

Auswirkung der Mulchmasse der Vorfrucht Hafer auf die Unkrautflora bei Direktsaat von Ackerbohnen im Ökologischen Landbau

Effect of straw mulch residues of previous crop oats on the weed population in direct seeded faba bean in Organic Farming

Luiz Felipe Perrone Massucati* und Ulrich Köpke

Institut für Organischen Landbau, Katzenburgweg 3, 53115 Bonn

*Korrespondierender Autor, luiz.massucati@uni-bonn.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.060

Zusammenfassung

Permanente Direktsaat zu allen Kulturen der Fruchtfolge scheitert im Ökologischen Landbau am hohen Unkrautdruck und der geringeren Stickstoffmineralisation im Vergleich zu intensiver Bodenbearbeitung mit den Effekten mechanischer Unkrautregulation, Durchlüftung und rascherer Bodenerwärmung im Frühjahr. Ackerbohnen entwickeln mit Beginn des späten Frühjahrs eine hohe Konkurrenzskraft gegenüber Unkräutern und sind von der Stickstofffreisetzung des Bodens weitgehend unabhängig. Untersucht wurde deshalb, ob bei alleiniger Direktsaat von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) in Mulch aus Ernteresten der Vorfrucht Hafer annuelle Unkräuter hinreichend unterdrückt werden können. In den Sommerhalbjahren 2009 und 2010 wurden acht Feldversuche an verschiedenen Standorten in Nordrhein-Westfalen unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus durchgeführt. Für das System Direktsaat (DS) wurden auf den Haferstopplern 0, 4 und 6 t ha⁻¹ Haferstroh – unterschiedlichen Strohertrag der Vorfrucht simulierend – ausgebracht. Als Referenzvariante diente nach Abfuhr des Haferstrohs eine Stoppelbearbeitung mit anschließendem Winterzwischenfruchtanbau und Grundbodenbearbeitung mit dem Wendepflug im Frühjahr zu *V. faba* (Lockerbodensystem, LBS). Stroh-Mulch mit anschließender Direktsaat verringerte in fünf von sieben Versuchen vor allem die Abundanz dikotyler annueller Arten in deutlich höherem Maße als die Variante LBS. Im Mittel aller Versuche wurden diese Unkräuter im Vergleich zum LBS durch DS mit Stroh um 81 bzw. 85 % vermindert. DS mit Strohmulch reduzierte offensichtlich vor allem Lichtkeimer wie Kamille-Arten und typische Arten der Spätverunkrautung wie *Chenopodium album* hinreichend. Gräser und perennierende Unkräuter traten im DS unabhängig von der Strohmasse verstärkt auf. Im LBS war die Abundanz dieser Unkrautgruppen im Vergleich mit DS um 64 bzw. 82 % reduziert. Die Sprossentwicklung der Ackerbohnen war nach Direktsaat verglichen mit LBS zunächst verzögert, doch waren die Ertragsdifferenzen von LBS und DS mit Strohrestmassen von mindestens 4 t ha⁻¹ nicht signifikant. Entscheidende Kriterien für den temporären Pflugverzicht bei Ackerbohnen sind bei geeigneten Fruchtfolgepaaren im Ökologischen Landbau das Vorhandensein hinreichender Strohmasse der Vorfrucht und ein geringer Unkrautbesatz mit Perennierenden und Gräsern.

Stichwörter: Ackerbohnen, Festboden-Mulchsystem, Organischer Landbau, Strohmulch, Unkrautregulation

Abstract

Under conditions of Organic Farming, we investigated whether direct seeding of faba bean (*Vicia faba* L.) into straw mulch from residues of precrop oats used for weed control enables at least occasional/opportunistic direct seeding in Organic Agriculture. Eight field trials were carried out at different study sites in North Rhine-Westphalia, Germany, in 2008-2009 and 2009-2010. Direct seeding (DS) was performed into mulch layers of 0, 4 and 6 t ha⁻¹ of straw residues applied to the remaining stubble, simulating different yield levels of the precrop oats. LBS was used as a reference treatment, where straw was harvested, stubble tillage performed and seedbed prepared in fall and oil radish (*Raphanus sativus*) grown as winter cover crop. Mouldboard ploughing combined with conventional seedbed preparation was performed in early spring to *V. faba*. Compared with LBS, straw mulch with subsequent direct seeding suppressed especially dicotyledonous annuals significantly. DS treatments with straw reduced the abundance of this group by 81 and 85% compared with LBS. Straw mulch resulted in effective suppression of photosensitive weeds such as *Matricaria* spp. and late germinating *Chenopodium album*. Grasses and perennial species occurred independent of the amount of straw. Compared with DS, the abundance of these weeds was reduced by 64 and 82% in LBS treatment. The shoot dry matter production of faba bean was retarded by DS compared with LBS, but significant yield losses could be avoided with straw residues of at least 4 t ha⁻¹. Sufficient amount of straw of from the previous crop is a key criterion to facilitate organic no-till farming of faba bean in a suitable crop sequence when pressure of perennials and grasses is low.

Keywords: Faba bean, no tillage, Organic Farming, straw mulch, weed control

Einleitung

Unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus ergeben sich zwei wesentliche Hindernisse für den permanenten Einsatz von Direktsaatverfahren: Erstens ein erhöhter Unkrautdruck als Folge des Pflugverzichts (MÄDER und BERNER, 2012) und anderer Effekte mechanischer Unkrautregulation. Zweitens eine geringere bodenbürtige Stickstofffreisetzung in dem im Vergleich zur Lockerbodenwirtschaft weniger durchlüfteten und damit kühleren und nasserem, unbearbeiteten Boden. Im Gegensatz zu Nichtleguminosen ist die im späteren Vegetationsverlauf konkurrenzkräftige Ackerbohne auf die bei Verzicht auf intensive Bodenbearbeitung geringere bodenbürtige Stickstofffreisetzung nicht angewiesen; ihr Keimwasserbedarf ist hoch. Durch Nutzung von Körnerleguminosen in geeigneten Fruchtfolgeausschnitten könnte ein zeitweiliger Pflugverzicht ermöglicht werden, mit Auswirkungen auf die Sicherung und Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und Minderung von Erosion. Ziel dieser Arbeit war es zu prüfen, ob mit Direktsaat der Ackerbohne in Ernterestmulch der Vorfrucht Hafer eine hinreichende Unterdrückung annueller Unkräuter als Funktion der Strohmasse möglich ist. Hafer gilt als vergleichsweise konkurrenzkräftiges Getreide mit hoher Unkrautunterdrückung. Mögliche allelopathische Wirkungen dieser Feldfrucht wurden neben dem physikalischen Effekt der Mulchmasse nicht gesondert untersucht. Gemäß den Hinweisen von BARBERI (2002) könnte für die frühe Phase der Entwicklung die homogene Verteilung von mindestens 4 t ha⁻¹ Strohrückständen der Vorfrucht Hafer (*Avena sativa* L.) eine effektive Unkrautunterdrückung gewährleisten und mit nachfolgender Direktsaat der Ackerbohnen eine Diesel und Arbeit einsparende Anbauoption darstellen. In den Jahren 2008-09 und 2009-10 wurden acht Feldversuche an verschiedenen Standorten in Nordrhein Westfalen durchgeführt. Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass mit hinreichender Masse Strohmulch der Vorfrucht Hafer einjährige Unkräuter in Ackerbohne erfolgreich unterdrückt werden können. Zugleich wurde keine signifikante Ertragsminderung der direkt in Strohmulch gesäten Ackerbohnen im Vergleich zu wendender Bodenbearbeitung mit Saatbettbereitung erwartet.

Material und Methoden

In den Sommerhalbjahren 2009 und 2010 wurden acht Feldversuche an fünf Standorten in der Niederrheinischen Bucht unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus durchgeführt (Tab. 1). Vier Feldversuche wurden auf zwei Versuchsbetrieben der Universität Bonn angelegt. Auf der Lehr- und Forschungsstation für Organischen Landbau Wiesengut in Hennef/ Sieg handelt es sich um allochthone braune Auenböden, lehmig-schluffige bis sandig-schluffige Auensedimente mit Ackerzahlen von 60 bis 77. Der Boden war hoch mit Kalium (19-32 mg K/100g Boden, Gehaltsklasse D) und optimal mit Phosphor (10-18 mg P/100g Boden, Gehaltsklasse C) versorgt. Zwei weitere Feldversuche wurden auf der Lehr- und Forschungsstation Frankenforst in Königswinter angelegt (Pseudogley-Parabraunerde und Pseudogley, feinsandiger Lehmboden und toniger Lehmboden, z. T. skelettreich, Ackerzahl: 34/26 und 58/61). Die P- Gehalte entsprachen hier der Gehaltsklasse E (> 33 mg P/100g Boden); die Kalium-Gehalte waren auf beiden Versuchsflächen optimal (10-18 bzw. 14-24 mg K/100g Boden, Gehaltsklasse C). Am Standort Niederkrüchten wurden zwei Feldversuche mit Ackerzahlen von 50 und 65 auf dem Betrieb „Hof Bolten“ angelegt (63 bis 68 m über NN). Die Phosphor- und Kalium-Gehalte waren hoch (19-32 mg P/ 100g Boden, 19-32 mg K/100g Boden; Gehaltsklasse D). Zwei weitere Feldversuche wurden im Versuchsjahr 2010 6 km östlich von Hennef in Petershohn (PHO, Ackerzahl 60, P- und K-Gehalte vglw. niedrig (4-9 mg P/100g Boden, Gehaltsklasse B) bzw. optimal (14-24 mg K/100g Boden, Gehaltsklasse C)) und 20 km nordöstlich von Niederkrüchten auf dem „Stautenhof“ in Willich Anrath (WIL) durchgeführt. Die Versuchsfläche WIL hat eine Ackerzahl von 75 (Lössboden - sandiger Lehm) und liegt auf etwa 37 m NN.

Tab. 1 Versuchsstandorte und klimatische Bedingungen der Feldversuche.

Tab. 1 Study sites and climate conditions at the field trials.

Standort	Versuche	Jahr	Breitengrad	Längengrad	Höhe ü. NN (m)	T ^b (°C)	N ^c mm
Hennef	HEF	2009	N 50°47'25,4	E 7°16'24,1	64	10,8	843
		2010	N 50°47'39,1	E 7°15'55,7	63	9,5	741
Königswinter	KÖG	2009	N 50°42'38,1	E 7°12'41,8	181	10,6	694
		2010	N 50°42'30,6	E 7°12'54,3	189	9,3	635
Niederkrüchten	NIK	2009	N 51°12'57,6	E 6°11'53,9	63	10,7	768
		2010	N 51°12'21,7	E 6°11'24,1	68	9,4	813
Willich-Anrath	WIL	2010	N 51°16'50,8	E 6°28'26,1	37	10,0	718
Petersshohn	PHO	2010	N 50°45'24,1	E 7°19'41,7	151	9,5	741

^b: Jahresmittel Temperatur; ^c: Jahressumme Niederschlag.

Alle Feldversuche wurden vollständig randomisiert als ein-faktorielle Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt. Die Varianten bestanden aus zwei Bodenbearbeitungssystemen zu *V. faba*: Direktsaat (DS) und konventionelle Bodenbearbeitung (Lockerbodensystem, LBS). Nach der Ernte der Vorfrucht Saathafer (10-15 cm Schnitthöhe) wurde in allen Varianten zunächst das Stroh abgefahren und auf 10 cm Schnittlänge gehäckselt. Anschließend wurden 4 t (DS_{4M}) und 6 t ha⁻¹ (DS_{6M}) Haferstroh auf der Oberfläche der jeweiligen Versuchspartellen einheitlich auf den Haferstoppeln ausgebracht. In den Varianten LBS und DS_{0M} wurde kein zusätzliches Stroh angewendet; nur die Stoppeln bedeckten den Boden. In der Referenz-Variante (LBS) wurde die Stoppelbearbeitung mit dem Schwergrubber durchgeführt. Es folgte eine Kreiseleggen-Säkombination, mit der die Winterzwischenfrucht Örettich (*Raphanus sativus*; 25 kg ha⁻¹) ausgebracht wurde. Die Grundbodenbearbeitung zur Ackerbohne erfolgte mit einem 5-Schar-Wendepflug im zeitigen Frühjahr. Im LBS wurde eine mechanische Unkrautregulierung (Hacke) zu den BBCH-Stadien 19 und 37 durchgeführt; in den DS-Varianten wurde keine mechanische Unkrautregulierung durchgeführt. Die Maßnahmen in ihrer zeitlichen Abfolge sind in Abbildung 1 dargestellt.

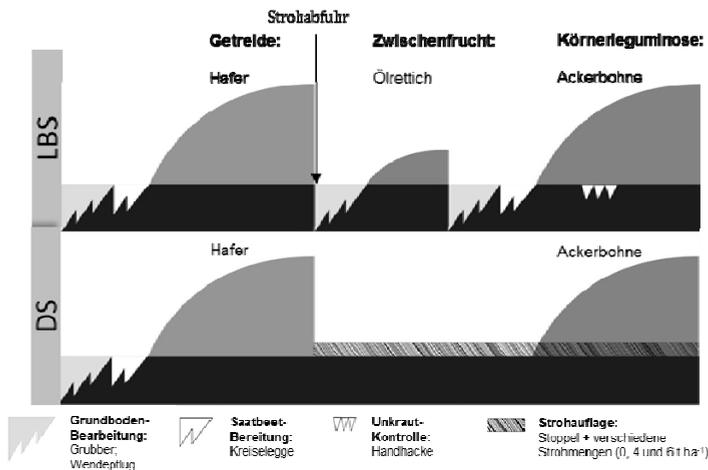


Abb. 1 Maßnahmen und deren Abfolge in den Anbauverfahren Lockerbodensystem (LBS) und Direktsaat (DS).

Fig. 1 Measures used in loose soil husbandry (LBS) and direct seeding (DS) systems.

Die Ackerbohnen wurde auf einer Tiefe von 7 bis 9 cm im März oder April mit einer Einzelkorn-Dreischeiben-Sämaschine (SEMEATO SHM 11/13) und 34 cm Reihenweite gesät. Probleme mit der Saatgutqualität erforderten die Nachsaat in zwei Versuchen (HEF und NIK) im Jahr 2009. Die Sorte *Fuego* wurde dabei mittig zwischen die bereits mit der Sorte *Limbo* gesäten Reihen eingebracht. Somit wurden für diese Versuche 90 Körner m^{-2} gesät und der resultierende Reihenabstand betrug 17 cm. In allen anderen Versuchen wurde mit einer Aussaatstärke von 45 Körnern m^{-2} der Sorte *Fuego* mit einem Reihenabstand von 34 cm gearbeitet. Die Unkrautabundanz (Pflanzen m^{-2}) der natürlich auftretenden Unkrautflora wurde zu Beginn der Vegetationsentwicklung der Ackerbohne (BBCH 09-23) bestimmt. Die Pflanzen der verschiedenen Unkrautarten (Dikotyle, Monokotyle und perennierende Arten) wurden je Parzelle in jeweils vier dauerhaft markierten quadratischen 0,1 m^2 großen Teilflächen quantifiziert. In einem Versuch (HEF10) wurden die aufgelaufenen *Chenopodium album* (CHEAL) Pflanzen eines laufenden Meters innerhalb und zwischen der Ackerbohnen-Drillreihe an vier Orten je Parzelle gezählt. Die Ackerbohnen-Sprossstrockenmasse wurde zweimal je nach Parzellengröße innerhalb eines 0,5 bzw. 0,25 m^2 Rahmens an einem Beprobungstermin (BBCH 55-67) bestimmt. Für die Erfassung des Kornertrages wurden 9,5 m^2 des Parzellenkerns bei Belassung der Randleihen mit einem Parzellen-Mähdröschler (Fa. Hege) beerntet. Der Einfluss der Versuchsfaktoren auf die erhobenen Parameter wurde mittels Varianzanalyse, der Vergleich der Mittelwerte mit dem Tukey-Test ($\alpha = 0,05$) vorgenommen. Die Varianzanalyse wurde mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS (Version 19.) durchgeführt. Zuvor wurden die Daten aller Teilstückstufen auf Normalverteilung geprüft (Shapiro-Wilk-Test). Zwischen den Versuchsfaktoren und den Versuchsstandorten wurden für nahezu alle Unkraut- und Ackerbohnenparameter signifikante Wechselwirkungen festgestellt. Aus diesem Grund werden die Ergebnisse für alle Versuche getrennt dargestellt.

Ergebnisse

Die Abundanz der Unkräuter wurde von den Anbauverfahren unterschiedlich beeinflusst (Tab. 2). Die Erhebungen zeigen, dass in allen Verfahren der Direktsaat (mit und ohne Stroh) eine z. T. signifikant höhere Abundanz perennierender Unkräutern und Gräser vorlag als im LBS. Im Mittel aller Versuche wurde im LBS die Abundanz perennierender Arten und Gräser um 64 bzw. 82 % im Vergleich mit DS (Mittel aller Varianten) vermindert. Jedoch wurde die Abundanz der Gräser im LBS z. T. auch gefördert (im Versuch NIK 2010 signifikant). Der Einfluss der Strohaufgabe auf das Wachstum der Gräser- und perennierenden Arten war standortabhängig. In vier von sieben Versuchen wurde in den DS Varianten mit Stroh eine z. T. signifikant niedrigere Abundanz der Gräser im Vergleich zur Variante DS_{0M} festgestellt (Verminderung um 24-49 % im Mittel aller Versuche). Demgegenüber wurden die perennierenden Arten durch Strohrefeste von 4 und 6 t ha^{-1} im Vergleich zu DS_{0M} nur in einem Versuch deutlich verringert.

Dikotyle Arten traten verstärkt nach konventioneller Bodenbearbeitung sowie nach Direktsaat ohne Strohmulch auf. Die Strohmasse war besonders wirksam gegen dikotyle Arten nicht gegenüber Gräsern und perennierenden Arten. Im Vergleich zur Variante LBS wurde in allen Versuchen eine hinreichende Unterdrückung von zweiblättrigen Unkrautarten in den Varianten DS_{4M} bzw. DS_{6M} festgestellt. Im Mittel aller Versuche war ihre Unkrautabundanz um 81 (23 Pflanzen m^{-2}) bzw. 85 % (18 Pflanzen m^{-2}) nach Direktsaat mit Stroh (DS_{4M} und DS_{6M}) als nach Pflugbearbeitung (121,1 Pflanzen m^{-2}) vermindert (in fünf Versuchen signifikant).

Chenopodium album und *Matricaria* spp. waren die typischen Vertreter dikotyler Arten in allen Versuchen. Die höchste Abundanz der Kamille-Arten wurde nach Direktsaatverfahren (19 Pflanzen m^{-2} , Mittel der Versuche), die höchste Abundanz von *C. album* nach LBS (26 Pflanzen m^{-2}) ermittelt (Tab. 3). Sowohl *Matricaria*-Arten und *C. album* wurden in den Direktsaatvarianten mit Stroh (DS_{4M} und DS_{6M}) um 80 - 86 bzw. 95 - 96 % (5 - 4 bzw. 1 - 0,8 Pflanzen m^{-2} , Mittel der Versuche) im Vergleich mit LBS bzw. DS_{0M} hinreichend vermindert (in fünf bzw. vier Versuchen signifikant).

Tab. 2 Abundanz der untersuchten Unkrauttypen Pflanzen m⁻², BBCH 09-23) in Abhängigkeit von Anbauverfahren und Strohmasse. n.b.: nicht bestimmt.

Tab. 2 Abundance (plants m⁻², GS 09-23) of annual dicots, monocots and perennial weeds as affected by tillage and straw residues. n.b.: not determined.

Unkrautgruppen	Jahr	Versuche	LBS	DS _{0M}	DS _{4M}	DS _{6M}
		HEF	98,2ab	163,0a	12,6bc	5,5c
	2009	KÖG	24,0	61,6	24,0	16,1
		NIK	n.b.	n.b.	n.b.-	n.b.
Dikotyle Arten		WILL	336,3a	279,8a	21,3b	8,8b
		HEF	159,2a	39,8b	28,8b	22,1b
	2010	NIK	156,3	164,8	55,3	40,9
		PHO	50,6ab	83,8a	16,3b	28,1ab
		KÖG	23,4a	4,7b	4,7b	4,1b
		HEF	0,0b	8,0a	1,6b	0,6b
	2009	KÖG	6,8	5,7	7,7	3,6
		NIK	n.b.	n.b.	-n.b.	n.b.
Monokotyle Arten		WILL	1,3b	96,3a	81,9a	80,6a
		HEF	0,8c	36,0a	16,5ab	8,1bc
	2010	NIK	34,1a	9,7ab	1,9b	7,5b
		PHO	0,9c	32,5a	8,4b	4,4bc
		KÖG	12,5	20,0	30,0	15,3
		HEF	26,2b	212,1a	63,8ab	32,2b
	2009	KÖG	1,7b	25,0a	22,2a	12,2a
		NIK	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Perennierende Arten		WILL	5,2	26,5	54,9	43,4
		HEF	0,8b	35,8a	34,0a	27,5a
	2010	NIK	0,0	6,6	2,0	4,4
		PHO	8,0b	30,0ab	40,0a	31,9ab
		KÖG	1,3	3,1	2,2	1,3

Die Abundanz von *C. album* im Versuch HEF im Jahr 2010 war in den DS-Varianten unabhängig von der Strohaufgabe sowohl direkt auf der Ackerbohnen-Drillreihe (Verminderung um 95 %, Mittel aller Faktorstufen) als auch zwischen den Drillreihen (Verminderung um 73 %) signifikant niedriger als im LBS (Abb. 2). Nach Pflugbearbeitung wurde ein signifikanter Unterschied der Abundanz von *C. album* direkt auf und zwischen den Drillreihen festgestellt. Auf der Reihe war als Folge der hier noch weniger wirksamen Hackmaßnahme ein signifikant höheres Auftreten von *C. album* (85 %) als zwischen den Reihen messbar.

Tab. 3 Abundanz (Pflanzen m⁻², BBCH 09-23) von *Chenopodium album* und *Matricaria* spp. in Abhängigkeit von Anbauverfahren und Strohmasse.

Tab. 3 Abundance (plants m⁻²; GS 09-23) of *Chenopodium album* and *Matricaria* spp. as affected by tillage and straw residues.

Unkrautarten	Jahr	Versuche	LBS	DS _{0M}	DS _{4M}	DS _{6M}	
<i>Chenopodium album</i>	2009	HEF	61,7a	7,3b	1,0b	0,7b	
		KÖG	1,2	2,1	1,1	0,0	
		NIK	35,0a	0,0b	0,0b	0,0b	
	2010	WIL	18,1	20,2	3,1	4,4	
		NIK	37,5	94,1	33,1	21,9	
		HEF	44,4a	1,7b	2,7b	1,5b	
		PHO	6,3a	0,0b	0,0b	0,0b	
	<i>Matricaria</i> spp.	2009	KÖG	0,5	0,0	0,0	0,0
			HEF	14,2b	68,9a	3,7b	1,1b
			NIK	31,7a	12,1ab	0,0b	1,7b
2010		WIL	8,1b	46,9a	0,9b	1,3b	
		NIK	5,6	0,0	0,0	0,0	
		HEF	38,3a	7,7b	2,1b	2,1b	
		PHO	0,0b	11,3a	0,6b	0,0b	
		KÖG	0,6	1,9	0,0	0,0	

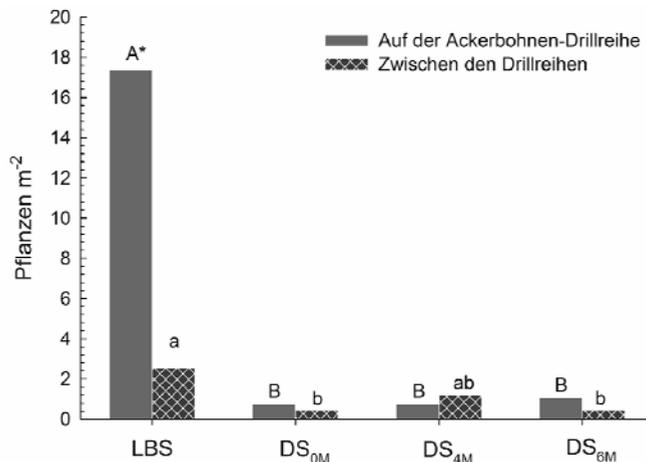


Abb. 2 Einfluss der Anbauverfahren und Strohmenge auf *Chenopodium album* (Pflanzen m⁻²) auf der Ackerbohnen-Drillreihe und zwischen den Drillreihen. Großbuchstaben: Vergleich der Anbauverfahren auf der Reihe; Kleinbuchstaben: Vergleich der Anbauverfahren zwischen den Reihen; Asterisk: *: Vergleich zwischen den Varianten „Auf der Drillreihe“ und „Zwischen den Drillreihen“.

Fig. 2 *Chenopodium album* (numbers of plants m⁻²) in the faba bean seed row and between the rows as affected by tillage and straw residues. Capital letters: comparison between tillage treatments in the seed row; lowercase letters: comparison between tillage treatments between the seed rows; asterisk: comparison between factors 'in the row' and 'between the rows'.

Der fördernde Effekt der Pflugbearbeitung auf die Ackerbohnen-Sprossentwicklung zeigte sich in allen Versuchen (Tab. 4). Die Spross-TM der Ackerbohne war in sechs von acht Versuchen zum frühen Entwicklungsstadium (Beginn der Blüte) im LBS im Vergleich mit mindestens einer DS-Variante signifikant höher. Im Durchschnitt aller Versuche war die Spross-TM nach LBS um 32 % (+ 68 g m⁻²) höher als im System DS (im Mittel der Faktorstufen). Im Versuch PHO war dieser Unterschied von 136 g m⁻² zwischen allen DS-Varianten und dem LBS – entsprechend 173 % höhere Ackerbohne-Spross-TM nach Pflugbearbeitung im Vergleich zum System DS – sehr deutlich ausgeprägt.

Die Kornerträge unterlagen einer hohen Spannweite der Versuchsmittel von 2,1 bis 3,9 t ha⁻¹ (Tab. 4). Im Versuchsjahr 2009 war der mittlere Kornertrag mit 3,2 t ha⁻¹ um etwa 0,6 t ha⁻¹ höher als im Versuchsjahr Jahr 2010. Im Versuchsjahr 2010 waren die Temperaturen im April im Vergleich zum langjährigen Mittel deutlich höher. Gleichzeitig ausbleibender Niederschlag direkt nach der Aussaat führte zu einer langsamen Ackerbohnenentwicklung darauffolgende Trockenperioden im Juni und Juli, verbunden mit über dem langjährigen Mittel liegenden Temperaturen resultierten in einer beschleunigten Abreife und vergleichsweise geringen Kornerträgen.

Tab. 4 Einfluss der Anbauverfahren und Strohmasse auf die Ackerbohnen Sprosstrockenmasse (g m⁻²) zum Beginn der Blüte (BBCH 55-67) und auf den Kornertrag (t TM 86 % ha⁻¹).

Tab. 4 *Faba bean shoot dry matter (g m⁻²) at the beginning of flowering (GS 55-67) and grain yield as affected by tillage system (loose soil husbandry: LBS; Direct seeding: DS) and straw residues.*

Parameter	Jahr	Versuche	LBS	DS _{0M}	DS _{4M}	DS _{6M}
Sprossmasse (g m ⁻²)	2009	HEF	276,6a	194,4b	229,0ab	230,3ab
		KÖG	319,5a	180,1b	190,4b	207,5b
		NIK	253,7a	229,1ab	217,9ab	181,1b
	2010	WILL	159,4	92,8	125,3	150,8
		HEF	106,1	84,7	93,2	101,0
		NIK	208,3a	115,2b	117,9b	95,7b
		PHO	214,5a	61,8b	86,4b	87,6b
		KÖG	167,5a	160,8ab	124,5bc	125,5c
	2009	HEF	3,7ab	3,1b	3,8a	3,9a
KÖG		2,7	2,9	2,7	3,0	
NIK		2,7	2,9	3,4	3,5	
Kornertrag (t 86 %TM ha ⁻¹)	2010	WILL	2,5a	1,2b	2,0ab	2,5a
		HEF	2,1	2,3	2,7	2,5
		NIK	3,6	2,4	2,8	2,1
		PHO	3,9a	1,0b	1,3b	1,4b
		KÖG	3,0	2,8	2,9	2,7

In fünf von acht Versuchen war der Kornertrag in den DS-Parzellen mit Strohmulch höher als in den Parzellen ohne Stroh (Tab. 4). Im Durchschnitt aller Versuche hatten die Ackerbohnen in den Varianten mit Strohmulch einen um 23 bzw. 36 % höheren Kornertrag verglichen mit den Parzellen ohne Mulch. Der Einfluss der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme (LBS vs DS) auf den Kornertrag wies bei Betrachtung aller Versuche keine einheitliche Tendenz auf. Der mittlere Kornertrag im LBS betrug 3,0 t ha⁻¹ und übertraf damit den Ertrag nach Direktsaat (Mittel aller Varianten) um etwa 16 %. Der absolut höchste Ertragsunterschied zwischen LBS (3,9 t ha⁻¹) und

Direktsaat ($1,2 \text{ t ha}^{-1}$) wurde in dem Versuch PHO festgestellt. In zwei weiteren Versuchen an den Standorten Niederkrüchten und Willich wurde im Jahr 2010 ebenfalls ein höherer Ertrag nach Pflug ($3,3$ und $2,6 \text{ t ha}^{-1}$) verglichen mit Direktsaat ($2,3$ und $1,8 \text{ t ha}^{-1}$) festgestellt.

Demgegenüber wurde hypothesengemäß in sieben von acht Versuchen kein signifikanter Einfluss der intensiven Bodenbearbeitung des LBS auf den Kornertrag im Vergleich zu mindestens einer DS-Variante mit Stroh festgestellt (Tab. 4). In vier Fällen (HEF 2009, HEF 2010, NIK 2009 und WIL 2010) wurde ein fördernder Effekt der Strohmenge bei Direktsaat auf den Kornertrag festgestellt. In den Versuchen HEF 2009 und NIK 2009 war der Kornertrag der Variante DS_{6M} z. T. signifikant höher ($+0,2$ und $0,8 \text{ t ha}^{-1}$) als im Lockerbodensystem.

Diskussion

In der vorliegenden Untersuchung war die Bodenbedeckung mit Strohmulch der Varianten DS_{4M} und DS_{6M} im Mittel aller Versuche um 66 bzw. 79 % signifikant höher als in der Variante DS_{0M} (Daten nicht dargestellt). Hypothesengemäß wurde die Abundanz annueller Unkräuter durch vier und sechs Tonnen Stroh (TM) ha^{-1} im System Direktsaat hinreichend verringert. Verschiedene Autoren stellten fest, dass bei zunehmender Mulchmasse verschiedener Pflanzenarten die Lichtinterzeption an der Bodenoberfläche exponentiell abnimmt und demzufolge das Unkrautaufkommen (TEASDALE und MOHLER, 2000). Im Gegensatz zum Lockerbodensystem mit Pflugeinsatz wird im System DS mit Stroh die Lichtinterzeption auf der Bodenoberfläche reduziert und somit der für zahlreiche photosensitive Unkrautsamen hellrote Lichtanteil. Viele Unkrautsamen benötigen einen Lichtreiz, um das Sensorpigment Phytochrom zu aktivieren und ihre Dormanz zu brechen (CASAL und SANCHEZ, 1998). Ein weiterer Erklärungsansatz für das geringe Unkrautaufkommen im Direktsaatverfahren in Strohmulch liegt in dem mechanischen Hindernis der Mulchdecke. Viele schattenintolerante Arten – das schließt die meisten Unkrautarten ein – erreichen den photosynthetischen Licht-Kompensationspunkt selbst unter einer Mulchmasse aus 6 t ha^{-1} (TEASDALE und MOHLER, 1993). Jedoch schöpfen viele Keimlinge unter einer dichten Mulchdecke ihre Energiereserven aus dem Samen vollständig aus, bevor sie das volle Tageslicht erreichen und sterben deshalb ab (HAMRICK und LEE, 1987; FACELLI und PICKETT, 1991). Da im Boden befindliche Unkrautsamen den Lichtreiz zur Keimung vorzugsweise während der Bodenbearbeitung erhalten (SCOPEL *et al.*, 1991), kann ihre Keimung bei Direktsaat gehemmt und dadurch die Anzahl auflaufender Unkräuter vermindert werden.

Neben der physikalischen Wirkung der Strohmasse kommen bei Hafer möglicherweise auch noch allelopathische Wirkungen zum Tragen, die die Keimung von Unkräutern reduzieren können. Bei der Zersetzung von Haferstroh wird die Freisetzung von Phenolsäuren beschrieben, deren Menge in der direkten Umgebung der Residuen hoch genug sein kann, um Keimung und Pflanzenwachstum zu verhindern (GUENZI *et al.*, 1967). Da mit zunehmender Masse des Haferstrohs der Ertrag der Ackerbohne gesteigert wurde und das Haferstroh ca. 6 Monate vor der Aussaat der Ackerbohnen auf der Bodenoberfläche ausgebracht wurde und deshalb die Konzentration der freigesetzten Allelochemikalien in Boden niedrig war, dürfte das Ackerbohnenwachstum kaum beeinträchtigt gewesen sein. Darüber hinaus kann eine niedrigere durchschnittliche Temperatur und Amplitude der Temperaturschwankungen in unbearbeiteten Böden mit Stroh die Keimruhe und Keimung von Unkräutern zusätzlich beeinflussen (BRISTOW, 1988; TEASDALE und MOHLER, 1993; BENECH-ARNOLD *et al.*, 2000). Dieser Sachverhalt ist vermutlich in dem geringeren Anteil luftführender Poren des Bodens mit einer die Sonnenstrahlung reflektierenden Mulchauflage begründet, die zu feuchteren und kühleren Böden im Frühjahr vor allem in den gemäßigten Klimazonen führt.

Die oberflächliche Strohapplikation und der Pflugverzicht bewirkten in der vorliegenden Untersuchung vor allem die Verminderung dikotyler Arten. Besonders wirksam erwies sich die Mulchauflage im System DS mit Stroh gegen die Keimung von Kamille-Arten. Die Verschlammungszeiger *Matricaria* spp. sind photosensitive Unkrautarten (SCOPEL *et al.*, 1991) und werden im System DS hinreichend durch Stroh reduziert. Die höhere Abundanz der Kamille-Arten

im LBS und im DS System ohne Stroh ist vermutlich durch (i) die Bodenversiegelung der weniger geschützten Bodenoberfläche ohne Strohbedeckung begründet und (ii) durch die Fähigkeit im Herbst und Winter nach Pflugverzicht photosynthetisch aktiv zu sein.

Im Zuge der Seneszenz der Ackerbohne kommt es zu verstärktem Blattfall aus dem rasch Stickstoff frei wird. Mit dem ‚Verkahlen‘ der Bestände sinkt die Konkurrenzkraft der Kulturpflanze gegenüber spätkeimenden Unkrautarten beträchtlich, es gelangt mehr Licht in den Bestand und das Risiko der Spätverunkrautung mit *C. album* ist erhöht. Der spätkeimende nitrophile Weiße Gänsefuß ist im üblichen Ackerbohnenanbau ein Problemunkraut. Es gedeiht nach Pflugbearbeitung besonders gut, da durch den Eingriff des Pfluges auch die sekundäre Dormanz mittels hoher Lichteinstrahlung und Bodentemperaturen sowie Stickstoffmineralisation gebrochen wird. Bodenlockerung und ein günstiges Saatbett sowie hohe Stickstoffverfügbarkeit können die Keimung und Entwicklung dieser Art fördern. Im System DS ist die Wahrscheinlichkeit der Brechung der sekundären Dormanz bei ausbleibender Bodenbearbeitung deutlich geringer und die Samen bleiben in Keimruhe. Die Verunkrautung mit *C. album* ist vor allem direkt auf der Ackerbohlen-Drillreihe nach Pflugbearbeitung am höchsten, da die Unkräuter hier durch die Hackschare nicht erreicht und durch den Erdstrom nicht hinreichend bedeckt werden, gleichwohl aber durch die Strohmasse in den Direktsaatvarianten mit belassenen Ernteresten. Temporäre Direktsaat in Strohmulch stellt im Ökologischen Landbau somit eine Möglichkeit zur Kontrolle der Lichtkeimer wie Kamille-Arten und typisch spätkeimenden Arten wie den Weißen Gänsefuß dar.

Zur Regulation von Gräsern und perennierenden Arten ist Direktsaat in Strohmulch ungeeignet. Perennierende Arten können durch die Inanspruchnahme eingelagerter Assimilaten auch Mulchdecken höherer Mächtigkeit durchdringen (TEASDALE und MOHLER, 2000) und realisieren durch ihren Wachstumsvorsprung gegenüber annualen Pflanzen einen Konkurrenzvorteil. Neben der höheren Anreicherung von Diasporen an der Bodenoberfläche verfügen monokotyle Arten über eine nur kurze Dormanz, so dass Keimlinge den photosynthetischen Licht-Kompensationspunkt schneller erreichen können (SPRENGER, 2004). Die Verwendung der Strohmasse als primäre Grundvoraussetzung für Direktsaatverfahren kann folglich nur dann für ackerbauliche Zwecke (Unkrautregulation) im Ökologischen Landbau genutzt werden, wenn der standortbedingte Unkrautdruck mit Perennierenden und Gräsern niedrig ist.

Als Ursachen für die verzögerte Jugendentwicklung der Ackerbohnen im System DS werden in der Literatur vornehmlich die geringere Durchlüftung des dichtlagernden Bodens (niedriger Grobporenanteil) und eine retardierte Stickstoffmineralisation im Frühjahr angegeben (BAEUMER, 1992; LINKE, 1998). Obwohl die Bestände im LBS wüchsiger waren, konnten signifikante Ertragsdifferenzen durch DS mit Strohrestmassen von mindestens 4 t ha⁻¹ in den meisten Fällen vermieden werden. Die höheren Kornerträge der Ackerbohnen nach Direktsaat in Strohmulch erklären sich durch die günstigere Ackerbohnenentwicklung im späteren Vegetationsverlauf und die Kompensation des verzögerten vegetativen Wachstums der Kulturpflanze aufgrund der unkrautunterdrückenden Wirkung der Strohmasse sowie des günstigeren Bodengefüges im Oberboden unter der Mulchdecke. Direktsaat mit Mulch reduziert die Evaporation und kann den Ackerbohnen bei Frühjahrs- und Sommertrockenheit eine günstigere Wasserversorgung – auch durch tiefere Durchwurzelung des Bodens – schaffen, ein Sachverhalt, der insbesondere zum Stadium der Blüte ertragsrelevant ist. Dennoch kann verzögertes Kulturpflanzenwachstum im System DS auch die Gefahr gesteigerter Ertragsunsicherheit bergen. In dem Versuch am Standort Petershohn (PHO) wurde den höchsten Ertragsunterschied zwischen LBS (3,9 t ha⁻¹) und Direktsaat (1,2 t ha⁻¹) festgestellt. Eine Erklärung für den hohen Ertragsunterschied in diesem Versuch liegt in den gegebenen Standorteigenschaften nach Pflugverzicht, zu denen u.a. Staunässe im Frühjahr und mangelnde Belüftung zählten.

Die Machbarkeit der temporären Direktsaat von Ackerbohnen im Ökologischen Landbau wird durch individuelle Standortfaktoren bestimmt, da die Mulchauflage nur annuelle Unkräuter regulieren kann. Entscheidendes Kriterium in der Praxis ist die hohe Verfügbarkeit von Strohmasse. Vor allem für Marktfruchtbetriebe ohne Viehhaltung, die keinen Einstreubedarf für die

Tierhaltung haben, kann der Anbau von Ackerbohnen in Direktsaatverfahren von großer Bedeutung sein. Die produzierten Strohreste der Vorfrucht sind hoch, werden seltener anderweitig genutzt und stehen umfänglicher für den Zweck der Unkrautregulierung zur Verfügung. Der Ansatz ist jedoch mit Opportunitätskosten verbunden, wenn dieses Stroh alternativ verkauft würde. Insbesondere für viehlose Ackerbaubetriebe in der Umstellung kann die Nutzung von Getreidestroh eine geeignete Option zur Unterdrückung annueller Unkräuter in direkt gesäten Ackerbohnen darstellen, weil der Unkrautdruck, vor allem von Gräsern und Wurzelunkräutern, aufgrund der Vorbewirtschaftung i. d. R. gering ist.

Künftig werden die häufiger auftretenden Wetterextreme neue Herausforderung für die Landwirtschaft darstellen. Erosionsgefährdete Betriebe des Ökologischen Landbaus können durch die Anwendung einer temporären Direktsaat von Ackerbohnen in Strohmulch der Hafer-Vorfrucht und der einhergehenden Förderung der Bodenfruchtbarkeit sowohl ökologisch als auch ökonomisch negativen Auswirkungen gegensteuern. In Kombination mit einer mittel- und kurzfristiger Gestaltung der Fruchtfolge wird die Intensität der Bodenbearbeitung individueller angepasst werden (*opportunistic tillage*). Weitere Untersuchungen sind nötig, um die Standorteignung zum erfolgreichen Einsatz temporärer Direktsaat – insbesondere betreffend die Segetalflora, als auch die Entwicklung eines günstigen Bodengefüges unter Mulch – sicher ansprechen zu können.

Danksagung

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Verbundprojektes „Entwicklung neuer Strategien zur Mehrung und optimierten Nutzung der Bodenfruchtbarkeit: Anbau von Ackerbohnen und Körnererbsen mit Mulchsaatverfahren“ durchgeführt und vom „Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft“ gefördert.

Literatur

- CASAL, J. J. und R. A. SANCHEZ, 1998: Phytocromes and seed germination. *Seed Sci. Res.* **8** (3), 317-329.
- BAEUMER, K., 1992: Allgemeiner Pflanzenbau. Stuttgart, Eugen Ulmer GmbH und Co., 544.
- BARBERI, P., 2002: Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? *Weed Res.* **42** (3), 177-193.
- BENECH-ARNOLD, R. L., R. A. SANCHEZ, F. FORCELLA, B. C. KRUK und C. M. GHERSA, 2000: Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. *Field Crop Res.* **67** (2), 105-122.
- BRISTOW, K., 1988: The role of mulch and its architecture in modifying soil temperature. *Aust. J. Soil Res.* **26** (2), 269-280.
- FACELLI, J. M. und S. T. A. PICKETT, 1991: Plant litter: Its dynamics and effects on plant community structure. *Bot. Rev.* **57** (1), 1-32.
- GUENZI, W. D., T. M. MCCALLA und F. A. NORSTADT, 1967: Presence and persistence of phytotoxic substances in wheat oat corn and sorghum residues. *Agron. J.* **59** (2), 163-165.
- HAMRICK, J. L. und J. M. LEE, 1987: Effect of soil surface topography and litter cover on the germination, survival, and growth of musk thistle (*Carduus nutans*). *Am. J. Bot.* **74** (3), 451-457.
- LINKE, C., 1998: Direktsaat - eine Bestandsaufnahme unter besonderer Berücksichtigung technischer, agronomischer und ökonomischer Aspekte. Stuttgart, Institut für Agrartechnik in den Tropen und Subtropen, Universität Hohenheim, 482.
- MÄDER, P. und A. BERNER, 2012: Development of reduced tillage systems in organic farming in Europe. *Renew. Agr. Food Syst.* **27** (1), 7-11.
- SCOPEL, A. L., C. L. BALLARÉ und R. A. SANCHEZ, 1991: Induction of extreme light sensitivity in buried weed seeds and its role in the perception of soil cultivations. *Plant Cell Environ.* **14** (5), 501-508.
- SPRENGER, B., 2004: Populationsdynamik von Ackerwildpflanzen im integrierten und organischen Anbausystem. München, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Technische Universität München, 151.
- TEASDALE, J. R. und C. L. MOHLER, 2000: The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. *Weed Sci.* **48** (3), 385-392.
- TEASDALE, J. R. und C. L. MOHLER, 1993: Light transmittance, soil-temperature, and soil-moisture under residue of hairy vetch and rye. *Agron. J.* **85** (3), 673-680.