

Agronomisches Potenzial eines natürlichen Düngers aus Exkrementen von Fliegenlarven

Hedi Kebli und Sokrat Sinaj

Agroscope, 1260 Nyon, Schweiz

Auskünfte: Sokrat Sinaj, E-Mail: sokrat.sinaj@agroscope.admin.ch



Kulturen von Raigras und Schnittsalat im Gewächshausversuch.

Einleitung

Weltweit gehen gemäss FAO (2013) mit dem Entsorgen von Nahrungsmitteln jährlich rund 750 Milliarden Dollar verloren. Diese Nahrungsmittel können kompostiert oder in Anlagen zur Verwertung von Abfällen in Energie umgewandelt werden, doch bleiben dabei grosse Mengen von Nährstoffen aus den Nahrungsmitteln ungenutzt.

Diese Verschwendung lässt sich durch den Einsatz von Insektenlarven vermeiden, mit deren Hilfe diese Nährstoffe recycelt werden können (Pastor *et al.* 2015). Das

Unternehmen BSF Farms verwendet dazu die Larven der Schwarzen Soldatenfliege *Hermetia illucens* (L.), die nach der Fütterung mit Abfällen pflanzlichen Ursprungs gesammelt und zu Proteinen und Ölen verarbeitet werden. Die gewonnenen Produkte werden anschliessend als Futter für Aquakulturen, für die Aufzucht von Geflügel und andere Nutztiere sowie für Haustiere verwendet. Sie stellen eine wirtschaftlich interessante Alternative zu Fischmehl und Sojaschrot dar. Bei dieser Verarbeitung fällt als Nebenprodukt ein organischer Dünger an, der

aus Exkrementen der Larven gewonnen wird. Die Verwendung dieses neuartigen Düngers schliesst den Nährstoffzyklus und entspricht dem Ziel des Bundesrates, die natürlichen Ressourcen so wirksam wie möglich zu schonen (BLW 2011).

In mehreren vorangehenden Studien wurde bereits die Fähigkeit der Larven untersucht, aus unterschiedlichen Abfällen Proteine zu gewinnen (Cičková *et al.* 2015; Kováčik *et al.* 2014; Pastor *et al.* 2015). Unseres Wissens widmeten sich jedoch bisher nur wenige Untersuchungen der landwirtschaftlichen Nutzung des Nebenprodukts, das bei der Verwertung der pflanzlichen Abfälle durch die Larven anfällt. Deshalb wurden in Kanada während drei Jahren landwirtschaftliche Versuche mit dem Dünger durchgeführt. In Bezug auf das Wachstum und den Ertrag der Pflanzen waren die Ergebnisse vielversprechend. Bevor dieser neuartige Dünger in der Schweizer Landwirtschaft eingesetzt werden kann, müssen die Auswirkungen auf Landwirtschaft und Umwelt im schweizerischen Kontext geprüft werden. Dieser Artikel trägt mit neuem Fachwissen zur Beurteilung dieser Aspekte bei.

Zusammenfassung ■ Aus den Exkrementen von mit pflanzlichen Abfällen gefütterten Larven der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens* L.) wurde ein Dünger gewonnen. Dieser Dünger (BSF Farms) ist reich an organischer Substanz, Makroelementen (N, P, K) und den Spurenelementen Zn und Cu. Der Gehalt an verschiedenen metallischen Spurenelementen (MSE) liegt unter dem zulässigen Grenzwert in der Schweiz. Der Dünger wurde im Gewächshaus bei drei Bodenarten und zwei Kulturen (Raigras und Schnittsalat) getestet. Bei der Produktion von Biomasse ergab der Dünger die besten Ergebnisse auf dem unfruchtbarsten Boden (sauer und sandig). Auf diesem Boden produzierten das Raigras und der Blattsalat mit dem Dünger BSF Farms ebenso viel Biomasse wie mit Mineraldünger. Die Ergebnisse dieser Studie verheissen eine vielversprechende Anwendung dieses Düngers in der konventionellen und/oder biologischen Landwirtschaft.

Kasten | Die Schwarze Soldatenfliege (*Hermetia illucens* L.)



Die Schwarze Soldatenfliege stammt ursprünglich aus Amerika und wurde in tropische und subtropische Gebiete auf der ganzen Welt eingeführt. Die erwachsenen Tiere erreichen eine Körperlänge von 20mm und sind schwarz oder blau. Obwohl ihr Aussehen an eine Wespe erinnert, ist die Schwarze Soldatenfliege harmlos. Sie ernährt sich im Adultstadium nicht mehr, sondern zehrt von den Fettreserven, die sie sich im Larvenstadium angelegt hat. Sie sitzt meistens auf der Vegetation und nähert sich Menschen und Tieren nicht. Weil sie eine sehr hohe Reproduktionsrate und einen nur kurzen Lebenszyklus hat, lässt sie sich leicht im grossen Massstab züchten. Für die Zucht sind insbesondere die vielfältig verwendbaren Larven interessant. www.entomeal.ch

Material und Methoden

Probenahme und Analysen des Düngers und des Bodens

Der Dünger wird vom Unternehmen BSF Farms hergestellt, das die Insekten zur Gewinnung von Proteinen, Ölen und Dünger aus pflanzlichen Abfällen einsetzt. Die folgenden chemischen Eigenschaften wurden bestimmt: pH-H₂O, Gehalt an organischer Substanz (OS) durch Verbrennung, Gesamtgehalte an verschiedenen Elementen (N, P, K, Ca, Mg, Al, Fe, B, Zn, Cu, Ni, Pb, Mo, Cr, Cd) durch Lösung in Fluss- und Perchlorsäure (NF X 31-147, Ciesielski *et al.* 1997), Gehalt an verfügbarem Phosphor (P) durch Extraktion mit Natriumhydrogencarbonat (Olsen *et al.* 1954) und Gehalte an verschiedenen Spurenelementen (Cu, Zn, Pb) durch Extraktion mit CaCl₂ (NEN 5704, Houba *et al.* 1990).

Es wurden drei bezüglich pH-Wert und Textur unterschiedliche Bodenarten verwendet (Tab. 1). Der erste Boden (FRIBO) stammt aus dem Bodenbeobachtungsnetz FRIBO (46°58'7,43"N; 7°11'53,41"E), der zweite Boden (P25) vom Agroscope-Standort Changins (Parzelle P25B, 46°23'57,9"N; 6°13'44,8"E) und der dritte Boden (VEGET) aus der Parzelle eines Gemüseproduktionsbetriebs im Kanton Freiburg (46°58'02,4"N; 7°10'39,6"E). Bei diesen drei Böden wurde der pH-H₂O, die Kationenaustauschkapazität (KAK), die Textur, der Gehalt an OS und der

Tab. 1 | Eigenschaften der Böden, die für die Prüfung des Düngers BSF Farms verwendet wurden

	Textur					Gesamtgehalt										
	pH ^a	Ton	Sand	KAK ^a	OS ^a	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Al	Cu	Zn	Cr	Ni
	H ₂ O	%	%	cmol/kg	g/kg								mg/kg			
FRIBO	5,6	17,5	52,6	5,6	21,2	1,3	0,53	14,5	5,4	3,9	16,2	43,3	10,6	42,7	70,6	25,6
P25	7,4	18,0	38,0	11,0	21,4	1,3	0,80	17,1	6,9	8,0	28,9	56,3	35,8	70,5	123	78,6
VEGET	8,2	20,0	36,2	11,8	27,5	1,4	0,75	19,0	15,9	4,7	16,0	51,1	16,0	58,4	48,8	22,3

^apH, OS und KAK gemessen durch die schweizerischen Standardmethoden (FAL *et al.* 2011). OS: Organische Substanz, KAK: Kationenaustauschkapazität

jeweilige Gesamtgehalt an verschiedenen Elementen (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Al, Cu, Zn, Cr, Ni) gemäss den genannten Methoden bestimmt.

Versuchsanlage

Der Dünger von BSF Farms wurde im Gewächshaus bei Englischem Raigras (*Lolium perenne* L.) und Schnittsalat (Sorte *Lollo rosso*) getestet. Raigras ist der Hauptbestandteil des Graslands in der Schweiz und Schnittsalat das flächenmässig am zweithäufigsten angebaute Gemüse in der Schweiz. Die Böden wurden getrocknet und bei einer Maschengrösse von 5 mm gesiebt. Jeder Topf enthielt 1,3 kg (Boden FRIBO) beziehungsweise 1,5 kg (Böden P25 und VEGET) trockene Erde. Die Temperatur im Gewächshaus wurde zwischen 18 und 25°C gehalten. Einmal pro Woche wurde die Anordnung der Töpfe vollständig und zufällig verändert, um den Einfluss von Temperatur- und Feuchtigkeitsunterschieden im Gewächshaus auszuschliessen. Die Bodenfeuchtigkeit wurde mit demineralisiertem Wasser bei 70% der mit Hilfe

eines Tensiometers gemessenen Feldkapazität gehalten. Es wurden bei beiden Kulturen vier verschiedene Düngungsverfahren angewendet (Tab. 2).

Die Analyse des Düngers BSF Farms zeigte, dass die Anwendung dieses Düngers allein nicht genügt, um den Bedarf der Kulturen gemäss den schweizerischen Düngungsempfehlungen (Sinaj *et al.* 2009) zu decken. Der Dünger wurde deshalb bei Verfahren 3 mit Kaliumchlorid (KCl) und bei Verfahren 4 mit Holzasche ergänzt. Holzasche ist eine K-Quelle und eine natürliche Alternative zu Mineräldüngern (Kebli *et al.* 2017; Maltas *et al.* Sinaj 2011, 2013 & 2014). Bei der Ergänzung des Düngers BSF Farms mit Asche wird also gleichzeitig Holzasche rezykliert. Bezüglich der NPK-Versorgung sind alle Düngungsverfahren gleichwertig. Bei einer Einarbeitungstiefe des Düngers von 10 cm und einer Schüttdichte von 1,4 g/cm³ wurden bei Raigras 180 kg/ha N, 60 kg/ha P und 270 kg/ha K eingetragen. Beim Salat betragen die entsprechenden Gaben 125, 40 und 150 kg/ha. Die N- und K-Gaben entsprachen den Düngungsempfehlungen für diese Kultu-

Tab. 2 | Beschreibung der vier Düngungsverfahren. Bei jedem Element sind die Quelle und die eingebrachte Menge (kg/ha N, P bzw. K) angegeben.

Verfahren	N-Dünger	P-Dünger	K-Dünger
Raigras-Versuch			
1. Kontrolle	–	–	–
2. Mineräldünger	NH ₄ NO ₃ (180)	TSP (60)	KCl (270)
3. BSF Farms (5,5 t/ha) + KCl	BSF Farms (180)	BSF Farms (60)	BSF Farms (165) + KCl (105)
4. BSF Farms (5,5 t/ha) + Asche	BSF Farms (180)	BSF Farms (60)	BSF Farms (165) + Asche (105)
Schnittsalat-Versuch			
1. Kontrolle	–	–	–
2. Mineräldünger	NH ₄ NO ₃ (125)	TSP (40)	KCl (150)
3. BSF Farms (3,8 t/ha) + KCl	BSF Farms (125)	BSF Farms (40)	BSF Farms (115) + KCl (35)
4. BSF Farms (3,8 t/ha) + Asche	BSF Farms (125)	BSF Farms (40)	BSF Farms (115) + Asche (35)

NH₄NO₃: Ammoniumnitrat; TSP: Triple-Superphosphat; KCl: Kaliumchlorid; Asche: Holzasche

ren (Sinaj *et al.* 2009). Die P-Gaben übertrafen dagegen die empfohlene Dosis, weil die Mengen des Düngers BSF Farms nach dem N-Bedarf der Kultur festgelegt wurden. Jedes Verfahren wurde in vier Wiederholungen angewendet. Die Dünger wurden fein gemahlen und zusammen in einer einzigen Gabe vor der Aussaat zugegeben. Nach jedem Raigras-Schnitt wurden 50 Stickstoffeinheiten in Form von Ammoniumnitrat zugeführt. Der Raigras-Versuch wurde über eine Dauer von 112 Tagen durchgeführt, der Salat-Versuch über 40 Tage. Das Raigras wurde alle vier Wochen insgesamt vier Mal geschnitten. Nach jedem Schnitt (oder beim Salat nach der Schlussernte) wurde die Biomasse sowie mit Hilfe der oben genannten Methoden der jeweilige Gesamtgehalt an folgenden Elementen gemessen: C, N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, Ni, Pb, Cd, Cr, Co. Nach der abschliessenden Ernte wurde ausserdem die Biomasse des Wurzelsystems bestimmt.

Statistische Analysen

Die Einflüsse der Verfahren und der Böden wurde durch Varianzanalyse (ANOVA) mit Hilfe der Software R 3.1.1 (R Development Core Team 2014) untersucht. Der Duncan-Test wurde zur Bestimmung der signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Verfahren eingesetzt. Die relative agronomische Effizienz (RAE) eines Elements wurde nach folgender Gleichung berechnet:

RAE (%) = (von der Pflanze entzogene Menge beim getesteten Dünger – von der Pflanze entzogene Menge bei der Kontrolle) / (von der Pflanze entzogene Menge beim Mineraldünger – von der Pflanze entzogene Menge bei der Kontrolle) × 100.

Resultate und Diskussion

Eigenschaften des Düngers BSF Farms

Die Eigenschaften des Düngers BSF Farms sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Der Dünger aus den Exkrementen der Larven der Schwarzen Soldatenfliege weist einen neutralen pH-Wert auf. Er ist reich an organischer Substanz und Makroelementen, insbesondere an N_{total} , P_{total} und K_{total} . Die Verfügbarkeit des eingetragenen P für die Kulturen ist gut: 37,4% des P liegt in verfügbarer Form vor (P-Olsen). Der Dünger enthält auch bedeutende Mengen an Zn und Cu. Die Spurenelemente und die metallischen Spurenelemente (MSE) bleiben aber unter den in der Schweiz zulässigen Grenzwerten für das Ausbringen von Recycling-Dünger auf landwirtschaftlichen Flächen (Tab. 3).

Tab. 3 | Chemische Eigenschaften, Gesamtgehalt und Gehalt an verfügbaren Formen verschiedener Makroelemente, Spurenelemente und MSE des Düngers BSF Farms (Durchschnitt von 4 Proben).

	Dünger BSF Farms		In der Schweiz zulässiger Grenzwert ²
	Mittelwert	VK ¹ (%)	
Organische Substanz (g/kg TS ³)	763,0	0,1	
pH-H ₂ O	7,5	0,5	
Makroelement (g/kg TS)			
N-total	35,4	1,4	
P-total	11,5	1,1	
P-verfügbar	4,3	1,7	
K-total	32,7	2,1	
Ca-total	9,1	6,8	
Mg-total	4,5	1,9	
Spurenelement oder MSE (mg/kg TS)			
Al-total	2,8	3,0	
Fe-total	3,5	2,3	
B-total	0,03	0,4	
Zn-total	252	40,2	400
Zn-verfügbar	7,2	0,4	
Cu-total	25,8	5,3	100
Cu-verfügbar	3,6	7,6	
Ni-total	8,7	8,5	30
Pb-total	1,4	11,7	120
Pb-verfügbar	$7,6 \cdot 10^{-6}$	10,8	
Mo-total	2,3	1,4	
Cr-total	13,8	7,6	
Cd-total	0,4	8,9	1
Cd-verfügbar	0,03	0,6	

¹Variationskoeffizient; ²Gemäss Anhang 2.6 Ziffer 2.2.1 ChemRRV (SR 814.81, 2011);

³Trockensubstanz.

Tab. 4 | Durch die oberirdischen Pflanzenteile von Raigras produzierte Trockensubstanz (g/Topf, Durchschnitt aus vier Schnitten) nach Bodenart. Unterschiedliche Buchstaben bei den einzelnen Bodenarten bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) gemäss Duncan-Test. Ausserdem sind die Wahrscheinlichkeiten (p -value) der Gesamteffekte (ANOVA) der Verfahren, der Effekte des Bodens und der Interaktion Boden*Verfahren angegeben (*: $p < 0,05$, *: $p < 0,001$).**

Verfahren	FRIBO		Boden P25		VEGET		Effekt Boden	Interaktion Verfahren*Boden
	Trockensubstanz oberirdische Pflanzenteile (g/Topf)							
Kontrolle	2,27	b	1,58	d	3,50	b		
Mineraldünger	4,10	a	4,99	a	4,40	a		
BSF Farms + KCl	4,16	a	4,22	b	3,95	ab		
BSF Farms + Asche	4,12	a	3,60	c	4,15	a		
<i>p</i> -value		***		***		*	*	***

Wirkungen auf die Produktion von Biomasse

Die Biomasse der gesamten oberirdischen Pflanzenteile von Raigras ist bei allen Düngungsverfahren höher als bei der ungedüngten Kontrolle. Auf den Böden FRIBO und VEGET bewirkt der Dünger BSF Farms (in Kombination mit Asche oder KCl) bei Raigras eine ebenso hohe Produktion trockener Biomasse wie die Anwendung von Mineraldünger (Tab. 4). Auf dem Boden P25 wurde mit Mineraldünger der höchste Zuwachs an Biomasse erreicht. Insgesamt folgt die Biomasse des Wurzelsystems demselben Trend wie bei der oberirdischen Biomasse (Daten nicht aufgeführt).

Bei Salat hängt der Effekt der Verfahren auf die Produktion von Biomasse von der Art des Bodens ab. Auf dem Boden FRIBO wurde mit dem Dünger BSF Farms unabhängig davon, ob er mit Asche oder KCL kombiniert war, eine höhere Produktion von Trockensubstanz erreicht als mit Mineraldünger (Tab. 5). Diese Zunahme von Biomasse lässt sich mit dem Anstieg des pH-Werts beim Boden FRIBO (saurer Boden) nach der Gabe des Düngers BSF Farms und/oder von Asche erklären. Bei den beiden anderen Bodenarten war die Biomasseproduktion mit dem Mineraldünger signifikant höher, wahrscheinlich wegen der besseren Verfügbarkeit der Elemente. Bei den Salatwurzeln liess sich insgesamt derselbe, allerdings etwas weniger ausgeprägte Trend beobachten (Tab. 5).

Tab. 5 | Durch die oberirdischen Pflanzenteile und das Wurzelsystem von Salat produzierte Trockensubstanz (g/Topf) nach der Art des Bodens. Unterschiedliche Buchstaben bei den einzelnen Bodenarten bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) gemäss Duncan-Test. Ausserdem sind die Wahrscheinlichkeiten (p -value) der Gesamteffekte (ANOVA) der Verfahren, der Effekte des Bodens und der Interaktion Boden*Verfahren angegeben (*: $p < 0,05$, ***: $p < 0,001$).

	FRIBO	Boden P25	VEGET	Effekt Boden	Interaktion Verfahren* Boden
Verfahren	Trockensubstanz oberirdische Pflanzenteile (g/Topf)				
Kontrolle	3,31 c	3,07 c	3,96 c		
Mineraldünger	4,61 b	7,07 a	7,11 a		
BSF Farms + KCl	4,90 ab	3,71 b	4,97 b		
BSF Farms + Asche	5,61 a	3,70 b	5,38 b		
<i>p</i> -value	***	***	***	***	***
	Trockensubstanz Wurzelsystem (g/Topf)				
Kontrolle	0,81 a	1,29 a	1,64 b		
Mineraldünger	1,06 a	2,10 a	3,72 a		
BSF Farms + KCl	2,00 a	1,65 a	2,29 b		
BSF Farms + Asche	1,93 a	1,58 a	2,38 b		
<i>p</i> -value	0,17	0,28	*	***	*

Wirkungen auf den Gehalt an verschiedenen Elementen

Beim Raigras folgen die Konzentrationen der verschiedenen Elemente bei allen drei Böden demselben Trend (Abb. 1). Mit dem Dünger BSF Farms weist das Raigras einen niedrigeren Gehalt an N, Ca und Mg im Vergleich zum Mineraldünger und zum Kontrollverfahren auf. Aufgrund der Werte für die RPE (Tab. 6) und des höheren N-Gehalts bei der Anwendung von Mineraldünger lässt sich vermuten, dass der Stickstoff des Düngers BSF Farms für die Pflanzen nicht vollständig verfügbar war. Bei der Berechnung der Dosis war jedoch angenommen worden, dass der N zu 100% verfügbar ist. Dass der N-Gehalt bei den Pflanzen im Kontrollverfahren ohne Düngung ebenfalls höher lag, lässt sich mit der geringeren produzierten Biomasse bei diesem Verfahren erklären (Konzentrierung). Der umgekehrte, bei Pflanzen mit höherer Produktion von Trockensubstanz beobachtete Effekt der Verdünnung lässt sich durch den Transport von Nährstoffen in die wachsenden Organe mit hoher metabolischer Aktivität erklären (Marschner 2012; White et al. 2012). Der hohe K-Gehalt in den drei Verfahren mit Düngung deutet auf einen Luxuskonsum dieses Elements durch das Raigras hin. Die tieferen Gehalte an Ca und Mg wären dann auf den Antagonismus zwischen K und Ca/Mg zurückzuführen (Marschner 2012). Beim P-Gehalt wurde kein Unterschied zwischen den verschiedenen Düngungsverfahren festgestellt.

Bezüglich der Spurenelemente weisen die gedüngten Pflanzen im Allgemeinen tiefere Gehalte auf als die ungedüngten Pflanzen, wahrscheinlich wegen dem Verdünnungseffekt (siehe oben). Bemerkenswert ist der höhere B-Gehalt bei der Düngung mit Asche im Vergleich zum Einsatz von Mineraldünger. Ursache dafür ist der höhere Eintrag von B durch Asche (Maltas und Sinaj 2011, 2013 und 2014). Der Mn-Gehalt ist bei beiden Verfahren mit dem Dünger BSF Farms niedriger, wobei der Effekt bei diesem Dünger ohne Ergänzung mit Asche ausgeprägter ist. Wahrscheinlich führte die Asche wegen dem hohen Gehalt an Ca und Mg zu einem höheren pH-Wert des Bodens, wodurch die Verfügbarkeit des Mn eingeschränkt wurde (Marschner 2012). Es liessen sich bei der Anwendung des Düngers BSF Farms gegenüber Mineraldünger ausserdem tendenziell tiefere Gehalte an Ni, Zn und Cd feststellen. Die Konzentrationen der MSE im Dünger BSF Farms liegen unter den zulässigen Grenzwerten (Tab. 3) und der Dünger BSF Farms scheint die Aufnahme durch das Raigras zu reduzieren.

Beim Salat schwankt die Wirkung der Düngungsverfahren je nach Art des Bodens und je nach dem betroffenen Element stark (Abb. 1). Bezüglich der Makroelemente wurden relativ ähnliche Trends bei den Böden P25

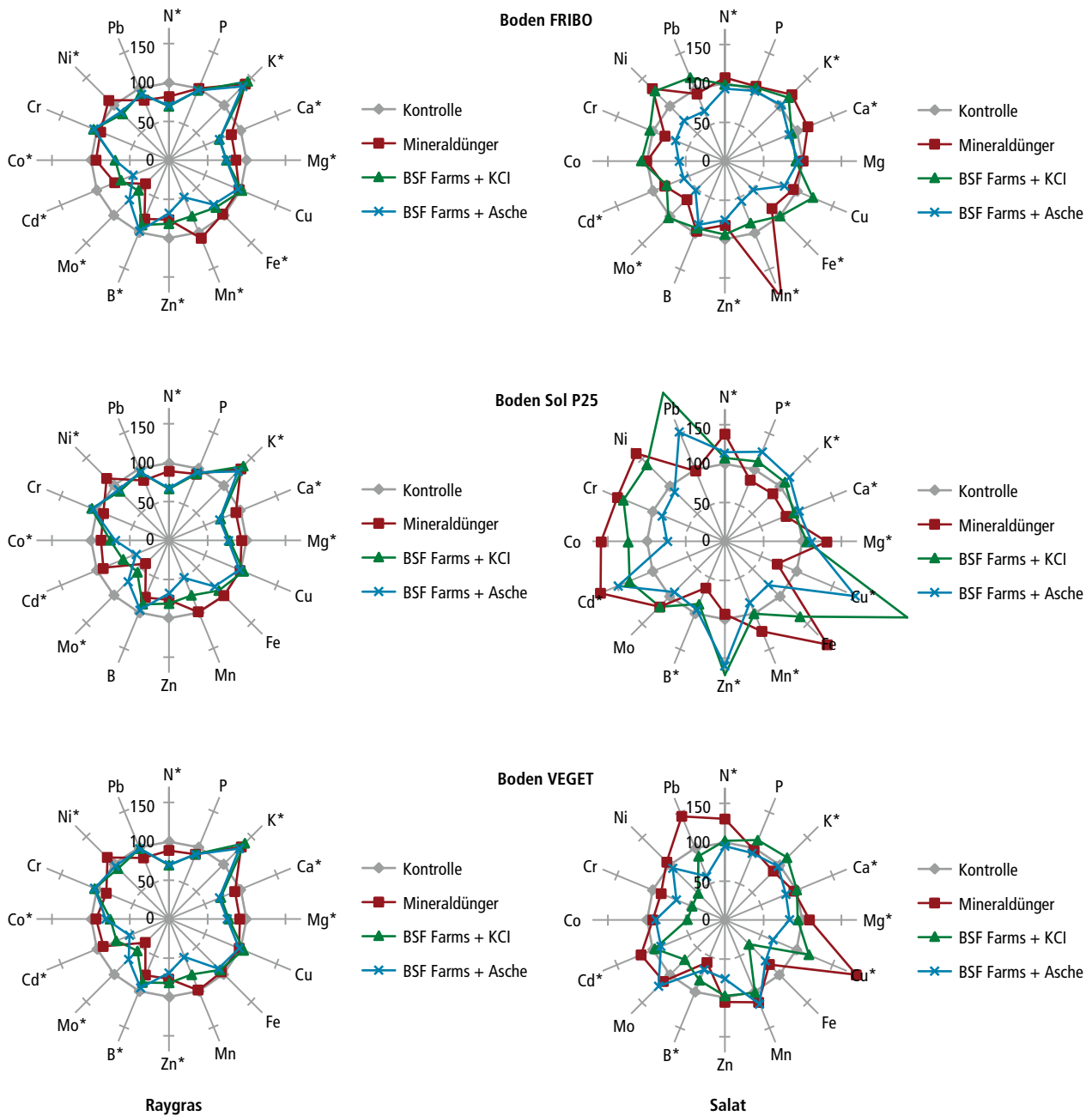


Abb. 1 | Gehalte der oberirdischen Pflanzenteile von Raygras (links) und Salat (rechts) an verschiedenen Elementen. Die Ergebnisse sind als relative Werte gemessen am Kontrollverfahren dargestellt. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Verfahren sind mit einem Sternchen gekennzeichnet.

und VEGET festgestellt, die sich leicht von den Trends beim Boden FRIBO unterscheiden. Dieser Unterschied lässt sich auf die besonderen Eigenschaften des Bodens FRIBO zurückführen: Er ist sauer, sandig und nährstoffarm (Tab. 1). Auf dem Boden FRIBO wird der P-Gehalt der oberirdischen Pflanzenteile des Salats nicht vom Düngungsverfahren beeinflusst. Insgesamt verfügt mit Mineraldünger versorgter Salat wegen der besseren Verfügbarkeit der in Mineraldüngern enthaltenen Ele-

mente über einen höheren Gehalt an den verschiedenen Makroelementen (N, K, Ca, Mg). Diese Unterschiede des Gehalts hatten keinen Einfluss auf die Produktion von Biomasse (Tab. 5), was auf einen Luxuskonsum des Salats beim Boden FRIBO deutet. Bei den Böden P25 und VEGET hat das Verfahren mit Mineraldünger gegenüber den übrigen Verfahren eine Verminderung der Gehalte an P, K und Ca zur Folge, vermutlich aufgrund eines Verdünnungseffekts. Tatsächlich war die produzierte Bio-

Tab. 6 | Relative pflanzenbauliche Effizienz (RPE) des Düngers BSF Farms ergänzt durch KCl oder Asche bei den Raigras- und Salatkulturen auf den drei verschiedenen Bodenarten.

Boden	FRIBO		P25		VEGET	
	BSF Farms + KCl	BSF Farms + Asche	BSF Farms+ KCl	BSF Farms+ Asche	BSF Farms+ KCl	BSF Farms+ Asche
Raigras						
N	41,9%	60,8%	31,0%	31,5%	22,8%	25,3%
P	92,9%	80,3%	70,9%	81,2%	73,8%	89,2%
K	104,2%	93,2%	79,5%	69,5%	76,1%	69,4%
Salat						
N	360,8%	308,2%	29,2%	33,9%	22,3%	20,2%
P	540,0%	464,3%	70,1%	99,6%	46,4%	35,4%
K	331,1%	251,8%	64,2%	78,5%	20,1%	43,8%

masse bei der Anwendung von Mineraldünger (Boden P25) doppelt so hoch wie bei der Kontrolle (Tab. 5). Wenn der Salat mit dem Dünger BSF Farms ergänzt mit Asche auf dem Boden FRIBO wächst, ist der Gehalt an verschiedenen Spurenelementen niedriger (Abb. 1). Diese reduzierte Aufnahme ist darauf zurückzuführen, dass die Spurenelemente in diesem Düngungsverfahren wegen des erhöhten pH-Wertes des Bodens nach der Zugabe von Asche weniger gut verfügbar sind (Demeyer *et al.* 2001). Der Mn-Gehalt ist im Verfahren mit Mineraldünger signifikant höher. Andere Autoren haben ebenfalls eine Erhöhung des Gehalts an Mn bei einer mineralischen Düngung festgestellt (Hemingway 1962). Insgesamt führen die Verfahren mit dem Dünger BSF Farms zu ähnlichen oder höheren Gehalten an Spurenelementen im Vergleich zum Kontrollverfahren. Der tiefere Gehalt an Cu und Zn bei der Anwendung von Mineraldünger im Vergleich zum Dünger BSF Farms hängt wahrscheinlich mit den hohen zugeführten Mengen dieser Elemente durch den Dünger BSF Farms zusammen (Tab. 3). Beim Boden VEGET führt die mineralische Düngung zu einem signifikant höheren Cu-Gehalt (Abb. 1). Dieser Boden weist den höchsten Gehalt an organischer Substanz auf (Tab. 1) und durch die Gabe von organischem Dünger kann das Phänomen der Bindung von Cu an organische Substanz verstärkt werden (Marschner 2012).

Relative agronomische Effizienz

Die RPE wird ausgedrückt als prozentualer Anteil im Vergleich zum Referenzdünger (hier der Mineraldünger). Bei den Böden P25 und VEGET ist die Wirksamkeit des Düngers BSF Farms geringer als jene des Mineraldüngers, insbesondere bezüglich des Stickstoffs (Tab. 6). Dagegen ist die Wirksamkeit des Düngers BSF Farms beim Boden FRIBO und beim Salat je nach dem betrachteten Element 2,5 bis 5,4 Mal höher. Der nach der Anwendung des Dün-

gers BSF Farms erhöhte pH-Wert beim Boden FRIBO (saurer Boden) verbesserte vermutlich die Verfügbarkeit der durch den Dünger eingebrachten Elemente.

Schlussfolgerungen

Der aus den Exkrementen der Larven der Schwarzen Soldatenfliege gewonnene Dünger BSF Farms ist ein bezüglich des Gesamtgehalts an N und K ausgewogener organischer Dünger, der auch P in pflanzenverfügbarer Form bereitstellt. In dieser Studie mit Raigras und Salat stellten wir keine toxische Wirkung dieses Düngers fest. Im Vergleich zum ungedüngten Verfahren (Kontrolle) konnte mit dem Dünger BSF Farms unter kontrollierten Bedingungen eine erhöhte Produktion von Biomasse erreicht werden. Dieser Dünger ist insbesondere für wenig fruchtbare Böden (sauer und sandig) interessant und in geringerem Ausmass auch für Böden mit hohem Gehalt an organischer Substanz. Bei diesen Böden war die Biomasseproduktion gleichwertig wie mit einem herkömmlichen Mineraldünger. Besonders lohnend ist die Anwendung des organischen Düngers bei der Salatkultur auf saurem Boden, wenn er mit Asche ergänzt wird. In diesem Fall übersteigt die Produktion von Biomasse den Wert, der bei einer Anwendung herkömmlicher Mineraldünger erreicht wird. Gemäss diesen Ergebnissen stellt der untersuchte organische Dünger eine vielversprechende Alternative zu Mineraldüngern dar, insbesondere wenn er zusammen mit Holzasche eingesetzt wird. Zur Untersuchung der Wirkung dieses Düngers bei einer Anwendung im Feld sind jedoch weitere Versuche erforderlich. ■

Dank

Die Autoren danken dem Unternehmen BSF Farms in Genf für die Finanzierung dieser Studie und Said Elfouki für die technische Unterstützung und die geleistete Arbeit.

Riassunto

Potenziale agronomico di un concime naturale a base di digestati di larve di mosche

È stato sviluppato un concime composto da digestati di larve della mosca soldato nera (*Hermetia illucens* L.) alimentate con resti vegetali. Questo concime (BSF Farms) è una fonte importante di materia organica e di macro elementi (N, P, K), così come di microelementi quali lo Zn e il Cu. I suoi tenori in metalli pesanti restano sotto la soglia massima autorizzata in Svizzera. Il concime è stato testato in serra in tre tipi di suolo e due colture: il loglio e la lattuga. Per quanto concerne la produzione di biomassa, il concime ha dato i migliori risultati sul suolo con una fertilità più ridotta (suolo acido e sabbioso). In questo suolo, il loglio e la lattuga hanno prodotto la stessa quantità di biomassa con il concime BSF Farms rispetto ai concimi minerali. Lo studio suggerisce un uso promettente di questo concime per l'uso nell'agricoltura convenzionale e/o biologica.

Summary

Agronomic potential of a natural fertiliser based on fly larvae frass

A fertiliser has been developed from the digestates (frass) of the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) when fed on plant waste. Produced by BSF Farms, this fertiliser is a rich source of organic matter and macroelements (N, P, K), as well as microelements such as Zn and Cu. Its trace-metal element (TME) content remains below the maximum permitted thresholds in Switzerland. The fertiliser has been tested in a greenhouse on three types of soil and two crops, ryegrass and lettuce. In terms of biomass production, the fertiliser produced the best results on the least fertile soil (acid and sandy soil). On this soil, the ryegrass and lettuce produced as much biomass with the BSF Farms fertiliser as with mineral fertilisers. This study suggests that the use of this fertiliser would be a promising strategy in conventional and/or organic farming.

Key words: natural fertilizer, organic waste recycling, organic farming.

Literatur

- Ciesielski H., Proix N. & Sterckeman T., 1997. Détermination des incertitudes liées à une méthode de mise en solution des sols et sédiments par étude inter-laboratoire. *Analisis* **25**, 188–192.
- Čičková H, Newton G.L., Lacy R.C. & Kozánek M., 2015. The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste Management* **35**, 68–80.
- Demeyer A., Voundi Nkana J. C. & Verloo M. G., 2001. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Biore-source Technology* **77**, 287–295.
- FAL, RAC & FAW. 2011. Schweizerische Referenzmethoden der Eidg. landwirtschaftlichen Forschungsanstalten, Bd. 1. Agroscope.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2013. Food wastage footprint-Impacts on natural resources: summary report. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Hemingway R., 1962. Copper, molybdenum, manganese and iron contents of herbage as influenced by fertilizer treatments over a three-year period. *Grass and Forage Science* **17**, 182–187.
- Houba V., Novozamsky I., Lexmond T. M. & Van der Lee J., 1990. Applicability of 0.01 M CaCl₂ as a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes. *Communications in Soil Science & Plant Analysis* **21**, 2281–2290.
- Kebli H., Maltas A. & Sinaj S. 2017. Landwirtschaftliches Potenzial von Asche aus rezykliertem Holz. *Agrarforschung Schweiz* **8** (1), 30–37.
- Kováčik P., Kozánek M., Takáč P., Galliková M. & Varga L., 2014. The effect of pig manure fermented by larvae of house flies on the yield parameters of sunflowers (*Helianthus annuus* L.). *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis* **58**, 147–154.
- Maltas A. & Sinaj S., 2011. Intérêts agronomiques des cendres humides de la centrale Enerbois. Agroscope. 26 S.
- Maltas A. & Sinaj S., 2013. Effets des cendres de bois de la centrale Enerbois sur les propriétés du sol, le rendement des cultures et la qualité des récoltes. Agroscope. 63 S.
- Maltas A. & S. Sinaj., 2014. Holzasche: ein neuer Dünger für die Landwirtschaft. *Agrarforschung Schweiz* **5** (6), 323–329.
- Marschner M., 2012. Mineral nutrition of higher plant, third edition, 889 p.
- BLW, 2011. Vernehmlassung zur Agrarpolitik 2014–2017. Presseunterlagen. 23. März 2011. 10 S.
- Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS & Dean LA., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular* **939**, 1–19.
- Pastor B., Velasquez Y., Gobbi P. & Rojo S., 2015. Conversion of organic wastes into fly larval biomass: bottlenecks and challenges. *Journal of Insects as Food and Feed* **1**, 179–193.
- Sinaj S., Richner W., Flisch R. & Charles R., 2009. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUDAF). *Agrarforschung Schweiz*. **16** (2), 1–97.
- White P.J., 2012. Long-distance transport in the xylem and phloem. In: Marschner's mineral nutrition of higher plants, 3rd edn Academic, London, 49–70.