1 Einleitung

Im Ökologischen Landbau hat der Maisanbau mit einem Flächenanteil von ca. 3 % bisher nur eine geringe Bedeutung. Zugleich besteht ein großer Bedarf an einem energiereichen Grundfutter in der Rinderhaltung (BENKE und MARTENS, 2001), so dass der Silomais gut in den Ökologischen Landbau passen würde. Ferner ist Mais im Vergleich zu anderen Kulturpflanzen eine relativ gesunde Pflanze, die nur von wenigen Schadorganismen gefährdet wird (GIENAPP, 2001). Daher wächst das Interesse am Silomaisanbau in der Praxis und nimmt durch die Ausweitung des Ökologischen Landbaus und der damit verbundenen zunehmenden Umstellung konventionell wirtschaftender Betriebe weiter zu (HEß und GRAB, 2001). Bei diesen Betrieben war der Silomais in den bisherigen Futterrationen eine bedeutende Komponente, die diese auch bei ökologischer Wirtschaftsweise nutzen wollen. Die geringe Verbreitung des Silomaisanbaus im Ökologischen Landbau hängt vor allem mit Umweltgefährdungen und Anbauproblemen herkömmlicher Anbausysteme zusammen:

- fehlende Bodenbedeckung über Winter vor der Maissaat – Bodenerosion und Stickstoffauswaschung
- Bodenerosion und N-Austrag nach der Maissaat
- hohe Reststickstoffgehalte nach der Maisernte – Gefahr der Stickstoffauswaschung
- aufwändige und schwierige Unkrautregulierung
- geringe Erträge aufgrund unzureichender Stickstoffversorgung.

Auch wenn dem Ökologischen Landbau aufgrund seiner Konzeption generell eine positivere Umweltwirkung als anderen Landbausystemen attestiert wird (HEß et al., 1992), können dennoch die genannten Umweltgefährdungen auftreten (KAINZ et al., 2003; BEIN et al., 2001). Für eine Ausweitung des Maisanbaus und damit einer Verbesserung der Grundfutterbasis der landwirtschaftlichen Betriebe ist daher eine Lösung der dargestellten Probleme dringend notwendig. Bisherige Maßnahmen zur Reduzierung dieser Probleme stammen aus dem konventionellen Landbau und sind in ihrer Wirksamkeit vielfach begrenzt (VAN DIJK et al., 1997) bzw. mit zusätzlichen Kosten verbunden, so dass sie in der landwirtschaftlichen Praxis nur begrenzt umgesetzt werden. Ferner führt ihre Anwendung im Ökologischen Landbau häufig zu weiteren Problemen, wie im Laufe der Arbeit gezeigt werden soll.

Daher müssen für den Ökologischen Landbau neue Ideen für innovative Anbausysteme entwickelt werden, die neben ökologischen auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Nur solche Anbausysteme, die ökonomisch keinen Nachteil darstellen, werden Eingang in die landwirtschaftliche Praxis finden (FRANKEN, 2001). Ferner besteht dann auch die Chance, dass Innovationen aus dem Ökologischen Landbau von der konventionellen Landwirtschaft übernommen werden und zu deren Ökologisierung beitragen.

Das Anbausystem „Direkt- und Spätsaat von Silomais nach Wintererbsenvorfrucht“ stellt ein solch innovatives Anbausystem dar. Inwieweit es zur Reduzierung bzw. Lösung der aufgezeigten Problematik beitragen kann und wie es sich ökonomisch im Vergleich zu herkömmlichen Anbausystemen auswirkt, ist Gegenstand der Untersuchungen dieser Arbeit.

2 Systemvergleich

Zur Lösung der in Kap. 1 geschilderten Problematik wurden in Wissenschaft und Praxis unterschiedliche Strategien entwickelt. In Tab. 1 werden diese vergleichend mit dem üblichen Anbausystem „Herbst-/Frühjahrespflugfurche“ dargestellt und im Folgenden näher erläutert.

Tab.1: Vergleichende Bewertung unterschiedlicher Maisanbausysteme hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Umweltaspekte, Unkrautbesatz im Mais, Kosten, Arbeitsaufwand und Ansprüche der Maispflanzen.

Anbausystem, -strategie	Bodenerosion vor der Maissaat		Nitrat- auswaschung vor der Maissaat		Unkrautbesatz im Mais/ Konkurrenz	Arbeitsaufwand	Kosten	Mais-Ansprüche*
	vor	nach	vor	nach				
Zwischenfrucht- anbau	abfrierend	+-	-	0	-	--	--	-
	winterhart	++	-	0	--	--	-+	-
Reduzierte Boden- bearbeitung	Mulchsaat	0	+	0	--	++	++	-
	Direktsaat	0	+	0	--	++	++	-
Untersaat im Mais	früh	0	+	+-	--	-	-	0
	spät	0	0	+	-	-	-	0
Maiswiese	++	++	++	++	--	--	--	-
Gleichstandssaat	0	0+	+	0	+	0-	0	0
Herbst-/Frühjahrsflugfurche	--	--	-	0	+	--	-+	++

* Ansprüche an hohe Bodentemperatur zur Keimung

- 0 ohne Bedeutung
- eher negative Auswirkung; höherer Besatz/Konkurrenz, Arbeitsaufwand und Kosten
- negative Auswirkung; hoher Besatz/Konkurrenz, Arbeitsaufwand und Kosten
- + eher positive Auswirkung; geringerer Besatz/Konkurrenz, Arbeitsaufwand und Kosten
- ++ positive Auswirkung; geringer Besatz/Konkurrenz, Arbeitsaufwand und Kosten
- + - sowohl positive als auch negative Auswirkungen

2.1 Der Zwischenfruchtanbau

Der Zwischenfruchtanbau vor der Maissaat dient vor allem dazu, über Winter eine Bodenbedeckung mit Pflanzenmaterial zu erreichen, um den Boden vor Wind- und Wassererosion zu schützen. Ferner werden in dem Pflanzenaufwuchs über Winter Nährstoffe gespeichert, die sonst der Gefahr der Auswaschung unterliegen. Dies betrifft insbesondere Stickstoff. In der Regel werden abfrierende Zwischenfrüchte angebaut (Senf, Phacelia, Ölrettich), die im Frühjahr für den nachfolgenden Mais keine Konkurrenz mehr darstellen und die Maissaat erleichtern (LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN, 1992). Beim Anbau von abfrierenden Zwischenfrüchten kann der im Aufwuchs gespeicherte Stickstoff je nach Zeitpunkt des Abfrierens der Pflanzen wieder mineralisiert werden (NEUBAUER und KOHLS, 1994) und unterliegt damit der Gefahr der Auswaschung (BERGER et al., 1993; VAN DIJK et al., 1997). Ferner wird nach Abfrieren der Pflanzen kein Stickstoff mehr aus dem Boden aufgenommen, zugleich wird aber nahezu permanent Stickstoff mineralisiert. Mineralisation findet im Boden bereits ab Temperaturen von 1 °C statt (AUFHAMMER et al., 1996), so dass eine Gefährdung des Grundwassers durch diesen Stickstoff besteht.

Der Anbau von winterharten Zwischenfrüchten verringert dieses Problem, da ein permanenter Nährstoffentzug durch den wachsenden Pflanzenbestand erfolgt (LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN, 1992; STICKSEL et al., 1996; VAN DIJK et al., 1997). Allerdings muss im Ökologischen Landbau zur Maissaat im Frühjahr gepflügt werden, da sonst die winterharten Zwischenfrüchte eine zu große Konkurrenz für den Mais darstellen würden. Im konventionellen Landbau könnte statt der Pflugfurche eine Herbizidbehandlung erfolgen, um den Pflanzenbestand abzutöten (LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN, 1992). Auch bei Schnittnutzung der winterharten Zwischenfrucht muss eine intensive Bodenbearbeitung erfolgen, da die Pflanzen sonst wieder austreiben und für den Mais eine zu starke Konkurrenz darstellen. Dieser Zwang zur Bodenbearbeitung führt zur gleichen Erosionsproblematik nach der Maissaat wie im herkömmlichen Anbausystem. Mais hat eine sehr langsame Jugendentwicklung und schließt erst spät die Reihen. Bei Frühjahrspflugfurche ist der Boden daher über mehrere Wochen der Gefahr der Erosion ausgesetzt.

2.2 Reduzierte Bodenbearbeitung

Als reduzierte Bodenbearbeitung werden Mulch- bzw. Direktsaatverfahren bezeichnet. Diese Verfahren dienen dem Erosionsschutz nach der Maissaat. Nach Zwischenfruchtanbau mit abfrierenden Zwischenfrüchten wird der Mais entweder mit Minimalbodenbearbeitung

(Mulchsaat) oder ohne jegliche Bearbeitung (Direktsaat) gesät. Dabei bleibt eine den Boden bedeckende Pflanzenschicht der abgestorbenen Zwischenfrucht erhalten, so dass ein sehr guter Erosionsschutz erzielt wird. Aufgrund der unterlassenen Bodenbearbeitung erwärmt sich allerdings der Boden langsamer, so dass für den Mais schlechtere Keimungs- und Wachstumsbedingungen als nach Pflugfurche bestehen (GUTSER und MANHART, 1993). Gerade im Ökologischen Landbau wird eine schnelle Keimung angestrebt, damit die Körner nicht durch Vogelfraß oder andere Schädlinge geschädigt werden (BENKE und MARTENS, 2001; HEB und GRAß, 2001). Ferner besteht nach reduzierter Bodenbearbeitung häufig ein höherer Unkrautdruck (SOMMER und BRUNOTTE, 1995, KORNMANN und KÖLLER, 1997), da sich in den abgestorbenen Zwischenfrüchten eine entsprechende Unkrautflora entwickelt hat (LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN, 1992). Der Mais reagiert sehr empfindlich auf Konkurrenz im Jugendwachstum. Daher wird im konventionellen Landbau die reduzierte Bodenbearbeitung meistens mit einer zusätzlichen Herbizidspritzung kombiniert (LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN, 1992; KORNMANN und KÖLLER, 1997). Das gilt auch bei reduzierter Bodenbearbeitung nach dem Anbau von winterharten Zwischenfrüchten, was in der Praxis aber eher die Ausnahme darstellt. Im Ökologischen Landbau ist eine Herbizidanwendung nicht möglich, so dass die reduzierte Bodenbearbeitung dort meistens nicht zur Anwendung kommt und die Gefahr der Bodenenerosion zugunsten der Unkrautregulierung und der Maisansprüche hingenommen wird.

Nach reduzierter Bodenbearbeitung herrschen zur Maisbestellung niedrigere Bodentemperaturen, wodurch Mineralisationsprozesse langsamer ablaufen und zur Maissaat geringere $N_{\min}$ -Gehalte im Boden vorliegen. Der Mais benötigt zu diesem Zeitpunkt auch nur geringe Mengen an Stickstoff, so dass geringere $N_{\min}$ -Gehalte die Gefahr der N-Verlagerung reduzieren.

2.3 Untersaat im Mais

Die **frühe Untersaat** im Mais dient dem Erosionsschutz nach der Saat und wirkt sich positiv auf die Reduzierung von überschüssigen N-Mengen im Boden aus. Ferner wird der Unkrautdruck zwischen den Reihen geringer. Allerdings dürfen diese Untersaaten nicht zu üppig werden, da sie sonst eine zu starke Konkurrenz für den Mais bilden und sich ertragsmindernd auswirken können (LÜTKE ENTRUP und STEMANN, 1989). Je früher eine Untersaat ausgebracht wird, um so höher ist der Konkurrenzdruck für den Mais. Je später diese Untersaaten ausgebracht werden, um so geringer ist ihre Wirksamkeit hinsichtlich des Bodenschutzes und der N-Aufnahme nach der Maissaat. Im konventionellen Landbau werden die Untersaaten oft mit einer Herbizidspritzung abgetötet, sobald der Mais selbst ausreichend Bodenschutz bietet (AUERSWALD und KAINZ, 1989). Das ist im Ökologischen Landbau nicht möglich, so dass

hier Anbauverfahren mit frühen Untersaaten nur selten praktiziert werden. Vielmehr wird der intensiven Bodenbearbeitung vor und nach der Maissaat zur Unkrautregulierung Priorität eingeräumt (DEBRUCK, 2001). Außerdem verursachen die Untersaaten zusätzliche Kosten (Saatgut, Ausbringung, Regulierung), so dass sie in der Praxis nur wenig Anwendung finden.

Die **späten Untersaaten** sollen die Gefahr der N-Auswaschung nach der Maisernte reduzieren und werden ca. zum 6-Blattstadium des Mais ausgebracht (LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN, 1992). Aufgrund seines besonderen N-Aufnahmeverhaltens (INRA, zit. in FRITSCH, 1999) benötigt Mais während der Abreife nur sehr geringe Mengen an Stickstoff. In diesem Zeitraum herrschen aber zumeist sehr gute Mineralisationsbedingungen (warme und feuchte Witterung), so dass permanent Stickstoff aus der organischen Substanz des Bodens mineralisiert wird (RAUPP et al., 1991) und der Gefahr der Auswaschung unterliegt. Die Untersaaten nehmen diesen Stickstoff auf und bewirken zusätzlich eine bessere Befahrbarkeit des Bodens zur Maisernte (STEMANN und LÜTKE ENTRUP, 1990). Wenn diese Untersaaten zu früh ausgebracht werden bzw. zu üppig wachsen, stellen sie für den Mais eine starke Konkurrenz dar. Außerdem erschweren die mechanische Unkrautregulierung. Eine Umfrage auf Betrieben des Ökologischen Landbaus in Nordhessen und Ostwestfalen ergab, dass dort das Einbringen von Untersaaten in der Praxis so gut wie gar nicht vorgenommen wird (BEIN et al., 2001). Die späten Untersaaten verursachen wie die frühen zusätzlich Kosten und Arbeitsaufwand.

2.4 Maiswiese

Bei dem Anbausystem Maiswiese werden in einen intakten Grasbestand Saatstreifen für den Mais gefräst (GARIBAY et al., 1993). Der intakte Grasbestand zwischen den Reihen stellt einen wirksamen Erosionsschutz dar und nimmt Nährstoffe auf, die so vor der Auswaschung geschützt werden (GARIBAY und FEIL, 1995). Zur Regulierung der Grasstreifen zwischen dem Mais ist der Einsatz von Herbiziden notwendig, da sonst die Konkurrenz für den Mais zu groß wird (HORN und SCHWARZ, 1998). Die Regulierung der Grasstreifen durch mechanische Verfahren führte zu deutlich geringeren Maiserträgen (GARIBAY und FEIL, 1995; LIEDGENS et al., 2001). Für den Ökologischen Landbau stellt das System daher keine Alternative dar, da die Regulierung des Grasbestandes ausschließlich über mechanische Maßnahmen erfolgen müsste. Außerdem ist die Konkurrenz um Nährstoffe und Wasser sehr groß (HORN und SCHWARZ, 1998).