

Abschlussbericht

Bezeichnung der Forschungsleistung:

Standortspezifische Auswirkungen einer langjährigen ökologischen Bewirtschaftung auf acker- und pflanzenbauliche sowie umweltrelevante Parameter

Fo.-Nr.: 22/04

Verantwortlicher Themenbearbeiter: Dr. H. Gruber

Mitarbeiter: Dipl.-Ing. (FH) U. Thamm

31.05.05
.....
Datum

.....
Themenbearbeiter

.....
Direktor

Inhaltsverzeichnis:

1 Problem und Zielstellung

2 Methode

- 2.1 Standortbeschreibung
- 2.2 Witterung
- 2.3 Versuchsanlage
- 2.4 Fruchtfolge und Bewirtschaftung
- 2.5 Ertragsermittlung und Nährstoffanalyse
- 2.6 Statistische Auswertung

3 Ergebnisse

3.1 Ertragsentwicklung

- 3.1.1 Allgemeines
- 3.1.2 Ertragsentwicklung in der Fruchtfolge
- 3.1.3 Ertragseinfluss der Fruchtarten bei ökologischer und konventionellen Bewirtschaftung
- 3.1.3 Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Ertrag
- 3.1.5 Schlussfolgerungen

3.2 Nährstoffbilanzen

3.3 Nitratstickstoffgehalte im Boden bei ökologischer Bewirtschaftung

- 3.3.1 Einfluss der Fruchtarten auf die Nitratstickstoffgehalte im Herbst
- 3.3.2 Einfluss der Fruchtarten auf die Nitratstickstoffgehalte im Frühjahr
- 3.3.3 Schlussfolgerungen

3.4 Entwicklung der Grundnährstoffgehalte im Boden

- 3.4.1 Phosphor
- 3.4.2 Kalium
- 3.4.3 Magnesium
- 3.4.4 Schlussfolgerungen

3.5 Entwicklung der pH-Werte im Boden

3.6 Entwicklung der Humusversorgung im Boden

- 3.6.1 Humusbilanzierung
- 3.6.2 Entwicklung der C_t-Gehalte
- 3.6.3 Entwicklung der N_t-Gehalte
- 3.6.4 Schlussfolgerungen

4 Zusammenfassung

Literatur

Anhang

1 Problem und Zielstellung

Ab 1991 wurde der Umfang der ökologischen Bewirtschaftung in Mecklenburg-Vorpommern schrittweise ausgedehnt. Wie sich diese Wirtschaftsweise langfristig auf die Erträge verschiedener Fruchtarten und auf Bodenparameter auswirkt, wurde unter den Standortbedingungen von Mecklenburg-Vorpommern bisher nicht untersucht.

Aus diesem Grund wurde 1992 am Standort Gülzow in Mecklenburg-Vorpommern ein Dauer-versuch angelegt und nach den Richtlinien der EU Öko-VO 2092/91 bewirtschaftet. Zur Untersuchung der Auswirkungen eines langjährigen ökologischen Anbaus fand eine möglichst praxisnahe Bewirtschaftung statt. Der Versuch simuliert die Bewirtschaftung eines Vieh haltenden Betriebes. Die ökologische Bewirtschaftung wurde mit einer konventionell bewirtschafteten Variante verglichen.

Ziel war es den Einfluss verschiedener Faktoren auf den Ertrag und auf ausgewählte Bodenparameter zu quantifizieren. Neben der Ertragsentwicklung standen besonders die Grundnährstoff- und Stickstoffgehalte des Bodens im Mittelpunkt der Untersuchungen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sollen für den ökologischen Landbau Anbau- und Bewirtschaftungshinweise liefern, um das Ertragsrisiko zu mindern und Nährstoffe effektiv zu nutzen.

2. Methode

2.1 Standortbeschreibung

Nach MENNING und SCHEIL (1995) ist das ökologisch bewirtschaftete Versuchsfeld Gülzow (Kreis Güstrow) eine repräsentative traditionelle Ackerfläche Mecklenburgs auf Grundmoräne der Weichselkaltzeit. Das Ausgangsmaterial der Bodendecke war Geschiebemergel mit ca. 0,5 bis 1,0 m mächtiger periglaziärer Sanddecke. Der Standort ist eben bis flach ($I \leq 2\%$), im Einzugsgebiet der Nebel, nur 5 bis 10 m ü NN, d. h. Grundwasser führend und deswegen auf etwa 85 % der Fläche systematisch dräniert. Die für das Öko-Feld charakteristischen Bodenarten sind S bis SL mit Ackerzahlen von 25 bis 54. Das Bodensubstrat ist in der Regel ungleichförmig und daher hoch verdichtbar mit einem Porenvolumen von nur 36 bis 45 Vol. %. Etwa die Hälfte sind Grobporen mit einer Luftkapazität zwischen 12 und 28 Vol. %. Bis in einen Meter Tiefe speichert der Boden etwa 130 mm Haftwasser. Auf Grund einer guten Grundwasserversorgung ist das Wasserdargebot erheblich höher als die nutzbare Feldkapazität (nutzbare Frühjahrsfeuchte $n_{FF} = 1,5 n_{FK}$). Infolge flacher Lage der Mergelsohle ist in der Krume noch Kalk nachweisbar und die Bodenreaktion nur schwach sauer bis neutral. Der Humusgehalt der Krume ist stark differenziert und reicht von 1,36 % auf den Kuppen bis 3,44 % in den Senken. Die Bodengehalte der wichtigsten Nährstoffe enthält Tab. 1.

Tab. 1: Standortbeschreibung

Bodenart/AZ	S-SL/ 25-54
pH-Wert	6,5 (5,5-7,4)
K ₂ O (mg/100 g Boden)	16 (9-31)
P ₂ O ₅ (mg/100 g Boden)	23 (10-54)
Mg (mg/100 g Boden)	8,6 (5-13)
N _t -Gehalt	0,09 (0,07-0,13)
C _t -Gehalt	0,7 (0,58-1,15)

2.2 Witterung

Gülzow liegt im Bützow-Güstrower Becken und damit niederschlagsmäßig in einem eher benachteiligten Gebiet. Die durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge beträgt im langjährigen Mittel 542 mm. Die Monate Juni und Juli sind die Monate mit den höchsten Niederschlagssummen. Darüber hinaus bringen die Monate November bis Januar in der Regel ergiebige Niederschläge, die in den letzten Jahren überwiegend als Regen fielen. Auf Sandböden können diese Niederschlagsmengen zu Auswaschungsverlusten von Nitratstickstoff führen. Die Sickerwasserperiode reicht von November bis April. Die Frühjahrsbestellung beginnt in der Regel erst

Ende März/Anfang April, da der Boden dann ausreichend abgetrocknet ist. Der Monat Juni sorgt häufig für eine ertragsbeeinflussende Vorsommertrockenheit.

Die Durchschnittstemperatur liegt bei 8,2 ° C. Die Frühjahrstemperaturen ermöglichen Anfang April die Aussaat von Getreide. Ausreichende Bodenerwärmung für den Kartoffelanbau sind erst Ende April und für den Maisanbau in der ersten Maidekade gegeben. Die Wintergetreidebestellung erfolgt ab Mitte September in der Regel bei gutem Bodenzustand. Ab Mitte Oktober verschlechtern sich die Bedingungen für eine qualitativ hochwertige Herbstbestellung (Abb. 1).

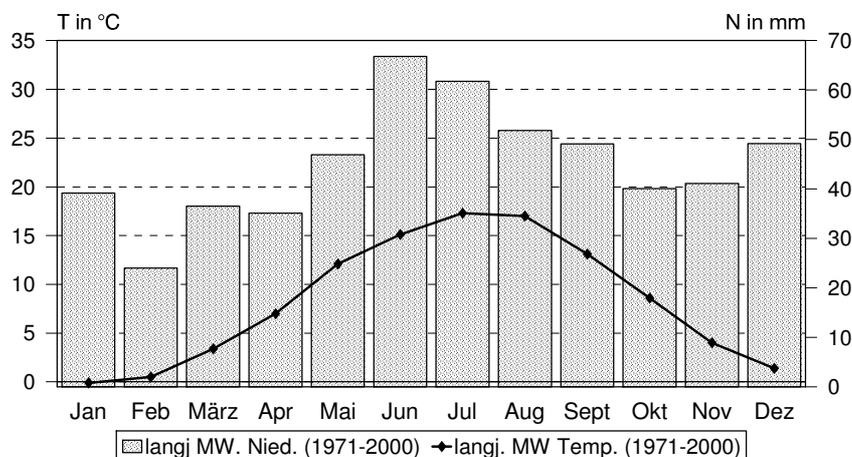


Abb. 1: Langjährige Mittelwerte von Lufttemperatur und Niederschlagssumme am Standort Gölzow

2.3 Versuchsanlage

Am Standort Gölzow wurden ab 1993 innerhalb einer 6-feldrigen Fruchtfolge neben Parzellenversuchen Langzeituntersuchungen auf einer Dauerbeobachtungsfläche durchgeführt. Bis 1997 standen im ökologisch bewirtschafteten System für diese Untersuchungen je Fruchtfolgefeld ca. 1,1 Hektar, ab 1997 ca. 0,55 Hektar zur Verfügung. Bis zum Jahr 2002 wurde eine mit ca. 1,1 Hektar je Fruchtfolgefeld konventionell bewirtschaftete Vergleichsvariante in die Erhebungen einbezogen. Die Bewirtschaftung beider Systeme erfolgte praxisnah. Die Fruchtfolgefelder beider Systeme lagen unmittelbar nebeneinander. Probenahme und Ertragsermittlung auf den Flächen erfolgten systematisch. Die Versuchsanlage hatte keine Wiederholungen (Abb. 2).

Abb. 2: Ökologisch bewirtschaftetes Versuchsfeld
linkes Bild: Dauerbeobachtungsfläche - markierter Bereich ökologisch,
links davon konventionell, rechtes Bild: Versuchsfläche Juni 2003 .

2.4 Fruchtfolge und Bewirtschaftung

Die Fruchtfolge besteht aus 50 % Blattfrüchten und 50 % Halmfrüchten (Tab. 2). Die Bewirtschaftung erfolgte wie in einem Gemischtbetrieb, Düng wurde zugekauft. Bis 1998 waren sowohl im konventionellen als auch im ökologischen Anbau die Fruchtfolgegestaltung und Stallungsausbringung nahezu gleich:

- nach dem zweiten Kleegrasschnitt erfolgten der Umbruch und die Aussaat einer abfrierenden Zwischenfrucht, in der Regel Gelbsenf,
- danach wurden im Frühjahr Kartoffeln angebaut,
- nach den Kartoffeln wurde im November Düng ausgebracht und eine Winterfurche gezogen, im Anschluss wurde Sommergerste angebaut,



- je nach Bestandesentwicklung des Sommergetreides (Sommergerste) wurde eine Weißkleeuntersaat oder eine abfrierende Zwischenfrucht (Phacelia) ausgebracht, nach der Saatfurche wurden Körnerleguminosen gedrillt,
- anschließend wurde Wintergetreide angebaut, nach der Wintergetreideernte folgte in der Regel eine intensive Stoppelbearbeitung, anschließend wurde Dung gestreut und eine Winterfurche gezogen,
- im folgenden Sommergetreide (Hafer) wurde die Klee gras-Untersaat in der Regel einige Tage nach der Aussaat des Getreides ausgedrillt und eingestriegelt.

Jährlich wurden zwei Schläge mit durchschnittlich ca. 250 dt/ha Stallung versorgt, so dass sich eine Gesamtdüngungsmenge von ca. 80 dt/ha/a ergab, was einem Viehbesatz von etwa 0,8 GV/ha entspricht. Nach dem Klee grasumbruch wurde zur Zwischenfrucht ein Grunddünger ausgebracht und vor der Aussaat der Leguminosen zur Zwischenfrucht gekalkt. Angaben zur mineralischen Düngung bei ökologischer Bewirtschaftung enthält Tabelle A1. Aufwandmenge und Zeitpunkt der Stallunggaben sind für beide Anbausysteme in der Tabelle A2 im Anhang aufgeführt.

Ab 1999 wurde die Fruchtfolge im ökologisch bewirtschafteten Versuchsteil entsprechend der Tab. 2 verändert.

- Auf den in die Untersuchung einbezogenen Schlagteilen erfolgte nun nach Klee grasumbruch die Aussaat von Wintergetreide.
- Nach der Getreideernte wurde Gelbsenf als Zwischenfrucht ausgedrillt und im Frühjahr erst Dung ausgebracht und zu den Kartoffeln gepflügt.
- Im November folgte dann eine späte Winterfurche für den Anbau der Körnerleguminosen im Frühjahr.
- Nach den Körnerleguminosen wurde Wintergetreide ausgesät. Nach Wintergetreide folgte auch in dieser Rotation eine intensive Stoppelbearbeitung und im November eine Dünggabe mit Einarbeitung und anschließender Winterfurche.
- Die Aussaat von Hafer und der Klee grasuntersaat wurde im getrennten Verfahren wie oben beschrieben durchgeführt. Stallung wurde bei ökologischer Bewirtschaftung nach wie vor in den oben genannten Mengen ausgebracht. Eine Grunddüngung erfolgte nur noch bei Bedarf (vgl. Tab. A 1).
- Im konventionell bewirtschafteten Versuchsteil wurde ab 1999 keine organische Düngung mehr vorgenommen. Die Blattfrucht Klee gras wurde durch den Raps ersetzt und die Kartoffel durch den Mais.
- Auf 50 % der Fläche wurde Wintergetreide angebaut (vgl. Tab. 2).

Bis 1998 wurden im konventionellen Anbau Düngermengen und Pflanzenschutzmittel nach Ertragsschätzungen bzw. Schadschwellen bemessen und ausgewählt. Darüber hinaus wurden die Nährstoffe aus organischer Düngung und den Leguminosen bei der Mengenermittlung berücksichtigt. Ab 1999 erfolgte eine Bewirtschaftung entsprechend der Landessortenversuche mit einem höheren Aufwand an Pflanzenschutz und Düngung. Grundnährstoffe wurden überwiegend als Mehrnährstoffdünger ausgebracht.

Tab. 2: Fruchtfolge

FF-Feld	ökologisch		konventionell	
	1993-1998	1999-2004	1993-1998	1999-2002
1	Klee gras (ZF)	Klee gras	Klee gras (ZF)	Raps
2	Kartoffeln	Wintergetreide (ZF)	Kartoffeln	Wintergetreide
3	So.Getreide (ZF,US)	Kartoffeln	So.Getreide (ZF, US)	Mais
4	Körnerleguminosen	Körnerleguminosen	Körnerleguminosen	Körnerleguminosen
5	Wintergetreide	Wintergetreide	Wintergetreide	Wintergetreide
6	Hafer + US	Hafer + US	Hafer + US	Wintergetreide

ZF-Zwischenfrucht, US-Untersaat

2.5 Ertragsermittlung und Nährstoffanalyse

Die Ertragsermittlung bei den Mähdruschfrüchten erfolgte in 4- bis 6-facher Wiederholung durch Kerndrusch mit dem Parzellenmährescher (Arbeitsbreite 1,50 Meter). Die Länge der Parzelle wurde mit dem Maßband ermittelt. Die weitere Aufbereitung der Rohware erfolgte standardmäßig. Eine Ertragsermittlung bei den Koppelprodukten fand nur dann statt, wenn das Produkt abgefahren wurde. Bei Klee gras wurde nach der Mahd eine Ertragsbestimmung in 6-facher Wiederholung vorgenommen. Bei Kartoffeln wurden 8 mal 10 Meter beerntet. Im Mais wurden 10 mal 10 Pflanzen geerntet.

Die Nährstoffanalysen in organischen Düngern und in den Ernteprodukten erfolgten nach den im Anhang (Tab. A 2) aufgeführten Methoden. Die Ergebnisse dienten in erster Linie der Erstellung von Nährstoffbilanzen. Sofern es für die Bewertung der Ergebnisse erforderlich ist, wird das weitere methodische Herangehen in den einzelnen Abschnitten beschrieben.

Jährlich wurden Nährstoffuntersuchungen am Boden durchgeführt. Die Stickstoffgehalte (NO₃, NH₄) im Boden wurden in einer Tiefe von 0 bis 90 cm zu Vegetationsende und Vegetationsbeginn bestimmt. Die Grundnährstoffbestimmung und die Ermittlung der pH-Werte (P, K, Mg, pH-Wert) erfolgten in einer Tiefe von 0 bis 30 cm zu Vegetationsbeginn. Für diese Untersuchungen wurde je Fruchtfolgefeld eine Mischprobe aus 12 Einstichen hergestellt. Die Probenahmen wurden mit dem Bohrstock vorgenommen. Die Untersuchung der Nährstoffgehalte erfolgte nach denen in Tab. A 2 aufgeführten Methoden. Zu Versuchsbeginn und nach Abschluss einer Rotation wurde der Ct- und Nt-Gehalt im Boden untersucht.

2.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der mehrjährigen Ergebnisse zu den Stickstoffgehalten im Boden sowie der Ertragsentwicklung erfolgte mit der Statistiksoftware SAS (Statistical Analysis System) und der Prozedur MIXED nach PIEPHO und MICHEL (2001). Weitere Berechnungen wurden mit der Software Microsoft Excel durchgeführt.

3. Ergebnisse

3.1 Ertragsentwicklung

3.1.1 Allgemeines

Ziel der Untersuchungen war die Quantifizierung des Einflusses unterschiedlicher Faktoren auf die Ertragsentwicklung im ökologischen Landbau. Daher steht die ökologische Bewirtschaftungsvariante im Mittelpunkt dieser Betrachtungen. Im Bewirtschaftungszeitraum von 1994 bis 2004 wurde in zeitlich differenzierten Abschnitten der Einfluss der Bewirtschaftungssysteme, der Bodenbearbeitung und der Fruchtarten auf den Ertrag untersucht. Die Tabelle 3 beschreibt die untersuchten Faktoren und die Prüfungszeiträume näher.

Tab. 3: Beschreibung der Faktoren und Untersuchungszeiträume

Faktor	Stufen
System (S)	ökologisch (1994-2004) konventionell (1994-2002)
Kultur/Fruchtart (K)	Getreidearten, Kartoffeln, Mais, Leguminosen, Klee gras, Raps
Bodenbearbeitung (BB)	Pflug (1994-2002 bzw. 2004) pfluglos (1994-1998)

Die ermittelten Erträge wurden mittels biostatistischer Methoden (SAS, MIXED) überprüft. Die Auswertung solcher unbalancierter Daten, wie sie in dieser Versuchsanstellung vorlagen, fand bisher wenig Anwendung (vgl. GRUBER und HÄNDEL, 2000, GRUBER et al., 2004 a).

Für die varianzanalytische Prüfung der Einflussgrößen erfolgte die Verrechnung der Erträge in dt/ha. Um das unterschiedliche Ertragsniveau der Fruchtarten in der Verrechnung anzugleichen, wurden die Erträge (dt/ha) auf das Getreideniveau temporär transformiert. Ziel der Auswertung mit biostatistischen Methoden ist die Objektivierung der gewonnenen Aussagen und die Ableitung allgemeingültiger Erkenntnisse.

MODELLANSATZ:

In das Modell gehen die Faktoren Jahr und Schlag als zufällige und die Faktoren System, Kultur und Bodenbearbeitung als fixe Größen in die Verrechnung ein.

Für die Darstellung der Ergebnisse wurde bei fruchtartenspezifischer Betrachtung der Ertrag in dt/ha und bei Betrachtungen über die Fruchtfolge in GE/ha (Getreideeinheiten) angegeben. Die Umrechnung für alle Feldfrüchte erfolgte nach dem allgemein gültigen Umrechnungsschlüssel (ANONYMUS, 1993).

3.1.2 Ertragsentwicklung in der Fruchtfolge

Die Abbildung 3 zeigt die Entwicklung der Ertragsleistung in der Fruchtfolge. Im Untersuchungszeitraum (1994-2004) betrug die durchschnittliche GE-Leistung der Fruchtfolge im ökologischen Anbau 33,3 dt/ha, wobei im Mittel aller Kulturen und Jahre eine Streuung in Höhe von 16,2 dt/ha GE auftrat. Bei ökologischer Bewirtschaftung zeigten sich tendenziell abnehmende Erträge. Besonders ab dem Jahr 2000 wurden häufig geringere Erträge ermittelt. Eine Ursache kann die ab 1998 vorgenommene Umstellung der Fruchtfolge gewesen sein, die einerseits dazu führte, dass durch schlechtere Stickstoffausnutzung die Erträge besonders bei Kartoffeln deutlich geringer waren. Auf die bis dahin ertragsstarke Sommergerste musste verzichtet werden. Andererseits wurden in der zweiten Rotation statt der Erbsen mit hohem Ertragsrisiko Blaue Lupinen mit höheren und stabileren Erträgen angebaut, die jedoch die Ertragsdifferenz nicht ausgleichen konnten.

Im konventionellen Anbau, der nur bis 2002 einbezogen werden konnte, lag die GE-Leistung bei 64,2 dt/ha. In diesem System ist ein kontinuierlicher Anstieg der Erträge zu verzeichnen. Ab 1999 ist der deutliche Ertragsprung auch auf die intensivere Bewirtschaftung des Systems

zurückzuführen. Eine Reihe Jahre mit für den konventionellen Anbau günstigen Witterungsbedingungen schloss sich an. Im Vergleich beider Systeme ergibt sich eine Ertragsschere, die im Verlauf der Bewirtschaftung größer wird. Zunehmende Ertragsunterschiede ergaben sich auch beim Vergleich von Ergebnisse aus Praxiserhebungen (Heilmann und Ziesemer, 2002). Trotz der unterschiedlichen Ertragsentwicklung reagieren beide Systeme in den Jahren ähnlich, was auch durch eine relativ kleine Varianz der Wechselwirkung von SYS*J ausgedrückt wird (Tab. A3). So war z. B. 1995 oder 2001 in beiden Systemen ein Ertragsanstieg und im Jahr 1996 oder 2002 ein Ertragsabfall in Vergleich zum jeweiligen Vorjahr zu verzeichnen. In beiden Systemen trugen die Unterschiede zwischen den Schläge zur Erhöhung der Streuung (SYS*J*S) bei. Im Anhang A1 wurden die Erträge nach Schlägen zusammengefasst. Der starke Jahreseinfluss spiegelt sich in der Wechselwirkung mit allen Faktoren wider (Tab. A4). Das ökologische Anbausystem ist über die Jahre durch hohe Ertragsschwankungen gekennzeichnet, die im geringen Bestimmtheitsmaß (R^2) Ausdruck fanden. Diese Ertragsschwankungen, die zugleich ein hohes Ertragsrisiko bedeuten, werden vor allem auch bei Betrachtung einzelner Kulturen deutlich (Abb. 4-5). Im konventionellen Anbau waren die Ertragsschwankungen nicht so ausgeprägt. Ursache für das dennoch vergleichsweise geringe Bestimmtheitsmaß sind u. a. die höheren Ertragsschwankungen in der ersten Rotation (1994-1998). Während dieser Zeit wurde das System relativ extensiv bewirtschaftet. Ab 1999 erhöhte sich die Bewirtschaftungsintensität wodurch in der Folge geringere Ertragsschwankungen und steigende Erträge festgestellt wurden.

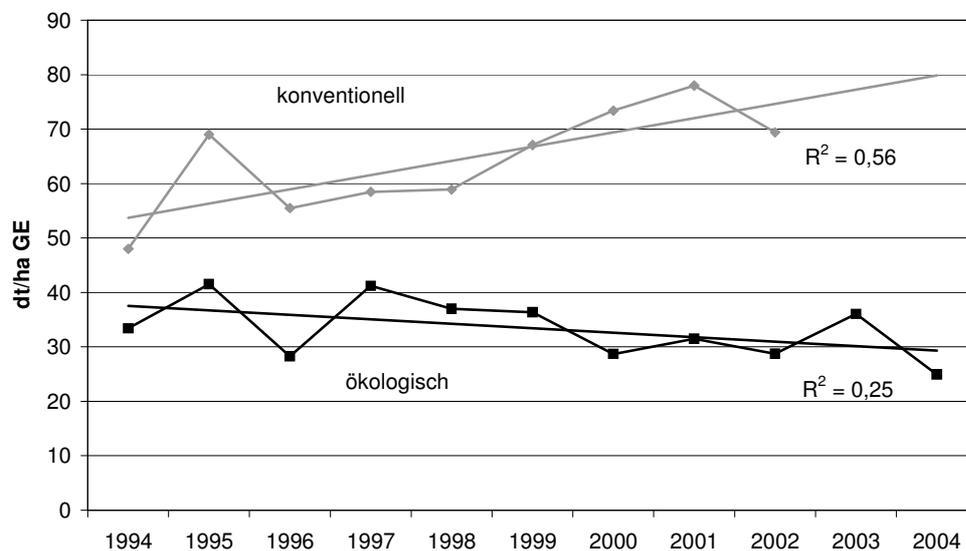


Abb. 3: Ertragsentwicklung in der Fruchtfolge in dt/ha GE (1994-2004)

Ursache des Ertragsrückganges in der ökologisch bewirtschafteten Variante könnte, wie bereits bemerkt, die geänderte Reihenfolge der Fruchtarten in der 2. Fruchtfolgerotation sein. Die im Anhang dargestellten Ertragseffekte (Abb. A2) im Ergebnis der statistischen Verrechnung bekräftigen diese Hypothese. Die Verrechnung der Erträge getrennt nach Rotationen ergab jedoch keine Signifikanz des Faktors Kultur. In der Tendenz erreichte die erste Rotation etwas höhere Erträge als die zweite. So lag der Ertrag der Kartoffeln nach Klee gras in der 1. Rotation knapp 60 dt/ha über dem Ertrag der Kartoffel nach Getreide und erst im zweiten Jahr nach Klee gras in der 2. Rotation. Die Sommergerste nach Kartoffeln in der 1. Rotation erzielt einen höheren Ertrag als das Wintergetreide nach Klee gras in der 2. Rotation. Diese beiden Aspekte

trugen wesentlich dazu bei, dass der Ertrag der ersten drei Fruchtfolgeglieder in der 1. Rotation höher ausfiel als der in der 2. Rotation (Tab. 4).

Tab. 4: Erträge bei ökologischer Bewirtschaftung in den Rotationen 1 und 2

Rotation 1 (1994-1998)			Rotation 2 (1999-2004)		
Fruchtfolge	dt/ha	dt GE	Fruchtfolge	dt/ha	dt GE
Klee gras	60,0	30,0	Klee gras	67,4	33,7
Kartoffeln	215,0	53,8	Wintergetreide	33,7	33,7
Sommergerste	39,0	39,0	Kartoffeln	157,9	39,5
Kö.-Leguminosen	22,5	27,0	Kö.-Leguminosen	25,0	30,0
Wintergetreide	28,2	27,9	Wintergetreide	28,2	28,7
Hafer	32,7	32,7	Hafer	28,0	28,0
Mittel der FF		35,1	Mittel der FF		32,3
Signifikanz	n. s.			n. s.	

3.1.3 Ertragseinfluss der Fruchtarten bei ökologischer und konventioneller Bewirtschaftung

Die höchste Streuung wurde durch die kulturspezifischen Ertragsunterschiede zwischen den Jahren hervorgerufen. Diese Wechselwirkung zwischen Kultur und Jahr (K*J) trat unabhängig von den Systemen auf (Tab. A1). In beiden Bewirtschaftungssystemen reagierten die Kulturen in einem Jahr jeweils gleich. Hohe Erträge z. B. bei Roggen wurden demzufolge in einem Jahr sowohl im konventionellen als auch im ökologischen Anbau erreicht (Vgl. Abb. A3–A8). Allerdings ist die Höhe der Erträge sehr systemspezifisch. Dieses unterschiedliche Ertragsniveau wird durch die hohe Signifikanz der Wechselwirkung K*SYS (Tab. 5) beschrieben. Diese Grundsätzliche Aussage trifft nicht für alle Kulturen gleichermaßen zu.

Tab. 5: Einfluss fixer Faktoren

	FG	F -Test	Signifikanz F-Test	FG	F -Test	Signifikanz F-Test
	systemunabhängig			ökologisch bewirtschaftetes System		
SYS	0	35.83				
K*SYS	20	6.56	0.0004			
BB	5	15.51	0.0110	6	4.37	0.0815
BB*K	21	4.54	0.0032			
K				0	1.18	

So wurden im Mittel der Fruchtfolge vergleichbarer Kulturen 64 % der Erträge der konventionellen Vergleichsvariante erreicht (Tab. 6). Zwischen den Fruchtarten traten deutliche Unterschiede auf. Während Klee gras bei ökologischer Bewirtschaftung höhere Erträge erreichte, lagen alle anderen Kulturen weit hinter der konventionellen Variante zurück. Bei Körnererbsen wurden auf Grund der nur wenig differenzierten Bewirtschaftung knapp 70 % der konventionellen Variante geerntet. Auch die im ökologischen Anbau ertragsstarke Sommergerste schnitt im Vergleich günstiger ab als z. B. Winterroggen und Hafer.

Tab. 6: Erträge ausgewählter Fruchtarten bei ökologischer und konventioneller Bewirtschaftung

Fruchtarten	dt/ha		relativ zu konventionell
	konventionell	ökologisch	
Hafer	43,4	23,2	53
Kartoffeln	429,3	202,0	47
Klee gras	60,7	68,0	112
Körnererbsen	17,4	11,8	68
Sommergerste	58,4	36,4	62
Winterroggen	74,3	29,5	40
Mittel			63,6

Die Auswertung ergab fruchtarten- und systemspezifische Ertragsunterschiede zwischen den Jahren (K*SYS*J). So waren die Ertragsschwankungen der Erträge im ökologischen System grundsätzlich höher als in konventionellen (Abb. 4 und 5), insbesondere bei Berücksichtigung des unterschiedlichen Ertragsniveaus. Darüber hinaus reagierten die Kulturen in den Jahren recht unterschiedlich. Im ökologisch bewirtschafteten System ergaben sich bei Klee gras und Kartoffeln die größten Ertragsunterschiede. Sie weisen damit ein hohes Ertragsrisiko auf. Bei konventioneller Bewirtschaftung wurden hohe Ertragsunterschiede zwischen den Jahren bei Kartoffeln und Raps festgestellt.

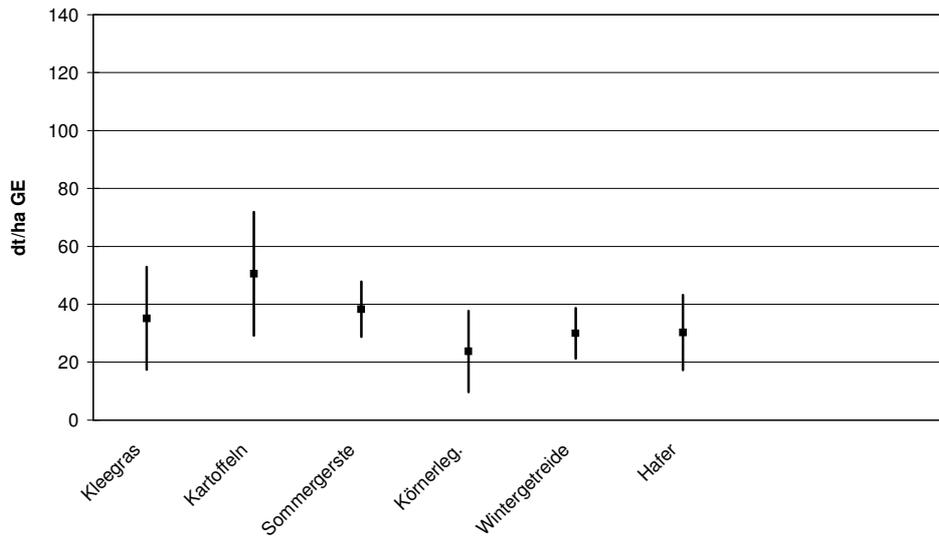


Abb. 4: Mittelwert und Standardabweichung ($\pm s$) der Erträge im ökologischen Anbau in dt/ha GE (1994-2004)

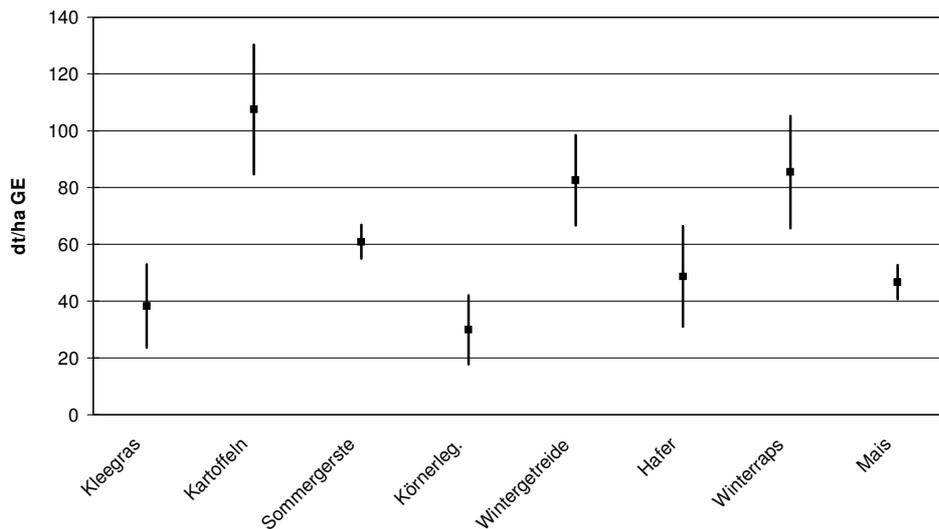


Abb. 5: Mittelwert und Standardabweichung ($\pm s$) der Erträge im konventionellen Anbau in dt/ha GE (1994-2004)

Trotz des Ertragsrückganges in der Fruchtfolge entwickelten sich die Erträge der einzelnen Fruchtarten unterschiedlich (Abb. A3-8). Bei Wintergetreide konnte auf Grund des bevorzugten Anbaus von Winterroggen in der zweiten Rotation ein leichter Anstieg der Erträge festgestellt werden. Im Kartoffelanbau waren die Erträge 2001 und 2002 besonders gering, dagegen wurde im Jahr 2003 ein Ertrag von nahezu 300 dt/ha erreicht. Auch die Sommergerste, die zwar in der Fruchtfolgebetrachtung in der zweiten Rotation nicht einbezogen aber auf einer benachbarten Fläche angebaut wurde, erzielte 2003 und 2004 über 40 dt/ha.

3.1.4 Einfluss der Bodenbearbeitung auf den Ertrag

Der Varianztest (Tab. 5) ergab unabhängig vom System einen hoch signifikanten Einfluss der Bodenbearbeitungsvarianten (Pflug, pfluglos) auf den Ertrag ($\alpha=1\%$). Die in jedem Fruchtfolgeglied von 1994 bis 1998 auf einem Drittel der Fläche angelegte pfluglose Variante brachte bei konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung Mindererträge in der Fruchtfolge, die unabhängig vom System bei 18 % lagen.

Die gesonderte Verrechnung der ökologisch bewirtschafteten Variante zeigte allerdings einen gesicherten Einfluss der Bodenbearbeitung erst bei $\alpha=8\%$. Ursache sind die bei ökologischer Bewirtschaftung allgemein höheren Streuungen der Einzelwerte. Dennoch wurden die geringeren Erträge bei pflugloser Bewirtschaftung relativ deutlich sichtbar. Abbildung 6 zeigt die Effekte der Bodenbearbeitung in der ökologisch bewirtschafteten Variante im Mittel aller Fruchtarten. Pfluglose Bewirtschaftung führt im Öko-Landbau nicht nur zu geringeren Erträgen sondern erhöht auch das Ertragsrisiko. KAINZ et al. (2005) erzielte auf einem Standort in Bayern ebenfalls geringere Erträge bei pflugloser Bewirtschaftung. Auf den teilweisen Verzicht des Pfluges reagiert besonders die Kartoffel positiv. Dagegen wurden die Erträge verschiedener Kulturen bei unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten im Ackerbauversuch am Gladbacherhof sowohl vom Jahr als auch von der Fruchtart und deren Bewirtschaftung beeinflusst (SCHMIDT et al., 2003). In der Folge erreichte die Variante Pflug nicht immer die höchsten Erträge.

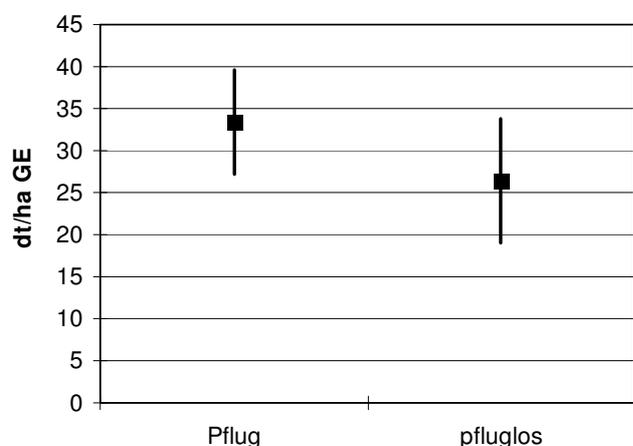


Abb. 6: Ertragseffekte bei ökologischer Bewirtschaftung und differenzierter Bodenbearbeitung (Mittelwert und Konfidenzintervall 90 %)

Trotz der geringeren Erträge bei pflugloser Grundbodenbearbeitung reagierten die Fruchtarten unterschiedlich auf den Pflugverzicht (hohe Signifikanz BB*K). Neben den Körnerfuttererbsen traten auch bei Hafer, der als Deckfrucht mit Klee gras ausgedrillt wurde und bei Winterweizen, im Mittel der Anbausysteme deutlich geringere Erträge bei Pflugverzicht auf. Alle anderen Getreidearten reagierten nur mit geringen Effekten auf die pfluglose Bodenbewirtschaftung. Auch die Kartoffel erzielte in der Grubbervariante unabhängig vom Bewirtschaftungssystem annähernd gleiche Erträge, im ökologischen Anbau in einigen Jahren auch höhere Erträge. Das Klee gras reagierte als einzige Fruchtart positiv auf den ausschließlichen Einsatz des Grubbers (Tab. 7).

Die unterschiedliche Reaktion der Kulturen auf den Pflugverzicht ermöglicht den gezielten Grubbereinsatz in der Fruchtfolge. So kann der Kartoffelanbau bei günstigen Bedingungen (keine Wurzelunkräuter) auch pfluglos erfolgen.

Tab. 7: Erträge in Abhängigkeit von der Grundbodenbearbeitung bei integrierter und ökologischer Bewirtschaftung (1994-1998)

Bewirtschaftung	integriert		ökologisch	
	mit Pflug dt/ha	pfluglos % zu Pflug	mit Pflug dt/ha	pfluglos % zu Pflug
Kleegras	61	101	64	120
Kartoffeln	430	91	231	96
Sommergerste	61	95	39	87
Körnerfuttererbsen	26	68	24	48
Wi.-Roggen/Wi.-Weizen	64	81	30	73
Hafer	49	70	28	45
Mais	126	104	-	-

3.1.5. Schlussfolgerungen

- Die hohen Ertragsschwankungen im ökologischen Landbau erhöhen im Vergleich zur konventionellen Bewirtschaftung das Ertragsrisiko deutlich. Unabhängig vom System spielte dabei die Reaktion der Kulturen auf die jeweilige Jahreswitterung eine entscheidende Rolle.
Da bei ökologischer Bewirtschaftung fast ein Drittel der Ertragsschwankungen (27 % = 9 dt/ha) durch den Einfluss von Jahr und Schlag hervorgerufen wurden, kann der Landwirt nur begrenzt auf die Ertragsentwicklung Einfluss nehmen. Die gezielte Nutzung verbleibender Instrumente ist im ökologischen Landbau daher besonders wichtig.
- Die unterschiedliche Reaktion der Fruchtarten auf die ökologische Bewirtschaftung erfordert die gezielte Auswahl von ertragsstarken Kulturen und eine aus Sicht der Nährstoffverwertung optimale Kombination in der Fruchtfolge. So erreichten unter den vorliegenden Standortbedingungen Sommergerste und Lupinen höhere Erträge als Wintergetreide und Erbsen. Die Fruchtfolgeglieder Kleegras (ZF) – Kartoffel – Sommergerste waren ertragreicher als der Anbau in der Folge Kleegras – Wintergetreide (ZF) – Kartoffel.
- Der Verzicht auf den Pflug war in beiden Systemen mit Mindererträgen verbunden. Da aber die Fruchtarten unterschiedlich auf die pfluglose Bewirtschaftung reagierten, kann im ökologischen Anbau besonders bei Kartoffeln auf den Pflug verzichtet werden. Auch die nachfolgend angebaute Sommergerste tolerierte die pfluglose Bewirtschaftung vergleichsweise gut.
Der positive Effekt bei Kleegras wurde mit deutlichen Mindererträgen bei der Deckfrucht im Vorjahr erkauft.
- Die im Untersuchungszeitraum zunehmenden Ertragsunterschiede zwischen der konventionellen und ökologischen Bewirtschaftung waren systemimmanent. Obwohl die Systeme in einem Jahr ähnlich reagieren, fiel z. B. der Ertragsanstieg im Vergleich zum Vorjahr bei ökologischer Bewirtschaftung stets geringer aus als bei konventioneller.
- Unter Berücksichtigung, dass die absoluten Erträge an den Standort gebunden sind, kann bei der Beurteilung des Einflusses der einzelnen Faktoren von einer hohen Verallgemeinerungsfähigkeit ausgegangen werden.
Die Biostatistische Auswertung erleichterte die Bewertung von Einflussgrößen und diente so der besseren Verallgemeinerung. Die Komplexität der Daten lassen einerseits allgemeingültige Aussagen ohne Nutzung biostatistischer Verfahren kaum zu. Andererseits sind auf Grund der Vielzahl der Einflussgrößen und der trotz vieler Jahre geringen Stichprobenumfänge in den Einzelfaktoren auch der Biostatistik Grenzen gesetzt.
- Der starke Einfluss der Bodengüte wurde in beiden Systemen deutlich und wirkte sich in der ökologisch bewirtschafteten Variante stärker auf die Ertragsschwankungen aus. So traten bei ökologischer Bewirtschaftung zwischen dem Schlag mit dem höchsten Durchschnittsertrag (AZ um 38) und dem mit dem geringsten (AZ um 30) Ertragsdifferenzen von etwa 30 % auf.

3.2 Nährstoffbilanzen

Fruchtfolge und Düngung sollen im ökologischen Landbau so ausgerichtet sein, dass einerseits die Versorgung der Pflanzenbestände gewährleistet wird und ein dem Standort angemessener Ertrag erreicht werden kann. Andererseits sollen Nährstoffüberschüsse vermieden werden, um Nährstoffverluste z. B. durch Auswaschung zu reduzieren. Nährstoffbilanzen ermöglichen eine Einschätzung der Nährstoffsituation und eine grobe Beurteilung der Gefahrenpotentiale. Aus diesem Grund sind Nährstoffbilanzen auch außerhalb der gesetzlichen Bestimmungen (z. B. Düngeverordnung) ein sinnvolles Instrument zur Bewertung der Nährstoffeffizienz. Die Nährstoffbilanzierung für den hier besprochenen Versuch wurde als vereinfachte Bodenbilanz (Fruchtfolgebilanz) vorgenommen (Tab. 8)

Tab. 8: Erfasste Größen der vereinfachten Bodenbilanz

Nährstoffzufuhr	Nährstoffabfuhr
Organische Düngung (Stallmist, Gülle)	Nährstoffentzug durch Ernteprodukte
Mineralische Düngung (P, K, Mg)	Nährstoffentzug durch abgefahrenes Stroh
N-Fixierung durch Leguminosen	
∑ Nährstoffzufuhr	∑ Nährstoffentzug
Nährstoffsaldo = ∑ Nährstoffzufuhr - ∑ Nährstoffentzug	

Die Bilanzierung erfolgte mit dem Computer-Programm BEFU der Sächsischen Landesanstalt. Zum Zeitpunkt der Nutzung befand sich das Programm gerade in Überarbeitung, um es den Anforderungen des ökologischen Landbaus noch besser anzupassen. Besonders die Höhe der N₂-Fixierung durch Leguminosen und die Möglichkeit der Eingabe von Nährstoffgehalten, die im ökologischen Landbau ermittelt wurden, sollten verbessert werden.

Bei der Beurteilung der Nährstoffbilanzen ist zu berücksichtigen, dass jährlich Futter (Kleegras) und Stroh abgefahren und Stallung in Höhe eines Tierbesatzes von etwa 0,8 GV/ha zugeführt wurden. Für die Bilanzierung wurden die Nährstoffgehalte in den zugeführten organischen und mineralischen Düngemitteln entsprechend den Ergebnissen der eigenen Nährstoffuntersuchungen beziehungsweise nach Handelsangabe eingegeben. Die außerdem notwendigen Gehalte der abgefahrenen Produkte und das Korn-Stroh-Verhältnis wurden im Programm auf der Basis von konventionellen Tabellenwerten ermittelt. KOLBE (2001) verweist zwar auf die unterschiedlichen Gehalte in Produkten aus konventionellem und ökologischem Anbau, hält sie aber nicht für gravierend. Daher wurde im Programm BEFU zunächst auf vorhandene konventionelle Tabellenwerte zurückgegriffen. STEIN-BACHINGER et al. (2004) verweisen ebenfalls auf die Problematik und geben für die Nährstoffbilanzierung eigene Tabellenwerte für den ökologischen Landbau heraus. Eigene Untersuchungen (Tab. A5) zeigen ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen den Nährstoffgehalten von Produkten aus ökologischer und konventioneller Bewirtschaftung. Neben unzureichend im Programm berücksichtigten Nährstoffgehalten für Produkte aus ökologischem Anbau ist auch die Einschätzung der N-Fixierungsleistung der Körnerleguminosen den Bedingungen des Öko-Landbaus noch unzureichend angepasst. Die im Programm verwendeten Faktoren zur Berechnung der legumen N-Bindung erscheinen allgemein und speziell für den ökologischen Anbau zu hoch. Neuere Erkenntnisse gehen davon aus, dass bei Körnerleguminosen die N-Fixierungsleistung und der Entzug durch die Pflanze selbst sich weitestgehend ausgleichen oder sogar negative Bilanzsalden entstehen können (STEIN-BACHINGER, 2004, SCHMIDTKE, 1997 und 2004). Da die N-Zufuhr über legume N-Bindung nur ein grober Schätzwert ist, wird die Beurteilung der N-Salden erschwert. Besonders für die N-Bilanzierung ist daher eine bessere Anpassung an die Bedingungen des Öko-Landbaus erforderlich.

Die Ergebnisse zeigen bei Stickstoff und Phosphor ausgeglichene Salden und eine hohe Übereinstimmung zu den Ergebnissen der eigenen Bilanzierung von 1998 (GRUBER et al., 1998). Bei Kalium wurde nach dem sächsischen Modell im Mittel der Jahre und der Fruchtfolge ein negativer Saldo ermittelt, der besonders durch die höheren Negativsalden ab 1999 hervorgerufen wurde und dadurch von den Ergebnissen der eigenen Bilanzierung abweicht. Die negativen Bilanzsalden würden jedoch den abnehmenden Trend der Kaliumgehalte im Boden (vgl. Abb.

11) begründen. Bei Magnesium stimmt der Bilanzsaldo aus dem sächsischen Modell mit dem Saldo aus eigenen Berechnungen weitestgehend überein. Beide Berechnungen ergaben einen positiven Saldo, wodurch die leicht steigende Tendenz der Magnesiumgehalte im Boden erklärt werden kann.

Ein Vergleich der Salden bei Phosphor, Kalium und Magnesium mit den Nährstoffgehalten im Boden (Pkt. 3.3) ergab eine weitestgehende Übereinstimmung mit den Tendenzen aus der Bilanzierung. Danach entwickelte sich der Kaliumgehalt leicht negativ, wobei gegenwärtig die Gehaltsklasse C erreicht wird. Der Magnesiumgehalt im Boden ist relativ stabil, was auch auf eine Zufuhr durch die Kalkung zurückzuführen ist. Der Phosphorgehalt im Boden unterlag keiner nennenswerten Veränderung, so dass der Saldo von +5 plausibel erscheint (Tab. 9). Die Tabelle A6-A7 enthalten die mittleren Bilanzsalden der Schläge und Jahre.

Tab. 9: Nährstoffzufuhr und –entzug sowie Bilanzsalden im Mittel der Fruchtfolge und Jahre

Nährstoffe	Stickstoff (N)	Phosphor (P)	Kalium(K)	Magnesium (Mg)
Zufuhr (kg/ha/a)	85	19	65	32
davon aus Stalldung/ Gülle	57	16	56	13
aus min. Düngung	-	3	9	19
Entzug (kg/ha/a)	78	14	73	9
Bilanzsaldo (kg/ha/a)	7	5	-8	23

Schlussfolgerungen

- Obwohl viele Öko-Betriebe von einer laut Düngeverordnung geforderten Nährstoffbilanz befreit sind, sollte zur betriebsinternen Optimierung der Nährstoffversorgung ein Vergleich von Nährstoffzu- und –abfuhr durchgeführt werden.
- Ziel muss das Aufspüren von Verlustquellen sein, um das begrenzte Nährstoffangebot im Öko-Landbau effektiv zu nutzen. Im Ackerbau sollten Schlag- und Fruchtfolgebilanzen bevorzugt werden.
- Der Vergleich von Nährstoffbilanz und Bodengehaltswerten erleichtert die Bewertung der Bilanzsalden und sollte Grundlage für die Ableitung von erforderlichen Maßnahmen sein.

3.3 Nitratstickstoffgehalte im Boden bei ökologischer Bewirtschaftung

In ökologisch bewirtschafteten Systemen ist Stickstoff häufig der begrenzende Wachstumsfaktor. Daher stehen Bemühungen um seine effektive Nutzung innerhalb der Fruchtfolge im Mittelpunkt vieler Untersuchungen. Diese Problematik ist besonders auf humusschwachen Sandstandorten von Bedeutung. Je sandiger der Boden desto geringer ist sein Wasser- und Nährstoffspeichervermögen. In der Folge steigt die Gefahr der Nährstoffauswaschung, was insbesondere den Stickstoff betrifft. Aus dieser Sicht ist besonders der Nitratstickstoffgehalt im Herbst als Indikator für Auswaschungsgefährdungspotentiale zu sehen. Hohe Nitrat-Stickstoffgehalte zu Vegetationsende führen auf sandigen Böden zu hohen Auswaschungsverlusten im Winter. Die Höhe der Gehalte im Herbst ist entscheidend von der jeweiligen Fruchtart und deren Bewirtschaftung (FF) abhängig.

In den eigenen Untersuchungen wurden sowohl im Herbst als auch im Frühjahr (jeweils $\alpha < 1\%$) bei ökologischer Bewirtschaftung geringere $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte festgestellt als im konventionellen System (SYS). In beiden Systemen waren Mittelwert und Streuung im Herbst größer als im Frühjahr (GRUBER et al., 2004 a). Die Schwankungen der Gehalte, die im jeweiligen System durch die Fruchtart und deren Bewirtschaftung (FF) hervorgerufen wurden (SYS*FF) waren nur im Herbst signifikant. Im Frühjahr kam es zu einer Angleichung der Gehalte in beiden Systemen.

In beiden Bewirtschaftungssystemen hatte die Fruchtart und die damit verbundene Bewirtschaftung einen signifikanten Einfluss auf die Höhe der Gehalte, sowohl im Herbst als auch im Frühjahr. Die Differenz aus den Herbst- und Frühjahrsgehalten, die als Verluste angenommen werden, wurden besonders durch die Fruchtarten und ihre Bewirtschaftung beeinflusst. Die Unterschiede zwischen den Systemen waren nicht gesichert (Tab. 10).

Tab. 10: Einfluss der Faktoren auf die Nitrat-N-Gehalte

Faktor	NO ₃ -N-Gehalt Herbst	NO ₃ -N-Gehalt Frühjahr	Differenz Herbst-Frühjahr
SYS	sig.	sig.	n.s.
FF	sig.	sig.	sig.
SYS*FF	sig.	n.s.	sig.

3.3.1 Einfluss der Fruchtarten auf die Nitratstickstoffgehalte im Herbst

Obwohl im Durchschnitt der Fruchtfolge im ökologischen Anbausystem relativ geringe Gehalte im Boden auftraten, reagierten die Fruchtarten im Zusammenhang mit ihrer Bewirtschaftung unterschiedlich. Der Einfluss des Faktors Fruchtart (FF) war hoch signifikant. Besonders die Nitrat-Stickstoff-Gehalte im Herbst waren davon betroffen. Im Ergebnis der Auswertung wurden deutliche Unterschiede zwischen den Varianten Leguminosenvorfrucht zu Wintergetreide, Zwischenfrüchte/Untersaaten sowie Herbstfurche sichtbar. Verschiedene Vorfrüchte mit anschließender Herbstfurche hatten signifikant höhere Gehalte als die Varianten mit Bodenbedeckung durch Untersaaten und Zwischenfrüchte. Mittlere bis hohe Nitratstickstoffgehalte wurden auch bei legumer Vorfrucht und anschließendem Wintergetreideanbau festgestellt. Nur die Varianten mit Untersaaten und Zwischenfrüchten erreichten Werte, die im Mittel der Jahre unter 50 kg/ha lagen. Die höchsten durchschnittlichen Gehalte wurden beim Anbau von Wintergetreide nach Körnererbsen (93 kg/ha) und bei Herbstfurche nach Kartoffeln (89 kg/ha) ermittelt (Abb. 7).

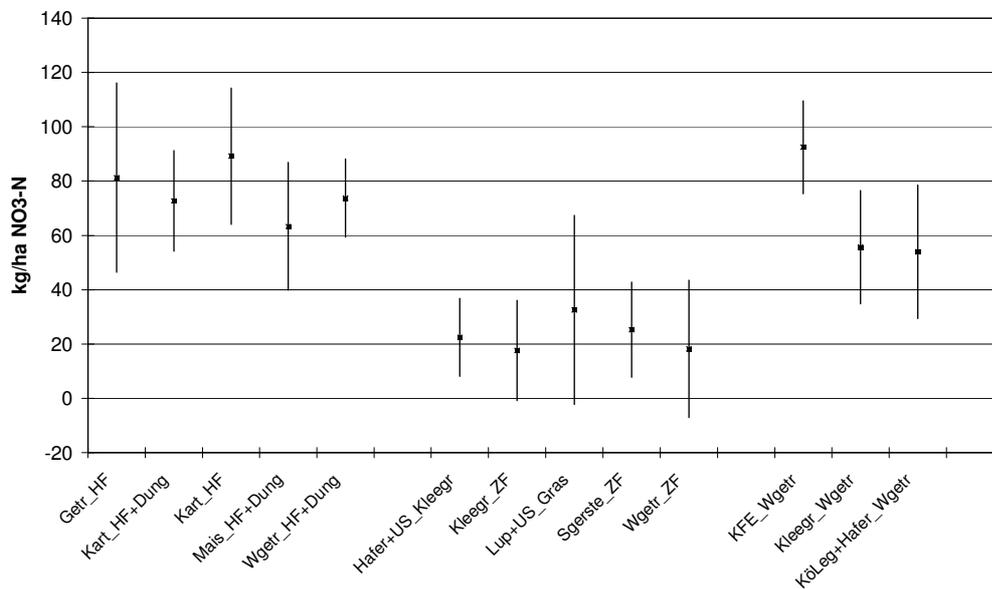


Abb. 7: Nitrat-N-Gehalte 0-90 cm zu Vegetationsende (Mittelwert und Vertrauensintervall 90 %) bei unterschiedlichen Fruchtfolgekombinationen und ökologischer Bewirtschaftung (adjustierte Mittelwerte 1993-2005)

Getr_HF	=	Herbstfurche nach Getreide
Kart_HF+Dung	=	Herbstfurche+Dung nach Kartoffeln
Kart_HF	=	Herbstfurche nach Kartoffeln
Mais_HF+Dung	=	Herbstfurche+Dung nach Mais
Wgetr_HF+Dung	=	Herbstfurche+Dung nach Wintergetreide
Hafer+US_Kleegr	=	Kleegras nach Hafer+Untersaat
Kleegr_ZF	=	Zwischenfrucht nach Kleegras
Lup+US_Gras	=	Gras nach Lupinen+Untersaat
Sgerste_ZF	=	Zwischenfrucht nach Sommergerste
Wgetr_ZF	=	Zwischenfrucht nach Wintergetreide
KFE_Wgetr	=	Wintergetreide nach Körnerfuttererbsen
Kleegr_Wgetr	=	Wintergetreide nach Kleegras
KöLeg+Hafer_Wgetr	=	Wintergetreide nach Kö.-Leguminosen-Hafer-Gemenge

3.3.2 Einfluss der Fruchtarten auf die Nitratstickstoffgehalte im Frühjahr

Obwohl die Höhe der Nitratstickstoffgehalte auch im Frühjahr durch die Fruchtart beeinflusst wurden, unterschieden sie sich nur noch geringfügig. Die höchsten Werte traten in den Varianten mit Herbstfurche auf, die sich auch signifikant von anderen unterschieden. Geringere Werte wurden bei Varianten mit Bodenbedeckung und beim Anbau von Wintergetreide nach legumen Vortrüdchten ermittelt (Abb. 8). Die geringen Frühjahrswerte sind bei der Anbaufolge Leguminosen – Wintergetreide ein Zeichen für Verluste über Winter. Bei den Varianten mit Bodenbedeckung dagegen deuten diese geringen Werte auf wenig Veränderung über Winter hin.

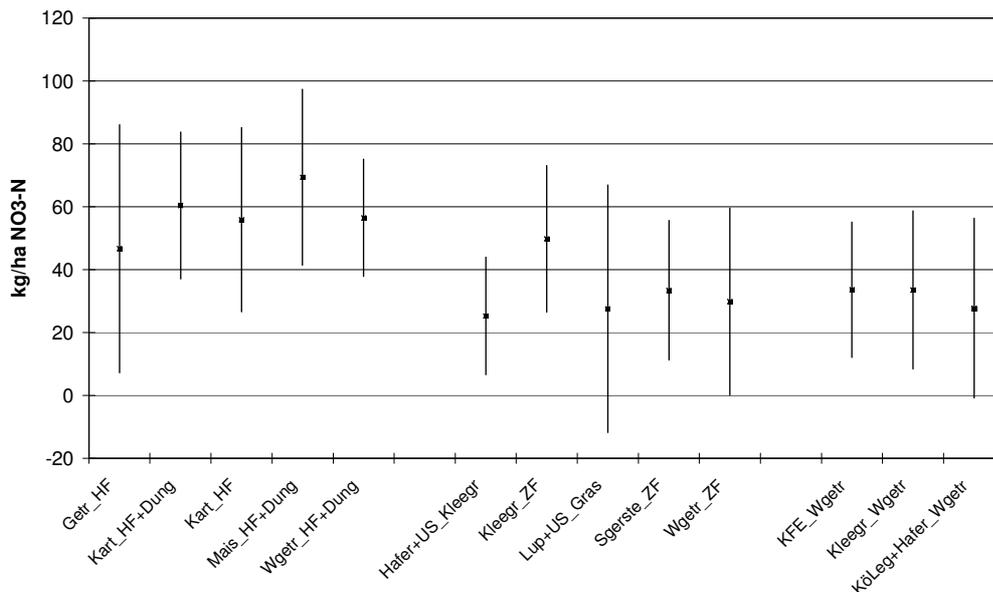


Abb. 8: Nitrat-N-Gehalte 0-90 cm zu Vegetationsbeginn (Mittelwert und Vertrauensintervall 90 %) bei unterschiedlichen Fruchtfolgekombinationen und ökologischer Bewirtschaftung (adjustierte Mittelwerte 1993-2005)

Die Höhe der Nitratstickstoffgehalte im Frühjahr wurde auch durch die Niederschlagsmengen über Winter (November – März) beeinflusst. Diese wiederum standen in Wechselwirkung mit dem System und der Fruchtart. Hohe Gehalte im Herbst, die durch die Fruchtart und deren Bewirtschaftung bedingt waren (z. B. Herbstfurche, Wintergetreide nach Körnererbsen), konnten nur bei geringen Winterniederschlägen auch im Frühjahr noch festgestellt werden. Mit steigenden Winterniederschlägen, die in der Regel auch mit milden Temperaturen verbunden waren, verbesserten sich die Mineralisierungsbedingungen und die Auswaschungsgefahr steigt, was in geringen Werten im Frühjahr Ausdruck fand (Abb. A9). Bei Fruchtarten, die Bodenbedeckung über Winter gewährleisten und dadurch im Herbst geringe Mengen Nitratstickstoff im Boden hinterlassen (Untersaaten), wurden auch im Frühjahr geringe Werte ermittelt, vergleichsweise unabhängig von der Höhe der Winterniederschläge (Abb. A10). Hinterlässt die Bewirtschaftung trotz längerer Bodenbedeckung leicht mineralisierbare Pflanzenreste, wie z. B. bei abfrierenden Zwischenfrüchten, dann steigt der Nitratstickstoffgehalt im Boden mit zunehmenden Niederschlägen wieder an. Durch die mit steigenden Niederschlägen und Temperaturen verbesserten Mineralisierungsbedingungen steht der Folgefrucht bereits Stickstoff zur Verfügung (Abb. A11). Anhaltende Niederschläge nach dem Probenahmetermin und unzureichender Bewuchs könnten allerdings auch bei den grundsätzlich positiv zu bewertenden abfrierenden Zwischenfrüchten die Gefahr der Auswaschung erhöhen.

Die Differenz aus den Frühjahrs- und Herbstwerten wurde als Gewinn bzw. Verlust bewertet (KURZER et al., 1997; GRUBER et al., 1998). Im Mittel der Fruchtfolge traten in fast allen Jahren Nitrat-Stickstoff-Verluste auf. Dabei waren diese im ökologischen System tendenziell geringer als im konventionellen Anbau (GRUBER et al. 2004 a).

Der Einfluss der Fruchtarten und deren Bewirtschaftung war hoch signifikant ($\alpha < 1 \%$). Die Betrachtung der Nitrat-Stickstoff-Differenzen Frühjahr-Herbst ergab hohe jahresbedingte Unterschiede (Abb. A12).

Größere Verluste (negative Differenz) traten in beiden Systemen 1998, 2000 und 2005 auf. 1996 wurden auf Grund der langen Frostperiode positive Nitrat-Stickstoff-Differenzen ermittelt (Abb. 9).

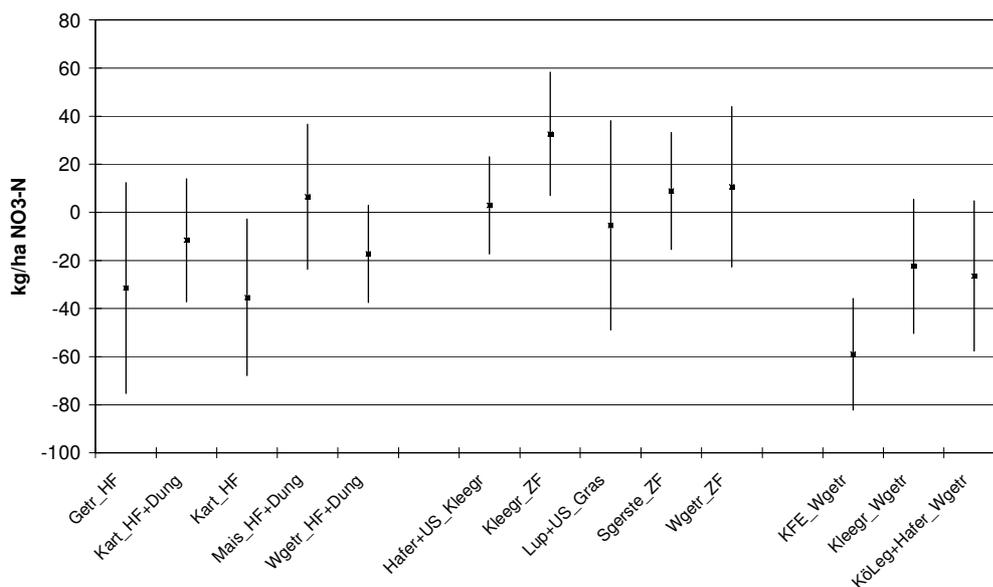


Abb. 9: Nitrat-N-Differenzen Frühjahr – Herbst 0-90 cm (Mittelwert und Vertrauensintervall 90 %) bei unterschiedlichen Fruchtfolgekombinationen und ökologischer Bewirtschaftung (adjustierte Mittelwerte 1993-2005)

Die Betrachtung der Differenzen in Abhängigkeit von der Fruchtart ergab hohe Verluste beim Anbau von Wintergetreide nach Körnererbsen. Deutlich geringere Differenzen wurden beim Anbau von Wintergetreide nach Klee gras und Leguminosen-Hafer-Gemengen ermittelt. Verluste traten in der Regel auch nach der Herbstfurche auf, wobei die Herbstfurche mit Dung in der Tendenz geringere Differenzen aufwies als die ohne Dung. Positive Effekte wurden vor allem beim Anbau von Zwischenfrüchten und bei Klee grasumbruch im Frühjahr festgestellt.

3.3.3 Schlussfolgerungen

- Da hohe Nitratstickstoffgehalte im Herbst bei unzureichender Bodenbedeckung die Auswaschungsfahr erhöhen, kommt dem Anbau von Untersaaten und Zwischenfrüchten eine große Bedeutung zu.
- Die bei Herbstgehalten über 50 kg NO₃-N/ha verstärkt auftretenden Verluste können durch geeignete Fruchtartenauswahl, Fruchtfolgeplanung und entsprechende Bewirtschaftung beeinflusst werden.
- Um bei Herbstfurchen Auswaschungsverluste zu verringern sollte diese möglichst spät durchgeführt werden.
- Nach Körnererbsen ist der Anbau einer Zwischenfrucht erforderlich, um die Nährstoffe aus den leicht mineralisierbaren Ernterückständen effektiv zu nutzen.
- Obwohl strohhaltiger Dung, wie er häufig aus der Rinderhaltung bereitgestellt wird, freien Stickstoff bindet und ihn so begrenzt vor Auswaschung schützen kann, sollte er bevorzugt im Frühjahr ausgebracht werden.

3.4 Entwicklung der Grundnährstoffgehalte im Boden

Grundnährstoffe werden im ökologischen Ackerbau mit Tierhaltung über die organische Düngung zugeführt. Darüber hinaus kann besonders auf Sandböden der Einsatz mineralischer Dünger erforderlich werden (EU-VO 2092/91, Richtlinien der Verbände). In wieweit dieses Erfordernis besteht, hängt auch vom Entzug durch die Ernteprodukte ab. Treten auf Dauer negative Bilanzsalden auf, führen diese längerfristig auch zu abnehmenden Bodengehalten (KOLBE, 2001).

Im Ergebnis der Untersuchungen am Standort Gülzow zeigten sich bei nahezu stabiler Nährstoffzufuhr Unterschiede im Entzug durch das Erntegut in Abhängigkeit von der Ertragsleistung der Kulturen. Der Durchschnittsertrag in der Fruchtfolge betrug 33,3 dt GE/ha/a, wobei im Mittel aller Kulturen und Jahre eine Streuung in Höhe von 16,2 dt/ha auftrat. Für die Diskussion der Nährstoffgehalte im Boden wird auf die durchschnittlichen Bilanzsalden (Tab. 9) im Untersuchungszeitraum Bezug genommen.

3.4.1 Phosphor

Bei einer leicht positiven **Phosphor**bilanz zeigte sich im Mittel der sechs Schläge ein schwach abnehmender Trend ($R^2 = 0,22$) der P₂O₅-Gehalte im Boden (Abb. 13). Sie unterlagen einer hohen Standortabhängigkeit (Schlageffekte), die auf die unterschiedliche Bodengüte und damit unterschiedlichen Mineralisierungsbedingungen von Phosphor aus der organischen Fraktion zurückzuführen ist (EMMERLING (1999)). Die geringen Gehaltsschwankungen deuten einen vergleichsweise geringen Jahreseinfluss hin (Abb. 10).

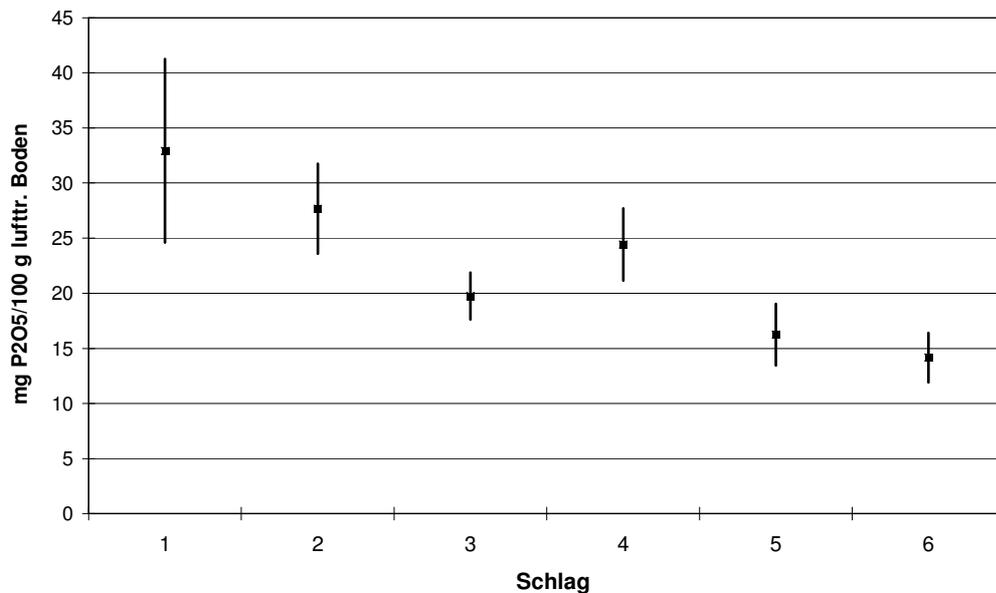


Abb. 10: Mittelwert und Standardabweichung ($\pm s$) der P_2O_5 -Gehalte im Boden nach Schlägen bei ökologischer Bewirtschaftung (1993-2004)

Trotz deutlicher Unterschiede zwischen den Schlägen lagen die P_2O_5 -Gehalte in den Gehaltsklassen C und D. Nach KOLBE (2001) sind für den ökologischen Landbau unter Berücksichtigung des allgemein geringeren N-Niveaus Bodengehalte in der Klasse B ausreichend. KERSCHBERGER u. MARKS (2002) fordern dagegen auch im ökologischen Landbau die Gehaltsklasse C.

3.4.2 Kalium

Die **Kalium**bilanz ergab einen leicht negativen Saldo. Auf Dauer tragen negative Bilanzsalden zu einer Verringerung der Bodengehalte bei. So ergaben die Untersuchungen auch am Standort Gülzow im Mittel der Schläge einen negativen Trend ($R^2 = 0,70$) der K_2O -Gehalte im Boden (Abb.13). Unter den vorliegenden Bodenqualitäten ist die Abnahme vermutlich auf hohe Auswaschungsverluste in bestimmten Jahren zurückzuführen, die auch Ursache für den deutlichen Jahreseinfluss sein könnten. Demgegenüber wurden bei den K_2O -Gehalten geringere Unterschiede zwischen den Schlägen festgestellt als bei den P_2O_5 -Gehalten (Abb.11). Die Versorgung mit Kalium (K_2O) ist trotz der abnehmenden Tendenz gut und lag im oberen Bereich der Gehaltsklasse C.

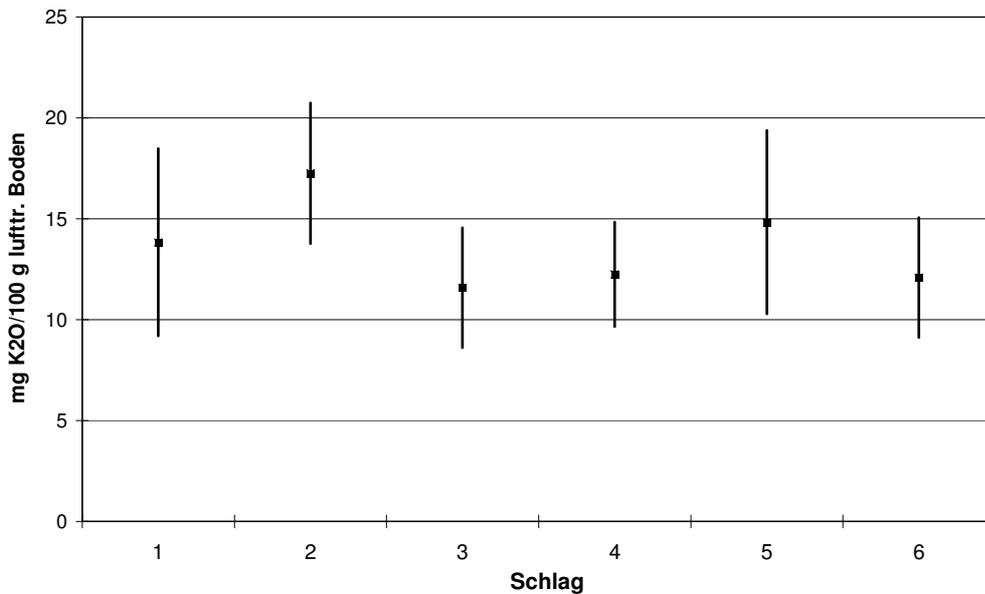


Abb. 11: Mittelwert und Standardabweichung ($\pm s$) der K_2O -Gehalte im Boden nach Schlägen bei ökologischer Bewirtschaftung (1993-2004)

3.4.3 Magnesium

Die **Magnesiumbilanz** der Fruchtfolge wies ohne Berücksichtigung der Auswaschung einen positiven Saldo von 23 kg Mg /ha/a auf. Ein großer Teil des Magnesiums wurde über die Kalkung zugeführt. Bei Annahme von Auswaschungsverlusten in Höhe von 25 kg Mg /ha/a für den Standort in Gülzow (Anonym, 1998) ergibt sich eine ausgeglichene Bilanz, die auch Ursache nur geringfügiger Veränderungen der Magnesiumgehalte im Boden sein könnte. Die Gehalte lagen in den Gehaltsklassen C und D (Abb. 13). Der Einfluss von Standort und Jahr war vergleichsweise gering (Abb.12).

Deutlich geringere Magnesiumgehalte im Boden wurden in Praxisbetrieben festgestellt. In Auswertung einer Umfrage unter den ökologisch wirtschaftenden Betrieben in Mecklenburg-Vorpommern ging hervor, dass 26 % der erfassten Flächen Magnesiumgehalte in der Gehaltsklasse A aufweisen (GRUBER u. THAMM, 2003).

Die sich verändernden Grundnährstoffgehalte im Boden sind nur begrenzt auf die ökologische Bewirtschaftung zurückzuführen. Ein Vergleich der Gehalte mit der konventionellen Vergleichsvariante zeigte, dass beide Varianten einen annähernd gleichen Verlauf der Bodengehalte aufweisen. Auch bei konventioneller Bewirtschaftung war ein abnehmender Trend der K_2O -Gehalte im Boden zu verzeichnen. Bei den P_2O_5 -Gehalten und MgO-Gehalten wurden in beiden Bewirtschaftungsvarianten nur geringe Veränderungen festgestellt (GRUBER u. THAMM, 2004).

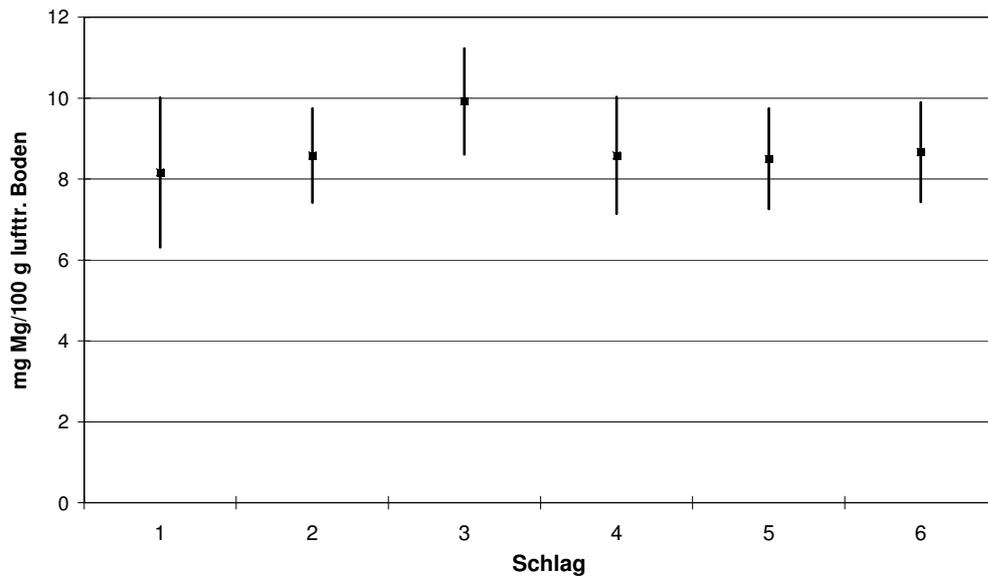


Abb. 12: Mittelwert und Standardabweichung ($\pm s$) der Mg-Gehalte im Boden nach Schlägen bei ökologischer Bewirtschaftung (1993-2004)

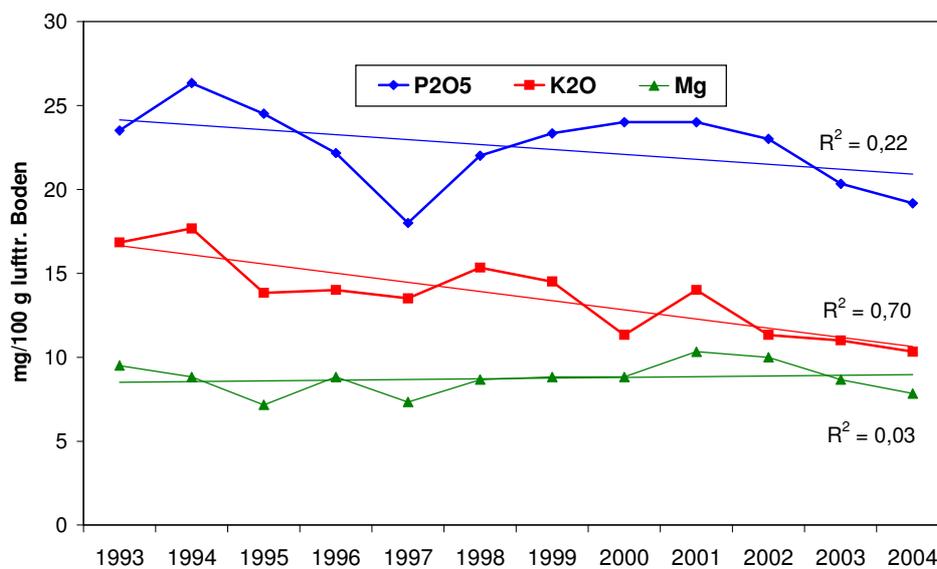


Abb.13: Entwicklung der Grundnährstoffgehalte im Boden bei langjähriger ökologischer Bewirtschaftung im Mittel der Fruchtfolge, Standort Gülzow

3.4.4 Schlussfolgerungen:

- Da in diesem Versuch ein wesentlicher Teil der Nährstoffe aus Stallung bereitgestellt wurde, sind die hier vorgestellten Ergebnisse nicht auf alle Betriebsstrukturen übertragbar. Betriebe ohne Viehhaltung beanspruchen wesentlich stärker den Bodenvorrat.
- Bei nahezu ausgeglichenen Bilanzen verringerten sich die P_2O_5 -Gehalte im Boden leicht und die K_2O -Gehalte deutlich.
- Führt der ökologische Ackerbau zu abnehmenden Grundnährstoffgehalten im Boden, dann sollten folgende Möglichkeiten der Einflussnahme überprüft werden:
 - Änderung der Stellung einzelner Kulturen in der Fruchtfolge
 - Änderung der Fruchtfolge
 - verstärkter Zwischenfruchtanbau zur Verhinderung von Auswaschungen und Verbesserung des Nährstoffaufschlusses
 - Änderung der Verteilung von Stallung oder Kompost auf den Schlägen zur Verhinderung von Auswaschungen
 - Kooperation viehloser mit viehhaltenden Betrieben
- Sollten trotz innerbetrieblicher Maßnahmen die Bodengehalte bis zur Gehaltsklasse A abnehmen, z. B. bei Kalium, dann ist eine zusätzliche mineralische Düngung erforderlich, folgende Punkte sollten beachtet werden:
 - Beantragung bei der zuständigen Kontrollstelle und Vorlage der Bodenuntersuchungsergebnisse
 - Nutzung eines Beraters für den ökologischen Landbau oder eines im ökologischen Landbau erprobten PC-Programms zur Berechnung der Düngermengen und Düngungszielen entsprechend den betrieblichen Erfordernissen.
 - Auswahl eines im ökologischen Landbaus erlaubten Düngemittels
 - fachgerechte Ausbringung zu Kulturen mit dem höchsten Bedarf

3.5 Entwicklung der pH-Werte im Boden

Zu Versuchsbeginn wurde auf der ökologisch bewirtschafteten Variante ein für die Bodengüte sehr hoher pH-Wert von 6,7 festgestellt. Nach LIEBEROTH (1982) ist für Sand bis lehmige Sande ein pH-Wert von 5,9 bzw. 6,2 ausreichend. Daher wurde nur in der ersten Rotation Kalk in geringen Mengen ausgebracht. Im Verlauf der Bewirtschaftung zeigte der pH-Wert im Boden eine abnehmende Tendenz (Abb. 13). Die zwischen den Schlägen beobachteten Gehaltsunterschiede traten insbesondere 1993 und im Jahr 2000 und 2001 deutlich hervor. Bei konventioneller Bewirtschaftung waren die pH-Werte seit Bewirtschaftungsbeginn geringer als in der ökologischen Variante (GRUBER u. THAMM, 2004). Alle pH-Werte der ökologisch bewirtschafteten Schläge liegen in der pH-Wert-Klasse E und F. Damit ist trotz unterlassener Kalkung der pH-Wert teilweise für die Bodenart noch sehr hoch. Ziel ist es den pH-Wert weiter zu verringern, um eine bessere Verfügbarkeit aller Nährstoffe zu erreichen.

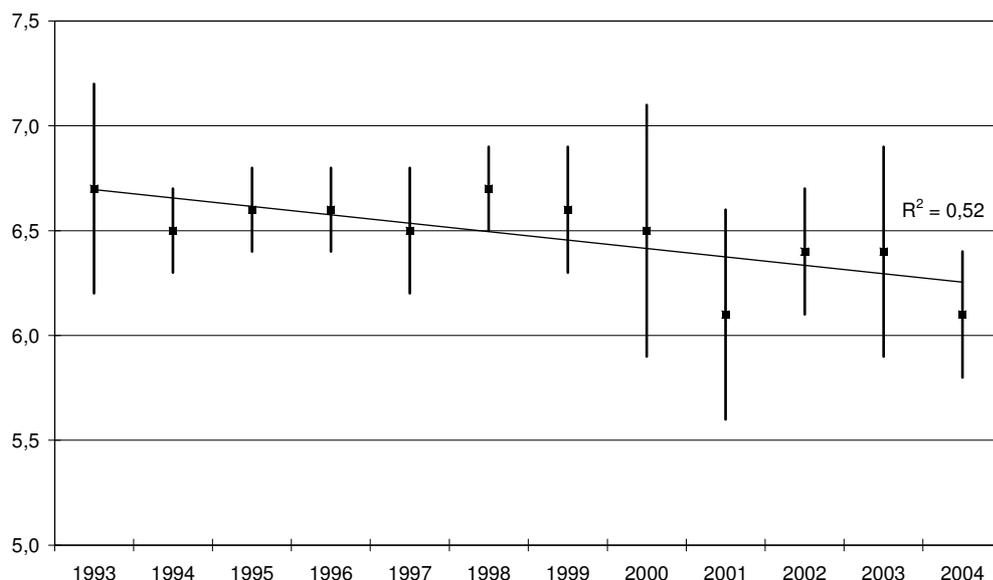


Abb. 13: Mittelwert und Standardabweichung ($\pm s$) der pH-Werte im Boden nach Jahren bei ökologischer Bewirtschaftung (1993-2004)

3.6 Entwicklung der Humusversorgung im Boden

3.6.1 Humusbilanzierung

Bereits nach der zweiten Rotation wurden Humusbilanzierungen nach der HE-Methode nach LEITHOLDT u. HÜLSBERGEN (1997) und der ROS-Methode nach KÖRSCHENS et al. (1998) durchgeführt. Beide Bilanzverfahren ergaben eine positive Bewertung des ökologischen Anbausystems (GRUBER et al., 1998). Die in der vorliegenden Auswertung erfolgte Humusbilanzierung wurde nach dem Verfahren der VDLUFA durchgeführt (KÖRSCHENS et al., 2004).

Im Ergebnis der Bilanzierung zeigt sich ebenfalls ein positiver Saldo, der nach VDLUFA Standpunkt in die Gruppe D (101-300 = hoch) einzuordnen ist (Tab. 11). Da im Öko-Landbau davon auszugehen ist, dass deutlich höhere Humusmengen zur Deckung des N-Bedarfes verfügbar sein sollten als im konventionellen Anbau, ist der hier errechnete Saldo als positiv zu bewerten. Besonders bei humusarmen Sandböden sind diese hohen Werte tolerierbar. Bei entsprechender Fruchtfolgegestaltung ist die Gefahr einer unkontrollierten N-Freisetzung und damit verstärkten Auswaschungsgefahr nicht zu befürchten. Die kurzfristige N-Bereitstellung wird jedoch stark durch das C:N Verhältnis der Humus mehrernden Arten beeinflusst. Klee gras wird nur einjährig angebaut und hat daher ein engeres C:N Verhältnis als mehrjährige Klee grasbestände. Die Zuführung von Stall dung (8,3 t/ha/a Stall dung aus der Rinderhaltung) begünstigt ebenfalls die N-Freisetzung und die biologische Aktivität im Boden. Stall dung ist im Öko-Landbau als N-Quelle günstiger zu beurteilen als Getreidestroh mit weitem C:N Verhältnis. Positiv wirkt sich auch der Zwischenfruchtanbau in der Fruchtfolge aus. Zwischenfrüchte haben ein engeres C:N Verhältnis und unterstützen die N-Umsetzung.

Tab. 11: Humusbilanzierung (nach VDLUFA, 4/04) in kg Humus-C / ha (ökologische Bewirtschaftung)

Fruchtfolge		Humuswirkung	Humusproduktion
1	Hauptnutzungsjahr Klee gras	+ 600	
2	Getreide Zwischenfrucht Senf	- 280 + 80	
3	Kartoffeln	- 760	+ 1000 (25 t Stall dung)
4	Körnerleguminosen	+ 160	
5	Getreide	- 280	
6	Getreide Untersaat	- 280 + 200	+ 1000 (25 t Stall dung)
Summe		- 560	+ 2000
Bilanzsaldo kg/ha/a		+ 240 kg Humus-C/ha/a	

3.6.2 Entwicklung der C_r-Gehalte

Die positive Humusbilanz wirkte sich bisher nicht positiv auf den C-Gehalt im Boden aus. Der mittlere **C_r-Gehalt** und die Schlageffekte nahmen in der Öko-Variante von 1993 bis 1998 ab und erreichten 2004 wieder annähernd den Ausgangswert, jedoch bei geringerer Streuung. Auf den konventionell bewirtschafteten Vergleichsflächen wurden geringe Unterschiede mit vergleichbaren Tendenzen festgestellt (Tab. 12). Auf Grund der großen Abstände zwischen den Probenahmeterminen und der hohen Variabilität der Gehalte (KÖRSCHENS u. SCHULZ, 1999) ist eine Beurteilung der Veränderungen schwierig. Daher sollte zukünftig eine jährliche Probenahme im Frühjahr angestrebt werden.

Tab. 12: C_r-Gehalte (%) auf den 6 Fruchtfolgeschlägen bei konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung

Schlag	konventionell			ökologisch		
	1993	1998	2004	1993	1998	2004
1	0,70	0,60	0,85	1,04	0,60	0,77
2	0,70	0,65	0,80	0,70	0,62	0,74
3	1,25	1,15	1,09	0,85	0,59	0,74
4	0,82	0,69	0,86	0,54	0,58	0,62
5	0,76	0,73	0,81	0,64	0,68	0,72
6	0,81	0,76	0,73	0,78	0,64	0,85
Mittel	0,84	0,76	0,86	0,78	0,64	0,74

3.6.3 Entwicklung der N_r-Gehalte

Der **N_r-Gehalt** der ökologisch bewirtschafteten Variante betrug 1993 im Mittel der Fruchtfolge 0,09 % und reduzierte sich bis 1998 auf 0,08 %. Gleichzeitig verringerten sich die Unterschiede zwischen den Schlägen. Zum Jahr 2004 trat keine weitere Veränderung ein. In der konventionellen Vergleichsvariante konnte der 1993 festgestellt Gehalt auch 2004 wieder ermittelt werden (Tab. 13).

Tab. 13: N_t-Gehalte (%) auf den 6 Fruchtfolgeschlägen bei konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung

Schlag	konventionell			ökologisch		
	1993	1998	2004	1993	1998	2004
1	0,08	0,09	0,09	0,09	0,08	0,09
2	0,09	0,09	0,09	0,09	0,07	0,08
3	0,13	0,13	0,13	0,10	0,08	0,08
4	0,09	0,09	0,09	0,06	0,07	0,07
5	0,09	0,07	0,09	0,08	0,10	0,08
6	0,09	0,09	0,08	0,10	0,08	0,09
Mittel	0,10	0,09	0,10	0,09	0,08	0,08

3.6.4 Schlussfolgerungen

1. Nach der angewendeten Bilanzmethode werden die im Betriebskreislauf befindlichen Mengen organischer Substanz als ausreichend angesehen.
2. Die sehr gute Versorgung mit organischer Substanz spiegelt sich nicht in den C_t-Gehalten im Boden wider. Von 1993 bis 1998 kam es zu einer Verringerung und 2004 wieder zu einer leichten Erhöhung der Bodenwerte. Der N_t-Gehalt im Boden veränderte sich kaum.
3. Es wird eingeschätzt, dass die Bilanzmethode nach VDLUFA über die tatsächlichen Gehalte im Boden keine Aussage ermöglicht. Daher sollte trotz positiver Bilanzen eine Überprüfung der C_t-Gehalte im Boden vorgenommen werden.

4. Zusammenfassung

1. Nach langjähriger ökologischer Bewirtschaftung liegt das Ertragsniveau der vorgestellten Fruchtfolge bei entsprechender Bewirtschaftung bei 33,3 dt GE/ha. Eine positive Ertragsentwicklung konnte bisher nicht nachgewiesen werden. Die Ertragsschwankungen sind hoch, jedoch bei den einzelnen Fruchtarten unterschiedlich.
2. Die Fruchtarten reagierten unterschiedlich stark auf die ökologische Wirtschaftsweise. Während bei Klee gras kaum eine negative Wirkung auf den Ertrag zu verzeichnen war, konnten bei den Wintergetreidearten nur etwa die Hälfte des Ertrages bei konventioneller Bewirtschaftung erzielt werden. Der Verzicht auf den Pflug war in beiden Systemen mit Mindererträgen verbunden. Dennoch reagierten die Kartoffeln und die Sommergerste nur gering auf die pfluglose Bewirtschaftung.
3. Nährstoffbilanzen können zur Beurteilung von umweltrelevanten Risikofaktoren herangezogen werden. Die Ergebnisse der hier vorgenommenen Bilanzierung zeigen bei Stickstoff und Phosphor ausgeglichene Salden. Bei Kalium wurde nach dem sächsischen Modell im Mittel der Jahre und der Fruchtfolge ein negativer Saldo ermittelt, der besonders durch die höheren Negativsalden ab 1999 hervorgerufen wurde, jedoch den abnehmenden Trend der Kaliumgehalte im Boden begründen würde. Bei Magnesium ergab sich ein positiver Saldo, wodurch die steigende Tendenz der Magnesiumgehalte im Boden erklärt werden kann.
4. Im Ergebnis der Untersuchungen zeigte sich, dass Untersaaten und Zwischenfruchtanbau sowie überjähriges Ackerfutter der Vermeidung hoher Nitratüberschüsse im Herbst dienen und damit die Auswaschungsgefährdung über Winter begrenzen. Insbesondere nach Klee grasumbruch im Herbst und Körnerleguminosenanbau steigen die Nitratstickstoffgehalte im Herbst stärker an. In der Folge steigt ohne Bodenbedeckung über Winter in Abhängigkeit von der Höhe der Winterniederschläge die Auswaschungsgefahr.
5. Die Nährstoffgehalte im Boden sind nach langjähriger ökologischer Bewirtschaftung hoch, wobei neben einer Zufuhr aus Stalldung und Gülle auch eine zeitweise Zufuhr aus zugelassenen mineralischen Düngemitteln erfolgte. Bei nahezu ausgeglichenen Bilanzen verringerten sich die P_2O_5 -Gehalte im Boden leicht und die K_2O -Gehalte deutlich. Die MgO-Gehalte veränderten sich kaum.
6. Die Humusbilanz war durch Stalldungausbringung und den Anbau von Untersaaten und Zwischenfrüchten positiv beeinflusst. Dennoch zeigte sich keine deutlich positive Veränderung der Ct- und Nt-Gehalte im Boden.
7. Die vorgestellten Ergebnisse zeigen die eingeschränkte Ertragsleistung sandiger Böden bei ökologischer Bewirtschaftung. Dennoch ist der ökologische Landbau in der Lage die natürliche Fruchtbarkeit der Böden zu erhalten und zu verbessern. Dazu tragen in erster Linie Tierhaltung, Dungwirtschaft, Anbau von Untersaaten und Zwischenfrüchten sowie Ackerfutanbau bei.

Fotopräsentation zum Versuchsfeld Gülzow

[Fotos entfernt](#)

▲
▼ Foto: **Öko-Feld 2003 mit guten Erträgen in der Fruchtfolge**

▼ Foto: **Vergleich ökologischer und konventioneller Bewirtschaftung (ökologisch jeweils links im Bild, konventionell jeweils rechts im Bild)**

Formatiert: Schriftart: Nicht Fett

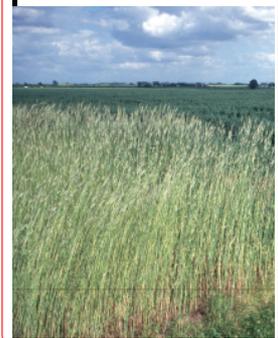
Formatiert: Block



Gelöscht:



Gelöscht:



Literatur

1. ANONYMUS (1993): Faustzahlen für die Landwirtschaft 1993
2. ANONYMUS (2001): Grundlagen und praktische Anleitung zur P-, K- und Mg-Düngung im Ökologischen Landbau. Hrsg. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
3. EMMERLING CH (1999): Phosphorversorgung und Nachlieferung in langjährig ökologisch bewirtschafteten Böden und Schlussfolgerungen für den Praxisbetrieb. In: Tagungsreader des XIX. Fortbildungskurses der Sächsischen Interessengemeinschaft Ökologischer Landbau e.V. vom 11.-12. 03.1999 in Pressel.
4. GRUBER, H., U. THAMM, B. BURMANN (1998): Langzeitwirkung verschiedener Bewirtschaftungssysteme. Forschungsbericht der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
5. GRUBER, H. u. K. HÄNDEL (2000): Phytosanitäre Auswirkungen verschiedener Bodenbewirtschaftungssysteme in Mecklenburg-Vorpommern. Abschlussbericht der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
6. GRUBER, H. u. U. THAMM (2003): Nährstoffkreisläufe und Humusbilanzen in Betrieben des ökologischen Landbaus in Abhängigkeit von Standortbedingungen und Betriebstypen. Zwischenbericht der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
7. GRUBER, H. u. U. THAMM (2004): Entwicklung der Grundnährstoffgehalte und des pH-Wertes im Boden nach 10-jähriger Bewirtschaftung nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Heft 33, S. 9-14
8. GRUBER, H.; U. THAMM u. V. MICHEL (2004 a): Einfluss der ökologischen Bewirtschaftung auf die Nitratstickstoffgehalte im Boden. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Heft 33, S. 21-26
9. HEILMANN, H., A. ZIESEMER (2002): Analyse der Pflanzenproduktion ausgewählter Öko-Betriebe durch Schlagkartei- und Betriebsauswertungen, Schlagkarteiauswertungen Mähdruschfrüchte 2001 der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
10. KAINZ, M., G. GERL, B. LEMNITZER, K.-J. HÜLSBERGEN (2005): Wirkungen differenzierter Bodenbearbeitungssysteme im Dauerversuch Scheyern. In: HEß, J. u. G. RAHMANN (Hrsg.) Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Kassel, S. 1-4
11. KERSCHBERGER M, MARKS G (2002): Rohphosphat - was sonst? Bauernzeitung 43: 31-32
12. KOLBE, H. (2001): Anleitung zur P-, K-, Mg- und Kalk-Düngung im ökologischen Landbau. SÖL-Berater-Rundbrief 3/4: 3-10
13. KÖRSCHENS, M., A. WEIGEL, E. SCHULZ (1998): Turnover of Soil Organic Matter (SOM) and Long-Term Balances - Tools for Evaluating Sustainable Productivity of Soils. Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde, 161, 409-424
14. KÖRSCHENS, M. et al. (2004): Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung auf dem Ackerland. VDLUFA-Entwurf, VDLUFA, Bonn
15. KÖRSCHENS, M., SCHULZ, E. (1999): Die organische Bodensubstanz. UFZ-Bericht 13, ISSN 0948-9452
16. KURZER, H.J., J. BUFE, L. SUNDHEIM (1997): Nitratbericht 1995/96, Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 2
17. LEITHOLD, G., K.-J. HÜLSBERGEN: Grundlagen und Methoden der Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau 3.-4. März 1997 in Bonn, Hrsg. U. Köpke u. J.-A. Eisele, Verlag Dr. Köster

18. LIEBEROTH, I. (1982): Bodenkunde. VEB Deutschen Landwirtschaftsverlag, Berlin
19. MENNING, P. und A. SCHEIL (1995): Bodendeckencharakter Ökofeld Gülzow/ Mecklenburg. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Heft 8
20. PIEPHO, H.-P. und V. MICHEL (2001): Überlegungen zur regionalen Auswertung von Landessortenversuchen; Informatik, Biometrie und Epidemiologie in Medizin und Biologie 31/4 (2001), S. 123-139
21. STEIN-BACHINGER, K. J. BACHINGER, L. SCHMITT (2004): Nährstoffmanagement im Ökologischen Landbau. KTBL-Schrift 423
22. SCHMIDTKE, K. (2004): Stickstoffwirkung von Körnerleguminosen als Druschfrucht und von Zwischenfrucht-Leguminosen. In: SCHMIDT, H. (Hrsg.): Viehloser Öko-Ackerbau, Berlin, S. 26-29
23. SCHMIDTKE, K. (1997): Selbstregelung der N-Zufuhr im ökologischen Landbau – ein Wirkmechanismus zum Schutz des Grundwassers. In: KÖPKE, K. u. J. EISELE (Hrsg): Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Verlag Dr. Köster, Bonn, S. 21-27
24. SCHMIDT, H., S. AHRBERG, G. LEITHOLD (2003): Grundbodenbearbeitung im ökologischen Landbau – Ergebnisse aus dem Ökologischen Ackerbauversuch Gladbacherhof. . In: FREYER, B (Hrsg): Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau in Wien, Verlag Universität für Bodenkultur, Wien, S. 25-28

Anhang

Tab. A1: Grunddüngung und Kalkung bei ökologischer Bewirtschaftung 1993-2004

Schlag	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
1			Tho		Kalk							
2			Tho			Kalk			Kie			
3		Kalk			Tho							
4		Kalk				Tho		Kalk				
5			Kalk									
6				Kalk					Kie			

Kalk = Kalkung

Tho = Thomassulfatkali

Kie = Kieserit

Tab. A2: Stallungsgaben im Systemvergleich 1993-2004 (in dt/ha)

Schlag-Nr.		1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
1	konv.			300									
2	konv.	280			250								
3	konv.		260			300							
4	konv.			270									
5	konv.	280			250								
6	konv.		260			300							
1	ökol.			300			280				219		
2	ökol.	280			250			180				311	
3	ökol.		260			300			226				271
4	ökol.			270			280			270			
5	ökol.	280			250				180		230		
6	ökol.		260			300				292		271	

Grauschattierung: Stallungsausbringung im Herbst zu Hafer

Fettddruck: Stallungsausbringung im Frühjahr zu Sommergerste (2000) bzw. zur Hackfrucht (2001 - 2004)

ohne Schattierung und ohne Fettddruck: Stallungsausbringung im Herbst vor Sommergerste

Tab. A3: Methoden zur Nährstoffuntersuchung in Boden, organischem Dünger und Pflanze

Boden und organische Dünger:

Parameter	Methode	
Boden		
pH-Wert	CaCl ₂	VDLUFA I
Phosphor (P ₂ O ₅)	DL	VDLUFA I
Kalium (K ₂ O)	DL	VDLUFA I
Magnesium (Mg)	DL	VDLUFA I
NO ₃ -Stickstoff	CaCl ₂	VDLUFA I
NH ₄ -Stickstoff	CaCl ₂	VDLUFA I
N _{min} gesamt	rechnerisch	VDLUFA I
C _t	Verbrennung nach Ströhlein	
N _t	Verbrennung nach Dumas	
organische Dünger		
Dung: TM, N, P ₂ O ₅ , K ₂ O, MgO	Paket	VDLUFA II
Gülle: TM, N, P ₂ O ₅ , K ₂ O, MgO	Paket	VDLUFA II

Pflanze:

Parameter	Methode
Phosphor (P)	Spektralphotometrische Bestimmung des P nach trockener Veraschung der Proben und anschließender Aufnahme der Asche mit HCl. Die Anfärbung der P-haltigen Lösung erfolgte mit Ammoniummolybdatlösung; die photometrische Messung des gelben Molybdat-Phosphorkomplexes wird bei 440 nm vorgenommen.
Magnesium (Mg)	Bestimmung des Mg in der salzsauren Aschelösung am Atomabsorptionsspektralphotometer (AAS) bei 285,2 nm.
Kalium (K)	Flammenphotometrische Bestimmung des Kaliums in der salzsauren Aschelösung.
Stickstoff (N)	nasse Veraschung, Bestimmung des Gesamt-N-Gehaltes nach Kjeldal

Tab. A4: Varianzen der untersuchten Faktoren und deren Wechselwirkungen

Covariance Parameter	Estimate	Covariance Parameter	Estimate
systemunabhängig		ökologische bewirtschaftetes System	
S	14.8001	S	15.2652
K*J	165.60	K*J*S	53.3766
SYS*J	12.0811		
BB*K*J	8.1975	BB*K	27.0635
BB*SYS*J	3.7567		
K*SYS*J	29.8365		
BB*K*SYS*J	66.8342		
SYS*S	15.1979		
SYS*J*S	47.8237	J*S	82.7450
Residual	0.000804	Residual	48.1054

**Tab. A5: Nährstoffgehalte der Ernteprodukte im Systemvergleich (% in der TM)
(konventionell 1994-2002, ökologisch 1994-2004)**

Kultur	N		P		K		Mg	
	konv.	ökol.	konv.	ökol.	konv.	ökol.	konv.	ökol.
Winterweizen Korn	2,05	1,84	0,34	0,40	0,34	0,39	0,08	0,14
Winterweizen Stroh	0,86	0,60	0,14	0,12	1,54	0,66	0,09	0,08
Winterroggen Korn	1,50	1,53	0,31	0,36	0,28	0,37	0,07	0,09
Winterroggen Stroh		0,59		0,16		0,88		0,05
Sommergerste Korn	1,65	1,59	0,38	0,41	0,39	0,42	0,09	0,09
Sommergerste Stroh	0,64	0,55	0,13	0,14	2,05	1,25	0,07	0,10
Hafer Korn	1,63	1,54	0,33	0,35	0,31	0,37	0,09	0,10
Hafer Stroh (mit Kleegr.-US)	0,50	0,62	0,12	0,22	2,97	2,65	0,05	0,10
Körnererbsen Korn	3,63	3,97	0,39	0,52	0,96	1,11	0,11	0,12
Rotkleegrass 1. Schnitt	1,98	1,87	0,29	0,28	2,07	2,10	0,20	0,21
Rotkleegrass 2. Schnitt	2,30	2,07	0,36	0,33	2,64	2,35	0,23	0,23
Kartoffeln	1,38	1,29		0,34	1,95	2,24		0,13

**Tab. A6: Bilanzsalden für die 6 Fruchtfolgeschläge bei ökologischer
Bewirtschaftung für den Zeitraum 1993-2003**

Schlag	Nährstoffe (kg/ha)			
	N	P	K	Mg
Schlag 1b	-2	3	-27	24
Schlag 2b	17	7	-11	21
Schlag 3b	-1	6	2	29
Schlag 4b	22	12	19	35
Schlag 5b	-4	2	-13	16
Schlag 6b	10	1	-17	16

Tab. A7: Bilanzsalden im Mittel der Fruchtfolge bei ökologischer Bewirtschaftung für die Jahre 1993-2003

	Nährstoffe (kg/ha)			
	N	P	K	Mg
1993	71	16	93	56
1994	22	3	0	27
1995	-12	18	-12	34
1996	16	9	41	48
1997	-7	6	-6	30
1998	15	5	6	27
1999	6	7	-36	1
2000	-15	-5	-51	29
2001	-8	0	-42	6
2002	7	0	-32	2
2003	-16	-4	-46	-1
1993-2003	7	5	-8	23

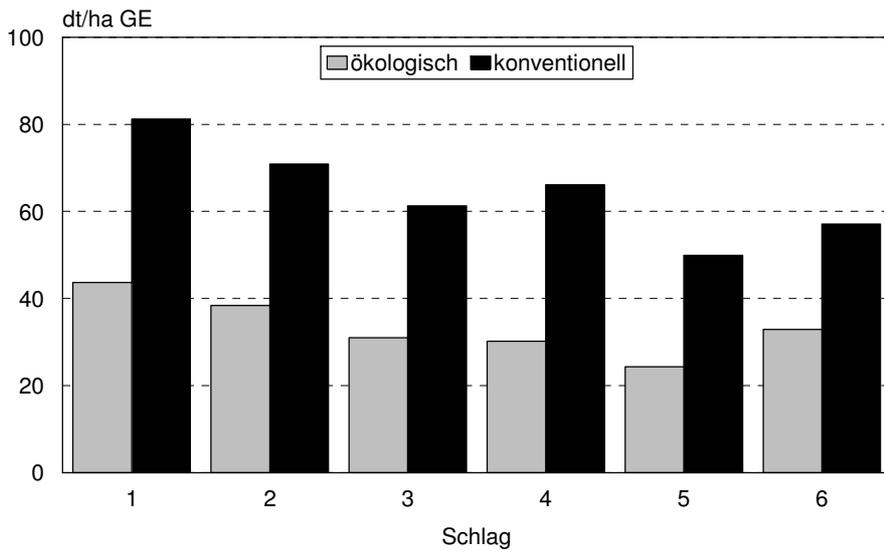


Abb. A1: Mittlere GE-Erträge im Systemvergleich nach Schlägen 1994-2004

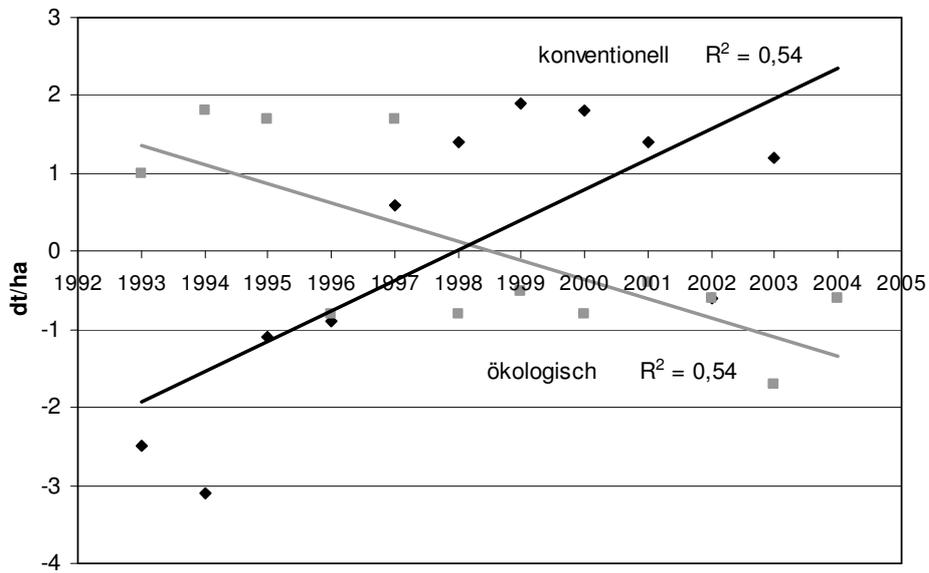


Abb. A2: Ertragseffekte (dt/ha) der Jahre bei ökologischer und konventioneller Bewirtschaftung

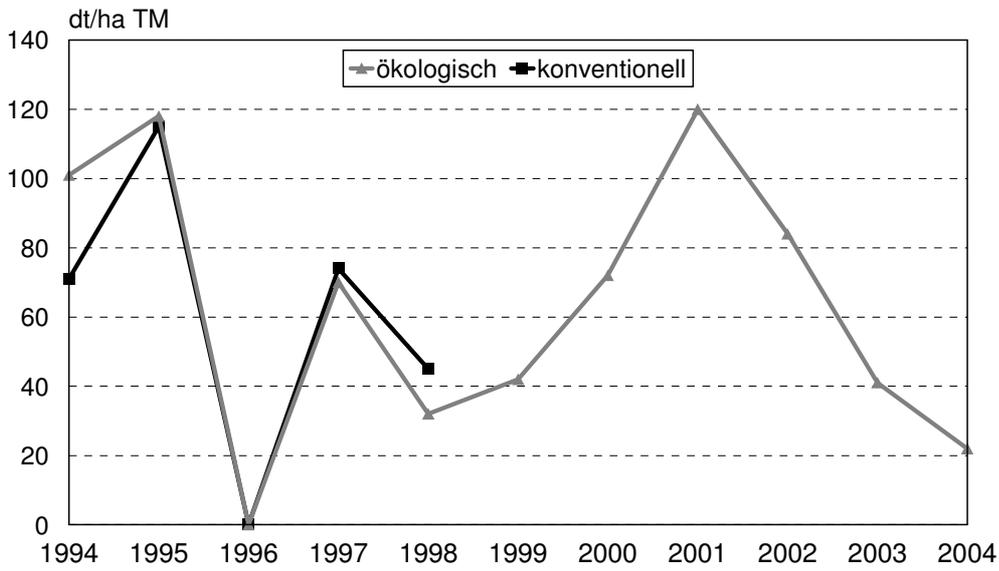


Abb. A3: Entwicklung der Kleeerträge im Systemvergleich 1994-2004

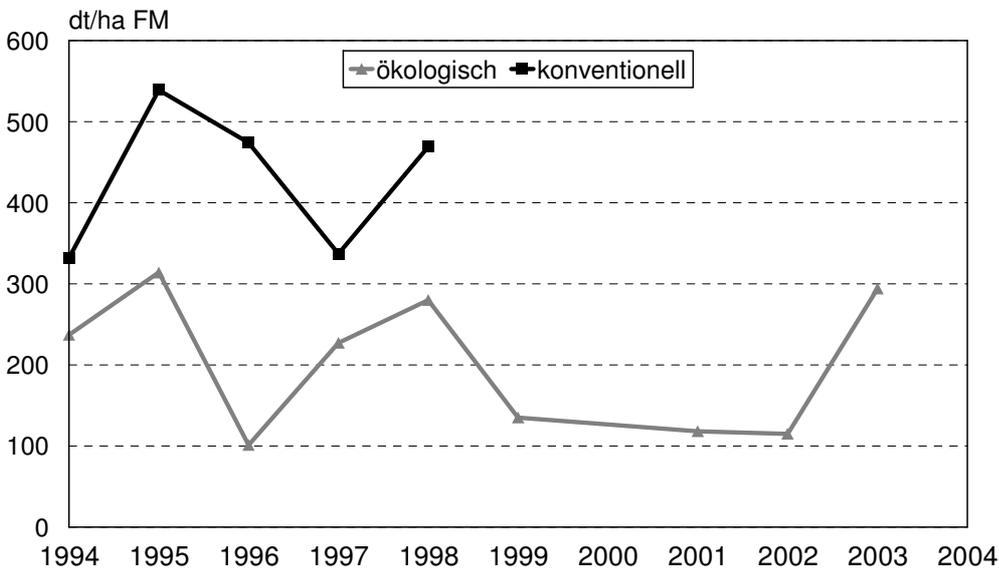


Abb. A4: Entwicklung der Kartoffelerträge im Systemvergleich 1994-2004

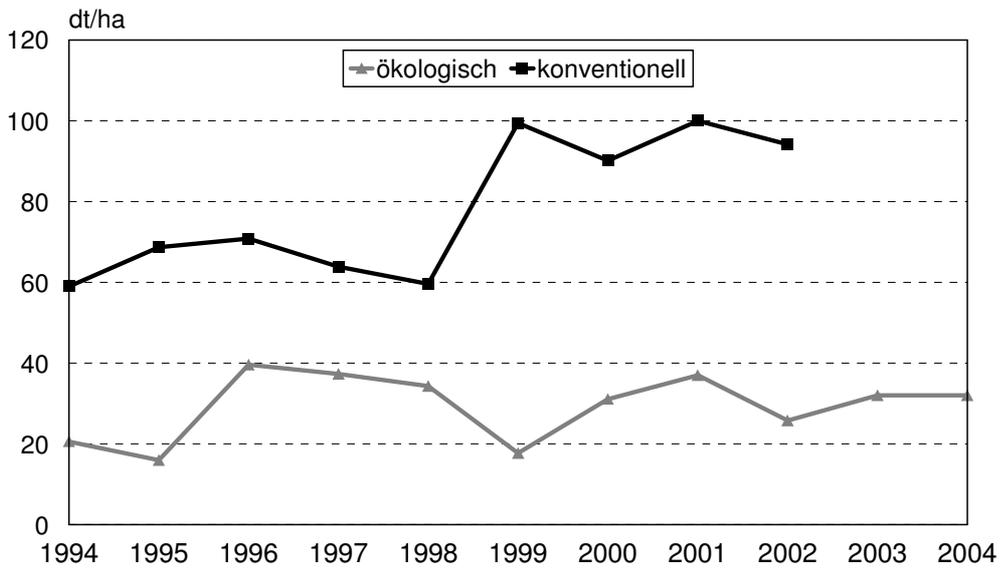


Abb. A5: Entwicklung der Wintergetreideerträge im Systemvergleich 1994-2004

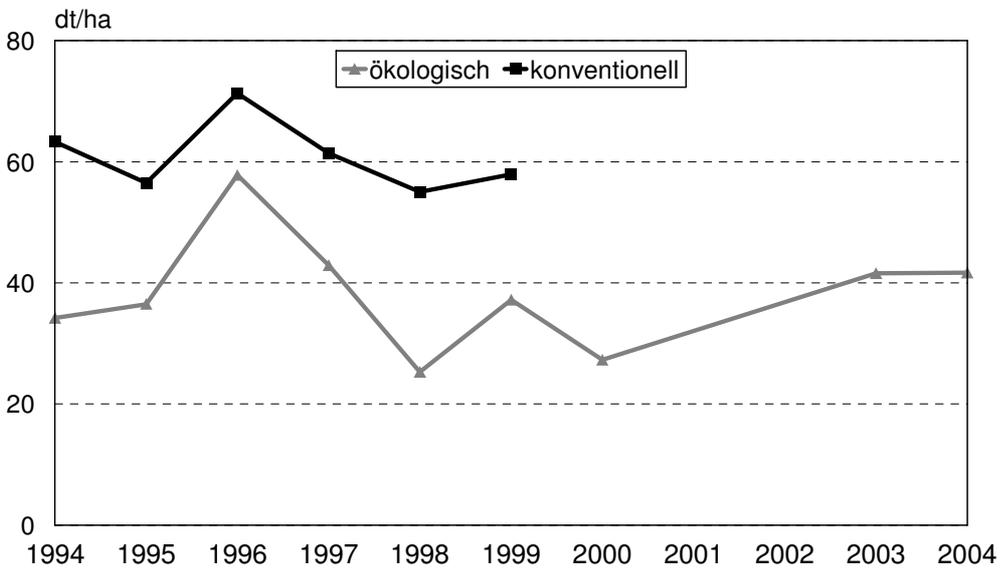


Abb. A6: Entwicklung der Sommergerstenerträge im Systemvergleich 1994-2004

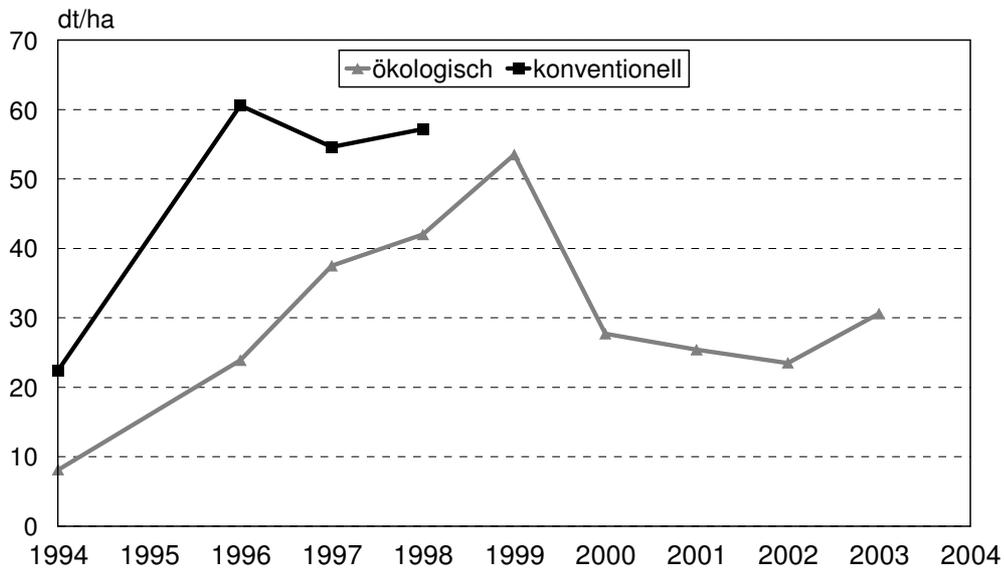


Abb. A7: Entwicklung der Hafererträge im Systemvergleich 1994-2004

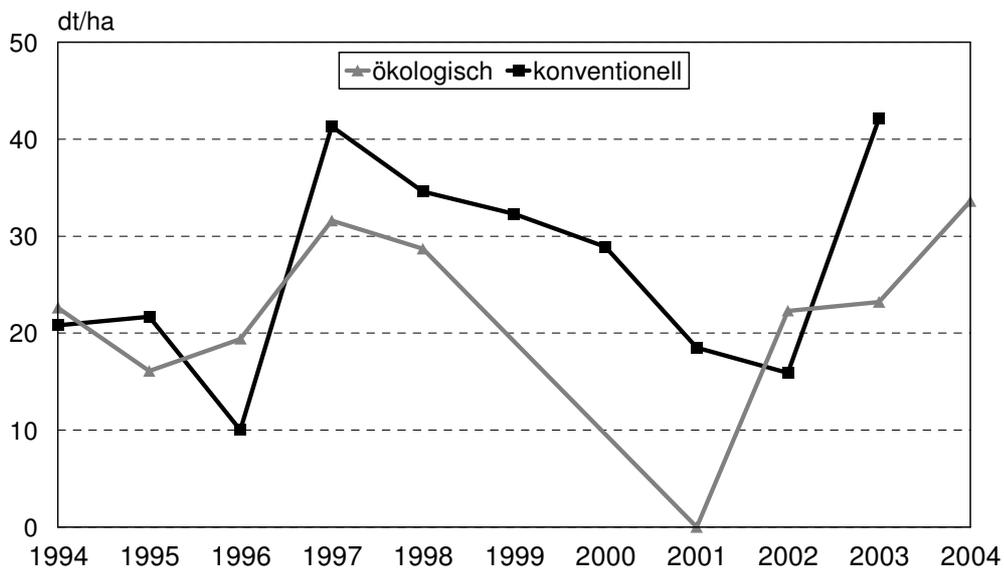


Abb. A8: Entwicklung der Körnerleguminosenerträge im Systemvergleich 1994-2004

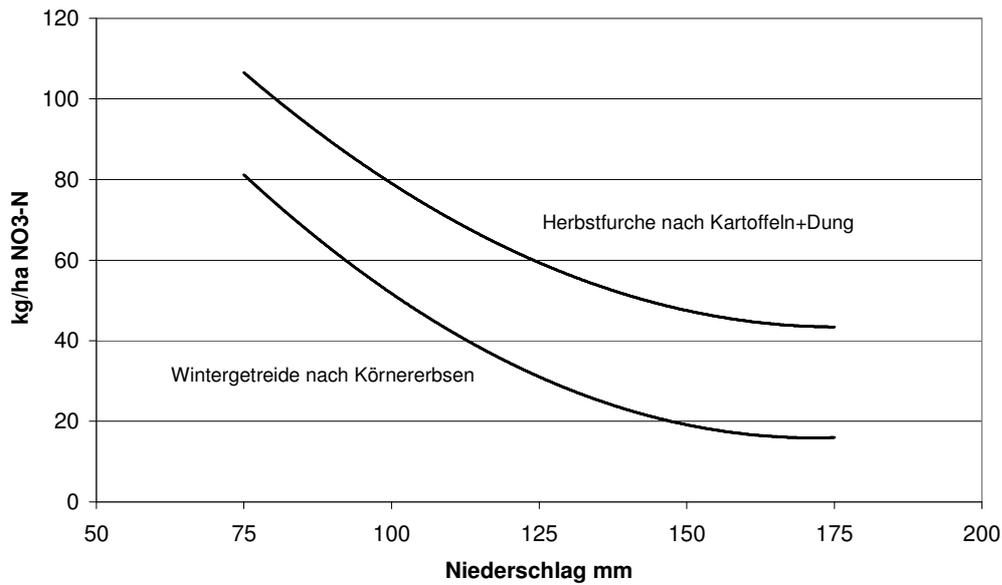


Abb. A9: Nitrat-N-Gehalte im Boden (0-90 cm) zu Vegetationsbeginn unter Herbstfurche nach Kartoffeln+Dung und Wintergetreide nach Körnererbsen in Abhängigkeit von der Höhe der Winterniederschläge

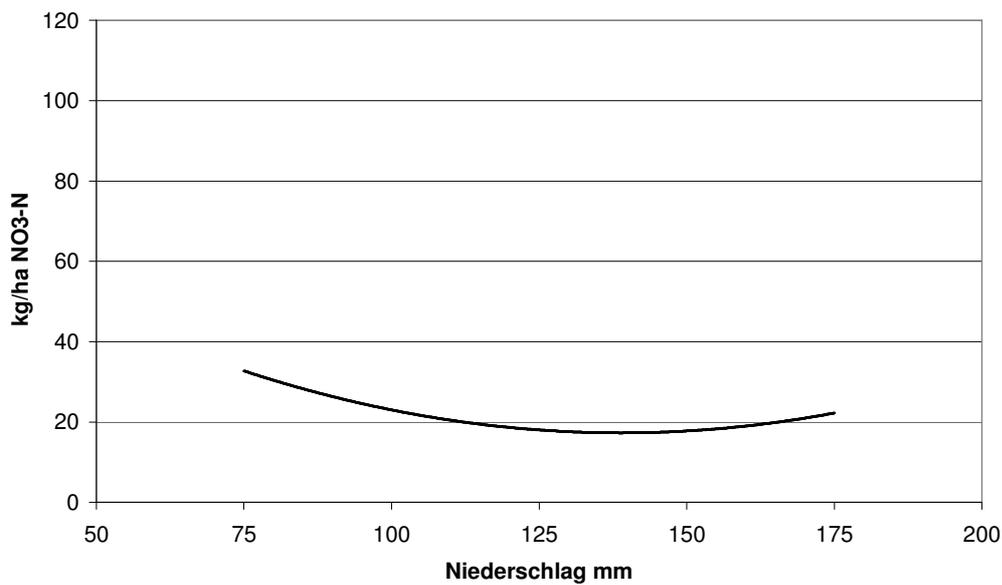


Abb. A10: Nitrat-N-Gehalte im Boden (0-90 cm) zu Vegetationsbeginn unter Klee gras nach Hafer/Untersaat in Abhängigkeit von der Höhe der Winterniederschläge

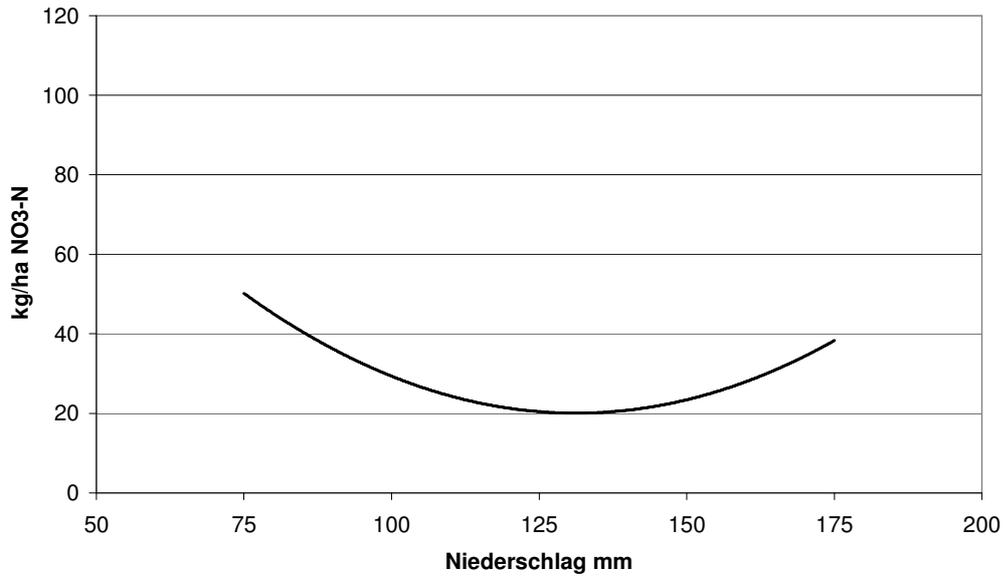


Abb. A11: Nitrat-N-Gehalte im Boden (0-90 cm) zu Vegetationsbeginn unter Zwischenfrucht nach Klee gras in Abhängigkeit von der Höhe der Winterniederschläge

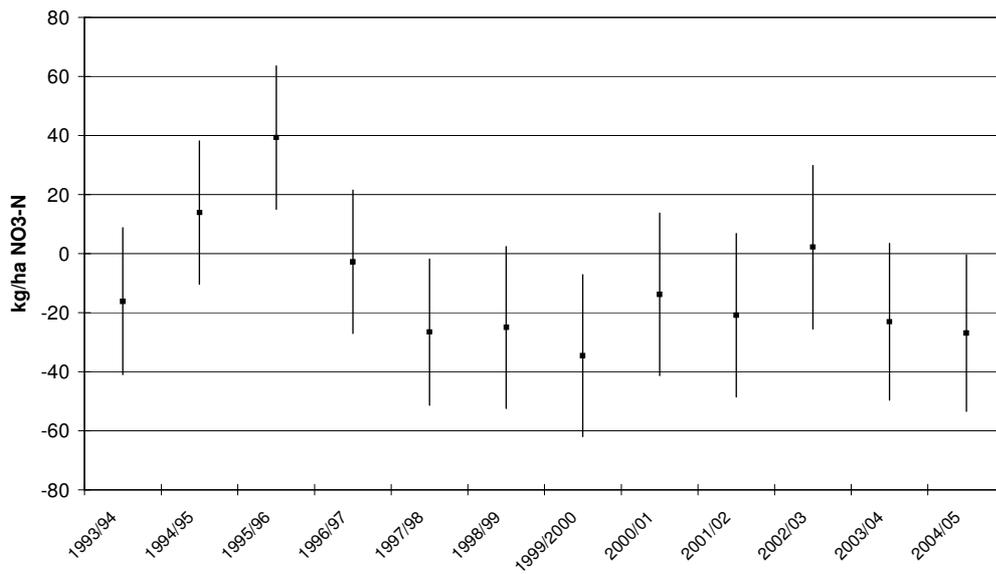


Abb. A12: Nitrat-N-Differenzen Frühjahr – Herbst (Mittelwert und Vertrauensintervall 90 %) im Mittel der Fruchtfolge bei ökologischer Bewirtschaftung (adjustierte Mittelwerte 1993-2005, Bodenschicht 0-90 cm)

