der dritten Versuchsperiode.

E = Einarbeiten, Lg = Leguminosen, M = Mulchen, Mono = Monokultur, Rot I = Rotationsvariante I, Rot II = Rotationsvariante II, /0 = keine Gründüngung, /1 = einreihige Gründüngung, /2 = doppelreihige Gründüngung

*N-Balance (kg * ha⁻¹) of the third experimental period. E = incorporation, Lg = Leguminosae, M = mulching, Mono = monoculture, Rot I = rotation I, Rot II = rotation II, /0 = no green manuring, /1 = single row application of green manure, /2 = double row application of green manure*

Import									
	<i>Rot I (Mais)</i>	<i>Rot II (Lg)</i>	<i>Mono</i>	<i>M/0</i>	<i>E/0</i>	<i>M/1</i>	<i>E/1</i>	<i>M/2</i>	<i>E/2</i>
NImp_Gründüngung						7,6	8,0	24,2	23,5
NImp_Leg_Spross		85,1		87,0	73,3	33,0	34,8		
NImp_Leg_Korn		94,6		47,1	57,3	45,3	42,1		
NImp_Leg_Hülse		9,8		5,0	6,7	4,4	3,4		
NImp_Leg_Wurzel		13,3		9,7	9,6	6,3	6,2	1,7	1,6
NImp_Rinderdung			51,8						
Summe Import	0,0	202,8	51,8	148,8	146,9	96,8	94,4	25,9	25,2

Export									
	<i>Rot I (Mais)</i>	<i>Rot II (Lg)</i>	<i>Mono</i>	<i>M/0</i>	<i>E/0</i>	<i>M/1</i>	<i>E/1</i>	<i>M/2</i>	<i>E/2</i>
NExp_Mais_Korn	35,4		24,4	19,3	17,2	17,5	18,8	31,4	36,4
NExp_Mais_Spindel	2,9		2,6	2,0	2,4	2,5	1,6	2,5	2,7
NExp_Leg_Korn		115,8		62,8	76,3	50,8	53,2		
NExp_Leg_Hülse		11,9		6,6	8,9	5,0	4,2		
Summe Export	38,3	127,8	27,0	90,7	104,8	75,7	77,8	33,9	39,1

Saldo (Summe Import – Summe Export)									
	<i>Rot I (Mais)</i>	<i>Rot II (Lg)</i>	<i>Mono</i>	<i>M/0</i>	<i>E/0</i>	<i>M/1</i>	<i>E/1</i>	<i>M/2</i>	<i>E/2</i>
Saldo	- 38,3	75,0	24,7	58,1	42,0	21,0	16,6	- 8,0	- 13,9

Aus den oben dargestellten Ergebnissen hinsichtlich der N-Bilanzen konnten die folgenden Aussagen abgeleitet werden:

- Mit Augenbohnen als Mischungspartner für Mais waren die Salden der N-Bilanzen negativ. OFORI

und STERN (1987) stellten bei der Berechnung der N-Bilanz eines Mais/Augenbohnen-Mischanbaus auf einer Datengrundlage von EAGLESHAM (1981) fest, dass die N-Vorräte des Bodens durch den gemeinsamen Anbau von Mais und Augenbohnen nicht übermäßig entleert wurden. Mit $-7 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ war die Bilanz leicht negativ (ermittelt wurde N in der Sprossmasse, der N-Gehalt von Wurzel und Knöllchen wurde auf 6 % geschätzt). VESTERAGER *et al.* (2007) erhielten bei Mais/Augenbohnen-Mischanbau in Tansania dann eine ausgeglichene Bilanz, wenn alle Erntereste auf den Parzellen verblieben und der in Wurzeln und Bestandesabfall enthaltene Stickstoff berücksichtigt wurde. Sie gingen davon aus, dass der Beitrag von Leguminosen zur N-Bilanz oft deshalb unterschätzt wird, weil diese N-Fractionen nicht berücksichtigt werden. In der vorliegenden Arbeit wurde der in den Wurzeln enthaltene Stickstoff aufgrund von Literaturangaben geschätzt, im Bestandesabfall enthaltener Stickstoff blieb jedoch unberücksichtigt (Kap. 3.1.1, S. 40). Es besteht deshalb Grund zur Annahme, dass das Bilanzdefizit der Mischanbauvarianten ohne Gründüngung insbesondere der ersten und zweiten Versuchsperiode überschätzt wurde und die Salden der N-Bilanzen des gemeinsamen Anbaus von Mais und Augenbohnen ähnlich ausfielen wie die oben referenzierten, also nur leicht defizitär waren.

- In der vorliegenden Arbeit konnten positive N-Bilanzen nur durch Varianten mit Kornertrag von Schwertbohnen erreicht werden³⁷. Dieser Sachverhalt ergibt sich daraus, dass die symbiotische N₂-Fixierung bei allen Varianten außer „Mono“ die einzige Stickstoffzufuhr darstellte und die fixierten N-Mengen der Schwertbohnen zum Zeitpunkt der Ernte diejenigen der Augenbohnen um ein Vielfaches übertrafen (Kap. 3.1.1, S. 37) und etwa die Hälfte dieser N-Mengen mit den Ernteresten auf den Parzellen verblieb.

Im Rahmen eines Versuchs zum gemeinsamen Anbau von Gerste und Erbsen stellten JENSEN *et al.* (2005) eine Abhängigkeit der N-Bilanz von den Konkurrenzverhältnissen der gemeinsam angebauten Kulturen fest: Es wurden zwei Gerstensorten und zwei Erbsensorten im Reinbestand und alle Kombinationen in Form von Zwischenpflanzungen gemeinsam angebaut. Die Gerstensorten unterschieden sich insbesondere hinsichtlich ihrer Konkurrenzkraft gegenüber den Erbsen. Die Kombination der Erbsen (die Erbsensorten unterschieden sich nur geringfügig) mit der konkurrenzstärkeren Gerstensorte führte zu einer verminderten Aufnahme luftbürtigen Stickstoffs durch die Erbsen und zu einer defizitären N-Bilanz. Hingegen führt die Kombination der Erbsen mit der konkurrenzschwächeren Gerstensorte nicht zu einer reduzierten Aufnahme luftbürtigen

³⁷ Eine Ausnahme stellte die von der symbiotischen Stickstofffixierung unabhängige Variante „Mono“ dar. Der Maismonokultur wurden über die Mistdüngung $51,8 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ zugeführt. Die Bilanz war mit $24,7 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ positiv.

Stickstoffs und zu einer positiven N-Bilanz.

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Feldversuche unterschieden sich in wesentlichen Punkten von dem oben zitierten Versuch. Dennoch liefert letzterer einen wichtigen Aspekt, den es bei der Bewertung der N-Bilanzen von Leguminosen/Nichtleguminosen-Mischkulturen zu berücksichtigen gilt, dass nämlich eine zu dominante Nichtleguminose die N₂-Fixierung der Leguminose beeinträchtigt und dass sich dies bei Verzicht auf die Zufuhr externer N-Dünger zwangsläufig negativ auf die N-Bilanz des Mischanbaus auswirkt. In der vorliegenden Arbeit erwiesen sich die Schwertbohnen im Vergleich mit den Augenbohnen als konkurrenzkräftiger gegenüber Mais (Kap. 3.2.2, S.62). Die positive N-Bilanz des Mischanbaus von Mais und Schwertbohnen ohne Gründüngungsnutzung der Schwertbohnen bestätigt die oben zitierten Untersuchungsergebnisse.

3.3.2 Verlagerung mineralischen Stickstoffs im Bodenprofil

Bei der Berechnung der Stickstoffbilanzen blieben etwaige Auswaschungsverluste unberücksichtigt. Während der zweiten und dritten Versuchsperiode wurden jedoch Stichproben durchgeführt um zumindest qualitative Aussagen zur Verlagerung von mineralischem Stickstoff im Bodenprofil treffen zu können. Abb. 15 stellt den Verlauf der absoluten Gehalte der Bodenlösung an mineralischem Stickstoff in 20 bzw. 60 cm Tiefe dar. Aufgrund von Voruntersuchungen (Kap. 2.3.1, S. 19) wurde davon ausgegangen, dass der Gehalt der Bodenlösung an mineralischem N in 60 cm Tiefe einen potentiellen Auswaschungsverlust darstellte. In eine ähnliche Richtung weisen Untersuchungen von ZHOU *et al.* (2008) zur Verlagerung von mineralischem Stickstoff unterhalb der Durchwurzelungszone von Mais. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde festgestellt, dass sich 95 % der Maiswurzeln in den Bodenhorizonten oberhalb von 60 cm Bodentiefe befanden.

In der auf die Ernte der ersten Versuchsperiode folgenden Zeit von ca. 3 Monaten bis zur Aussaat der zweiten Versuchsperiode lag die Versuchsfläche brach (d. h. von Aug. bis Nov. 1996) . Die Erntereste waren als Mulch auf der Fläche belassen worden. Während dieser Zeit fand die Mineralisierung der Erntereste und in der Folge zunächst eine Erhöhung des N_{\min} -Gehaltes der Bodenlösung im oberflächennahen Bereich statt. Mit Ausnahme von R I und E/2 betrug die absoluten Gehalte der Bodenlösung zwischen 9 und 12 kg N * ha⁻¹. Die Niederschlagsmengen bei Einsetzen der Regenzeit (November 1996) waren im Vergleich zum zehnjährigen Mittel hoch (s. Abb. 3, Seite 77). Im Zeitraum vor der Aussaat der zweiten Versuchsperiode nahm der N_{\min} -Gehalt der Bodenlösung aller Varianten in 20 cm Bodentiefe mehr oder weniger stark ab. Im gleichen Zeitraum stieg derjenige der Bodenlösung in 60 cm Tiefe an. Mitte Dezember 1996 konnte bei allen Varianten ein deutlicher Anstieg der N_{\min} -Gehalte in 60 cm Tiefe beobachtet werden. Die Abnahme der N_{\min} -Gehalte in 20 cm Tiefe und die gleichzeitige Zunahme der N_{\min} -Gehalte in 60 cm Tiefe wurde deshalb als Verlagerung des gelösten mineralischen Stickstoffs in tiefere Bodenschichten aufgefasst.

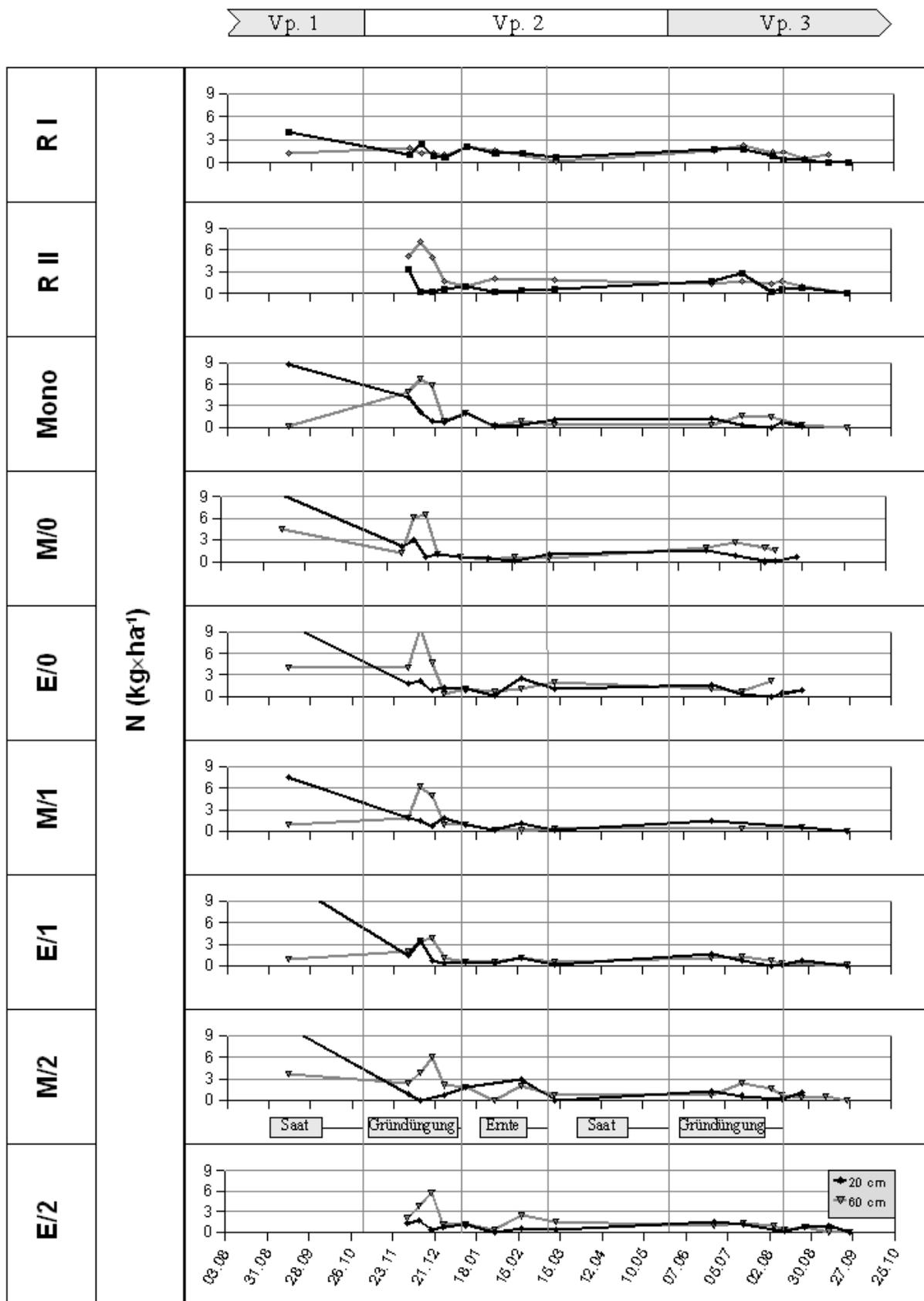


Abb. 15: NO₃-N in 20 und 60 cm Tiefe, zweite und dritte Versuchsperiode (1996 und 1997).
 NO₃-N in 20 and 60 cm depth. Second and third experimental period (1996 and 1997).

Ab Januar 1997 bis zum Ende der dritten Versuchsperiode bewegten sich die N_{\min} -Gehalte in 20 und 60 cm Tiefe auf einem niedrigen Niveau, zwischen 0 und 3 kg N * ha⁻¹. Der im Vergleich zur zweiten Versuchsperiode niedrige Gehalt von N_{\min} in der Bodenlösung lässt sich durch 2 Faktoren erklären:

1. Die Stickstofffixierung der Augenbohnen in der zweiten Versuchsperiode war durch den Befall mit den Schadkäfern *Cerotoma arcuata* und *Diabrotica speciosa* stark eingeschränkt. Dadurch fielen nur geringe Mengen an Ernteresten an.
2. Das Ende der zweiten und die erste Hälfte der dritten Versuchsperiode lagen in der Trockenzeit. Sie war stark ausgeprägt und überdurchschnittlich lang, so dass es trotz Bewässerung zu einer deutlichen Stagnation des Pflanzenwachstums im September 1997 kam (Abb. 13, Seite 48). Zwischen dem 69. und dem 95. Tag nach Auflaufen fand keine Trockenmassezunahme statt. Die geringen Niederschlagsmengen dürften auch die Mineralisierungsprozesse und die Verlagerung von gelöstem mineralischem Stickstoff im Boden stark eingeschränkt haben.

Aufgrund des niedrigen Gehaltes an mineralischem Stickstoff in der Bodenlösung ab Januar 1997 und aufgrund der teilweise sehr lückenhaften Datengrundlage wurde von weitergehenden Interpretationsversuchen abgesehen. Festgehalten wird jedoch, dass es unter Bedingungen mit hohen Niederschlagsmengen zu Beginn der zweiten Versuchsperiode zu einer Verlagerung von mineralischem Stickstoff in Schichten unterhalb von 60 cm Bodentiefe gekommen ist. Es wurde davon ausgegangen, dass sich in dieser Tiefe nur noch ein geringer Anteil der Maiswurzeln befand, deshalb wurde der dort vorhandene mineralische Stickstoff als potentieller Auswaschungsverlust angesehen.

3.3.3 Organische Bodensubstanz

In Abb. 16 ist eine 3 x 3 Matrix aus Diagrammen dargestellt. In den Zeilen sind drei verschiedene Bodenhorizonte (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm) und in den Spalten drei Arten von Gruppenvergleichen dargestellt. In der ersten Spalte der Matrix sind Gruppenvergleiche auf Basis der Gründüngenmenge, in der zweiten solche auf Basis der Gründüngenstechnik und in der dritten solche auf Basis der Versuchsperioden dargestellt.

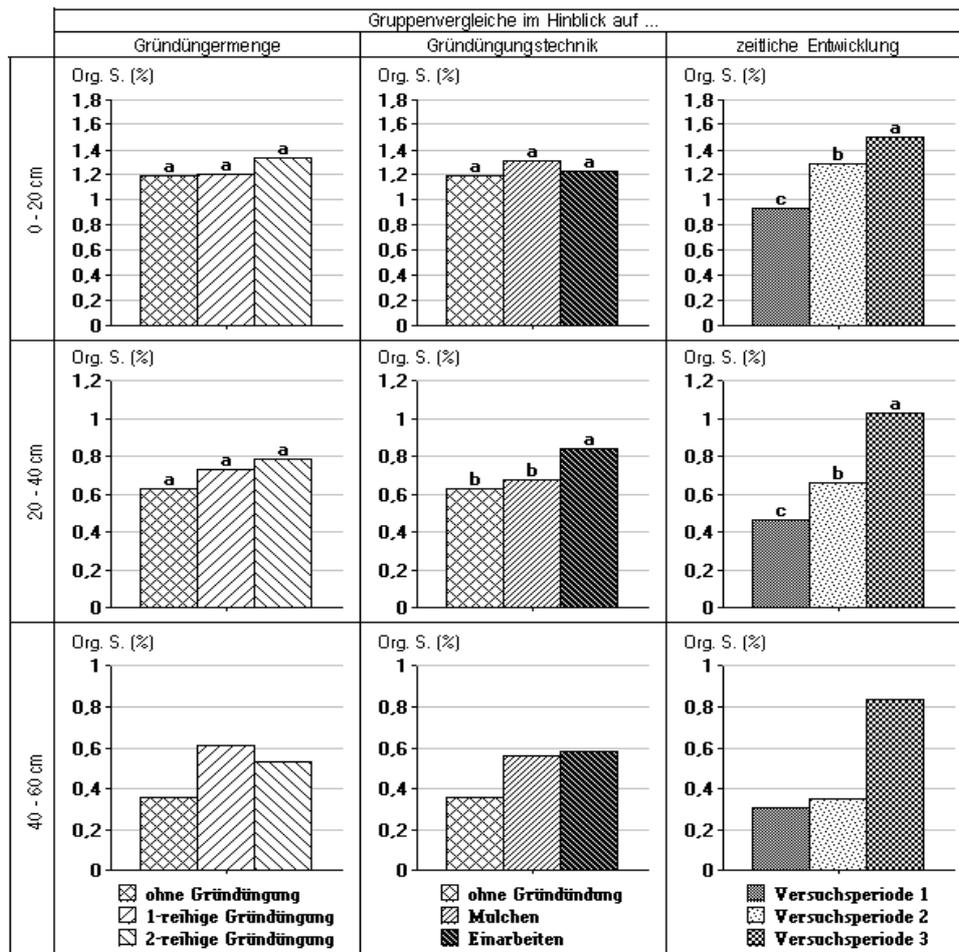


Abb. 16: Entwicklung der org. Bodensubstanz (April 1996 - September 1997).

a, b: Indikatoren zur Kennzeichnung signifikanter Unterschiede (s. Kap. 3.1.2, S. 42).

Development of soil organic matter (April of 1996 - September of 1997). Indicators a, b mark significant differences.

Zu Beginn der Versuchslaufzeit waren die Gehalte an organischer Substanz im Boden gering. Sie betragen im Oberboden (0 - 20 cm) zwischen 0,23 und 1,09 %. In der Schicht zwischen 20 und 40 cm Tiefe wurden Werte von 0,35 bis 0,77 % gemessen, darunter (40 - 60 cm) lagen sie unterhalb von 0,42 %. Der Boden war dementsprechend schlecht strukturiert und bildete bei zunehmender

Trockenheit feste Kluten aus. Während der Versuchslaufzeit konnte eine Strukturverbesserung wahrgenommen werden. Der Boden wurde lockerer und konnte mehr Feuchtigkeit speichern. Dies wurde u.a. auf eine Erhöhung der organischen Bodensubstanz zurückgeführt. Es wird darauf hingewiesen, dass die Angaben zu den Gehalten an organischer Bodensubstanz sich nicht auf die Dynamik von stabilem Humus beziehen. Zu solchen Aussagen ist eine Untersuchung über einen längeren Zeitraum notwendig. Die Untersuchungen und Aussagen der vorliegenden Arbeit beziehen sich auf die kurzfristige Dynamik organisch gebundenen Kohlenstoffs.

Im Oberboden (0 - 20 cm) konnten weder bei Gruppenvergleichen bzgl. der Gründüngungsmenge noch bei Gruppenvergleichen bzgl. der Gründüngungstechnik signifikante Unterschiede festgestellt werden. Bei Mischanbau mit doppelreihiger Gründüngung war der Gehalt an organischer Substanz mit 1,34 % gegenüber 1,20 % (Mischanbau mit einreihiger Gründüngung) und 1,19 % (Mischanbau ohne Gründüngung) leicht aber nicht signifikant erhöht. Bei einem Gruppenvergleich bzgl. der Versuchsperioden wurden signifikante Unterschiede festgestellt: Im September 1997 betrug der Anteil an organischer Substanz in der Schicht 0 - 20 cm 1,50 % und war signifikant höher als der von Juni des gleichen Jahres (1,29 %). Zu Beginn der Versuchslaufzeit hatte der Anteil an organischer Substanz im Oberboden im Durchschnitt der Varianten lediglich 0,93 % betragen.

Im darunter liegenden Horizont (20 - 40 cm) war der Gehalt an organischer Substanz niedriger und betrug zwischen 0,35 und 1,21 %. Beim Gruppenvergleich bzgl. der Gründüngungstechnik wurden signifikante Unterschiede zwischen den Gruppenmittelwerten festgestellt: Der Gehalt an organischer Substanz bei der Behandlungsgruppe mit Einarbeiten der Gründüngung betrug im Schnitt 0,84 %. Er war signifikant höher als die durchschnittlichen Gehalte bei Mulchen der Gründüngung (0,68 %) oder bei Mischanbau ohne Gründüngung (0,63 %).

Gruppenvergleiche bzgl. der Gründüngungsmenge ließen Zunahmen der organischen Substanz bei steigender Gründüngungsmenge erkennen, diese waren jedoch nicht signifikant. Die Zunahme der organischen Substanz während der Versuchslaufzeit war im Horizont von 20 - 40 cm Bodentiefe stärker ausgeprägt als im Oberboden. Zu Beginn der Versuchslaufzeit war in diesem Horizont ein Gehalt von 0,47 % organischer Substanz vorhanden. Im Juni 1997 waren es bereits 0,66 % und im September 1997 waren es 1,03 %. Die Unterschiede an organischer Substanz zwischen allen 3 Terminen waren signifikant.

Für die kleinbäuerlich strukturierte Landwirtschaft Mittelamerikas empfehlen die CIDICCO (Centro Internacional de Información sobre Cultivos de Cobertura) und andere Nichtregierungsorganisationen Körnerleguminosen als günstige organische Düngung einzusetzen, u. a., um den oft kritisch niedrigen Gehalt organischer Bodensubstanz zu erhöhen (ALTIERI 1999). Die vorliegenden

Ergebnisse bestätigen die Sinnhaftigkeit dieser Empfehlung und zeigen, dass durch das Einarbeiten der Gründüngung organische Substanz in den AB-Horizont gebracht wird. Das kann zu einer stärkeren Durchwurzelung dieses Horizontes beitragen und so zu einer besseren Erschließung der dort vorhandenen Nährstoffe (CAVIGELLI & THIEN 2003, CHRISTIANSEN *et al.* 2006).

Die Analysewerte der Proben des Horizonts von 40 - 60 cm waren nicht normalverteilt und wurden deshalb nicht weiter statistisch ausgewertet. Die folgenden Aussagen beruhen demnach auf statistisch nicht abgesicherten Mittelwertvergleichen. Die Gehalte an organischer Substanz von Behandlungsgruppen mit einreihiger und doppelreihiger Gründüngung unterschieden sich nicht markant (GD1: 0,61 %, GD2: 0,53 %). Beide Werte waren aber deutlich höher als die von Misanbau ohne Gründüngung (0,36 %). Ähnlich waren die Verhältnisse beim Gruppenvergleich bzgl. der Gründüngungstechnik: Bei Mulchen resultierte ein Gehalt an organischer Substanz von 0,56 % und bei Einarbeiten ein Gehalt von 0,58 %. Aus diesen Ergebnissen wird abgeleitet, dass im Horizont zwischen 40 und 60 cm Tiefe eine Erhöhung des Gehaltes an organischer Bodensubstanz stattfand, ohne dass sich Menge oder Technik der Gründüngung differenzierend ausgewirkt hätte. Eine Erklärung für diesen Sachverhalt ist, dass Einarbeiten der Gründüngung zwar einen Effekt auf die oberflächennahe Schicht zwischen 20 und 40 cm Tiefe hatte, nicht jedoch auf die tiefer liegende Schicht zwischen 40 und 60 cm Tiefe. In dieser Tiefe spielte allein das Vorhandensein von Leguminosenwurzeln eine Rolle für die Erhöhung des Gehaltes an organischer Bodensubstanz. Die entscheidende Information für das Verständnis der Erhöhung dieses Gehaltes liefert der Mittelwertvergleich der Erhebungstermine: Während von April 1996 bis Juni 1997 der Gehalt an organischer Substanz im Horizont zwischen 40 und 60 cm Tiefe nur unwesentlich anstieg, wurde von Juni 1997 bis September 1997 ein Anstieg von über 100 % verzeichnet, nämlich von 0,35 % auf 0,84 %. Dies ist ein Indiz dafür, dass die in der dritten Versuchsperiode eingesetzte Schwertbohne ein tiefer reichendes Wurzelsystem besaß als die in den beiden ersten Versuchsperioden eingesetzte Augenbohne (WORTMANN *et al.* 2000) und dass es durch das verstärkte Vordringen der Schwertbohnenwurzeln in diesen Horizont zu der beobachteten Zunahme des Gehaltes an organischer Bodensubstanz kam, unabhängig von Verwendung der Schwertbohne als Gründüngung.

3.3.4 Teilzusammenfassung

– Im Hinblick auf die **N-Bilanz** befanden sich die in Rotation angebauten Reinbestände in allen drei Versuchsperioden am oberen bzw. am unteren Ende des Ergebnisspektrums: Der Leguminosen-Reinbestand wies innerhalb der jeweiligen Versuchsperiode entweder eine ausgeglichene oder eine positive N-Bilanz auf, der Mais-Reinbestand hingegen wies in allen drei Versuchsperioden mit Werten zwischen - 38 und - 57 kg N * ha⁻¹ jeweils die am meisten

defizitäre N-Bilanz aller untersuchten Varianten auf (Versuchsfrage 9).

- Die N-Bilanzen der Mischbauvarianten waren abhängig von der als Mischungspartner bzw. Gründüngung eingesetzten Leguminosenart und der Menge der applizierten Gründüngung: Beim Einsatz von Augenbohnen als Mischungspartner wies keine der Mischbauvarianten eine positive N-Bilanz auf. Die mittels Gründüngung oder Erntereste der Augenbohnen importierten Mengen an luftbürtigem Stickstoff waren zu gering, um die N-Exporte über Mais- und Augenbohnenkörner auszugleichen. Beim Einsatz von Schwertbohnen als Mischungspartner wiesen Varianten mit Schwertbohnen-Körnerproduktion eine positive N-Bilanz auf, da bei diesen Varianten aufgrund des starken Massenwachstums große Mengen an stickstoffreichen Ernteresten auf den Parzellen verblieben (Versuchsfrage 9).
- Mischbau mit doppelreihiger Gründüngung führte sowohl beim Einsatz von Augenbohnen als auch beim Einsatz von Schwertbohnen zu einer negativen N-Bilanz. Bei normaler Entwicklung der Leguminosen (erste und dritte Versuchsperiode) betrug das N-Defizit in beiden Fällen in der Größenordnung zwischen 8 und 19 kg N * ha⁻¹ (Versuchsfrage 9).
- Die Untersuchung der **N_{min}-Gehalte in 20 und 60 cm Bodentiefe** ergab, dass es in Zeiten mit ergiebigen Niederschlägen und Mineralisierung von Ernteresten zu einer Verlagerung von Stickstoff in tiefere Bodenhorizonte kam. Der Umfang dieser Auswaschungsverluste konnte mit dem zu lückenhaften Datenmaterial nicht bestimmt werden (Versuchsfrage 8).
- Der Gehalt an **organischer Bodensubstanz** wurde durch die eingesetzten Mischbau-Systeme innerhalb eines Zeitraums von eineinhalb Jahren im Oberboden um 61 %, in 20 - 40 cm Tiefe um 119 % und in 40 - 60 cm Tiefe um 171 % erhöht. Es handelte sich hier noch nicht um stabilen Humus, sondern um leicht abbaubare organische Substanz aus den Ernte- und Wurzelrückständen der Kulturpflanzen (Versuchsfrage 10).
- In der Schicht zwischen 20 und 40 cm Tiefe führte Einarbeiten des Gründüngers zu einem signifikanten Anstieg der organischen Substanz. Die starke Zunahme des Gehaltes an organischer Substanz in den tieferen Schichten wird auf eine tiefer reichende Durchwurzelung durch die Schwertbohnen zurückgeführt (Versuchsfrage 10).

3.4 Gesamtbewertung der Ergebnisse

Eines der Ziele der vorliegenden Arbeiten war es, die gewonnenen Ergebnisse im Hinblick auf die Ertragsstabilität zu bewerten. Daher werden in diesem Kapitel die vorangegangenen Einzelergebnisse in Tabellen und Diagrammen zusammengeführt, indem anhand der Indikatoren Gesamtertrag, Maisertrag, LER-Wert, Stickstoffbilanz, Tendenz der Ertragsentwicklung und Entwicklung der organischen Bodensubstanz eine Betrachtung für die gesamte Versuchslaufzeit durchgeführt wird (Kap. 2.4.2).

Basierend auf den in Abb. 17 dargestellten Radardiagrammen wurden die LMOP-Werte³⁸ der Behandlungsgruppen bzw. Varianten nach der unter 2.4.2 geschilderten Methode bestimmt (Tab. 24). Durch Mischanbau wurden höhere LMOP-Werte erzielt als durch Rotation oder Mais-Monokultur. Der höchste LMOP-Wert (4,84) wurde durch Mischanbau ohne Gründüngung erzielt.

Tab. 24: Ermittlung des LMOP-Wertes basierend auf den Gesamtergebnissen ausgewählter Parameter.

GD0=Mischanbauvarianten ohne Gründüngung (Mittelwert von M/0 und E/0, s. Tab. 8, Seite 31),

GD1=Mischanbauvarianten mit einreihiger Gründüngung (Mittelwert von M/1 und E/1),

GD2=Mischanbauvarianten mit doppelreihiger Gründüngung (Mittelwert von M/2 und E/2), Mono=Mais-Monokultur, Rot.= Rotation, Std=standardisierte Werte.

Calculation of the LMOP-Value based on the overall results of previously selected parameters. GD0=mixed cropping without green manuring(mean value of M/0 and E/0), GD1=mixed cropping with single-row green manuring (mean value of M/1 and E/1), GD2= mixed cropping with double-row green manuring (mean value of M/2 and E/2), Mono=maize-monoculture, Rot. = rotation, Std=standardized values.

	Gesamtkornertrag		Maiskornertrag		LER-Wert		Stickstoffbilanz		Tendenz Ertragsentw.		org. Bodensubstanz		LMOP Std	Rangfolge
	Ertrag (t*ha ⁻¹)	Std	Ertrag (t*ha ⁻¹)	Std	LER	Std	Saldo (kg*ha ⁻¹)	Std	Delta (kg*ha ⁻¹)	Std	Gehalt (%)	Std		
GD0	9,2	0,98	7,1	0,76	1,35	1,00	-21,0	0,87	- 232	0,39	0,25	0,84	4,84	1
GD1	8,9	0,95	7,4	0,79	1,21	0,90	-40,5	0,65	- 313	0,35	0,28	0,94	4,58	2
GD2	9,4	1,00	9,4	1,00	0,97	0,72	-66,1	0,37	- 284	0,36	0,30	1,00	4,45	3
Rot.	8,6	0,91	4,9	0,52	1,00	0,74	-39,8	0,66	973	1,00	0,18	0,58	4,41	4
Mono	8,4	0,89	8,4	0,89	0,87	0,65	-8,8	1,00	- 570	0,22	0,16	0,52	4,17	5

38 LMOP: Length Measure Overall Performance, s. Seite 35

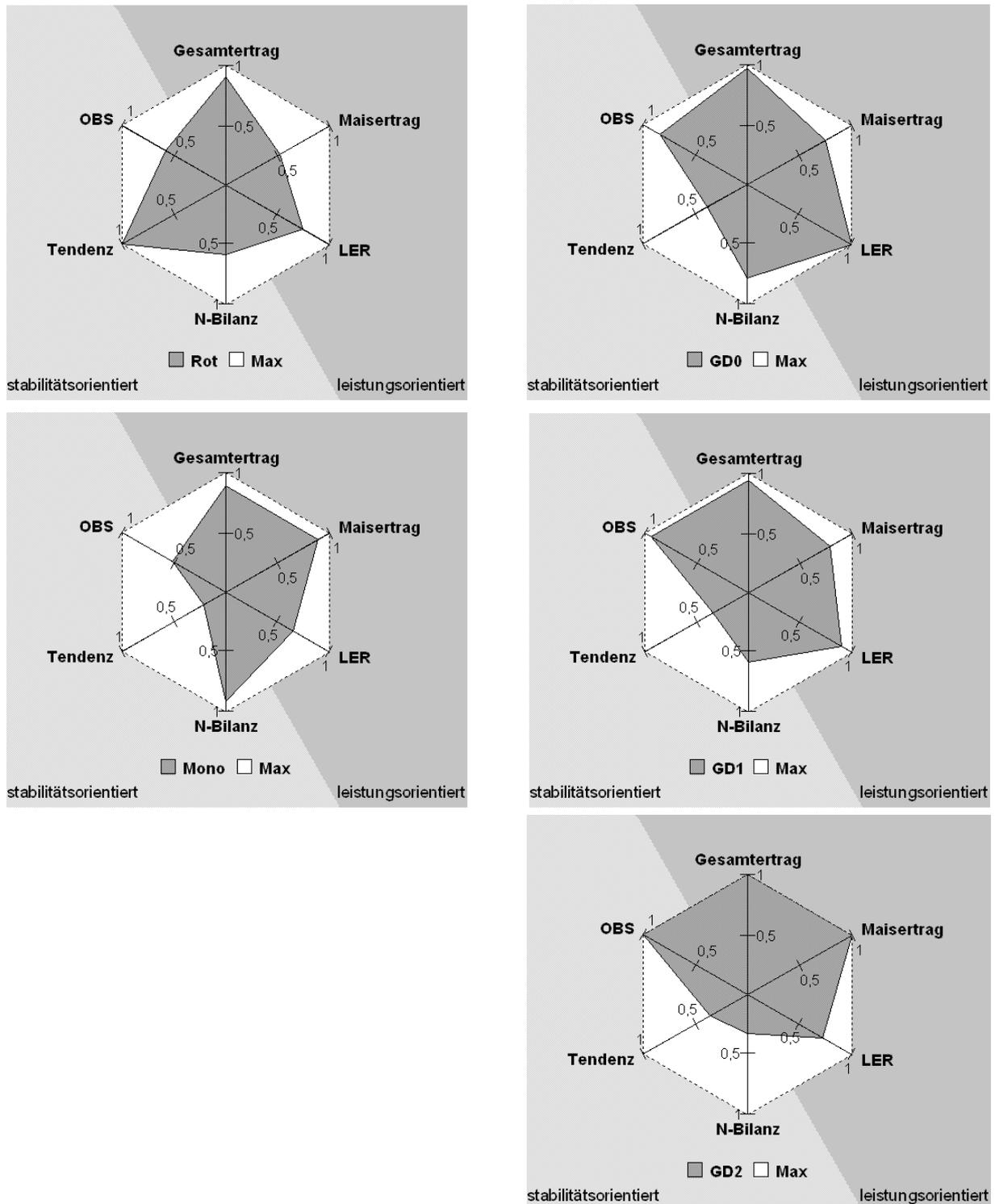


Abb. 17: Gesamtbewertung der Behandlungsgruppen.

GD0 = Misanbau ohne Gründung, GD1 = Misanbau mit einr. Gründung, GD2 = Misanbau mit doppelt. Gründung, Max = maximale Ausprägung aller Parameter, Mono = Monokultur, OBS=organische Bodensubstanz, Rot = Rotation.

Overall evaluation of grouped treatments. GD0 = Intercropping without application of green manure, GD1 = Intercr. with single row appl. of green manure, GD2= Intercr. with double row appl. of green manure, Max = max. performance of all parameters, Mono = Monocultur, OBS = soil organic substance, Rot = Rotation.

Mit zunehmender Menge an applizierter Gründüngung nahm der LMOP-Wert der Mischanbau-Behandlungsgruppen ab: Derjenige von Mischanbau mit einreihiger Gründüngung betrug 4,58 und derjenige von Mischanbau mit doppelreihiger Gründüngung 4,45. Bei diesen Behandlungsgruppen war der Gesamtertrag in etwa gleich groß wie der von Mischanbau ohne Gründüngung, die Ausprägungen der Indikatoren „LER-Wert“, „Stickstoffbilanz“ und „Tendenz der Ertragsentwicklung“ waren jedoch geringer. Die Ausprägung des Indikators „Entwicklung der organischen Bodensubstanz“ nahm mit zunehmender Gründüngungsmenge zu.

Der LMOP-Wert der Rotation betrug 4,41 und derjenige der Monokultur 4,17. Der Vergleich dieser Varianten mit den Mischanbau-Behandlungsgruppen war nicht einheitlich: Einerseits wiesen sie insbesondere im Hinblick auf die Erträge, die Effizienz der Flächennutzung und die Entwicklung der organischen Bodensubstanz niedrigere standardisierte Gesamtergebnisse auf als die Mischanbau-Behandlungsgruppen. Andererseits wies nur die Rotation eine steigende Ertragsentwicklung auf und durch die Mais-Monokultur wurde die am wenigsten defizitäre Gesamtstickstoffbilanz erreicht.

Bei kleinbäuerlich genutzten tropischen Böden ist oft der Gehalt an organischer Bodensubstanz kritisch niedrig. KUMWENDA (1996) spricht im Zusammenhang mit dem Gehalt an organischer Bodensubstanz bei Maisanbau durch Kleinbauern von einer „Abwärtsspirale“ der Fruchtbarkeit tropischer Böden. Die vorliegenden Ergebnisse deuten an, dass durch Mischanbau mit Gründüngungsnutzung der gemeinsam angebaute Leguminosen sowohl eine Ertragserhöhung des Mais als auch eine Zunahme des Gehaltes an organischer Bodensubstanz erreicht werden konnte (s. auch Kap. 3.3.3). In die gleiche Richtung wies die Empfehlung des CIDICCO, Körnerleguminosen als Gründüngung zur Erhöhung der organischen Bodensubstanz einzusetzen (ALTIERI 1999).

Durch Mischanbau mit doppelreihiger Gründüngung wurde zwar eine Zunahme des Gehaltes an organischer Bodensubstanz und der höchste Gesamtertrag erzielt, der LMOP-Wert war jedoch trotzdem geringer als derjenige von Mischanbau ohne oder mit einreihiger Gründüngung. Dieser Sachverhalt kann insbesondere auf die Stickstoffbilanzen zurückgeführt werden: Beim Vergleich fällt auf, dass bei zunehmender Gründüngungsnutzung der Leguminosen einem höheren Maisertrag eine stärker defizitäre N-Bilanz gegenüberstand und damit letztlich eine Abnahme der Ertragsstabilität. Dieser Zusammenhang wird durch die in Abb. 17 dargestellten Radardiagramme anschaulich illustriert: Der Polygonzug von Mischanbau mit doppelreihiger Gründüngung ist gegenüber dem Polygonzug von Mischanbau ohne Gründüngungsnutzung der Leguminosen weiter in die leistungsorientierte Hälfte verschoben bei einer gleichzeitigen Abnahme in der stabilitätsorientierten Hälfte des Diagramms. Nach der unter 2.4.2 erläuterten Methodik wurde die

Verteilung des LMOP-Wertes auf die beiden Hälften des Diagramms berechnet und in Tab. 25 wiedergegeben. Bei Mischanbau ohne Gründüngung ist der LMOP-Wert zu 43 % auf die stabilitätsorientierte und zu 57 % auf die leistungsorientierte Hälfte verteilt. Bei Mischanbau mit doppelreihiger Gründüngung befinden sich 39 % in der stabilitätsorientierten Hälfte und 61 % in der leistungsorientierten Hälfte. Mischanbau mit einreihiger Gründüngung liegt im Hinblick auf die Lage des Polygonzugs im Radardiagramm zwischen Mischanbau ohne Gründüngung und Mischanbau mit doppelreihiger Gründüngung.

Die Verteilung der LMOP-Werte der Mischanbauvarianten auf die beiden Hälften des Radardiagramms zeigen, dass durch zunehmende Menge an applizierter Gründüngung dem kurzfristigen Erfolg durch höhere Erträge ein höherer Ressourcenverbrauch, insbesondere von Stickstoff, gegenüberstand. Dies wiederum bewirkte eine Abnahme der langfristigen Stabilität.

Tab. 25: Gesamtbewertung anhand des LMOP-Wertes.

LMOP = Length Measure of Overall Performance.

Overall evaluation of grouped treatments. LMOP = Length Measure of Overall Performance.

Behandlungsgruppe	LMOP	leistungsorientiert (%)	stabilitätsorientiert (%)
Mischanbau ohne Gründüngung (GD0)	4,84	57	43
Mischanbau mit einr. Gründüngung (GD1)	4,58	58	42
Mischanbau mit doppeln. Gründüngung (GD2)	4,45	61	39
Rotation (R)	4,41	49	51
Monokultur (Mono)	4,17	58	42

Im Rahmen einer Untersuchung von Möglichkeiten, die südafrikanischen Kleinbauern zur Verfügung standen um langfristig die Bodenfruchtbarkeit bei einer für die Subsistenz ausreichend hohen Maisproduktion zu erhalten, stellten BLACKIE & JONES (1993) beim gemeinsamen Anbau von Mais und Leguminosen einen erhöhten Ressourcenverbrauch im Vergleich mit dem alleinigen Anbau von Mais fest. Daraus leiteten sie die Aussage ab, dass Mischanbau von Leguminosen und Mais nicht zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit beitrug. Diese Aussage kann im Hinblick auf die Ergebnisse und Rahmenbedingungen der vorliegenden Arbeit nur z.T. bestätigt werden. Zwar standen einem höheren Ertragsniveau der Mischanbauvarianten verglichen mit dem alleinigen Anbau von Mais stärker defizitäre N-Salden gegenüber (Tab. 24). Allerdings war die Effizienz der Ressourcennutzung bei Mischanbau (LER-Wert), insbesondere bei Mischanbau ohne Gründüngung, signifikant höher als bei alleinigem Anbau von Mais. D. h. dem erhöhten Ressourcenverbrauch stand eine überproportionale Erhöhung des Gesamtkornertrages gegenüber. Wenn man davon ausgeht, dass zum Erreichen einer nachhaltigen Landbewirtschaftung Nährstoffexporte über die

Ernteprodukte sowohl bei alleinigem Anbau als auch bei Mischanbau in einer angemessenen Form ausgeglichen werden müssen, dann ist die Effizienz der Ressourcennutzung die entscheidende Größe. Aus diesem Blickwinkel gesehen kann Mischanbau von Mais und Leguminosen bei einer entsprechenden Optimierung des Anbaus sehr wohl zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit beitragen. In eine ähnliche Richtung weisen Aussagen von OFORI & STERN (1987). Sie beurteilten Mais-Augenbohnen-Mischanbau aufgrund einer erhöhten Konkurrenz um Stickstoff nur dann als kritisch, wenn Augenbohnen (z. B. aufgrund einer fehlenden Inokulierung) nicht zur symbiotischen Stickstofffixierung in der Lage waren. Wenn sie dazu in der Lage waren, dann wurde die Konkurrenz um Stickstoff reduziert und dadurch eine erhöhte Effizienz der Nutzung des zur Verfügung stehenden Stickstoffs erreicht.

Entscheidend dafür, ob das Potenzial des Mischanbaus, ggf. mit Nutzung von Leguminosen als Gründüngung, in der kleinbäuerlichen Praxis zum Vorteil eingesetzt werden kann, ist das Erreichen einer entsprechenden Optimierung der Anbaubedingungen.

3.4.1 Teilzusammenfassung

- Insgesamt erbrachten im Hinblick auf die Fragestellungen der vorliegenden Arbeit die Mischanbau-Behandlungsgruppen günstigere Ergebnisse als Rotation oder Monokultur. Insbesondere erwies sich Mischanbau ohne Gründüngung als eine Anbaumethode, die einen hohen Gesamtertrag erzielte und die im Hinblick auf den Ressourcenverbrauch annähernd stabil war (Versuchsfrage 11).*
- Durch die Nutzung der bei den Mischanbauvarianten gemeinsam mit dem Mais wachsenden Leguminosen zur Gründüngung des Mais wurde sowohl eine Erhöhung der organischen Bodensubstanz als auch eine Steigerung von Maisertrag und Gesamtertrag erzielt. Diese Ertragssteigerung ging insbesondere bei Mischanbau mit doppelreihiger Gründüngung aufgrund der nicht ausgeglichenen N-Bilanz zu Lasten der langfristigen Stabilität (Versuchsfrage 11).*

4 Generaldiskussion: Handlungsalternativen für die kleinbäuerliche Landwirtschaft der Region

Auch Landwirte aus kleinbäuerlich strukturierten Regionen befinden sich im Spannungsfeld zwischen kurzfristigem Maximalertrag bei Inkaufnahme von Überbeanspruchung der natürlichen Ressourcen und langfristiger Ertragsstabilität durch schonenden Umgang mit diesen Ressourcen. Aufgrund der oft knappen finanziellen Reserven ist ihr wirtschaftliches Überleben in besonderem Maße davon abhängig, dass sie das richtige Verhältnis von Ertrag und Stabilität realisieren. Ihre Ziele und Entscheidungen stellen den Versuch dar, diese beiden oft auseinanderstrebenden Anforderungen in Einklang zu bringen (BLACKIE & JONES 1993, SCHULZ 1994, KUMWENDA *et al.* 1996, THRUPP 1996, ALTIERI 1999 und 2008). Das oben beschriebene Spannungsfeld bildet die Ausgangsbasis für die Diskussion der im vorangegangenen Kapitel dargestellten Ergebnisse im Hinblick auf mögliche Handlungsalternativen für kleinbäuerliche Betriebe der Region.

Eine grundlegende Entscheidung, die jeder Landwirt treffen muss, ist die Wahl des Anbausystems (Tab. 2, S. 11). Im Organischen Landbau der gemäßigten Breiten hat insbesondere die Rotation in Form von mehrgliedrigen Fruchtfolgen einen festen Platz. Gründungsleguminosen sind wesentlicher Bestandteil dieser Fruchtfolgen, sie dienen u.a. der Verbesserung des Bodengefüges, der Humusanreicherung und dem Einbringen luftbürtigen Stickstoffs in das Boden-Pflanze-System (KAHNT 1983). Engräumige Mischanbausysteme, wie bspw. die Zwischenpflanzung, eignen sich aufgrund der geringen Mechanisierbarkeit nicht für die zumeist stark mechanisierte Landwirtschaft der gemäßigten Breiten.

In der kleinbäuerlich strukturierten Landwirtschaft tropischer Regionen hingegen wird der ganzflächige Anbau von Gründungsleguminosen in Rotation mit Erntefrüchten traditionell selten praktiziert. Stattdessen ist der Mischanbau von Nichtleguminosen mit Leguminosen sehr verbreitet und für Kleinbetriebe besonders geeignet (BLACKIE & JONES 1993, PETER & RUNGE-METZGER 1994, ALTIERI 1999, ESPINDOLA *et al.* 2004, NEVES *et al.* 2008). Die oben erwähnte geringe Mechanisierbarkeit von engräumigen Mischanbausystemen stellt für die kleinbäuerliche Landwirtschaft dieser Region aufgrund des niedrigen Mechanisierungsgrades (SCHULZ 1994) i. d. R. kein Hindernis dar. Die verschiedenen Formen des Mischanbaus gelten als Anbausysteme, deren Stärken im Bereich der langfristigen Stabilität liegen (RAO & MORGADO 1984, BLACKIE & JONES 1993, ALTIERI 2002).

Die unter 3.4 (S. 82) dargestellte Gesamtbewertung der durchgeführten Versuche untermauert diese in einer über Generationen gesammelten Erfahrung begründeten Wirtschaftsweise und zeigt, dass Mischanbau unter den gegebenen Rahmenbedingungen und bei Zugrundelegen der unter 2.4.4

beschriebenen Kriterien (S. 33) mehr Vorteile erbrachte als die Rotation von Mais und Leguminosen oder die Maismonokultur mit N-Zufuhr aus externen Quellen. Denn

- durch Misanbau wurden die vorhandenen Ressourcen effizienter genutzt (Kap. 3.2.3, S. 63)
- durch Misanbau wurde ein günstigerer Kompromiss im Hinblick auf die auseinanderstrebenden Zielgrößen „Ertragsmaximierung“ und „Ertragsstabilität“ erreicht (Kap. 3.4.1 S. 86) und
- Misanbau bot die Möglichkeit, die als Mischungspartner angebaute Leguminose zur Gründüngung der Maiskultur zu nutzen, ein Sachverhalt der einer in der konventionellen Landwirtschaft üblichen Kopfdüngung entsprach.

In den folgenden Abschnitten wird der Zusammenhang dieser Ergebnisse zu anderen Forschungsergebnissen über Chancen und Spezifika von Misanbausystemen hergestellt und Möglichkeiten der Optimierung von Misanbau und Gründüngung diskutiert.

4.1 Spezifika und Chancen des Misanbaus

Wenn Pflanzen unterschiedlicher Arten den gleichen Lebensraum besiedeln, dann interagieren sie zwangsläufig miteinander. Meistens bedeutet diese Interaktion eine mehr oder weniger starke Konkurrenz, unter bestimmten Bedingungen kann es aber auch zu einer gegenseitigen Förderung kommen.

Wenn es sich nur um eine schwache Konkurrenz handelt, so können beide Arten langfristig den gleichen Lebensraum besiedeln. Übersteigt die Intensität der Konkurrenz jedoch einen bestimmten Schwellenwert, so wird die konkurrenzschwächere der beiden Arten langfristig verschwinden. Dieses Prinzip wird in der Ökologie als Konkurrenzausschlussprinzip bezeichnet. Die Stärke der Konkurrenz zwischen den Arten (interspezifische Konkurrenz) wird dabei in Relation zur Konkurrenz der Artgenossen untereinander gesetzt (intraspezifische Konkurrenz). Ist die interspezifische Konkurrenz geringer als die intraspezifische Konkurrenz, so können die beiden Arten langfristig den gleichen Lebensraum besiedeln. Im umgekehrten Fall wird die konkurrenzstärkere Art die konkurrenzschwächere langfristig aus dem Lebensraum verdrängen.

Das den Begriffen *Relative Yield Total* (RYT) bzw. *Land Equivalent Ratio* (LER)³⁹ unterliegende Prinzip stellt die Anwendung dieses allgemeinen Prinzips der Ökologie auf den speziellen Fall eines Feldbestandes dar (VANDERMEER 1992). Die Messgröße zur Darstellung des Verhältnisses von interspezifischer zu intraspezifischer Konkurrenz ist die relative Produktivität des Misanbaus

³⁹ Die Kennwerte „RYT“ und „LER“ sind rechnerisch immer gleich. Den Benennungen/Interpretationen liegen jedoch unterschiedliche Betrachtungsweisen zugrunde (s. Seite 25). Die Interpretation des RYT-Wertes steht den hier erläuterten ökologischen Zusammenhängen näher als die Interpretation des LER-Wertes.

verglichen mit der relativen Produktivität des Anbaus der gleichen Arten in Reinkultur. VANDERMEER (1992) prägte für diesen Sachverhalt den Begriff *competitive production principle*.

In Zusammenhang mit dem RYT-Wert und der in ihn eingehenden Parameter können zwei Fälle unterschieden werden (s. Seite 25):

1. Ist der RYT-Wert größer als 1, so ist die interspezifische Konkurrenz geringer als die intraspezifische und die Produktivität des Mischanbaus ist höher als die des Anbaus in Reinkultur. In diesem Fall bewirkt der Mischanbau gegenüber dem Anbau in Reinkultur eine Reduktion der Konkurrenz und eine effizientere Nutzung der vorhandenen Ressourcen.
2. Der RYT-Wert stellt die Summe der relativen Einzelerträge der zusammen angebauten Arten dar. Wenn mindestens einer dieser relativen Einzelerträge größer als 1 ist, so wird die zu diesem relativen Einzelertrag gehörende Art durch die andere Art gefördert. Diese Förderung wird in der Ökologie als Begünstigung (*Facilitation*) bezeichnet.

4.1.1 Reduktion von Konkurrenz

Die Reduktion der Konkurrenz zwischen zwei Spezies hängt von der Intensität des Konkurrenzdruckes und von denjenigen Eigenschaften der miteinander konkurrierenden Spezies ab, die eine Nischendifferenzierung⁴⁰ begünstigen. Solche Eigenschaften können durch ackerbauliche Maßnahmen genutzt werden, um in Mischanbausystemen die Effizienz der Ressourcennutzung zu erhöhen.

Unterschiedliche **Entwicklungsgeschwindigkeiten und Reifezeiten** von gemeinsam angebauten Kulturen bewirken eine Nischendifferenzierung bzgl. der Zeiten erhöhter Nährstoffaufnahme und damit einhergehend eine Reduktion von Konkurrenz um diese Nährstoffe (WILLEY 1990, VANDERMEER 1992, FUKAI & TRENATH 1993). Durch die Auswahl passender Mischungspartner und Saattermine kann der Mischanbau so gestaltet werden, dass die Nutzung der vorhandenen Ressourcen optimiert wird.

Durch eine geeignete Kombination von **Phänotypen und CO₂-Kompensationspunkt** der gemeinsam angebauten Kulturen kann eine Reduktion der Konkurrenz um den Wachstumsfaktor Licht erreicht werden: Wenn eine Graminee mit hohem CO₂-Kompensationspunkt über einen erectophilen Habitus verfügt, so ist es von Vorteil, diese mit einer niedrigwüchsigen Leguminose mit niedrigem CO₂-Kompensationspunkt gemeinsam anzubauen. Letztere kann das von den oberen Blattetagen der Graminee durchgelassene Licht effizienter nutzen als die niederen Blattetagen der

⁴⁰ Nischendifferenzierung ist die durch Konkurrenzdruck hervorgerufene Ausweichstrategie von Spezies, deren ökologische Nischen sich überlappen. Sie führt zu einer Reduktion der Konkurrenz (MACARTHUR & LEVINS 1967).

Graminee, die unter diesen Bedingungen mehr CO₂ veratmet als sie bindet. Die Nischendifferenzierung hinsichtlich der Ausnutzung der Sonneneinstrahlung kann durch Auswahl von geeigneten Mischungspartnern unterstützt werden (CLARK & FRANCIS 1985). So erwiesen sich kurzwüchsige Maissorten mit erectophiler Blatthaltung als geeigneter für den Misanbau mit Leguminosen als hochwüchsige Sorten mit planophiler Blatthaltung (WAHUA *et al.* 1981).

Durch eine geeignete Kombination von Phänotypen kann darüber hinaus eine frühere Bodendeckung und damit eine Senkung der Evaporation sowie eine Erhöhung des Blattflächenindex erreicht werden.

Unterschiedliche **Durchwurzelungsmuster** von Mischungspartnern können genutzt werden, um die Konkurrenz um Wasser zu reduzieren. Konkurrenz um Wasser ist i.d.R. hoch, eine einzelne Wurzel bspw. kann den Wasservorrat des Bodens in einem Radius von 25 cm entleeren (STEINER 1984). Bei gemeinsamem Anbau von Getreide und Leguminosen ist jedoch oft die interspezifische Konkurrenz geringer als die intraspezifische und die Wassernutzungseffizienz bei gemeinsamem Anbau ist höher als bei alleinigem Anbau (MORRIS & GARRITY 1993). Als ein Grund dafür wurde angeführt, dass Getreide und Leguminosen unterschiedliche Durchwurzelungsmuster aufweisen und so bei gemeinsamem Anbau das im durchwurzelten Bodenprofil zur Verfügung stehende Wasser effizienter nutzen (GREGORY & REDDY 1982, WILLEY 1990, BENZING 1996).

Die Konkurrenz um immobile Nährstoffe wie Kalium und Phosphor wird durch Eigenschaften und Mechanismen von mindestens einem der Mischungspartner reduziert, welche die Verfügbarkeit des betroffenen Nährstoffs erhöhen. In diese Kategorie fallen bspw. die Fähigkeiten von einigen Pflanzen, in einer Konkurrenzsituation das **Verhältnis von Wurzellänge/Wurzelgewicht** zu erhöhen, **längere Wurzelhaare** auszubilden und **chelatierende Wurzelexsudate** auszuscheiden (BENZING 1996, HAUGGAARD-NIELSEN *et al.* 2001).

Aufgrund der Fähigkeit von Leguminosen mithilfe der Knöllchenbakterien Luftstickstoff zu fixieren, nimmt der gemeinsame Anbau von Leguminosen mit Nichtleguminosen eine Sonderstellung ein. Es wird allgemein davon ausgegangen, dass diese Art des Misanbaus häufiger ein Vorteil gegenüber dem Anbau in Reinkultur erbringt, als der gemeinsame Anbau zweier Nichtleguminosen. Dieser Sachverhalt wird darauf zurückgeführt, dass den gemeinsam angebauten Feldfrüchten durch die **sympiotische N₂-Fixierung** seitens der Leguminose unterschiedliche Stickstoffquellen zur Verfügung stehen (HALL 1974, SANCHEZ 1976, SNAYDON & HARRIS 1979, KUMWENDA *et al.* 1996, ANDERSEN 2005) und somit die Konkurrenz um Stickstoff reduziert wird (TRENBATH 1976).

Mineralisierter Stickstoff ist in Nitratform im Boden sehr mobil und wird bei entsprechenden Klimabedingungen schnell verlagert bzw. ausgewaschen. Auch die Verluste durch Volatilisation in Form von NH_3 können insb. unter tropischen Klimabedingungen beträchtlich sein. Da Stickstoff jedoch von allen Pflanzen in größeren Mengen benötigt wird, ist die Konkurrenz um diesen Hauptnährstoff stark. Das gilt grundsätzlich auch für den gemeinsamen Anbau von Leguminosen und Nichtleguminosen. Die Konkurrenz wird dann reduziert, wenn es zur Symbiose zwischen Leguminose und Rhizobien kommt und die Leguminose durch die symbiotische N_2 -Fixierung luftbürtigen Stickstoff aufnimmt (OFORI *et al.* 1987). Da die Bindung zwischen Rhizobien⁴¹ und Leguminosenart spezifisch ist (MARSCHNER 1995), kommt es je nach Vorhandensein der „richtigen“ Rhizobien zu unterschiedlich effektiver symbiotischer Bindung. Deshalb wird empfohlen, vor der Saat das Leguminosensaatgut mit den entsprechenden Rhizobien zu inokulieren (NEVES & RUMJANEK 1996, ZILLI *et al.* 2004, NEVES *et al.* 2008). Im Rahmen dieser Arbeit wurden Augenbohnen und Schwertbohnen mit *Bradyrhizobien* (S. 16) inokuliert.

Nach Ausbildung der symbiotischen Bindung zwischen Rhizobien und Leguminose nutzt die Leguminose insbesondere unter Konkurrenzbedingungen verstärkt luftbürtigen Stickstoff (TRENBATH 1976, TOFINGA *et al.* 1993). Bei Mischanbau ohne Gründung wurden im Rahmen dieser Arbeit durch die Leguminosen etwa 74 % des aufgenommenen Stickstoffs fixiert. Bei alleinigem Anbau von Augenbohnen war der Anteil luftbürtigen Stickstoffs an der gesamten N-Aufnahme niedriger und betrug lediglich 56 % (erste Versuchsperiode, Kap. 3.1.1, S. 37). JENSEN (1996) berichtete, dass Erbsen bei Mischanbau mit Gerste 82 % des aufgenommenen Stickstoffs aus der symbiotischen N_2 -Fixierung bezogen im Vergleich zu nur 62 % bei alleinigem Anbau. Auch eine Reihe weiterer Untersuchungsergebnisse anderer Autoren belegen, dass Leguminosen bei gemeinsamem Anbau mit Getreide einen höheren Anteil luftbürtigen Stickstoff aufweisen als bei alleinigem Anbau (DANSO *et al.* 1987, RUSINAMHODZI *et al.* 2006, DAHLMANN & V. FRAGSTEIN UND NIEMSDORFF 2007). Als Ursache wird eine in der Wurzelmorphologie von Gramineen begründete höhere Konkurrenzkraft um in der Bodenlösung vorhandenen mineralischen Stickstoff gesehen. Dadurch steht der Leguminose weniger bodenbürtiger Stickstoff zur Verfügung und sie bezieht einen höheren Anteil des Stickstoffs aus der symbiotischen N_2 -Fixierung (ANDERSEN 2005). Der höhere prozentuale Anteil luftbürtigen Stickstoffs bedeutet nicht zwangsläufig, dass sie größere Mengen luftbürtigen Stickstoffs als bei alleinigem Anbau aufgenommen hat, sondern in erster Linie, dass sie weniger bodenbürtigen Stickstoff aufgenommen hat. Die absolute Menge des bei Mischanbau durch die Leguminosenkomponente fixierten Stickstoffs hängt sehr stark von den Konkurrenzverhältnissen ab

41 Die Spezifität geht über die Ebene Rhizobienart/Leguminosenart hinaus. Es werden die für eine Inokulation am besten geeigneten Rhizobien- bzw. Bradyrhizobienstämme ermittelt (z. B. DA SILVA *et al.* 2007).

(ANDERSEN *et al.* 2004). Ist die Nichtleguminose (oft eine Getreideart) dominant, wird die N₂-Fixierung der Leguminose mehr oder weniger negativ beeinflusst und die fixierte N-Menge nimmt gegenüber alleinigem Anbau ab. JENSEN *et al.* (2005) zeigte den Einfluss der Konkurrenz auf die N₂-Fixierung, indem er Erbsen mit zwei unterschiedlichen Gerstensorten anbaute: Bei gemeinsamem Anbau mit der konkurrenzstärkeren Gerstensorte Otira betrug die aufgenommene Menge luftbürtigen Stickstoffs etwa 90 kg * ha⁻¹. Die N-Bilanz der Variante war leicht negativ. Wenn die Erbsen gemeinsam mit der konkurrenzschwächeren Sorte Lysiba angebaut wurden, betrug die aufgenommene Menge ca. 130 kg Ndfa * ha⁻¹, die N-Bilanz war positiv und die Aufnahme bodenbürtigen Stickstoffs gleich oder geringer als bei den anderen Varianten. Die Abnahme der absoluten Menge fixierten Stickstoffs gegenüber alleinigem Anbau der Erbsen (ca. 140 kg Ndfa * ha⁻¹) war im ersten Fall signifikant, im zweiten war sie es nicht.

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit als Mischungspartner eingesetzten Augenbohnen bzw. Schwertbohnen unterschieden sich im Hinblick auf N₂-Fixierung und Konkurrenzstärke gegenüber Mais deutlich (Kap. 3.1.1 S. 37). Bei Mischanbau mit Mais betrug die aufgenommene Menge luftbürtigen Stickstoffs bei Augenbohnen 19 kg N * ha⁻¹. Die N-Bilanz war negativ (Tab. 21, S. 68). Demgegenüber betrug die durch Schwertbohnen aufgenommene Menge an luftbürtigem Stickstoff 148 kg Ndfa * ha⁻¹ und die Bilanz war positiv (Tab. 23, S. 72). Anhand dieses beträchtlichen Unterschiedes im Hinblick auf N-Fixierung und N-Bilanz wird deutlich, dass der Auswahl geeigneter Mischungspartner für das Erreichen nachhaltiger Produktivität und für die Nutzung des Potentials einer Getreide-Leguminosen-Mischkultur eine große Bedeutung zukommt. Unter den gegebenen Bedingungen und im Hinblick auf N₂-Fixierung und N-Bilanz war die Schwertbohne der Augenbohne als Mischungspartner für den gemeinsamen Anbau mit Mais vorzuziehen.

Obwohl im Zusammenhang mit der direkten Nutzung der biologischen Stickstofffixierung fast ausschließlich von der symbiotischen Stickstofffixierung durch Leguminosen die Rede ist und sich der größte Anteil wissenschaftlicher Arbeiten auf diese Art der Stickstofffixierung bezieht, ist die Nutzung der biologischen Stickstofffixierung durch diazotrophe Bakterien auch bei anderen Pflanzenfamilien bekannt. Bedeutung für die regionale tropische Landwirtschaft hat insbesondere die **assoziative N₂-Fixierung** bei bestimmten Mais- und Zuckerrohrsorten. (DÖBEREINER 1961, BÜLOW & DÖBEREINER 1975, CAVALCANTE & DÖBEREINER 1988, DÖBEREINER 1992, BODDEY & DÖBEREINER 1995). Bei dieser Art der N₂-Fixierung ist allerdings kein gleichermaßen enger Zusammenhang zu Mischbausystemen gegeben wie bei der symbiotischen N₂-Fixierung.

Letztendlich führt der Einsatz der oben genannten ackerbaulichen Maßnahmen zu einer Reduktion von Konkurrenz, zu einer effizienteren Nutzung der vorhandenen Ressourcen und zu

Ertragsvorteilen bei Mischanbau im Vergleich mit Reinkulturanbau. Dieser generelle Zusammenhang wurde in einer Vielzahl von Einzeluntersuchungen bestätigt (u. a. WILLEY 1979, OFORI & STERN 1987, JENSEN 1996, JENSEN *et al.* 2005, ALTIERI 1999, ANDERSEN *et al.* 2004, KIESSLING & KÖPKE 2008). Auch die im Rahmen der vorliegenden Arbeit bestimmten LER-Werte des gemeinsamen Anbaus von Mais und Augenbohnen bzw. Mais und Schwertbohnen (ohne Gründüngungsnutzung der Leguminosenkomponente) waren größer als eins (Tab. 20, S. 64).

4.1.2 Begünstigung

Neben der Reduktion von Konkurrenz durch Nischendifferenzierung spielt eine als Begünstigung (*Facilitation*) bezeichnete Art der Interaktion eine wichtige Rolle. Begünstigung tritt auf, wenn eine der gemeinsam angebauten Spezies die unmittelbaren Umweltbedingungen so beeinflusst, dass die andere Spezies dadurch in ihrer Entwicklung gefördert wird, ohne dass die erste Spezies selbst durch die geförderte Spezies beeinträchtigt wird (VANDERMEER 1984 und 1992, ANDERSEN 2005). Dieser positive Effekt wird insbesondere dann erkennbar, wenn sich die betreffende Spezies bei gemeinsamem Anbau besser entwickelt bzw. höhere Erträge erzielt, als bei alleinigem Anbau und demzufolge der relative Einzelertrag der Spezies größer als eins ist.

Ein typischer Fall von Begünstigung ist es, wenn rankenden Kulturpflanzen **stützende Strukturen** durch Mischungspartner zur Verfügung stehen (VANDERMEER 1992, WATERER *et al.* 1994). Ein Beispiel für diese Art der Begünstigung ist die von VANDERMEER (1992) beschriebene Förderung von *Hylocereus sp.* (epiphytischer Kaktus, dessen Frucht zur Herstellung eines Getränkes genutzt wird) beim gemeinsamen Anbau mit *Spondias purpurea* (ein Obstbaum) in Nicaragua. Als Epiphyt wächst *Hylocereus* auf dem Boden nur sehr schlecht und benötigt einen Baumstamm um sich optimal zu entwickeln. Da *Hylocereus sp.* sich auf *Spondias purpurea* nicht nachteilig auswirkt, werden diese beiden Arten häufig gemeinsam angebaut. Der relative Einzelertrag von *Hylocereus sp.* ist i. d. R. größer als eins, d. h. beim gemeinsamen Anbau mit *Spondias purpurea* ist sein Ertrag höher als bei alleinigem Anbau.

Eine weitere für den praktischen Einsatz wichtige Art von Begünstigung liegt vor, wenn das **Auftreten von Schädlingen und Krankheiten durch den Mischungspartner reduziert** wird. In der Literatur gibt es zahlreiche Arbeiten zu diesem Themenbereich (VANDERMEER 1992, TRENBATH 1993, ALTIERI 2002, ANDERSEN 2005). So stellten FRANCIS & SANDERS (1978) einen weniger intensiven Befall mit *Spodoptera frugiperda* bei Mischanbau von Mais und Bohnen fest, ebenso wie VAN HUIS (1981) in einem ähnlich gelagerten Feldversuch in Nicaragua. VANDERMEER (1992) beschrieb unterschiedliche Parameter, die zu einer Reduktion des Schädlingsbefalls bei Mischanbau führen:

- Die geringere Dichte des einem Schädling als Zielpflanze dienenden Mischungspartners bei Mischanbau und die Tatsache, dass die Abfolge der Zielpflanzen immer wieder durch den zweiten Mischungspartner unterbrochen wird, erschwert das schnelle Auffinden der Zielpflanzen (*disruptive crop hypothesis*). Dieser Effekt tritt insbesondere bei Schädlingen auf, die auf die Zielpflanze spezialisiert sind.
- Eine der gemeinsam angebauten Spezies wirkt stark anziehend auf den Schädling und lenkt diesen von seiner eigentlichen Zielpflanze ab. In diesem Fall ist die Zielpflanze die Hauptkultur und der Mischungspartner dient als *trap crop*. Diesem Mechanismus kommt insbesondere bei nicht spezialisierten Schädlingen Bedeutung zu.
- Die Spezies ziehen bei gemeinsamem Anbau mehr Prädatoren und Parasiten an, als bei alleinigem Anbau. Diese befallen die Schädlinge und tragen so zu einer Reduktion der Schädlingspopulation bei (*enemy hypothesis*).

Schließlich kann die Förderung einer gemeinsam angebauten Spezies auch in der **Erschließung neuer Nährstoffquellen** bestehen. HORST & WASCHKIES (1987) fanden eine höhere Phosphataufnahme bei Weizen, der zusammen mit Weißer Lupine angebaut wurde. Sie begründeten diesen Sachverhalt mit einer unterschiedlichen Phosphat-Effizienz dieser Kulturen. Weiße Lupinen waren in der Lage über den Eigenbedarf hinaus Phosphat in der Rhizosphäre zu mobilisieren. Wurden Weizen und Weiße Lupinen gemeinsam angebaut, so konnte der Weizen hiervon profitieren. Auch von anderen Kulturen sind ähnliche Effekte bekannt. Bei Untersuchungen zur Nährstoffaufnahme von Augenbohnen, stellte BREITENSTEIN (1989) deren Affinität zu vesikular-arbuskulärer Mykorrhiza (VA-Mykorrhiza) fest. VA-Mykorrhiza vergrößerte die Wurzeloberfläche und wirkte sich insbesondere auf die Phosphat-Effizienz der Wirtspflanze positiv aus.

Neben der unter 4.1.1 angeführten Ausweichstrategie von Leguminosen, die bei gemeinsamem Anbau mit Nichtleguminosen zu einer höheren Aufnahme symbiotisch fixierten Stickstoffs führt, berichten einige Autoren über einen **N-Transfer** von Leguminosen hin zu gemeinsam angebauten Nichtleguminosen (PATRA *et al.* 1986, BOLLER & NÖSBERGER 1987, VIERA-VARGAS *et al.* 1995, BENZING 1996, JENSEN 1996). REMISON (1978) führte eine 72 prozentige Zunahme des Mais-Kornertrags auf einen Stickstofftransfer von der gemeinsam angebauten Augenbohne zurück. JENSEN (1986) stellte einen erhöhten Proteingehalt in Maisstengeln bei Streifenanbau von Mais und Bohnen fest.

Während der Durchführung der Laboranalysen für die vorliegende Arbeit wurde nicht nur die natürliche Abundanz von ^{15}N in der Leguminosen-Sprossmasse, sondern auch in der Mais-Sprossmasse bestimmt (Kap. 2.3.2, S. 23). Den Messwerten lässt sich entnehmen, dass die

natürliche Abundanz von ^{15}N in der Mais-Sprossmasse bei allen Mischanbauvarianten verglichen mit der Referenz vermindert war. Dies entspricht einer erhöhten Aufnahme luftbürtigen Stickstoffs. Da bei der eingesetzten Maissorte keine assoziative N_2 -Fixierung festgestellt wurde (S. 40), ist dies ein Indiz dafür, dass tatsächlich ein N-Transfer von den Augenbohnen zum Mais stattgefunden hat. Der berechnete Wert betrug bei Mischanbau ohne Gründüngung 6,5 % der gesamten N-Aufnahme (Tab. 11, S. 40). Dieses Ergebnis bedeutet, dass Mais auch ohne Gründüngung in einem gewissen Umfang von der N_2 -Fixierung der Augenbohnen profitierte und dass Mais durch den gemeinsamen Anbau mit Augenbohnen begünstigt wurde.

Die gemessenen N-Transferraten von Augenbohnen zum Mais nahmen mit zunehmender Gründüngungsmenge zu (Tab. 11, S. 40) und der relative Einzelertrag des Mais der Variante E/2 betrug in der ersten Versuchsperiode 1,18. Er war signifikant größer als eins und derjenige der Augenbohnen war gleich null, da die gesamte Sprossmasse der Augenbohnen als Gründüngung für den Mais genutzt worden war (Tab. 20, S. 64). Ein relativer Einzelertrag größer als eins ist ein Anzeichen dafür, dass Begünstigung stattgefunden hat (VANDERMEER 1992). Zwar handelt es sich in diesem Fall nicht um Begünstigung im engeren Sinne⁴², jedoch wurde der Sachverhalt der Begünstigung gezielt durch ackerbauliche Maßnahmen unterstützt. Aus dieser Möglichkeit ergeben sich weitere Handlungsalternativen für die Landwirtschaft.

4.2 Gründüngung als Steuerungsinstrument

Eine grundlegende Frage der vorliegenden Arbeit war, inwiefern Augenbohnen und Schwertbohnen in der oben beschriebenen Weise zur Gründüngung für den gemeinsam aufwachsenden Mais genutzt werden können. Als Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen wurde festgestellt, dass diese Art der Gründüngung alleine zwar nicht zum Ausgleich der N-Bilanz der Kultur ausreichte, aber dennoch signifikant positive Effekte auf den Kornertrag und die Kolbenqualität des Mais hatte. Die eingangs gestellte Frage, ob die relativ kurze Zeit zwischen Gründüngung und Kornfüllung für die Freisetzung und Aufnahme von N_{min} in einem ertragswirksamen Maß ausreichte, konnte zumindest für die Variante mit Einarbeiten doppelreihiger Gründüngung bejaht werden. Damit stellt die Gründüngungsnutzung der als Mischungspartner angebauten Körnerleguminosen ein Optimierungs- und Steuerungsinstrument für kleinbäuerlich wirtschaftende Betriebe dar, das der im konventionellen Landbau üblichen Kopfdüngung entspricht.

4.2.1 Optimierung der Stickstoffversorgung des Mischungspartners Mais

Die N-Kopfdüngung wird im konventionellen Landbau zur Optimierung der N-Ausnutzung

⁴² Das zweite Kriterium für Begünstigung, dass nämlich der Mischungspartner, dessen Eigenschaften die Förderung bewirken, unbeeinflusst bleibt, ist in diesem Fall nicht gegeben

und -Aufnahme durch die Kultur eingesetzt: Aufgrund seiner Mobilität im Boden kann mineralischer Stickstoff nicht über einen längeren Zeitraum im Boden vorrätig gehalten werden. Bei entsprechenden Niederschlägen kommt es schnell zur Auswaschung von mineralischem Stickstoff, so dass über den momentanen Bedarf hinausgehende Mengen an mineralischem Stickstoff schnell den Wurzelraum der Kulturpflanzen verlassen und diesen dann nicht mehr zur Verfügung stehen. U. a. deshalb wird im konventionellen Landbau, in dem vorwiegend leicht löslicher Stickstoff eingesetzt wird, die gesamte Stickstoffdüngung über den Bedarfszeitraum auf mehrere Gaben aufgeteilt. Für den großflächigen, konventionellen Maisanbau im Süden Brasiliens wird je Tonne erwartetem Maisertrag eine Gabe von 15 - 20 kg N * ha⁻¹ empfohlen (YAMADA 1996). Das entspricht bei einem erwarteten Kornertrag von 6 t * ha⁻¹ einem Bedarf von etwa 120 kg N * ha⁻¹. Diese Menge soll auf eine Gabe von 30 - 50 kg * ha⁻¹ zur Saat und zwei Gaben als Kopfdüngung 30 bzw. 45 Tage nach Auflaufen aufgeteilt werden. Die erste Kopfdüngung soll ein Drittel und die zweite zwei Drittel der verbleibenden N-Menge betragen. Auf diese Weise sollen Auswaschungsverluste während der Jugendentwicklung des Mais vermieden werden und N während der danach einsetzenden Phasen des Massenwachstums, der Kolbenanlage und der Kornfüllung im benötigten Umfang zur Verfügung stehen.

Im Organischen Landbau wird Kopfdüngung weniger häufig praktiziert, da Stickstoff den Kulturen entweder durch symbiotische Stickstofffixierung oder zusammen mit organischen Düngern zugeführt und durch Mineralisierung bodenbürtig freigesetzt wird. Trotzdem ist auch im Organischen Landbau eine gezielte Nährstoffzufuhr in Phasen erhöhten Nährstoffbedarfs von Vorteil und einige Autoren berichten von Untersuchungen zur Anpassung dieses Konzepts auf die Verhältnisse des Organischen Landbaus. So setzte SCHMIDT (1997) Vinasse als Kopfdüngung (60 kg N * ha⁻¹) bei Weizen ein und erreichte dadurch eine erhöhte Stickstoffaufnahme des Weizens. PAFFRATH *et al.* (2003) berichteten von einem signifikant höheren Ertrag bei Vinasse-Kopfdüngung zu Blumenkohl im Vergleich mit Varianten, bei denen die gleiche N-Menge nur als Grunddüngung zur Saat verabreicht wurde. In der gleichen Arbeit stellten die Autoren jedoch fest, dass die Nutzung einer geschroteten, im eigenen Betrieb angebauten Körnerleguminose (z. B. Ackerbohne) zur Düngung im Feldgemüsebau dem Ideal eines geschlossenen Betriebsorganismus näher kommt, als der Einsatz eines organischen Zukaufdüngers wie Vinasse.

Im Institut für Organischen Landbau der Universität Bonn wurde in den Jahren von 1991 bis 1993 ein Streifenanbausystem für Backweizen entwickelt, das speziell für die Erfordernisse des Organischen Landbaus ausgelegt wurde (SCHULZ-MARQUARDT & WEBER 1993a, SCHULZ-MARQUARDT & WEBER 1993b, SCHULZ-MARQUARDT *et al.* 1994a, SCHULZ-MARQUARDT *et al.* 1994b, WEBER *et al.* 1994,

SCHULZ-MARQUARDT *et al.* 1995a, SCHULZ-MARQUARDT *et al.* 1995b): Gerade beim Anbau von Backweizen bestand das Problem einer ausreichenden Stickstoffversorgung zur Zeit der Kornfüllung. Der für eine hinreichende Backqualität benötigte Kornproteingehalt von 11,5 % war auch nach günstigen Vorfrüchten nicht immer gewährleistet. Um eine gezielte (Kopf-)Gründüngung zu ermöglichen, wurden abwechselnd Streifen mit Weizen und Futterleguminosen angebaut. Die Sprossmasse der Futterleguminosen wurde mit einem Feldhäcksler direkt in den wachsenden Weizenbestand gemulcht. Auf diese Weise konnte trotz Verzichts auf mineralischen, leicht löslichen Stickstoffdünger eine Kopfdüngung erfolgen. Der Kornproteingehalt des Weizens konnte 1992, je nach Versuchsvariante, von durchschnittlich 10,7 % auf 11,5 % bis 12,9 % gesteigert werden. Durch diese Maßnahme wurde die Backqualität des Weizens entscheidend verbessert. Die Ertragssteigerungen lagen zwischen 8 % und 17 % (SCHULZ-MARQUARDT & WEBER 1993b).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde dieses Konzept an den Mischanbau mit gezielter Applikation von Gründüngung entsprechend den Bedingungen der kleinbäuerlichen Landwirtschaft im brasilianischen Bundesstaat Rio de Janeiro angepasst. So wurde als Anbausystem nicht der für mechanisierte Landwirtschaft günstige Streifenanbau, sondern die in der Region übliche Zwischenpflanzung gewählt. Die Nutzung gemeinsam angebaute Leguminosen als Gründüngung hatte u. a. die folgenden Vorteile:

- Die als Gründüngung genutzte Sprossmasse der Leguminosen konnte nach dem Schneiden an Ort und Stelle als Mulchauflage genutzt oder eingearbeitet werden. Damit entfiel ein u. U. arbeitsaufwendiger Transport wie er bei organischem Zukaufdünger auf jeden Fall notwendig ist und auch bei dem oben beschriebenen Streifenanbau in geringerem Umfang anfällt. Die vorliegenden Versuchsergebnisse haben gezeigt, dass es durch das Einarbeiten der Gründüngung zu einer rascheren Mineralisierung als bei Belassen der Gründüngung als Mulchauflage kam (s. Kap. 3.1.2, S. 44). Dieses Ergebnis stimmt mit den Ergebnissen anderer Arbeiten überein. SMITH & SHARPLEY (1990 und 1993) berichteten, dass die Mineralisationsrate von Pflanzenmaterial an der Bodenoberfläche deutlich geringer war, als von in den Boden eingearbeiteter Biomasse. Die erhöhte Mineralisationsrate bei Einarbeiten wurde mit einem intensiveren Kontakt zwischen Biomasse und Bodenteilchen erklärt.
- Die Leguminosen nahmen aufgrund der Konkurrenzsituation einen höheren Anteil luftbürtigen Stickstoffs auf (Kap. 4.1.1, S. 89). Beim Vergleich unterschiedlicher Gründüngungssysteme fanden mehrere Autoren (AITA & GIACOMINI 2003, PERIN *et al.* 2004) eine höhere prozentuale N₂-Fixierungsrate bei Mischanbau von Gründüngungsleguminosen verglichen mit alleinigem Anbau.
- Durch die Applikation der Gründüngung in den wachsenden Maisbestand konnte die Gefahr von

Auswaschungsverlusten aufgrund der sofortige Aufnahme des freigesetzten Stickstoffs minimiert (NEVES *et al.* 2008) werden.

- Die Kolbenentwicklung des Mais wurde gezielt gefördert. Es konnte gezeigt werden, dass doppelreihige Gründung den Anteil gut ausgebildeter Kolben erhöhte und denjenigen schlecht ausgebildeter Kolben verringerte (Abb. 14, S. 59). In der Versuchsregion ist Kolbenmais (*milho verde* oder *milho doce*) für den Haushalt oder an Imbissständen ein beliebtes Produkt und stellt deshalb eine Anbaualternative für die Landwirte der Region dar (TREICHEL 2010). Gerade durch den Verkauf über Imbissstände an Stränden oder in den Innenstädten werden höhere Preise erzielt. In diesem Zusammenhang kommt der Möglichkeit gezielt die Kolbenentwicklung fördern zu können, eine besondere Bedeutung zu.

In einem Feldversuch, der ähnlich dem der vorliegenden Arbeit angelegt war, nutzen PANDEY & PENDLETON (1986) Soja zur Gründung von gemeinsam angebautem Mais. Die zur Gründung genutzte Sprossmasse der Sojapflanzen wurde oberflächlich eingearbeitet. Der durch Mineralisierung freigesetzte Stickstoff wurde innerhalb von sieben bis zehn Tagen verfügbar. Durch diese Gründung konnte der Maisertrag um 32 – 38 % gesteigert werden. Die Autoren sahen in der Nutzung eines Teil des gemeinsam mit Mais angebauten Sojas als Gründung eine gangbare Alternative zu zugekauftem N-Dünger gerade für finanzschwache Kleinbauern, die sich ohnehin einen Zukauf nur in geringem Umfang leisten konnten. Als einen weiteren Vorteil dieses Verfahrens nannten sie die Möglichkeit je nach aktueller Situation zu entscheiden, ob Soja zur Körnerproduktion oder zur Gründung genutzt wird.

4.2.2 Steuerung der Zusammensetzung des Gesamtertrags

Auch bei dem in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Misanbau ist es grundsätzlich möglich, zum Zeitpunkt der Gründung zu entscheiden, ob diese tatsächlich durchgeführt werden soll, oder ob es u. U. von Vorteil ist, z. B. die Augenbohnen ausreifen zu lassen und zu ernten. Bei der Beurteilung der Varianten anhand des LER-Wertes wurde bislang nicht berücksichtigt, dass die beim Misanbau gemeinsam angebauten Mischungspartner möglicherweise für den Landwirt nicht gleichwertig sind. Nach WILLEY (1979) müssen drei verschiedene Ausgangssituationen berücksichtigt werden:

1. Misanbau soll den vollen Ertrag einer Hauptfrucht und darüber hinaus einen gewissen Ertrag einer Nebenfrucht erbringen. Die Hauptfrucht hat einen höheren Stellenwert als die Nebenfrucht.
2. Der Gesamtertrag des Misanbaus soll höher sein als der höhere Reinbestands-ertrag. Beide Kulturen sind gleichwertig und dem Landwirt geht es nur darum, den höchsten Gesamtertrag zu

erwirtschaften. Wenn durch eine der beiden Kulturen im Reinbestand der höchste Ertrag erwirtschaftet wird, so wird auch nur diese angebaut.

3. Der Gesamtertrag des Mischanbaus soll höher sein, als der kombinierte Reinbestands-ertrag. Beide Kulturen sind gleichwertig, es müssen aber auch beide angebaut werden.

Die Nutzung eines Teils oder der gesamten Sprossmasse der Leguminosenkomponente zur Gründüngung, wie in dem vorangehenden Abschnitt erläutert, bietet die Möglichkeit, die oben implizite Entscheidung noch zu einem rel. späten Zeitpunkt zu treffen und die Zusammensetzung des Ertrages aus Mischanbau in Abhängigkeit von den Zielen des Landwirtes zu beeinflussen.

Um die Wirkung der Gründüngung auf die Ertragszusammensetzung zu verdeutlichen, sind in Tab.26 die über drei Versuchsperioden kumulierten Erträge von Mais und Leguminosen sowie deren Summe (Gesamtertrag) dargestellt. Die Tabelle ist absteigend nach dem Gesamtertrag sortiert.

Tab. 26: Über die Versuchslaufzeit kumulierte Erträge.

Yields accumulated over the duration of field trials.

<i>Behandlungsgruppen</i>	<i>Erträge (t * ha⁻¹)</i>		
	<i>Gesamt</i>	<i>Mais</i>	<i>Leguminose</i>
Mischanbau mit doppelreihiger Gründüngung	9,4	9,4	0,0
Mischanbau ohne Gründüngung	9,2	7,1	2,1
Mischanbau mit einreihiger Gründüngung	8,9	7,4	1,5
Monokultur	8,4	8,4	0,0
Rotation ⁴³	6,8	4,9	1,8

Die Gesamterträge von “Mischanbau mit doppelreihiger Gründüngung” (9,4 t * ha⁻¹) und “Mischanbau ohne Gründüngung” (9,2 t * ha⁻¹) waren in der gleichen Größenordnung. Die beiden Behandlungsgruppen unterschieden sich jedoch deutlich im Hinblick auf die Erträge von Mais bzw. Leguminosen: Der Leguminosenertrag von Mischanbau ohne Gründüngung betrug 2,1 t * ha⁻¹. Bei Mischanbau mit doppelreihiger Gründüngung wurden alle Leguminosen zur Gründüngung genutzt. Der Leguminosenertrag dieser Behandlungsgruppe war um 2,1 t * ha⁻¹ niedriger. Ihr Maisertrag jedoch war um 2,3 t * ha⁻¹ höher als der von Mischanbau ohne Gründüngung. D. h., der durch die Nutzung der Leguminosen zur Gründüngung bedingte Ertragsausfall bei Leguminosen wurde durch eine Ertragssteigerung bei Mais überkompensiert. Dieser Effekt war auch bei Mischanbau mit einreihiger Gründüngung feststellbar, jedoch nicht so stark ausgeprägt. Ein Ertragsausfall von 0,6 t * ha⁻¹ bei Leguminosenkörnern gegenüber Mischanbau ohne Gründüngung wurde durch eine

⁴³ Bei der Rotation fielen Maiserträge aus dem Reinbestand Mais und Leguminosenerträge aus dem Reinbestand der jeweiligen Leguminose an. Allerdings stammten diese Erträge von einer doppelt so großen Fläche als die der Mischanbau-Varianten. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurden der kumulierte Maisertrag und der kumulierte Schwertbohnen-Ertrag jeweils durch zwei dividiert.

Ertragssteigerung von $0,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ bei Mais nicht voll kompensiert.

Je nach dem, welche der drei oben beschriebenen Ausgangssituationen (S. 98) in einem konkreten Fall vorliegt, kann der Landwirt die Zusammensetzung des Gesamtertrages über die Gründüngung anpassen und so bspw. auf sich ändernde Marktpreise oder auf das Verfügbarwerden anderer günstiger organischer N-Dünger reagieren.

4.3 Konsequenzen für die landwirtschaftliche Praxis und zukünftiger Forschungsbedarf

Aus den vorangegangenen Überlegungen und den Ergebnissen dieser Arbeit ergeben sich Konsequenzen für die Praxis in zwei Bereichen:

1. Der gemeinsame Anbau von Mais und Leguminosen in der Form einer Zwischenpflanzung ist in der traditionellen, kleinbäuerlichen Landwirtschaft der Region verwurzelt (RAO & MORGADO 1984). Durch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit wurde einerseits die Berechtigung dieser empirisch über Generationen entwickelten Anbaumethode untermauert, andererseits werden die von anderen Autoren berichteten Ergebnisse im Hinblick auf die Eignung des Mischanbaus für die kleinbäuerliche Landwirtschaft bestätigt. Die vorhandenen Flächen wurden unter den gegebenen Rahmenbedingungen durch Mischanbau effizienter genutzt als durch andere Anbausysteme. Diese effizientere Ressourcennutzung wurde auf das ökologische Prinzip der Reduktion von Konkurrenz durch Nischendifferenzierung zurückgeführt. Insbesondere die Fähigkeit der Leguminosen, primär luftbürtigen statt bodenbürtigen Stickstoff zu nutzen, kommt beim gemeinsamen Anbau mit Mais zum Tragen. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bestätigen damit die Aussagen anderer Autoren, die in der Weiterentwicklung organischer Anbauverfahren für die kleinbäuerliche Landwirtschaft der Tropen den Schlüssel für die Nahrungssicherheit dieser Region sehen (PRETTY & HINE 2000, ALTIERI 2002 und 2008, KOTSCHI 2008). Als Konsequenz für die regionale Praxis des Maisanbaus ergibt sich daraus, nicht den Wechsel zu Anbauverfahren zu vollziehen, bei denen auf den gemeinsamen Anbau von Leguminosen und Mais verzichtet wird und externe Betriebsmittel in größerem Umfang eingesetzt werden, sondern den vielfach traditionell praktizierten Mischanbau beizubehalten bzw. zu optimieren.
2. Die Nutzung einer gemeinsam mit Mais angebauten Körnerleguminose zur Gründüngung im wachsenden Maisbestand stellt eine solche Optimierung dar. Vergleichbar einer in der konventionellen Landwirtschaft üblichen Kopfdüngung können die gemeinsam aufwachsenden Leguminosen wirksam zur Verbesserung der N-Versorgung der Maiskultur in kritischen Entwicklungsphasen eingesetzt werden. Entscheidend ist hierbei das oberflächliche

Einarbeiten der Gründüngung um eine schnelle Mineralisierung der Grünmasse zu unterstützen. Durch den Mischanbau in Form einer Zwischenpflanzung kann die Gründüngung direkt dort eingearbeitet werden, wo sie geschnitten wurde. Ein Transport ist nicht notwendig. Beim Einarbeiten mit der Hacke kann gleichzeitig die Entwicklung unerwünschter Beikräuter unterbrochen werden.

3. Außer dieser direkt ackerbaulich motivierten Maßnahme zur Steuerung der N-Versorgung des Mais bietet die Entscheidungsmöglichkeit, eine gemeinsam aufwachsende Körnerleguminose als Gründüngung zu nutzen oder sie ausreifen zu lassen auch eine ökonomisch motivierte Steuermöglichkeit: Unter bestimmten ökonomischen Rahmenbedingungen, wie z. B. kurzfristig geänderte Marktpreise, kann es für den Landwirt von Vorteil sein, sich noch zu einem relativ späten Zeitpunkt für oder gegen die Nutzung der Körnerleguminose als Gründüngung zu entscheiden und damit die Zusammensetzung des Gesamtertrags zu beeinflussen.

Die als Voraussetzung für die zuvor angeführte ökonomisch motivierte Steuermöglichkeit genannte Entscheidungsfreiheit für oder gegen den Einsatz der als Mischungspartner für Mais angebauten Körnerleguminose zur Gründüngung ist auf Basis der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit noch nicht im vollen Umfang gegeben, denn doppelreihige Gründüngung hatte neben einem signifikanten Einfluss auf den Ertrag eine negative N-Bilanz zur Folge. Der Einsatz lediglich einer Leguminosenreihe zur Gründüngung hatte hingegen in den meisten untersuchten Fällen nur einen geringen Einfluss auf den Maisertrag. Hier könnte ein zukünftiges Forschungsvorhaben mit geänderter Variantendefinition zur Optimierung des Verfahrens beitragen. Bei diesem Forschungsvorhaben käme es darauf an, die Nutzung einer ertragsrelevanten Gründüngungsmenge mit der Erzeugung eines für eine ausgeglichene N-Bilanz relevanten Leguminosen-Ernterestes zu kombinieren. Um dieses Ziel zu erreichen, könnte ein zukünftiger Feldversuch bspw. so angelegt werden, dass je Maisreihe drei Reihen mit Körnerleguminosen ausgesät würden. Alle in direkter Nachbarschaft zu einer Maisreihe aufwachsenden Leguminosen würden als Gründüngung genutzt. Lediglich die jeweils mittlere von drei Leguminosenreihen käme zur Reife, um den für eine ausgeglichene N-Bilanz wichtigen Ernterest zu erzeugen. Darüber hinaus könnten weitere Arten von Körnerleguminosen auf ihre Eignung für diese Art des Mischanbaus mit Gründüngungsnutzung untersucht werden.

5 Zusammenfassung

In den Jahren 1995 bis 1998 wurden im Institut für Agrarbiologie (CNPAB EMBRAPA) in Seropédica, Bundesstaat Rio de Janeiro, Brasilien, Feldversuche zum gemeinsamen Anbau von Mais und Körnerleguminosen unter den Bedingungen des Organischen Landbaus durchgeführt. Ziel der Arbeit war es, festzustellen, ob der Anbau von Mais unter den regional üblichen Rahmenbedingungen durch Mischanbau mit Körnerleguminosen und die teilweise oder komplette Nutzung dieser Leguminosen zur Gründüngung optimiert werden kann, und ob es mit diesen Techniken möglich ist, stabile Erträge sowie ausgeglichene N-Bilanzen zu erhalten und auf den Einsatz extern verfügbarer Dünger zu verzichten.

Der Versuchsstandort befindet sich im Großraum Rio de Janeiro in der küstennahen Niederung des Guandu-Flusses und ist durch tropische Standortbedingungen (1500 mm Jahresniederschlag, 25° C Jahresmitteltemperatur, ausgeprägte Wechsel zwischen Regenzeit und Trockenzeit, Bodenart Ultisol) gekennzeichnet. Die Landwirtschaft der Region ist durch kleinbäuerliche Betriebe mit geringer Kaufkraft, niedrigem Mechanisierungsgrad, extensive Viehhaltung und der Abhängigkeit vom mehrstufigen Absatz geprägt.

Im Rahmen des Feldversuches wurde Mais als Monokultur, als Reinbestand oder als Mischkultur zusammen mit Augenbohnen (*Vigna unguiculata*) oder mit Schwertbohnen (*Canavalia ensiformis*) angebaut. Bei den Mischanbauvarianten wechselte jeweils eine Maisreihe mit zwei Leguminosenreihen ab. Zu Beginn der Maisblüte wurden die Leguminosen als Gründüngung für den Mais genutzt. Je nach Variante wurden keine, eine oder zwei Leguminosen-Reihen je Maisreihe entweder eingearbeitet oder als Mulchauflage belassen. Für die Mischanbauvarianten ergab sich daraus ein zweifaktorielles Versuchslayout mit drei Gründüngungsmengen, zwei Gründüngungstechniken bei vierfacher Wiederholung.

Es wurde ein breites Spektrum von Parametern des Pflanzenwachstums (symbiotische Stickstofffixierung, N-Aufnahmen), des Ertrags (Sprossmasse, Kornträge, LER-Wert, Kolbenqualität) und des Bodens (N_{min} in der Bodenlösung, organische Bodensubstanz) untersucht. Die Daten wurden varianzanalytisch ausgewertet und im Hinblick auf die eingangs genannten Ziele bewertet.

Entwicklung der Kulturen

Die Fixierungsrate der Leguminosen betrug im Durchschnitt aller Versuchsperioden und Varianten 76 %. Dem Mais wurden bei doppelreihiger Gründüngung mit Augenbohnen 31 kg * ha⁻¹ (erste Versuchsperiode) und bei doppelreihiger Gründüngung mit Schwertbohnen 26 kg * ha⁻¹ zugeführt.

Die Menge fixierten Stickstoffs zum Zeitpunkt der Ernte war bei Schwertbohnen um ein Vielfaches größer als bei Augenbohnen. Sie betrug bei Augenbohnen im Durchschnitt aller Varianten $19 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (erste Versuchsperiode) und bei Schwertbohnen $148 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Versuchsfrage 1).

Der in der Gründüngung gebundene Stickstoff wurde schnell mineralisiert und für die sich zur gleichen Zeit entwickelnde Maiskultur verfügbar: In allen 3 Versuchsperioden konnte durch doppelreihige Gründüngung eine signifikante Erhöhung der Stickstoffaufnahme des Mais im Vergleich zum Misanbau ohne Gründüngung festgestellt werden. Es wurden Wechselwirkungen der Versuchsfaktoren "Gründüngungsmenge" und "Gründüngungstechnik" festgestellt, die auf eine unterschiedliche Mineralisierungsgeschwindigkeit von gemulchter und eingearbeiteter Gründüngung hinwiesen: Einarbeiten doppelreihiger Gründüngung führte bereits sieben Tage nach der Applikation zu signifikant erhöhten Stickstoffgehalten in den Maisblättern verglichen mit Misanbau ohne Gründüngung. Wurde die doppelreihige Gründüngung gemulcht, so erfolgte eine erhöhte N-Aufnahme durch die Maispflanzen erst zwei bis vier Wochen später (Versuchsfrage 2).

Die durch die Gründüngung und/oder Erntereste zugeführten N-Mengen waren nicht für eine adäquate N-Versorgung des Mais ausreichend. So war zu Beginn der dritten Versuchsperiode durch die Blattanalyse ein leichter N-Mangel bei allen Varianten festzustellen (Versuchsfrage 3).

Während der meisten ab der zweiten Versuchsperiode in zwei- bis dreiwöchigem Abstand durchgeführten Zeiternten unterschieden sich die Varianten nicht signifikant hinsichtlich Trockenmasse und N-Aufnahmen. Der in Rotation nach Augenbohnen angebaute Mais-Reinbestand wies jedoch zu Beginn der zweiten Versuchsperiode nahezu doppelt so hohe Trockenmasse- und Stickstoffaufnahmen auf wie die Misanbauvarianten. Eine hohe Vorfruchtwirkung des Augenbohnen-Reinbestandes der ersten Versuchsperiode hatte somit einen - statistisch nicht überprüften - positiven Effekt auf die Jugendentwicklung des nachfolgenden Maisreinbestandes. Doppelreihige Gründüngung erhöhte zum Ende der dritten Versuchsperiode die N-Aufnahme von Mais signifikant gegenüber den Misanbauvarianten ohne Gründüngung oder mit einreihiger Gründüngung, unabhängig davon, ob diese gemulcht oder eingearbeitet wurde (Versuchsfrage 4).

Erträge und Effizienz der Flächennutzung

Der über die drei Versuchsperioden gemittelte Maiskornenertrag der Misanbauvarianten betrug $2,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ und derjenige des Mais-Reinbestandes $3,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Beide Mittelwerte lagen damit über dem brasilianischen Mittelwert von $2,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ des Jahres 1996.

Durch Misanbau mit doppelreihiger Gründüngung wurden signifikante Erhöhungen des Maiskornenertrages gegenüber Misanbau ohne Gründüngung oder Misanbau mit einreihiger

Gründung erzielt: In der ersten Versuchsperiode war das nur dann der Fall, wenn die Gründung eingearbeitet wurde. In der dritten Versuchsperiode war die Ertragssteigerung unabhängig von der Gründungstechnik. Durch Misanbau mit doppelreihiger Gründung wurde auch eine Vergrößerung des Anteils von Kolben hoher Qualität und gleichzeitig eine Verringerung des Anteils von Kolben niedriger Qualität erreicht (Versuchsfrage 5).

Der Kornertrag des Augenbohnen-Reinbestandes (erste Versuchsperiode) betrug $0,66 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ und war höher als der brasilianische Durchschnitt mit $0,37 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Der Ertrag von Augenbohnen bei Misanbau mit Mais entsprach mit $0,36 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ dem Landesdurchschnitt. Der Kornertrag des Schwertbohnen-Reinbestandes betrug $3,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Der Ertrag von Misanbau ohne Gründung betrug $1,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Schwertbohnen erwiesen sich gegenüber Mais als konkurrenzstärker im Vergleich zu Augenbohnen (Versuchsfrage 6).

In der ersten Versuchsperiode wurde die Fläche durch die Misanbauvarianten effizienter genutzt als durch die Reinbestände. In der dritten Versuchsperiode hatte nur Misanbau ohne Gründung einen Ertragsvorteil gegenüber alleinigem Anbau der Kulturen. Den LER-Werten der zweiten Versuchsperiode wurden aufgrund sehr geringer Augenbohnenenerträge keine Bedeutung zugemessen.

Stickstoffbilanz und organische Bodensubstanz

In allen drei Versuchsperioden befanden sich die in Rotation angebauten Reinbestände im Hinblick auf die N-Bilanz auf den Eckpositionen des Ergebnisspektrums: Der Leguminosen-Reinbestand wies innerhalb der jeweiligen Versuchsperiode entweder eine ausgeglichene oder eine positive N-Bilanz auf, der Mais-Reinbestand hingegen wies in allen drei Versuchsperioden mit Werten zwischen -38 und $-57 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ jeweils die am meisten defizitäre N-Bilanz aller untersuchten Varianten auf. Die N-Bilanzen der Misanbauvarianten waren abhängig von der als Mischungspartner bzw. Gründung eingesetzten Leguminosenart und der Menge der applizierten Gründung: Beim Einsatz von Augenbohnen als Mischungspartner wies keine der Misanbauvarianten eine positive N-Bilanz auf. Die mittels Gründung oder Erntereste der Augenbohnen importierten Mengen an luftbürtigem Stickstoff waren zu gering, um die N-Exporte über Mais- und Augenbohnenkörner auszugleichen. Beim Einsatz von Schwertbohnen als Mischungspartner wiesen Varianten mit Schwertbohnen-Körnerproduktion eine positive N-Bilanz auf, da bei diesen Varianten aufgrund des starken Massenwachstums große Mengen an stickstoffreichen Ernteresten auf den Parzellen verblieben. Misanbau mit doppelreihiger Gründung führte sowohl beim Einsatz von Augenbohnen als auch beim Einsatz von Schwertbohnen zu einer negativen N-Bilanz zwischen 8 und $19 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Versuchsfrage 9)⁴⁴.

⁴⁴ Aufgrund der durch den Schädlingsbefall stark beeinträchtigten symbiotischen N-Fixierung wurde die zweite

Die Untersuchung der N_{\min} -Gehalte in 20 und 60 cm Bodentiefe ergab, dass es in Zeiten mit ergiebigen Niederschlägen und Mineralisierung von Ernteresten zu Auswaschungsverlusten von Stickstoff kam. Eine Aussage über den Umfang dieser Auswaschungsverluste konnte auf Grundlage des vorhandenen Datenmaterials nicht getroffen werden (Versuchsfrage 8).

Die organische Bodensubstanz wurde durch die eingesetzten Mischanbau-Systeme innerhalb eines Zeitraums von eineinhalb Jahren im Oberboden um 61 %, in 20 - 40 cm Tiefe um 119 % und in 40 - 60 cm Tiefe um 171 % erhöht. Es handelt sich hier jedoch nicht um stabilen Humus, sondern um leicht abbaubare organische Substanz aus den Ernte- und Wurzelrückständen der Kulturpflanzen.

In der Schicht zwischen 20 und 40 cm Tiefe führte Einarbeiten des Gründüngers zu einem signifikanten Anstieg der organischen Substanz. Die starke Zunahme des Gehaltes an organischer Substanz in den tieferen Schichten wurde auf eine tiefer reichende Durchwurzelung durch Schwertbohnen zurückgeführt (Versuchsfrage 10).

Nachhaltige Produktivität

Insgesamt erbrachten im Hinblick auf die Fragestellungen der vorliegenden Arbeit die Mischanbau-Behandlungsgruppen mehr Vorteile als die Rotation oder als die Monokultur. Insbesondere erwies sich Mischanbau ohne Gründüngung als eine Anbaumethode, die einen hohen Gesamtertrag erzielte und die im Hinblick auf den Ressourcenverbrauch annähernd stabil war. Durch die Nutzung der bei den Mischanbauvarianten gemeinsam mit dem Mais wachsenden Leguminosen zur Gründüngung des Mais wurde eine Steigerung des Maisertrages und somit auch des Gesamtertrages erzielt. Diese Ertragssteigerung ging insbesondere bei Mischanbau mit doppelreihiger Gründüngung zu Lasten der langfristigen Stabilität (Versuchsfrage 11).

Die folgenden Schlüsse lassen sich aus den Ergebnissen ziehen:

Unter den in dieser Arbeit gesetzten Rahmenbedingungen wurde Mischanbau von Mais und Körnerleguminosen den für die regionale Landwirtschaft relevanten Anforderungen besser gerecht als die Rotation von Mais und Leguminosen oder die Maismonokultur mit N-Zufuhr aus externen Quellen. Denn durch Mischanbau wurden die vorhandenen Ressourcen effizienter genutzt und es wurde ein besserer Kompromiss im Hinblick auf die auseinanderstrebenden Ziele „Ertragsmaximierung“ und „Ertragsstabilität“ erreicht.

Die effizientere Ressourcennutzung konnte auf das ökologische Prinzip der Reduktion von Konkurrenz durch Nischendifferenzierung zurückgeführt werden. Insbesondere die Fähigkeit der Leguminosen, luftbürtigen Stickstoff zu nutzen, kommt beim gemeinsamen Anbau mit Mais zum

Versuchsperiode mit einem Defizit zwischen 39 und 42 kg N * ha⁻¹ hier nicht berücksichtigt.

Tragen. Als Konsequenz für Maisanbau in den kleinbäuerlich strukturierten Betrieben der Region ergibt sich daraus, nicht den Wechsel zu Anbauverfahren, bei denen auf den gemeinsamen Anbau von Leguminosen und Mais verzichtet wird und externe Betriebsmittel in größerem Umfang eingesetzt werden, zu vollziehen, sondern den vielfach traditionell praktizierten Misanbau beizubehalten bzw. zu optimieren.

Die Nutzung einer gemeinsam mit Mais angebauten Körnerleguminose zur Gründüngung im wachsenden Maisbestand kann eine solche Optimierung darstellen. Vergleichbar einer in der konventionellen Landwirtschaft üblichen Kopfdüngung können die gemeinsam aufwachsenden Leguminosen wirksam zur Verbesserung der N-Versorgung der Maiskultur in kritischen Entwicklungsphasen eingesetzt werden. Entscheidend ist hierbei das oberflächliche Einarbeiten der Gründüngung mit einer Hacke, um eine schnelle Mineralisierung der Grünmasse zu unterstützen. Durch den Misanbau in Form einer Zwischenpflanzung kann die Gründüngung direkt dort eingearbeitet werden, wo sie geschnitten wurde. Ein Transport ist nicht notwendig. Beim Einarbeiten mit der Hacke kann gleichzeitig die Entwicklung von Beikräutern unterbrochen werden.

Allerdings hatte die Nutzung aller gemeinsam mit Mais angebauten Leguminosen als Gründüngung (Misanbau mit doppelreihiger Gründüngung) außer einem positiven Einfluss auf N-Aufnahme und Ertrag eine negative N-Bilanz zur Folge, da der über die Gründüngung zugeführte Stickstoff nicht ausreichte, um N-Exporte über Maiskörner auszugleichen. Positive N-Bilanzen wurden nur durch Varianten erreicht, bei denen Schwertbohnen-Erntereste auf der Parzelle verblieben. Der Einsatz nur einer Leguminosenreihe zur Gründüngung war hingegen in den meisten untersuchten Fällen nicht ertragswirksam.

Ein zukünftiges Versuchsvorhaben kann zur Optimierung dieses Verfahrens beitragen, indem die Nutzung einer ertragsrelevanten Gründüngungsmenge mit der Erzeugung eines für eine ausgeglichene N-Bilanz relevanten Leguminosen-Ernterestes kombiniert wird und indem weitere Arten von Körnerleguminosen auf ihre Eignung für dieses Verfahren untersucht werden. Durch künftige Feldversuche sollte geprüft werden, ob dieses Ziel durch das Aussäen von drei Reihen Körnerleguminosen je Maisreihe erreicht werden kann. Alle in direkter Nachbarschaft zu einer Maisreihe aufwachsenden Leguminosen würden als Gründüngung genutzt. Lediglich die jeweils mittlere von drei Leguminosenreihen würde zur Ausreife kommen, um den für eine ausgeglichene N-Bilanz wichtigen Ernterest zu erzeugen. Es sollten unterschiedliche Arten von Körnerleguminosen mit hoher N₂-Fixierung eingesetzt werden. Sie sollten so ausgewählt werden, dass die zur Gründüngung genutzten Pflanzen eine möglichst kräftige Jugendentwicklung aufweisen und diejenigen Pflanzen, die ausreifen, sollten, so wie Schwertbohnen, ein möglichst starkes

Massenwachstum haben, kombiniert mit einem hohen Kornertrag.

6 Verzeichnisse

6.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Versuchsstandort im brasilianischen Bundesstaat Rio de Janeiro.....	4
Abb. 2: Schematische Darstellung einer „Halborange“(nach Bibus 1983).....	5
Abb. 3: Temperatur und Niederschlag a) im zehnjährigen Mittel, b) 1996 und c) 1997.....	7
Abb. 4: Augenbohne (<i>Vigna unguiculata</i> - links) und ihre Hülsen (rechts).....	9
Abb. 5: Schwertbohne (<i>Canavalia ensiformis</i> - links) und ihre Hülsen (rechts).....	10
Abb. 6: Schematische Darstellung einer Versuchsparzelle.....	13
Abb. 7: Schematische Darstellung des Versuchsdesigns.....	15
Abb. 8: Für den Feldversuch wurden einfache Tensiometer hergestellt.....	20
Abb. 9: Mulchen (links) und Einarbeiten (rechts) der Gründüngung.....	21
Abb. 10: Schematische Darstellung eines Radardiagramms und seiner Elemente.....	35
Abb. 11: Thematische Anordnung der Indikatoren im Radardiagramm.....	36
Abb. 12: N-Aufnahme des Mais während der zweiten Versuchsperiode.....	47
Abb. 13: Trockenmasse und N-Aufnahme während der dritten Versuchsperiode.....	48
Abb. 14: Verteilung des Maiskornertrages auf Kolben hoher, mittlerer und niedriger Qualität.....	59
Abb. 15: NO ₃ -N in 20 und 60 cm Tiefe, zweite und dritte Versuchsperiode (1996 und 1997).	76
Abb. 16: Entwicklung der org. Bodensubstanz (April 1996 - September 1997).....	78
Abb. 17: Gesamtbewertung der Behandlungsgruppen.....	83

6.2 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Bodenphysikalische und -chemische Parameter zu Versuchsbeginn, September 1995.....	6
Tab. 2: Übersicht der gebräuchlichen Anbausysteme (modifiziert nach ANDREWS & KASSAM 1976 zit. in VANDERMEER 1992).....	11
Tab. 3: Versuchsvarianten.....	12
Tab. 4: Arbeitsprogramm.....	18
Tab. 5: pH-Wert, Nährstoffgehalte und C/N-Verhältnis des verwendeten Rindermistes.....	21
Tab. 6: Übersicht der Summanden zur Berechnung der Flächenbilanz.....	29
Tab. 7: Berechnung der einzelnen Summanden.....	30
Tab. 8: Schematische Darstellung des Versuchslayouts.....	31
Tab. 9: Parameter zur Erstellung der Gesamtbewertung.....	33
Tab. 10: Anteile symbiotisch fixierten Stickstoffs (Ndfa) in Gründüngung und reifen Leguminosen.....	38
Tab. 11: Natürliche Abundanz von ^{15}N und Gehalt luftbürtigen Stickstoffs (Ndfa) bei gemeinsam mit Leguminosen angebauten Maispflanzen, Juli 1996 (mod. nach HÖDTKE <i>et al.</i> 1997).....	40
Tab. 12: Stickstoffgehalt der Maispflanzen nach Applikation der Gründüngung.....	43
Tab. 13: Beurteilung der N-Konzentration von Maispflanzen unter subtropischen Bedingungen (nach REUTER 1986).....	45
Tab. 14: Trockenmasse und N-Aufnahme des Mais zu Beginn (43 DAS) der zweiten Versuchsperiode.....	46
Tab. 15: N-Aufnahme des Mais zu Beginn und zum Ende der dritten Versuchsperiode.....	49
Tab. 16: Kornerträge des Mais der Versuchsperioden eins bis drei.	54
Tab. 17: Verteilung des Maiskornertrags in Abhängigkeit von der Gründüngungsmenge.....	58
Tab. 18: Kornerträge von Augenbohnen in der ersten und zweiten Versuchsperiode.....	61
Tab. 19: Kornertrag von Schwertbohnen während der dritten Versuchsperiode.....	62
Tab. 20: Effizienz der Flächennutzung (LER) basierend auf den Kornerträgen des Mais und der Körnerleguminosen in der ersten und dritten Versuchsperiode.....	64
Tab. 21: Stickstoffbilanz ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) der ersten Versuchsperiode.....	68
Tab. 22: Stickstoffbilanz ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) der zweiten Versuchsperiode.....	70
Tab. 23: Stickstoffbilanz ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) der dritten Versuchsperiode.....	72
Tab. 24: Ermittlung des LMOP-Wertes basierend auf den Gesamtergebnissen ausgewählter Parameter.....	82

Tab. 25: Gesamtbewertung anhand des LMOP-Wertes.....	85
Tab. 26: Über die Versuchslaufzeit kumulierte Erträge.	99

6.3 Tabellenanhangsverzeichnis

Tabellenanhang 1: Übersicht pflanzenbaulicher Maßnahmen.....	131
Tabellenanhang 2: Mais-Trockenmasse am 04.12.1996 (zweite Versuchsperiode).....	131
Tabellenanhang 3: Mais-Trockenmasse am 20.12.1996 (zweite Versuchsperiode, zweite Probenahme).....	132
Tabellenanhang 4: Mais-Trockenmasse am 26.12.1996 (zweite Versuchsperiode, dritte Probenahme).....	132
Tabellenanhang 5: Mais-Trockenmasse am 16.01.1997 (zweite Versuchsperiode, vierte Probenahme).....	133
Tabellenanhang 6: Mais-Trockenmasse am 05.03.1997 (zweite Versuchsperiode, fünfte Probenahme).....	133
Tabellenanhang 7: N-Aufnahme von Mais am 04.12.1996 (zweite Versuchsperiode, dritte Probenahme).....	134
Tabellenanhang 8: N-Aufnahme von Mais am 20.12.1996 (zweite Versuchsperiode, dritte Probenahme).....	134
Tabellenanhang 9: N-Aufnahme von Mais am 26.12.1996 (zweite Versuchsperiode, dritte Probenahme).....	135
Tabellenanhang 10: N-Aufnahme von Mais am 16.01.1997 (zweite Versuchsperiode, vierte Probenahme).....	135
Tabellenanhang 11: N-Aufnahme von Mais am 05.03.1997 (zweite Versuchsperiode, fünfte Probenahme).....	136
Tabellenanhang 12: Mais-Trockenmasse am 24.06.1997 (dritte Versuchsperiode, erste Probenahme).....	136
Tabellenanhang 13: Mais-Trockenmasse am 16.07.1997 (dritte Versuchsperiode, zweite Probenahme).....	137
Tabellenanhang 14: Mais-Trockenmasse am 13.08.1997 (dritte Versuchsperiode, dritte Probenahme).....	137
Tabellenanhang 15: Mais-Trockenmasse am 08.09.1997 (dritte Versuchsperiode, vierte Probenahme).....	138
Tabellenanhang 16: Mais-Trockenmasse am 03.11.1997 (dritte Versuchsperiode, fünfte Probenahme).....	138
Tabellenanhang 17: N-Aufnahme von Mais am 24.06.1997 (dritte Versuchsperiode, erste Probenahme).....	139
Tabellenanhang 18: N-Aufnahme von Mais am 16.07.1997 (dritte Versuchsperiode, zweite	

Probenahme).....	139
Tabellenanhang 19: N-Aufnahme von Mais am 13.08.1997 (dritte Versuchsperiode, dritte Probenahme).....	140
Tabellenanhang 20: N-Aufnahme von Mais am 08.09.1997 (dritte Versuchsperiode, vierte Probenahme).....	140
Tabellenanhang 21: N-Aufnahme am 03.11.1997 (zweite Versuchsperiode, fünfte Probenahme).....	141
Tabellenanhang 22: Effizienz der Flächennutzung (LER) bezogen auf die Kornerträge von Mais und Leguminosen, März 1996 bis Januar 1998.....	141
Tabellenanhang 23: Anteil des Kornertrages von von Maiskolben mittlerer Qualität.....	142

6.4 Literaturverzeichnis

- AGBOOLA, A.A., & A.A. FAYEMI, 1971. Preliminary trials on the intercropping of maize with different tropical legumes in Western Nigeria. *J. Agric. Sci.* **77**, 219–225.
- Ahiabor, B.D.K., Fosu, M., Tibo, I. & I. Sumaila, 2007: Comparative nitrogen fixation, native arbuscular mycorrhiza formation and biomass production potentials of some grain legumes species grown in the field in the Guinea Savannah zone of Ghana. *West African Journal of Applied Ecology* **11**, 72 – 80.
- AHMED, S. & H. P. M. GUNASENA, 1979: N utilization and economics of some intercropped systems in tropical countries. *Tropical Agriculture* **56**, 115 - 173
- AITA, C. & GIACOMINI, S. J. 2003: Decomposição e liberação de nitrogênio de resí duos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **27**, 601 – 612.
- ALBACH, H. & MOERKE, A. 1995: Die Überlegenheit der japanischen Unternehmen im globalen Wettbewerb. Discussion Paper FS IV 96-4, Berlin: Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung.
- ALLEN, O.N. & E.K. Allen 1981. *The Leguminosae - A Source Book of Characteristics, Uses, and Nodulation*. Madison: The University of Wisconsin Press, 812 S.
- ALMEIDA, D. L., GUERRA, J.G.M. & R.L.D. RIBEIRO, 2003: Sistema integrado de produção agroecológica: uma experiência de pesquisa em agricultura orgânica. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 37 S. (Embrapa Agrobiologia. Documentos **169**)
- ALTIERI, M. A., 1999: Applying Agroecology to Enhance the Productivity of Peasant Farming Systems in Latin America. In: *Environment, Development and Sustainability* **1**, 197–217
- ALTIERI, M.A. 2002: Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **93**, 1-24.
- ALTIERI, M. A. & NICHOLLS, C. I. 2002: Establishing an Agroecological Research Agenda for Family Farmers in Brazil. *Eisforia* **1** (1) 2002, 8-36
- ALTIERI, M. A., 2008: Small Farms as a Planetary Ecological Asset: Five Key Reasons Why We Should Support the Revitalisation of Small Farms in the Global South. *Third World Network Penang, Malaysia*, 24 S.
- ALVES, B. J .R.; BODDEY, R. M. & S. S. URQUIAGA 1993: A rapid sensitive flow injection technique for the analysis of ammonium in soil extracts. *Communications in Soil Science and Plant*

Analysis **24**, 277-284.

- ANDERSEN M.K., HAUGGAARD-NIELSEN, H., AMBUS, P. & E.S. JENSEN 2004: Biomass production, symbiotic nitrogen fixation and inorganic N use in dual and tri-component annual intercrops. *Plant and Soil*. **266**, 273-287.
- ANDERSEN, M.K. 2005: Competition and complementarity in annual intercrops – the role of plant available nutrients. Department of Soil Science, Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, Denmark.
- ANDREWS, D. J. & A. H. KASSAM 1976: The importance of multiple cropping in increasing world food supplies. In: R. I. Papendick P. A. Sanchez G. B. Triplett Multiple cropping. Special Publication 27, 1-10. American Society of Agronomy Madison, WI.
- BACCHI, O.O.S. & K. REICHARDT 1990: A sonda de neutrons e seu uso na pesquisa agronomica. *Boletim Didático* **22**, 1-84. CENA/USP, Piracicaba.
- BADOCHA, T. E., COSTA, R. S. C. & F. C. LEONIDAS, 2003: Casca de Café: um importante insumo para a agricultura orgânica. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 3., 2003, Porto Seguro-BA. Anais do III Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Porto Seguro, 2003.
- Becker, M. 2002. Potential von Leguminosen zur Gründung und Einsatzmöglichkeit im tropischen Reisanbau. BOD Publishers, Norderstedt, Germany. ISBN 3-8334-0691-7. 144 S.
- BENZING, A. 1996: Integration among plants: The case of maize / legume intercropping systems. In: Becker, B. (Hrsg.): INK-Mitteilungen No.1 Sustainable Resource Management in Tropical and Subtropical Environments - Selected Seminar Papers, 56 - 66. Witzenhausen: Institute for Crop Science Kassel University.
- BIBUS, E. 1983: Die klimamorphologische Bedeutung von stone-lines und Decksedimenten in mehrgliedrigen Bodenprofilen Brasiliens. *Z. Geomorph. N.F.* **48**, 79-98.
- BIGARELLA, J.J. & BECKER, R.D. (Ed.) 1975: International Symposium on the Quaternary (Southern Brazil, July 15-31, 1975). *Boletim Paranaense de Geociências* no 33, 340 S.
- BLACKIE, M.J., & R.B. JONES. 1993. Agronomy and increased maize productivity in Southern Africa. *Biological Agriculture and Horticulture* **9**, 147-160.
- BODDEY, R. M. 1987. Methods for quantification of Nitrogen Fixation Associated with Gramineae. *Critical Reviews in Plant Sciences* Volume **6** (3), 209 - 266.
- BODDEY, R.M. & J. DÖBEREINER 1995: Nitrogen Fixation associated with grasses and cereals: Recent

- progress and perspectives for the future. *Fertilizer Research* **42**, 241-250.
- BODDEY, R.M., de OLIVEIRA, O.C., ALVES, B.J.R. & S. URQUIAGA 1995: Field application of the ^{15}N isotope dilution technique for the reliable quantification of plant-associated biological nitrogen fixation. *Fertilizer Research* **42**, 77-87.
- BOLLER, B.C. & J. NÖSBERGER, 1987: Symbiotically fixed nitrogen from field-grown white and red clover mixed with ryegrasses at low levels of ^{15}N -fertilization. *Plant and Soil* **104**, 219-226.
- BREITENSTEIN, U. 1989: Wirkung der Va-Mykorrhiza auf Wachstum und Nährstoffaufnahme von *Vigna unguiculata* und *Pennisetum americanum* im Mischanbau bei gleichzeitiger Rhizobienbeimpfung im Hinblick auf die Nutzung marginaler Standorte. *Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen* **34**, 390 S.
- BREMNER, J. M., & C. S. MULVANEY. 1982. Nitrogen - Total. In: *Methods of Soil Analysis* (A. L. Page et al., ed.) *Agronomy Monograph* 9, Part 2, 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI pp. 595-624.
- BÜLOW, J.F.W. VON & J. DÖBEREINER 1975: Potential for nitrogen fixation in maize genotypes in Brazil. *Proc. Nat. Acad. Sci. Washington*, **72**(6), 2389-2393.
- BURITY, H. A., TAT, C., FARIS, M. A. & B. E. COULMAN 1989: Estimation of nitrogen fixation and transfer from alfalfa to associated grasses in mixed swards under field conditions. *Plant and Soil* **114**, 249 – 255.
- CAMPANHOLA, C. & P. J. VALARINI 2001: A agricultura orgânica e seu potencial para o pequeno agricultor. *Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília*, **18** (3), 69-101
- CAVIGELLI M.A. & THIEN S.J. 2003: Phosphorus bioavailability following incorporation of green manure crops. *Soil Sci Soc Am J* **67**, 1186-1194.
- CARSKY, R. J. 1989: Estimating availability of nitrogen from green manure to subsequent maize crops using a buried bag technique. Ph.D. thesis, Cornell University, Ithaca, N.Y.
- CARSKY, R. J., SINGH, B. B. & B. OYEWOLE 2001: Contribution of Early Season Cowpea to Late Season Maize in the Savanna Zone of west Africa. *Biological Agriculture and Horticulture* **18**, 303 - 315.
- CAVALCANTE, E.S. & A.L. ATROCH 1995: Cultivares de Feijao Caupi (*Vigna unguiculata* (L.) WALP) recomendadas para o Amapá, Comunicado Técnico 10, out/95, 1-3. Embrapa-CPAF/Amapá.

- CAVALCANTE, V.A. & DÖBEREINER, J., 1988: A new acid-tolerant nitrogen-fixing bacterium associated with sugarcane. In: Pl. Soil, Hague **108**, 23 - 31.
- CHERR, C.M. 2004: Improved use of green manure as a nitrogen source for sweet corn. M.S. thesis. Univ. of Florida, Gainesville.
- CHETTY, C.K.R. & Reddy, M.N. 1984. Staple land equivalent ratio for assessing yield advantage from intercropping. *Experimental Agriculture*, **20**, 171– 177.
- CHRISTIANSEN, J.S.; THORUP-KRISTENSEN, K. & H.L. KRISTENSEN, 2006: Root development of beetroot, sweet corn and celeriac, and soil N content after incorporation of green manure. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* **81**(5), 831-838.
- CLARK, E.A. & C.A. FRANCIS 1985: Bean-maize intercrops: A comparison of bush and climbing bean growth habits, *Field Crops Res.***10**, 151.
- DAHLMANN C. & P. VON FRAGSTEIN UND NIEMSDORFF 2007: Einfluss unterschiedlicher Konkurrenzverhältnisse beim Mischanbau von Sommergerste und Erbse auf den Kornertrag, die Kornqualitäten und der symbiontischen N₂-Fixierung. In: Zikeli, S., Claupein, W., Dabbert, S., Kaufmann, B., Müller, T. & A. Valle Zárate (Hrsg.): Zwischen Tradition und Globalisierung, Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Band 1, Hohenheim, 129-132.
- DAHMARDEH M., GHANBARI A., SYAHSAR B.A. & M. RAMRODI 2010: The role of intercropping maize (*Zea mays* L.) and Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) on yield and soil chemical properties. *African Journal of Agricultural Research* **5**(8), 631-636
- DANSO S. K. A., ZAPATA F., HARDARSON G. & FRIED M. 1987: Nitrogen fixation in fababeans as affected by plant population density in sole or intercropped systems with barley. *Soil Biology & Biochemistry* **19**, 411-415.
- DÖBEREINER, J. 1961: Nitrogen-fixing bacteria of the genus *Beijerinckia* Derx in the rhizosphere of sugar cane. In: Pl. Soil. Hague **15**, 211-216.
- DÖBEREINER, J. 1992: Fixacao de Nitrogenio em Associacao com Gramineas. In Cardoso, E.J.B.N., Tsai, S.M. & M.C.P. Neves(Hrsg.): *Microbiologia do Solo*, 173-179. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo.
- EAGLESHAM A. R. J., AYANABA A., RANGA RAO V. & ESKEW D. L. 1981: Improving the nitrogen nutrition of maize by intercropping with cowpea. *Soil Biology & Biochemistry* **13**, 169-171.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA – EMBRAPA 1979: Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 247 S.
- ESPINDOLA, J. A. A., ALMEIDA, D. L., GUERRA, J. G. M. & R. L. D. RIBEIRO 2004: Gestão do Nitrogênio em Sistemas Orgânicos de Produção Através da Adubação Verde. *Ciência & Ambiente* **29**, 123-130
- FEIGIN, A., G. SHEARER, D. H. KOHL, & B. COMMONER. 1974. The amount and nitrogen-15 content of nitrate in soil profiles from two central Illinois fields in a corn-soybean rotation. *Soil Science Society of America Proceedings* **38**, 465–471.
- FRANCIS, C.A & J.H. SANDERS 1978: Economic analysis of bean and maize systems: monoculture versus associated cropping. In: *Field Crops Research* **1**, 319-335.
- FRANKE, G. 1995. *Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen. Bd.3: Spezieller Pflanzenbau.* Stuttgart: Ulmer, 479 S.
- FRANKE, W. 1997: *Nutzpflanzenkunde.* Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 509 S.
- FRANZLUEBBERS, K., JUO, A.S. & A. MANN 1994: Decomposition of cowpea and millet amendments to a sandy Alfisol in Niger. *Plant Soil* **167** **2**, 255–265.
- FUKAI, S. & TRENBATH, B.R. 1993: Processes determining intercrop productivity and yields of component crops. *Field Crops Research* **34**, 247-271.
- GILLER, K. E. 2001: *Nitrogen fixation in tropical cropping systems.* 2. ed. CABI Publishing, Wallingford.
- GREGORY, P.J. & M.S. REDDY 1982: Root growth in an intercrop of pearl millet/groundnut. In: *Field Crops Research* **5**, 241-252.
- GRIFFIN, S. 2003: Plant files: Picture #6 of Jack Bean (*Canavalia ensiformis*). Website Daves Garden, URL: <http://davesgarden.com/guides/pf/showimage/31451/>
- HALL, R.L. 1974: Analysis of the nature of intercropping
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., AMBUS, P. & E.S. JENSEN 2001: Temporal and spatial distribution of roots and competition for nitrogen in pea-barley intercrops - a field study employing P-32 technique. *Plant and Soil* **236**, 63-74.
- HAYNES, R. J., MARTIN, R. J. & K. M. GOH 1993: Nitrogen fixation, accumulation of soil nitrogen and nitrogen balance for some field-grown legume crops. *Field Crops Research* **35**, 85-92
- HEINZMANN, F. 1981: Assimilation von Luftstickstoff durch verschieden Leguminosenarten und

dessen Verwertung durch Getreidenachfrüchte, Dissertation Stuttgart-Hohenheim.

- HIEBSCH, C. K. 1980: Principles of intercropping: Effects of nitrogen fertilization, plant population and crop duration on equivalency ratios in intercrop versus monoculture comparisons. PhD thesis, North Carolina State Univ., Raleigh.
- HÖDTKE, M., ALMEIDA, D. L., KÖPKE, U., ALVES, B., URQUIAGA, S. & M. UNKOVICH 1997: Balanço de nitrogênio em diferentes sistemas de produção orgânica para milho e caupi. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26. Jul. 1997, Rio de Janeiro. Resumos. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (eds), 1997. Seção Temática 4, n. 313, p. 295.
- HORST B.G. & C. WASCHKIES 1987: Phosphorus nutrition of spring wheat in mixed culture with white lupin (*Lupinus albus* L.). Zeitschrift für Pflanzernährung und Bodenkunde **150**, 1–8.
- HUNGRIA, M. & ARAÚJO, R. S. (editors) 1994: Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola. EMBRAPA, Brasília.
- JENSEN, E. S. 1986. Intercropping faba bean with maize in Denmark. FABIS Newsletter, Faba bean Information Service, ICARDA **16**, 25-28.
- JENSEN, E. S. 1996: Grain yield, symbiotic N₂ fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. Plant and Soil **182**, 25-38.
- JENSEN, E. S., HAUGGAARD-NIELSEN, H., KINANE, J., ANDERSEN, M. K. & B. JØRNSGAARD 2005: Intercropping – The practical application of diversity, competition, and facilitation in arable and organic cropping systems. Beitrag präsentiert bei der Konferenz: First Scientific Conference of the International Society of Organic Agricultural Research (ISO FAR), Adelaide, Australia, 21-23 September 2005; In: KÖPKE, U., NIGGLI, U., NEUHOFF, D., LOCKERETZ, W. & H. WILLER, (HRSG.) Researching Sustainable Systems 2005. Proceedings of the First Scientific Conference of the International Society of Organic Agricultural Research (ISO FAR), 22-25. ISO FAR, Bonn, Germany
- JERANYAMA, P., HESTERMAN, O. B., WADDINGTON, S. R., HARWOOD & R. RICHARD 2000: Relay-Intercropping of Sunnhemp and Cowpea into a Smallholder Maize System in Zimbabwe Agron. J. **92**, 239-244
- JOHN J.A. & M.H. QUENOUILLE 1977: Experiments: Design and Analysis, 2nd ed., London: Charles Griffin.
- JUNG R. 2003: Stickstoff-Fixierleistung von Luzerne (*Medicago sativa* L.), Rotklee (*Trifolium pratense* L.) und Persischem Klee (*Trifolium resupinatum* L.) in Reinsaat und Gemenge mit

Poaceen - Experimentelle Grundlagen und Kalkulationsverfahren zur Ermittlung der Stickstoff-Flächenbilanz. Dissertation, Universität Göttingen.

KAHNT, G. 1983: Gründüngung. DLG-Verl., Frankfurt (Main)

KARAMANOS, R. E. & D. A. RENNIE, 1980: Changes in natural ^{15}N abundance associated with pedogenic processes in soil. II. Changes in different slope positions, *Can. J. Soil Sci.*, **60**, 365.

KIESSLING, D. & U. KÖPKE 2008: Intercropping of oilseeds and faba beans. In: NEUHOFF D., HALBERG N., ALFÖLDI T., LOCKERETZ W., THOMMEN A., RASMUSSEN I. A., HERMANSEN J., VAARST M., LUECK L., CAPORALI F., JENSEN H. H., MIGLIORINI P. & H. WILLER (Editors): *Cultivating the future basscience, Volume 1 Organic Crop Production. Proceeding of the Second Scientific Conference of the International Society of Organic Agriculture Research (ISOFAR), Modena, Italy 18-20 June 2008*

KÖPKE, U. 1993: Nährstoffmanagement durch acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen. In: BMELF (Hrsg.): 5. Colloquium zur Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, „Nährstoffhaushalt“. *Berichte über Landwirtschaft* 71, 207. Sonderheft, 181-203.

KÖHLER, W., Schachtel, G. & P. Voleske. 1984: *Biometrie: Einführung in die Statistik für Biologen und Agrarwissenschaftler*. Berlin; Heidel; New York; Tokyo: Springer Verlag, 255 S.

KOTSCHI, J. 2008: More ecology – less hunger? In: Ulrich Köpke. (Org.). *Organic Agriculture in the Tropics and Subtropics*. Berlin & Bonn: Verlag Dr. Köster & ISOFAR, **1**, 171-176.

KUMWENDA, J.D.T., WADDINGTON, S.R., SNAPP, S.S., JONES, R.B. & M.J. BLACKIE. 1996: *Soil Fertility Management Research for the Maize Cropping Systems of Smallholders in Southern Africa: A Review*. NRG Paper 96-02. Mexico, D.F.: CIMMYT.

LATHWELL, D. J. 1990: Legume Green Manures - Principles for Management, *TropSoils Bulletin*, 90-01

LEDGARD, S. F., FRENEY, J. R. & J. R. SIMPSON 1984: Variation in natural enrichment of ^{15}N in the profiles of some Australian pasture soils. *Aust. J. Soil Res.* **22**, 155.

LOPES, A. A. C., REIS JUNIOR, F. B., MENDES, I.C., ALVES, G. C., MARRIEL, I.V. & V. M. REIS 2008: Efeito da inoculação com *Herbaspirillum seropedicae* sobre a produtividade do milho nos períodos de safra e safrinha. In: IX Simposio Nacional sobre o Cerrado e II Simposio Internacional sobre Savanas Tropicais, 2008, Brasília. Anais. Planaltina: Embrapa Cerrados

MACARTHUR, R.H. & LEVINS, R. 1967: The limiting similarity, convergence and divergence of coexisting species, *Am. Nat.* **101**, 377 - 378.

- MARSCHNER, H. 1995: Mineral nutrition of higher plants, second edition. Academic Press, London. 889 S.
- MCCOLLUM, R. E. 1982: Fertilizer use in multiple cropping systems. Expert consult. FAO, 1 - 6 Feb., New Delhi.
- MEAD, R. & R.W. WILLEY 1980: The concept of a land equivalent ratio and advantages in yields for intercropping. *Exp. Agric.* **16**, 217-228.
- MENG, E. & J. EKBOIR, 2000: Current and Future Trend in Maize Production and Trade. CIMMYT World Maize Facts and Trends, 1-10
- MORRIS, R. A. & D. P. GARRITY 1993: Resource capture and utilization in intercropping: water. *Field Crops Research*, **34**, 303-317.
- MOSLEY, H. & A. MAYER 1999: Benchmarking National Labour Market Performance: A Radar Chart Approach. Discussion Paper FS I 99 -202. Berlin: Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, 31 S.
- MUBIRU, S. L., TENYWA, J. S., ROMNEY, D. & N. HALBERG, 2007: Manure application as an option for improving nutrient balances, yields and income from major crop patterns in Uganda. In African Crop Science Conference Proceedings Vol. 8. pp. 1541-1545. African Crop Science Society, 2007. El-Minia, Egypt.
- NEVES, M.C.P. & N.G. RUMJANEK, 1996: Ecologia do Rizóbio em Solos Tropicais. In EMBRAPA-CNPAB (Hrsg.): Documentos, 23. 27 S. Seropédica: EMBRAPA:CNPAB.
- NEVES, M. C. P., ESPINDOLA, J. A. A., GUERRA, J. G. M. & H. DE-POLLI, 2008: Optimizing the use of BNF in Organic Agriculture - advantages of the tropics. In: Ulrich Köpke. (Org.). *Organic Agriculture in the Tropics and Subtropics*. Berlin & Bonn: Verlag Dr. Köster & ISO FAR, **1**, 1-16.
- NOCE, M. A., 2004: Milho variedade BR 106 técnicas de plantio. Circular Técnica. Embrapa Milho e Sorgo **17623**, 1-5
- OFORI, F. & W.R. STERN 1987. Cereal-legume intercropping systems. *Advances in Agronomy* **41**, 41-90.
- OFORI, F., PATE, J.S. & W.R. STERN 1987. Evaluation of N₂ fixation and nitrogen economy of a maize/cowpea intercrop system using ¹⁵N dilution methods. *Plant Soil* **102**, 149–160.
- OKONKWO, J.C. & A.B.I. UDEDIBIE 1991: Preliminary observations on the yield performance of

- jackbean (*C. ensiformis*) and swordbean (*C. gladiata*) in the Guinea Savanna of Nigeria. Paper presented at the 27th Annual Conf. of Agric. Soc. of Nigeria, Minna, Nigeria, 1–4 September, 1991.
- PAFFRATH, A., LEISEN, E., PUFFERT, M. & F. LIPPERT 2003: Anbau von Feldgemüse. In: Dokumentation 10 Jahre Leitbetriebe Ökologischer Landbau in Nordrhein-Westfalen. Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“ Nr. 105, 113-126. Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- PANDEY, R.K. & J.W. PENDLETON 1986: Soybeans as green manure in a maize intercropping system. *Experimental Agriculture*, **22** (2), 179-185.
- PATE, J.S., UNKOVICH, M.J., E.L. ARMSTRONG & P. SANFORD 1994: Selection of Reference Plants for ¹⁵N Natural Abundance Assessment of N₂ Fixation by Crop and Pasture Legumes in Southwest Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* **45**, 133 - 147.
- PATRA, D. D., SACHDEV, M. S. & B. V. SUBBIAH 1986: *Biol Fertil. Soils* **2**, 165-171.
- PETER, G. & A. RUNGE-METZGER 1994: Monocropping, intercropping or crop rotation? An economic case study from the West African Guinea savannah with special reference to risk, *Agricultural Systems* **45** (2), 123-143
- PERIN, A., SANTOS, R. H. S., URQUIAGA, S., GUERRA, J. G. M. & P. R. CECON 2004: Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. *Pesq. Agropec. Bras., Brasília* **39** (1), 35-40
- PRETTY, J. & R. HINE 2000: Feeding the world with sustainable agriculture: a summary of new evidence. Final report from “SAFE-World” Research Project. Colchester: University of Essex.
- Pule-Meulenberg, F., Belane, A. K., Krasova-Wade, T. & F. D. Dakora 2010: Symbiotic functioning and bradyrhizobial biodiversity of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) in Africa. *BMC Microbiology* 2010, 10:89. Published online 2010 March 23. doi: 10.1186/1471-2180-10-89.
- RAO, M.R. & L.B. MORGADO 1984: A Review of Maize-Beans and Maize-Cowpea Intercrop Systems in the Semiarid Northeast Brazil. *Pesq. agropec. Bras.*
- REHM, S. & G. ESPIG, 1996: Die Kulturpflanzen der Tropen und Subtropen: Anbau, wirtschaftliche Bedeutung, Verwertung / Sigmund Rehm; Gustav Espig. - 3., neubearb. Aufl. - Stuttgart (Hohenheim) : Ulmer, 1996

- REMISON S.U. 1978: Neighbour effects between maize and cowpea at various levels of N and P. *Exp. Agric.* **14**, 205-212.
- RENNIE, D. A., PAUL, E. A., & L. E. JOHNS, 1976: Natural nitrogen-15 abundance of soil and plant samples, *Can. J. Soil Sci.* **56**, 43.
- REUTER, D.J. 1986: Temperate and subtropical crops. In REUTER, D.J. & J.B. ROBINSON (Hrsg.): *Plant analysis: an interpretation manual*, 38 – 99. National Library of Australia.
- RICHARDS, J.E. & R.J. SOPER 1979: Effect of N fertilizer on yield, protein content, and symbiotic N-Fixation in faba beans. *Agron. J.* **71**, 807- 811.
- RIOS, G.P. E.E. WATT, J.P.P. DE ARAÚJO, e, B.P. DAS NEVES 1982: Cultivar CNC 0434 imune ao mosaico severo do caupi. In: *Reuniao Nacional De Pesquisa De Caupi, 1., 1982. Goiania, Resumos: EMBRAPA-CNPAF*, 113-115, 1982.
- RUSINAMHODZI, L., MURWIRA, H. & J. NYAMANGARA 2006: Cotton-cowpea intercropping and its N₂ fixation capacity improves yield of a subsequent maize crop under Zimbabwean rain-fed conditions. *Plant and Soil* **287**, 327-336
- SAAD, A.M. & P. L. LIBARDI 1992: *Uso prático do tensiômetro pelo agricultor irrigante*. Publicação IPT, São Paulo, no 2002, 27 S.
- SANCHEZ, P.A. 1976. *Properties and management of soils in the tropics*. New York, Wiley.
- SCHMIDT, H. 1997. *Viehlose Fruchtfolge im Ökologischen Landbau - Auswirkungen systemeigener und systemfremder Stickstoffquellen auf Prozesse im Boden und die Entwicklung der Feldfrüchte*. Dissertation, Fachbereich Landwirtschaft, internationale Agrarentwicklung und ökologische Umweltsicherung, Universität Gesamthochschule Kassel.
- SCHULZ-MARQUARDT, J. & M. WEBER 1993a: Streifenanbau von Sommerweizen: Eine Möglichkeit zur Erzeugung von Qualitätsbackweizen? In: *Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn (Hrsg.): Forschungsbericht Nr. 7 zur 7. Wissenschaftliche Fachtagung "Elemente des Organischen Landbaus" des Lehr- und Forschungsschwerpunktes "Umweltverträgliche und standortgerechte Landwirtschaft" der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn, 6.5.1993, S. 3-4.*
- SCHULZ-MARQUARDT, J. & M. WEBER 1993b: Streifenanbau von Sommerweizen: Eine Möglichkeit zur Erzeugung von Qualitätsbackweizen? In: *Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn (Hrsg.): Forschungsbericht Nr. 7 zur 7. Wissenschaftliche Fachtagung "Elemente des Organischen Landbaus" des Lehr- und Forschungsschwerpunktes "Umweltverträgliche und*

standortgerechte Landwirtschaft" der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn, 6.5.1993, ISSN 0943-9684, 20-25.

- SCHULZ-MARQUARDT, J., WEBER, M. & U. KÖPKE 1994a: Anbau von Grünbrachestreifen im Wechsel mit Sommerweizen zur Erzeugung von Qualitäts-Backweizen. Kurzfassung. In: VDLUFA – Vereinigung Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten – (Hrsg.): Vorträge zum Generalthema „Alternativen in der Flächennutzung, der Erzeugung und Verwertung landwirtschaftlicher Produkte“, Kongreßband 1994, VDLUFA-Schriftenreihe, Jena, S. 152.
- SCHULZ-MARQUARDT, J., WEBER, M. & U. KÖPKE 1994b: Anbau von Grünbrachestreifen im Wechsel mit Sommerweizen zur Erzeugung von Qualitäts-Backweizen. In: VDLUFA - Vereinigung Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten - (Hrsg.): Vorträge zum Generalthema „Alternativen in der Flächennutzung, der Erzeugung und Verwertung landwirtschaftlicher Produkte“, Kongreßband 1994, 549-552. VDLUFA-Schriftenreihe, Jena.
- SCHULZ-MARQUARDT, J., WEBER, M. & U. KÖPKE 1995a: Streifenanbau von Sommerweizen im Wechsel mit Futterleguminosen zur Erzeugung von Qualitäts-Backweizen im Organischen Landbau. . In: SÖL und Fachgebiet Ökologischer Landbau der Universität Kiel (Hrsg.): Tagungsband 3. Wissenschaftliche Fachtagung zum Ökologischen Landbau, 21.-23.2.1995, Gießen: Wissenschaftlicher Fachverlag, 109-112.
- SCHULZ-MARQUARDT, J., WEBER, M. & U. KÖPKE 1995b: Streifenanbau von Sommerweizen mit Futterleguminosen – Nutzung von Grünbrachemulch zur Steigerung der Backqualität von Sommerweizen im Organischen Landbau. 39. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 28.-30.9.1995, Zürich, Schweiz. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften **8**, 57-60.
- SCHULZ, B 1994: Ökologischer Landbau im Südosten Brasiliens: Vergleichende Analyse vier verschiedener Anbausysteme. Diss. Selbstverlag des Verbands der Tropenlandwirte, Witzenhausen.
- SCHÜTZ, H., SPECKESSER, S., & G. SCHMID 1998: Benchmarking Labour Market Performance and Labour Market Policies: Theoretical Foundations and Applications. Discussion Paper FS I 98-205, Berlin: Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, 1998.
- SIERRA J. & DESFONTAINES L. 2009: Role of root exudates and root turnover in the below-ground N transfer from *Canavalia ensiformis* (jackbean) to the associated *Musa acuminata* (banana). *Crop and Pasture Science* **60**, 289–294.

- SIETZ, D., UNTIED, B., WALKENHORST, O., LÜDEKE, M.K.B., MERTINS, G., PETSCHHEL-HELD, G. & H. J. SCHELLNHUBER 2006: Smallholder Agriculture in Northeast Brazil: Assessing Heterogeneous Human-Environmental Dynamics. *Regional Environmental Change* **6**, 132
- DA SILVA, G. B. F., DE LIMA, A. A., NOSOLINE, S. M., RUMJANEK, N. G. & G. R. XAVIER 2007: Seleção de inoculante rizobiano para feijão-de-porco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 5., 2007, Guarapari. Agroecologia e territórios sustentáveis. Guarapari: ABA, 2007. 4 p. 1 CD-ROM.
- SMITH, S. J. & A. N. SHARPLEY 1990: Soil nitrogen mineralization in the presence of surface and incorporated crop residues. *Agronomy Journal* **82**, 112-116.
- SMITH, S. J. & A. N. SHARPLEY 1993: Nitrogen availability from surface-applied and soil-incorporated crop residues. *Agronomy Journal* **85**, 776-778.
- SNAYDON, R.W. & P.M. HARRIS 1979: Interactions belowground - the use of nutrients and water. In Willey, R.W. (ed.), *Proceedings of the International Workshop on Intercropping*. ICRISAT, Hyderabad, India, 188-201.
- STEINER, K. 1984: *Intercropping in Tropical Smallholder Agriculture, with Special Reference to West Africa*. GTZ, Eschborn, 304 S.
- SVOTWA, E., R. BAIPAI, GWATIBAYA, S., TSVERE, M. & J. JIYANE 2008: Socioeconomic trends and constraints in organic farming in the small holder farming sector of zimbabwe, *Journal of Sustainable Development in Africa*. **10** (1), 214-228.
- THÖNNISSEN, C., MIDMORE, D.J., LADHA, J.K., OLK, D.C. & U. SCHMIDHALTER 2000: Legume Decomposition and Nitrogen Release When Applied as Green Manures to Tropical Vegetable Production Systems. *Agron. J.* **92**, 253-260.
- THRUPP, L.A., 1996: *New Partnerships for Sustainable Agriculture*, Washington, DC, World Resources Institute.
- TOFINGA, M.P., PAOLINI, R & R.W. SNAYDON 1993: A study of root and shoot interactions between cereals and peas in mixtures. *J. Agric. Sci.* **120**, 13-24
- TRANI, P. E. 1983. *Análise foliar: amostragem e interpretação*: Fundação Cargil. Campinas, Brasil.
- TREICHEL, M. 2010. Milho doce é alternativa para os agricultores familiares. *Gazeta do Sul*, 12.06.2010, p. 6.
- TRENBATH, B. R. 1976. Plant interactions in mixed cropping communities. In "Multiple Cropping"

- (R. I. Papendick, P. A. Sanchez, and G. B. Triplett, eds.), 129-169. Spec. Pub. No. **27**. Am. Soc. of Agron., Madison. Wisconsin.
- TRENBATH, B. R. 1993: Intercropping for the management of pests and diseases. *Field Crop. Res.* **34**, 381-405.
- UNKOVICH, M. J. 1996: The natural abundance of nitrogen-15 and its use in estimating nitrogen fixation by annual legumes. In Unkovich M. J. (ed): 11th Intensive Biological Nitrogen Fixation Course held by Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia, Rio de Janeiro, Brazil, July 1996, 1-12.
- UNKOVICH, M.J., PATE, J.S. & P. SANFORD 1993: Preparation of plant samples for high precision nitrogen isotope ratio analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **24**, 2093-2106.
- UNKOVICH, M.J., PATE, J.S., SANFORD, P. & E.L. ARMSTRONG, 1994: Potential Precision of the $\delta^{15}\text{N}$ natural abundance method in field estimates of nitrogen fixation by crop and pasture legumes in S.W. Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* **45**, 119-132.
- VAN DEN BERGH, J. P. 1968: An analysis of yields of grasses in mixed and pure stands. *Versl. Landbouwk. Onderz.* **714**, 1-71.
- VAN HUIS, A. 1981. Integrated pest management in the small farmer's maize crop in Nicaragua. *Meded. Landbou. Wageningen* 81(6), 221 S.
- VAN KESSEL, C. & ROSKOSKI, J. P. 1988: Row spacing effects of N₂-fixation, N-yield and soil N uptake of intercropped cowpea and maize, *Plant and Soil* **111**, 17 – 23.
- VANDERMEER J. H. 1984: The interpretation and design of intercrop systems involving environmental modification by one of the components: a theoretical framework. *Biological Agriculture and Horticulture*, **2**, 135-156;
- VANDERMEER J. H. 1992: *The ecology of intercropping*. Cambridge: Cambridge University Press, 237 S.
- VESTERAGER, J. M., NIELSEN, N. E. & H. HOGH-JENSEN 2007: Nitrogen budgets in crop sequences with or without phosphorus-fertilised cowpea in the maize-based cropping systems of semi-arid eastern Africa. *African Journal of Agricultural Research* **2** (6), 261-268.
- VESTERAGER, J. M., NIELSEN, N. E. & H. HOGH-JENSEN 2008: Effects of cropping history and phosphorus source on yield and nitrogen fixation in sole and intercropped cowpea–maize systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **80**, 61-73.

- VIERA-VARGAS, M.S., SOUTO, C.M., URQUIAGA, S. & R.M. BODDEY 1995. Quantification of the Contribution of N₂ Fixation to Tropical Forage Legumes and Transfer to Associated Grass. *Soil Biology and Biochemistry* **27**(9), 1193-1200.
- WAHUA, T. A. T. 1983. Nutrient uptake by intercropped maize and cowpeas and a concept of nutrient supplementation index (NSI). *Experimental Agriculture* **19**, 263-275.
- WAHUA, T. A. T., BABALOLA, O. and M. E. AKEN'OVA 1981. Intercropping morphologically different types of maize with cowpeas: LER and growth attributes of associated cowpeas, *Experimental Agriculture* **17**, 407-413.
- WATERER, J.G., VESSEY, J. K., STOBBE, E. H. & SOPER R. J. 1994: Yield and symbiotic nitrogen-fixation in a pea - mustard intercrop as influenced by N fertiliser addition. *Soil Biol. Biochem.* **26**, 447-453.
- WEBER, M., SCHULZ-MARQUARDT, J. & U. KÖPKE 1994: Grünbrachestreifen im Wechsel mit Sommerweizen im Organischen Landbau. In: VDLUFA - Vereinigung deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Hrsg.): Vorträge zum Generalthema "Alternativen in der Flächennutzung, der Erzeugung und Verwertung landwirtschaftlicher Produkte", 139-142. VDLUFA-Schriftenreihe, Kongreßband, Jena.
- WILLEY, R. W. & D. S. O. OSIRU 1972: Studies on mixtures of maize and beans (*Phaseolis vulgaris*) with particular reference to plant population. *Jour. of Agric. Sci. Cambridge* **79**, 519-529.
- WILLEY, R. W., 1979: Intercropping. Its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. *Field Crop Abstracts* **32** (1), 1-10.
- WILLEY, R.W. 1990. Resource use in intercropping systems. *Agric. Water Manage.* **17**, 215-231.
- WORLD BANK 2008: World Development Report 2008: Agriculture for Development, 365 S.
- WORTMANN, C.S., MCINTYRE, B.D. & C.K. KAIZZI. 2000: Annual soil improving legumes: agronomic effectiveness, nutrient uptake, nitrogen fixation and water use. *Field Crops Research*, **68** (1), 75-8.
- YAMADA, T. 1996. Adubacao nitrogenada do milho. *Informes Agronomicas* **74**, 1.
- ZAKE, J., NAGAWA, F., WALAGA, C. & JAGER, A. D. 2002: Monitoring nutrient flows, nutrient balances and economic indicators of smallholder farms in lukwanga parish, wakiso sub county, wakiso district. Baseline Survey Report
- ZHOU, S. L., WU, Y. C., WANG, Z. M., LU, L. Q. & R. Z. WANG, 2008: The nitrate leached below maize

root zone is available for deep-rooted wheat in winter wheat-summer maize rotation in the North China Plain. *Environ. Pollut.* **152**, 723– 730.

ZILLI J.E., VALISHESKI R.R., FREIRE FILHO F.R., NEVES M.C.P. & N.G. RUMJANEK 2004: Assessment of cowpea rhizobium diversity in Cerrado areas of northeastern Brazil. *Braz. J. Microbiol.*, **35** (4), 281-287.

6.5 Abkürzungsverzeichnis

Anz.	Anzahl
BNF	Biological Nitrogen Fixation
BS	Bodensubstanz
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
CIDICCO	Centro Internacional de Información sobre Cultivos de Cobertura
CNPAB	Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia
CNPAF	Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijao
CNPMS	Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (Nationales Forschungszentrum für Mais und Sorghum)
Corg	organischer Kohlenstoff
CPN	CPN International, Inc – Hersteller von Geräten zur Messung von Bodendichte und -feuchte.
DAS	Tage nach Aussaat (<i>days after sowing</i>)
d. h.	das heißt
E/0	Variante ohne Gründüngung (damit auch kein Einarbeiten der Gründüngung)
E/1	Variante mit Einarbeiten der Sproßmasse von einer Reihe Gründüngung
E/2	Variante mit Einarbeiten der Sproßmasse von zwei Reihen Gründüngung
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (Brasilianische Gesellschaft für landwirtschaftliche Forschung)
Entw.	Entwicklung
G.d.	Gründüngung
GD0	Zusammenfassende Kennzeichnung für Varianten ohne Gründüngung
GD1	Zusammenfassende Kennzeichnung für Varianten mit einreihiger Gründüngung
GD2	Zusammenfassende Kennzeichnung für Varianten mit zweireihiger

	Gründüngung
HQ	High Quality
i. d. R.	in der Regel
Irrtumswahrsch.	Irrtumswahrscheinlichkeit
Kap.	Kapitel
LER	Land Equivalent Ratio
LMOP	Length Measure of Overall Performance
LQ	Low Quality
M/0	Variante ohne Gründüngung (damit auch kein Mulchen der Gründüngung)
M/1	Variante mit Mulchen der Sproßmasse von einer Reihe Gründüngung
M/2	Variante mit Mulchen der Sproßmasse von zwei Reihen Gründüngung
Mono	Monokultur
MQ	Medium Quality
MW	Mittelwert
Ndfa	Nitrogen derived from air
Nmin	mineralischer Stickstoff
NN	Normal Null
NS	Niederschlag
o. g.	oben genannten
o.A.	oder Ähnliches
OBS	organische Bodensubstanz
pH	pondus Hydrogenii
PVC	Polyvenylchlorid
räuml.	räumlich
RB	Reinbestand
R	Rotation
ROT I	Variante mit dem ersten Rotationsglied

ROT II	Variante mit dem zweiten Rotationsglied
RYT	Relative Yield Total
s.	siehe
s. o.	siehe oben
s. u.	siehe unten
SMOP	Surface Measure of Overall Performance
sT	sandiger Ton
Std.	Standard
TM	Trockenmasse
u. a.	unter anderem
u. U.	unter Umständen
VA	versiculo-arbusculär
Vers.p.	Versuchsperiode
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil
zeitl.	zeitlich

7 Tabellenanhang

Tabellenanhang 1: Übersicht pflanzenbaulicher Maßnahmen.

Overview of agronomic treatments

<i>Maßnahme</i>	<i>1. Versuchsperiode</i>	<i>2. Versuchsperiode</i>	<i>3. Versuchsperiode</i>
Grundboden- bearbeitung	28.02.96	14.10.96	21.05.97
Kalkung (Ca...)	29.02.96	-----	-----
Grunddüngung (P, K)	20.03.96	07.11.96	-----
Saatbettbereitung/ Aussaaf	Mais: 20.03.1996 Augenbohnen: 28.03.96	Mais und Augenbohnen: 06./07.11.96	Mais: 27./28.05.97 Schwertbohnen: 17.06.97
Pflanzenschutz (Beauveria spp.)	-----	18./19.11.96 25.11.96 02.12.96	-----
Hacken	04.-10.04.96	18./19.11.96	10.06.97
Hacken/Vereinzeln	16.-18.04.96	02./03.12.96	30.06.-02.07.97
Gründüngung	15.05.96	08.01.97	12.08.97
Probenahme f. Blattanalyse	21.05.96	23.01.97	28.08.97
Ernte	Mais: 07.08.96 Augenbohnen: 04.07.96	Mais und Augenbohnen: 07.03.97	Mais: 03.11.97 Schwertbohnen: 18.11.97 u. 07.01.98

Tabellenanhang 2: Mais-Trockenmasse am 04.12.1996 (zweite Versuchsperiode).

Dry matter of maize plants on 04.12.1996 (first experimental period)

<i>Behandlung</i>	<i>kg * ha⁻¹</i>			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdifff. (5 % Irrtumsw.)
Zweite Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	71	----
Rotation	----	----	96	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	60	74	67	25
einreihige Gründüngung	62	54	58	
zweireihige Gründüngung	68	67	67	
Mittelwerte	63	65	64	14
Grenzdifff. (5 % Irrtumsw.)	31		22	----

Tabellenanhang 3: Mais-Trockenmasse am 20.12.1996 (zweite Versuchsperiode, zweite Probenahme).*Dry matter of maize plants on 20.12.1996 (second experimental period, second sampling)*

Behandlung	kg * ha⁻¹			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)
Zweite Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	601	----
Rotation	----	----	933	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	470	634	552	249
einreihige Gründüngung	619	453	536	
zweireihige Gründüngung	581	493	537	
Mittelwerte	557	527	542	144
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	304		215	----

Tabellenanhang 4: Mais-Trockenmasse am 26.12.1996 (zweite Versuchsperiode, dritte Probenahme).*Dry matter of maize plants on 26.12.1996 (second experimental period, third sampling)*

Behandlung	kg * ha⁻¹			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)
Zweite Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	1527	----
Rotation	----	----	1431	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	1247	1114	1180	676
einreihige Gründüngung	1298	984	1141	
zweireihige Gründüngung	1227	1076	1152	
Mittelwerte	1257	1058	1158	390
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	823		582	----

Tabellenanhang 5: Mais-Trockenmasse am 16.01.1997 (zweite Versuchsperiode, vierte Probenahme).*Dry matter of maize plants on 16.01.1997 (second experimental period, fourth sampling)*

<i>Behandlung</i>	<i>kg * ha⁻¹</i>			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)
Zweite Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	3572	----
Rotation	----	----	3347	----
Mischanbau				
ohne Gründung	4031	3756	3893	2299
einreihige Gründung	4336	3856	4096	
zweireihige Gründung	3006	3177	3092	
Mittelwerte	3791	3596	3694	1327
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	2799		1979	----

Tabellenanhang 6: Mais-Trockenmasse am 05.03.1997 (zweite Versuchsperiode, fünfte Probenahme).*Dry matter of maize plants on 05.03.1997 (second experimental period, fifth sampling)*

<i>Behandlung</i>	<i>kg * ha⁻¹</i>			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)
Zweite Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	8327	----
Rotation	----	----	9604	----
Mischanbau				
ohne Gründung	7247	8595	7921	2304
einreihige Gründung	7431	6974	7202	
zweireihige Gründung	8183	7915	8049	
Mittelwerte	7620	7828	7724	1330
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	2805		1984	----

Tabellenanhang 7: N-Aufnahme von Mais am 04.12.1996 (zweite Versuchsperiode, dritte Probenahme).

Dry matter of maize plants on 26.12.1996 (second experimental period, third sampling)

Behandlung	kg * ha⁻¹			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)
Zweite Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	1,99	----
Rotation	----	----	3,01	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	1,84	2,09	1,96	0,67
einreihige Gründüngung	1,66	1,52	1,59	
zweireihige Gründüngung	1,90	2,00	1,95	
Mittelwerte	1,80	1,87	1,83	0,39
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	0,81		0,57	----

Tabellenanhang 8: N-Aufnahme von Mais am 20.12.1996 (zweite Versuchsperiode, dritte Probenahme).

Dry matter of maize plants on 26.12.1996 (second experimental period, third sampling)

Behandlung	kg * ha⁻¹			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)
Zweite Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	10,6	----
Rotation	----	----	17,4	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	8,1	11,6	9,8	4,8
einreihige Gründüngung	10,8	8,9	9,8	
zweireihige Gründüngung	10,3	8,8	9,6	
Mittelwerte	9,7	9,8	9,7	2,8
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	5,8		4,1	----

Tabellenanhang 9: N-Aufnahme von Mais am 26.12.1996 (zweite Versuchsperiode, dritte Probenahme).

Dry matter of maize plants on 26.12.1996 (second experimental period, third sampling)

<i>Behandlung</i>	<i>kg * ha⁻¹</i>			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)
Zweite Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	21	----
Rotation	----	----	19	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	20	16	18	7,0
einreihige Gründüngung	19	14	17	
zweireihige Gründüngung	18	15	17	
Mittelwerte	19	15	17	4,0
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	8,5		6,0	----

Tabellenanhang 10: N-Aufnahme von Mais am 16.01.1997 (zweite Versuchsperiode, vierte Probenahme).

Dry matter of maize plants on 16.01.1997 (second experimental period, fourth sampling)

<i>Behandlung</i>	<i>kg * ha⁻¹</i>			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)
Zweite Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	37,6	----
Rotation	----	----	35,1	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	47,1	42,8	45,0	28,0
einreihige Gründüngung	52,4	41,1	46,7	
zweireihige Gründüngung	30,6	48,7	39,6	
Mittelwerte	43,4	44,2	43,8	16,2
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	34,1		24,1	----

Tabellenanhang 11: N-Aufnahme von Mais am 05.03.1997 (zweite Versuchsperiode, fünfte Probenahme).

Dry matter of maize plants on 05.03.1997 (second experimental period, fifth sampling)

Behandlung	kg * ha⁻¹			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)
Zweite Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	82,4	----
Rotation	----	----	91,2	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	65,8	79,6	72,7	34,6
einreihige Gründüngung	69,7	62,4	66,0	
zweireihige Gründüngung	82,8	82,7	82,8	
Mittelwerte	72,8	74,9	73,8	20,0
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	42,1		29,8	----

Tabellenanhang 12: Mais-Trockenmasse am 24.06.1997 (dritte Versuchsperiode, erste Probenahme).

Dry matter of maize plants on 24.06.1997 (third experimental period, first sampling)

Behandlung	kg * ha⁻¹			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)
Dritte Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	51,7	----
Rotation	----	----	62,5	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	57,9	49,1	53,5	21,9
einreihige Gründüngung	59,6	53,1	56,3	
zweireihige Gründüngung	62,0	59,9	60,9	
Mittelwerte	59,8	54,0	56,9	12,7
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	26,7		18,9	----

Tabellenanhang 13: Mais-Trockenmasse am 16.07.1997 (dritte Versuchsperiode, zweite Probenahme).*Dry matter of maize plants on 16.07.1997 (third experimental period, second sampling)*

Behandlung	kg * ha⁻¹			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)
Dritte Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	646	----
Rotation	----	----	599	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	648	564	606	279
einreihige Gründüngung	414	508	461	
zweireihige Gründüngung	697	709	703	
Mittelwerte	586	593	590	161
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	340		240	----

Tabellenanhang 14: Mais-Trockenmasse am 13.08.1997 (dritte Versuchsperiode, dritte Probenahme).*Dry matter of maize plants on 13.08.1997 (third experimental period, third sampling)*

Behandlung	kg * ha⁻¹			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)
Dritte Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	1940	----
Rotation	----	----	2476	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	1532	1651	1591	895
einreihige Gründüngung	1500	1681	1590	
zweireihige Gründüngung	2152	1590	1871	
Mittelwerte	1728	1641	1684	517
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	1089		770	----

Tabellenanhang 15: Mais-Trockenmasse am 08.09.1997 (dritte Versuchsperiode, vierte Probenahme).*Dry matter of maize plants on 08.09.1997 (third experimental period, fourth sampling)*

Behandlung	kg * ha⁻¹			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)
Dritte Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	1841	----
Rotation	----	----	2444	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	2139	1592	1866	798
einreihige Gründüngung	1578b	2437a	2007	
zweireihige Gründüngung	2016	1973	1995	
Mittelwerte	1911	2001	1956	461
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	972		687	----

Tabellenanhang 16: Mais-Trockenmasse am 03.11.1997 (dritte Versuchsperiode, fünfte Probenahme).*Dry matter of maize plants on 03.11.1997 (third experimental period, fifth sampling)*

Behandlung	kg * ha⁻¹			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)
Dritte Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	7383	----
Rotation	----	----	8884	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	6960	6972	6966	1659
einreihige Gründüngung	6749	6818	6783	
zweireihige Gründüngung	7782	7759	7771	
Mittelwerte	7164	7183	7173	958
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	2019		1428	----

Tabellenanhang 17: N-Aufnahme von Mais am 24.06.1997 (dritte Versuchsperiode, erste Probenahme).

N-uptake by maize plants on 24.06.1997 (third experimental period, first sampling)

Behandlung	kg * ha⁻¹			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)
Erste Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	1,33	----
Rotation	----	----	1,72	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	1,77	1,34	1,55	0,72
einreihige Gründüngung	1,74	1,55	1,64	
zweireihige Gründüngung	1,77	1,69	1,73	
Mittelwerte	1,76	1,52	1,64	0,42
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	0,88		0,62	----

Tabellenanhang 18: N-Aufnahme von Mais am 16.07.1997 (dritte Versuchsperiode, zweite Probenahme).

N-uptake by maize plants on 16.07.1997 (third experimental period, second sampling)

Behandlung	kg * ha⁻¹			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)
Erste Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	10,87	----
Rotation	----	----	10,57	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	11,11ab	9,69	10,40	5,13
einreihige Gründüngung	6,31b	8,87	7,59	
zweireihige Gründüngung	13,63a	10,81	12,22	
Mittelwerte	10,35	9,79	10,07	2,96
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	6,25		4,42	----

Tabellenanhang 19: N-Aufnahme von Mais am 13.08.1997 (dritte Versuchsperiode, dritte Probenahme).

N-uptake by maize plants on 13.08.1997 (third experimental period, third sampling)

<i>Behandlung</i>	<i>kg * ha⁻¹</i>			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)
Erste Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	22,8	----
Rotation	----	----	30,37	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	15,46	19,58	17,52	9,05
einreihige Gründüngung	17,46	19,49	18,47	
zweireihige Gründüngung	26,28	19,34	22,81	
Mittelwerte	19,73	19,47	19,60	5,22
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	11,02		7,79	----

Tabellenanhang 20: N-Aufnahme von Mais am 08.09.1997 (dritte Versuchsperiode, vierte Probenahme).

N-uptake by maize plants on 08.09.1997 (third experimental period, fourth sampling)

<i>Behandlung</i>	<i>kg * ha⁻¹</i>			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)
Erste Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	23,0	----
Rotation	----	----	24,0	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	21,0	16,6	18,8	10,4
einreihige Gründüngung	19,7	27,3	23,5	
zweireihige Gründüngung	23,7	22,7	23,2	
Mittelwerte	21,5	22,2	21,8	6
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	12,6		8,9	----

Tabellenanhang 21: N-Aufnahme am 03.11.1997 (zweite Versuchsperiode, fünfte Probenahme).*N-uptake by maize plants on 03.11.1997 (second experimental period, fifth sampling)*

Behandlung	kg * ha⁻¹			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)
Erste Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	59,0	----
Rotation	----	----	71,6	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	54,2	56,6	55,4b	12,7
einreihige Gründüngung	63,3	52,2	57,7b	
zweireihige Gründüngung	70,4	73,9	72,2a	
Mittelwerte	62,6	60,9	61,8	7,3
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	15,5		10,9	----

Tabellenanhang 22: Effizienz der Flächennutzung (LER) bezogen auf die Kornerträge von Mais und Leguminosen, März 1996 bis Januar 1998.*Land Equivalent Ratio (LER), March of 1996 until January of 1998.*

Behandlung	LER-Wert			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)
Zweite Versuchsperiode				
Rotation	----	----	1,00	----
Mischanbau				
ohne Gründüngung	0,99	1,37	1,18	0,57
einreihige Gründüngung	1,09	0,93	1,01	
zweireihige Gründüngung	0,91	0,93	0,92	
Mittelwerte	1,00	1,08	1,04	0,33
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	0,69		0,49	----

Tabellenanhang 23: Anteil des Kornertrages von von Maiskolben mittlerer Qualität.*Fraction of maize grain yield from medim quality cobs.*

Behandlung	Kornertrag Mais ($t \cdot ha^{-1}$)			
	Mulchen	Einarbeiten	Referenzvarianten / Mittelwerte	Grenzdifferenz (5 % Irrtumsw.)
Erste Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	28	----
Rotation	----	----	29	----
Mischanbau				
ohne Gründungung	33	39	36	11
einreihige Gründungung	30	32	31	
zweireihige Gründungung	35	29	32	
Mittelwerte	33	34	<u>33</u>	7
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	14		10	----
Zweite Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	33	----
Rotation	----	----	39	----
Mischanbau				
ohne Gründungung	34	41	38	11
einreihige Gründungung	37	40	38	
zweireihige Gründungung	39	31	35	
Mittelwerte	37	37	37	6
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	13		9	----
Dritte Versuchsperiode				
Monokultur	----	----	54	----
Rotation	----	----	46	----
Mischanbau				
ohne Gründungung	48	48	48	18
einreihige Gründungung	39	52	46	
zweireihige Gründungung	41	47	44	
Mittelwerte	43	49	46	10
Grenzdif. (5 % Irrtumsw.)	22		15	----