

Eignung von drei abfrierenden Gründungs- mischungen im pfluglosen biologischen Maisanbau

Pascale Sperling, Michael Rauch und Hans Ramseier

Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften BFH-HAFL, 3052 Zollikofen, Schweiz

Auskünfte: Pascale Sperling, E-Mail: pascale.sperling@bfh.ch

<https://doi.org/10.34776/afs12-25> Publikationsdatum: 25. Februar 2021



Abb. 1 | Leguminosenreiche Gründungs-mischungen bringen nicht nur viel Stickstoff in das System, sondern können je nach Zusammensetzung den Boden rasch abdecken und Unkraut unterdrücken. (Foto: Pascale Sperling, BFH-HAFL)

Zusammenfassung

Stickstoff ist besonders auf viehlosen oder viehschwachen Ackerbaubetrieben in der biologischen Landwirtschaft ein rares Element. In einem angewandten Forschungsprojekt wurden die drei abfrierenden Gründungs-mischungen «ML1», «MS1» und «ML2» mit unterschiedlichem Arten- und Leguminosenanteil entwickelt und in Bezug auf Bodenbedeckung, Unkrautunterdrückung sowie Konservierung und Umsetzung von Stickstoff untersucht. Zusätzlich wurde die Auswirkung der reduzierten Bodenbearbeitung auf biologisch angebauten Mais mit dem Pflugeinsatz verglichen. Die Resultate zeigten, dass spätestens 40 Tage nach der Saat alle drei Gründungs-mischungen den Boden zwischen 74 und 91 % abdeckten. Nach dem Abfrieren Ende des Winters deckten die beiden leguminosenreichen Mischungen ML1 und insbesondere ML2

den Boden aber bis zu 20 % mehr ab und unterdrückten dadurch das Unkraut effektiver als MS1. In den Streifenversuchen erzielte die Mischung ML2 mit 58 % Leguminosenanteil und einem Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis von 12 einen deutlich höheren Stickstofftrag von 174 kg N/ha im Vergleich zur Mischung MS1 mit 132 kg N/ha (32 % Leguminosenanteil). Die positive Auswirkung der Mischung ML2 auf die Folgekultur Mais konnte in der früheren Phase der Jugendentwicklung in Bezug auf die Höhe der Maispflanzen gezeigt werden, unabhängig von der Art der Bodenbearbeitung. Auf den Ertrag von Mais hatte schlussendlich aber ausschliesslich der Pflugeinsatz einen positiven Effekt.

Key words: green manure mixtures, organic maize production, reduced tillage.

Einleitung

Wichtige Funktionen von Gründüngungspflanzen sind die Erhaltung und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit. Sie durchwurzeln und lockern einerseits den Boden, andererseits bedecken sie die Bodenoberfläche und können so vor Erosion und Nährstoffauswaschung schützen. Zudem kann sich durch die Konkurrenz Unkraut weniger stark vermehren. Nach der Ernte einer Ackerkultur konservieren Gründüngungen die im Boden verfügbaren Nährstoffe, bis die organische Substanz wieder abgebaut wird. Dadurch kann Stickstoffauswaschung reduziert werden (Thorup-Kristensen *et al.* 2003; Justes *et al.* 2012). Untersuchungen haben gezeigt, dass der Einsatz von Gründüngungen insbesondere im biologischen Landbau und bei reduzierter Bodenbearbeitung zu einer ökologischen Intensivierung beitragen kann (Wittwer *et al.* 2017).

Im biologischen Ackerbau und auf Betrieben mit einem geringen oder gar keinem Tierbesatz eignen sich Leguminosen als Gründüngungspflanzen besonders gut, wenn in der Fruchtfolge nicht bereits ein hoher Anteil vorkommt. Durch die Stickstofffixierung bringen sie zusätzlichen Stickstoff in das System und können so fehlenden Hofdünger oder teuren Handelsdünger teilweise ersetzen (Sinaj *et al.* 2017). Der Einsatz von Leguminosen als Gründüngung macht insbesondere vor stark zehrenden Kulturen wie Mais Sinn, wenn kein Zwischenfutter angebaut werden muss. Zudem eignen sie sich gut für die pfluglose Bodenbearbeitung, da sie sich im Vergleich zu einem gräserreichen Zwischenfutter relativ einfach einarbeiten lassen.

Ein interessanter Ansatz ist die Verwendung einer Kombination von mehreren Gründüngungspflanzen in Form von Mischungen. Mischungen – wie sie im schweizeri-

schen Futterbau mit den Standardmischungen seit Jahren erfolgreich eingesetzt werden – haben den Vorteil, dass sich die unterschiedlichen positiven Eigenschaften der einzelnen Pflanzen ergänzen und so Synergieeffekte entstehen. Mischungen unterdrücken beispielsweise das Unkraut besser (Justes *et al.* 2012) und produzieren mehr Biomasse als Reinkulturen (Cardinale *et al.* 2007). Zudem sind sie effizienter in der Nutzung von Ressourcen. Von Gras-Leguminosen-Mischungen ist bekannt, dass sie im Vergleich zu Reinsaaten einen höheren Stickstofftrag liefern (Nyfeler *et al.* 2011).

Eine besondere Herausforderung beim Einsatz von Gründüngungsmischungen ist die rechtzeitige Freisetzung und Verfügbarkeit der gespeicherten Nährstoffe, insbesondere von Stickstoff, für die Folgekultur. Entscheidend für die Umsetzung von Stickstoff ist das optimale Verhältnis zwischen Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N) in der Gründüngungsmischung (Sinaj *et al.* 2017). Mit unterschiedlichen Pflanzenarten und Anteilen in Mischungen kann die Stickstoffmineralisierung beim Abbau der Biomasse in gewisser Masse gesteuert werden. Ein höherer Leguminosenanteil in der Mischung ermöglicht ein enges C/N-Verhältnis und eine schnellere N-Mineralisierung (Justes *et al.* 2012). Stärker verholzende Gründüngungspflanzen weisen dagegen einen höheren C-Gehalt auf und können bei anfänglichem Abbau sogar zu einer Immobilisierung von N im Boden führen (Sinaj *et al.* 2017). Die Freisetzung von Stickstoff wird, abgesehen von der Pflanzenart und der Mischungszusammensetzung, auch vom Zeitpunkt und der Art der Bodenbearbeitung beeinflusst, dem Bodentyp sowie von der Temperatur, Feuchtigkeit und biologischen Aktivität im Boden (ebd.).

Für die in diesem Projekt untersuchten Gründüngungsmischungen wurden Arten gewählt, die eine starke

Tab. 1 | Botanische Zusammensetzung, Saatmenge und geschätzte Saatgutkosten der drei untersuchten Gründüngungsmischungen ML1, MS1 und ML2.

| Art (lat.) | Art (dt.) | Saatmenge (kg/ha) | | |
|--|-------------------------|-------------------|---------------|---------------|
| | | ML1 | MS1 | ML2 |
| <i>Pisum sativum subsp. arvense</i> L. | Grasigerbse/Futtererbse | 47,25 | 13,50 | 47,25 |
| <i>Vicia sativa</i> L. | Sommerwicke | 31,50 | 31,50 | 4,50 |
| <i>Trifolium alexandrinum</i> L. | Alexandrinerklee | – | 9,45 | 8,10 |
| <i>Trifolium resupinatum</i> L. | Perserklee | 4,50 | – | – |
| <i>Trifolium incarnatum</i> L. | Inkarnatklee | – | – | 5,40 |
| <i>Helianthus annuus</i> L. | Sonnenblume | – | 3,60 | – |
| <i>Phacelia tanacetifolia</i> Benth. | Phacelia/Büschelblume | 0,90 | 0,90 | 0,90 |
| Total Saatmenge | | 84,15 | 58,95 | 66,15 |
| geschätzte Saatgutkosten (CHF/ha) | | 243,60 | 191,75 | 221,10 |

Tab. 2 | Standorte und Saat- resp. Erntetermin der Streifenversuche von 2017–18 sowie 2018–19

| Jahr | Standort, Kanton | Höhe (mü.M.) | Versuchsfläche (a) | Saattermin | | Bodenbearbeitung vor Maissaat | Ertragserhebung Mais |
|---------|------------------|--------------|--------------------|-------------|------------|-------------------------------|----------------------|
| | | | | Gründüngung | Mais | | |
| 2017–18 | Oppligen, BE | 575 | 60 | 15.08.2017 | 23.04.2018 | 2 Wochen | 20.08.2018 |
| | Jaberg, BE | 545 | 30 | 15.08.2017 | 08.05.2018 | 3 Wochen | 29.08.2018 |
| | Ueberstorf, FR | 675 | 60 | 17.08.2017 | 09.05.2018 | 3 Wochen | 18.09.2018 |
| 2018–19 | Oppligen, BE | 560 | 60 | 08.08.2018 | 25.04.2019 | 3 Wochen | 11.09.2019 |
| | Ueberstorf, FR | 710 | 80 | 08.08.2018 | 24.05.2019 | direkt vorher | 18.09.2019 |
| | Vielbringen, BE | 570 | 150 | 17.08.2018 | 03.06.2019 | > 1 Monat | 30.09.2019 |
| | Steffisburg, BE | 625 | 100 | 22.08.2018 | 01.06.2019 | > 1 Monat | 30.09.2019 |

Konkurrenzkraft gegen Unkräuter haben, eine hohe Kapazität für die Stickstoffaufnahme und/oder -fixierung mitbringen, zur Humuserhaltung beitragen und sich für die reduzierte Bodenbearbeitung im Biolandbau eignen. Diese Arten wurden auf der Grundlage der Arbeit von Büchi *et al.* (2015) gewählt, in der das agronomische Potential von 19 Leguminosen und zwei Nicht-Leguminosen untersucht wurde. In einer Masterarbeit an der BFH-HAFL wurde in einem zweijährigen Versuch mit einem Simplex Design die optimale Mischungszusammensetzung eruiert (Stucki 2017). Anhand dieser Resultate wurden drei abfrierende Mischungstypen basierend auf unterschiedlichen Anteilen an Leguminosen und Nicht-Leguminosen entwickelt und im biologischen Anbau getestet.

Material und Methoden

Einjähriger Blockversuch

Im ersten Versuchsjahr wurden die drei an der BFH-HAFL entwickelten Gründüngungsmischungen «ML1», «MS1» und «ML2» in einem Exaktversuch mit einer Blockanlage auf ihre agronomischen Eigenschaften geprüft. Anschliessend wurde in einem Split-Plot-Verfahren nebst dem Effekt der Mischung zusätzlich der Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Folgekultur Mais angeschaut. Bei der Bodenbearbeitung (Bb) wurde einerseits die Art (Pflug und reduziert) und andererseits der Zeitpunkt (früh und spät) untersucht.

Die Gründüngungsmischungen setzen sich aus verschiedenen Arten und Anteilen an Körnerleguminosen, Klee, Sonnenblume und Phacelia zusammen (Tab. 1). Angesät wurde der Blockversuch mit vier Wiederholungen am 16.08.2016 in Ueberstorf (FR) auf einem Biobetrieb auf 685m ü.M. nach Winterweizen mit einem Sättraktor mit Schleppschar, einer Spurbreite von 1,5 m, einem Säscharabstand von 12,5 cm und einer Ablagetiefe von 2,5 cm. Eine Elementarparzelle hatte eine Grösse von 18 m² (3 × 6 m).

Der Grad der Bodenbedeckung durch die Gründüngungsmischungen und die Beikräuter wurde 20 und 40 Tage nach der Saat sowie zu Vegetationsbeginn im folgenden Frühjahr geschätzt. Die oberirdische Biomasse der Gründüngungen wurde 60 Tage nach der Saat auf 0,5 m² geerntet und der Ertrag der Trockensubstanz (TS) der einzelnen Komponenten bestimmt. Eine repräsentative Mischprobe wurde auf ihren N- und C-Gehalt mit der Dumas-Methode analysiert (LECO CHN628 Series). Die Stichprobengrösse n belief sich bei diesen Untersuchungen auf 16.

Der frühe Bodenbearbeitungstermin fand am 07.04.2017 statt, der späte gut einen Monat danach am 16.05.2017. Zu beiden Zeitpunkten wurde die Hälfte der Fläche mit einem Dreischarpflug 20–25 cm tief umgebrochen. Die andere Hälfte wurde nicht gepflügt, sondern zweimal mit einer Treffler Federzahnegge 3–4 cm und 7–8 cm tief bearbeitet. Zum späten Zeitpunkt musste das Unkraut vor der reduzierten Bodenbearbeitung zusätzlich gemulcht werden, da es bereits hochgewachsen war. Der Mais wurde am 18.05.2017 gesät. Auf der Versuchsfläche wurde nicht gedüngt. Die Pflanzenhöhe wurde in den einzelnen Verfahren fünf und sieben Wochen nach der Saat gemessen. Neun Wochen nach der Saat wurde zusätzlich der Chlorophyllgehalt mit einem YARA N-Tester bestimmt. Der TS-Ertrag des Mais wurde am 13.09.2017 kurz vor der Ernte erhoben. Durch die zwei zusätzlichen Faktoren (Art und Zeitpunkt der Bodenbearbeitung) betrug die Stichprobengrösse n bei diesen Untersuchungen 4.

Streifenversuche während zwei Jahren

Um die drei Gründüngungsmischungen auf ihre Praxistauglichkeit zu testen, wurden als Folge des Exaktversuchs in den Spätsommern 2017 sowie 2018 nach der Getreideernte Streifenversuche angelegt. Dies auf insgesamt sieben biologisch bewirtschafteten Landwirtschaftsbetrieben in den Kantonen Bern und Freiburg

(Tab. 2). Die drei in der Tabelle 1 aufgeführten Gründüngungsmischungen wurden nebeneinander in Streifen von je mindestens 10 bis maximal 50 a angesät.

Identisch zum Blockversuch wurden die Mischungen in beiden Jahren auf ihre Bodenbedeckung, Unkrautunterdrückung, Ertragsleistung, Stickstoffspeicherung und ihr C/N-Verhältnis untersucht. An jedem der sieben Standorte wurden pro Mischung fünf Pseudoreplikationen erhoben und in der statistischen Auswertung als Mittelwerte verwendet.

Im Unterschied zum Blockversuch wurde in den Streifenversuchen der Bodenbearbeitungstermin nicht mehr untersucht. Der Zeitpunkt der Bodenbearbeitung wurde von den Landwirten selbst bestimmt. Wie im Blockversuch wurde die Hälfte der Versuchsflächen gepflügt und die andere Hälfte pfluglos bearbeitet. Für die reduzierte Bodenbearbeitung wurden mehrheitlich die auf den Betrieben vorhandenen Geräte eingesetzt (Federzahnegge, Scheibenegge, Bodenfräse, Geohobel, Grubber). Nach der Maissaat wurde wiederum die Jugendentwicklung untersucht (Pflanzenhöhe mit 4×5 Pseudoreplikationen pro Verfahren und Standort sowie Chlorophyllgehalt mit 4×30 Pseudoreplikationen) und schlussendlich der TS-Ertrag (mit 5 Pseudoreplikationen) gemessen. Die Unkrautbekämpfung und Düngung der Maisbestände war durch die jeweilige Betriebspraxis gegeben und variierte entsprechend zwischen den Betrieben. In der statistischen Auswertung der Resultate wurde diese Variation mit dem Standorteffekt berücksichtigt. Dafür wurden mit dem Statistikprogramm RStudio lineare Modelle mit zufälligem Faktor (Standort) berechnet.

Resultate und Diskussion

Rasche Bodenbedeckung aller Mischungen

Alle drei Gründüngungsmischungen liefen rasch auf und bedeckten 20 Tage nach der Saat bereits über 20 % des Bodens (Abb. 2). Nochmals 20 Tage später wurde die Bodenbedeckung ungefähr vervierfacht und lag zwischen 74 % und 91 %. Dies zeigt das grosse Potential aller untersuchten Mischungen. Zu beiden Zeitpunkten gab es bei der Bodenbedeckung weder im Block- noch in den Streifenversuchen signifikante Unterschiede zwischen den Mischungen. Der Unkrautdruck war in den Streifenversuchen auf einigen Betrieben deutlich höher als im Blockversuch.

Nachdem die Mischungen über den Winter abfroren, bedeckten die Pflanzenreste der Gründüngungen den Boden zu Vegetationsbeginn unterschiedlich stark. Signifikant am besten schnitt die Mischung ML2 im Blockversuch ab. Dies dank der Erbse (*Pisum sativum subsp. arvense* L.), die sich in dieser Mischung sehr gut etablieren konnte und auch nach dem Abfrieren eine gute Bodenbedeckung aufwies. In den Streifenversuchen bestätigte sich diese Tendenz, wobei sich auch die Mischung ML1 bewährte, die ebenfalls einen erhöhten Erbsenanteil aufwies. In allen drei Jahren hinterliess am Ende des Winters die Mischung MS1 mit der Sonnenblume (*Helianthus annuus* L.) und dem geringsten Leguminosenanteil am meisten offene Bodenfläche. Zudem war auch der Unkrautdruck bei dieser Mischung am höchsten, was sich am deutlichsten im Blockversuch zeigte.

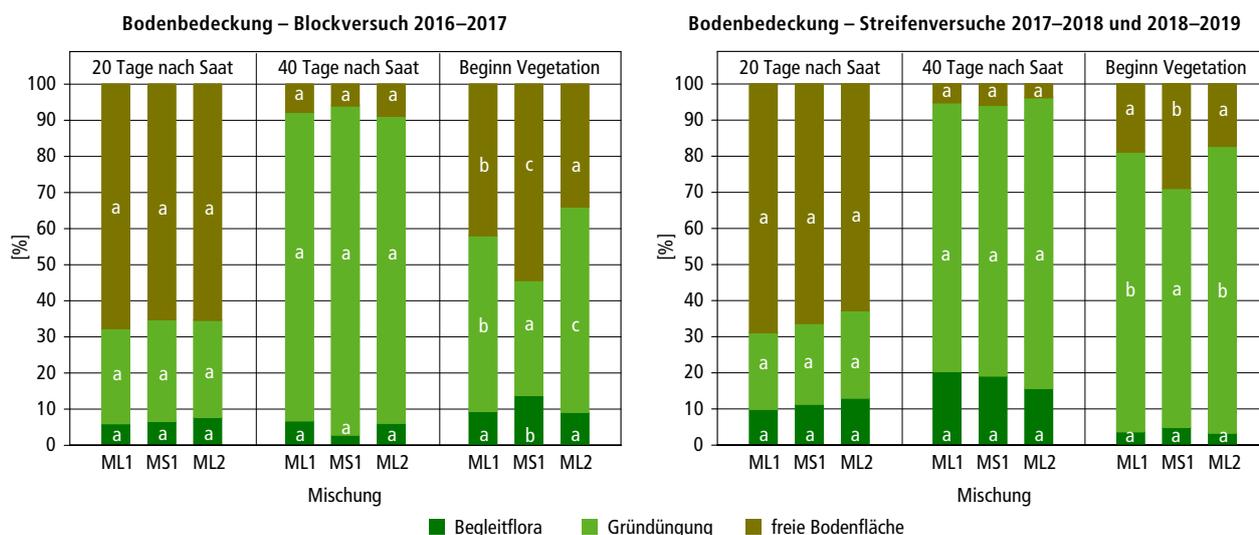


Abb. 2 | Mittlere Bodenbedeckung in Prozent der drei Gründüngungsmischungen (ML1, MS1, ML2) an drei Messzeitpunkten (20 und 40 Tage nach der Saat sowie zu Vegetationsbeginn) im Blockversuch 2016–17 (links) und in den Streifenversuchen 2017–18 und 2018–19 (rechts). Unterschiedliche Buchstaben innerhalb der drei Kategorien Begleitflora, Gründüngung und freie Bodenfläche weisen auf statistisch signifikante Unterschiede hin ($p < 0,05$).

Leguminosenreiche Mischung mit hoher N-Anreicherung

Die Gründüngungsmischungen unterschieden sich sowohl im Leguminosenanteil, im N- und C-Gehalt als auch im Ertrag. Die beiden Mischungen ML1 und ML2 wiesen im Blockversuch einen signifikant höheren Leguminosenanteil von 52 % resp. 57 % in der Biomasse auf, im Gegensatz zur Mischung MS1 mit nur 28 %. Auch in den Streifenversuchen widerspiegelte sich dieses Ergebnis mit ungefähr doppelt so hohem resp. tiefem Leguminosenanteil (ML1 67 %, MS1 32 %, ML2 58 %).

Die unterschiedliche Artenzusammensetzung, insbesondere das Vorhandensein der Sonnenblume (*Helianthus annuus* L.) in der Mischung MS1, hatte entsprechende Auswirkungen auf den Gesamtstickstoffgehalt und das C/N-Verhältnis der einzelnen Gründüngungsmischungen (Tab. 3). Die Mischung MS1 wies in allen Versuchen einen deutlich tieferen N-Gehalt und infolgedessen ein weiteres C/N-Verhältnis auf als die beiden anderen Mischungen. Im Blockversuch wurden aber generell tiefere N-Gehalte gemessen als in den Streifenversuchen, dementsprechend waren auch die C/N-Verhältnisse weiter. Ein entscheidender Unterschied war, dass der Anteil Phacelia (*Phacelia tanacetifolia* Benth.) – eine Nicht-Leguminose – im Blockversuch in allen drei Mischungen sehr dominant war und zwischen 30 % und 35 % variierte. In den Streifenversuchen war Phacelia mit 10–18 % in der Biomasse deutlich weniger vorhanden, obwohl die Mischungsrezepturen nicht verändert wurden. Es ist davon auszugehen, dass die Resultate aus den Streifenversuchen repräsentativer sind, da mehrere Standorte und Jahre aussagekräftiger sind.

Der Biomasseertrag der Mischung MS1 war im Blockversuch signifikant höher als derjenige der beiden anderen Mischungen (Tab. 3). Dies ist nicht erstaunlich, da die Sonnenblume bei genügend Wasserverfügbarkeit sehr viel Biomasse produzieren kann. In den Streifenversuchen lieferte diese Mischung allerdings 7,5 dt/ha weniger TS-Ertrag. Insbesondere im Spätsommer und Herbst 2018 beeinflusste eine längere Warmwetter- und

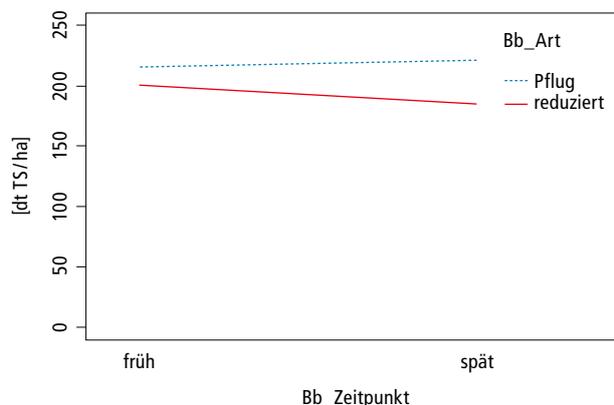


Abb. 3 | Knapp nicht signifikante Interaktion ($p=0,059$) zwischen Art (Bb_Art) und Zeitpunkt (Bb_Zeitpunkt) der Bodenbearbeitung (Bb) beim TS-Ertrag von Mais im Blockversuch von 2016–17.

Trockenperiode das Wachstum der einzelnen Pflanzenarten, wobei die Leguminosen mehr profitierten. Die Mischungen ML1 und ML2 erreichten unter diesen Bedingungen mit rund 45 resp. 48 dt TS/ha gleich hohe Erträge wie die Mischung MS1.

Auch im N-Ertrag erzielten alle Mischungen beachtliche Werte. Trotz der höheren N-Gehalte der Mischungen ML1 und ML2 gab es im Blockversuch keinen Unterschied zur Mischung MS1 im N-Ertrag. Die Mischung MS1 konnte ihr N-Defizit mit dem höheren TS-Ertrag wett machen. Mit den Streifenversuchen auf den Praxisbetrieben zeigte sich aber, dass die Mischung ML2 mit 174 kg N/ha ein deutlich höheres Potential für die Stickstoffanreicherung aufwies als die Mischung MS1.

Pfluglos: Zeitpunkt entscheidend für Entwicklung von Mais

Im Blockversuch konnte kein Effekt der Gründüngungsmischungen auf die Folgekultur Mais festgestellt werden. Die Art und der Zeitpunkt der Bodenbearbeitung spielten dagegen eine entscheidende Rolle bei der Jugendentwicklung vom Mais. Die Maispflanzen waren auf der gepflügten Fläche sowohl fünf als auch sieben Wochen nach der Saat signifikant höher als auf der re-

Tab. 3 | Stickstoffgehalte, C/N-Verhältnisse, Biomasse- und Stickstofferträge 60 Tage nach der Saat der Gründüngungsmischungen ML1, MS1 und ML2. Mittelwerte aus dem Blockversuch 2016–17 ($n=16$) und den Streifenversuchen 2017–18 und 2018–19 ($n=7$). Unterschiedliche Buchstaben innerhalb der Jahre weisen auf statistisch signifikante Unterschiede hin ($p < 0,05$).

| | Stickstoffgehalt g N/kg TS | | | | C/N-Verhältnis | | | | Biomasseertrag dt TS/ha | | | | Stickstoffertrag kg N/ha | | | |
|-----|-------------------------------|---|-----------|---|----------------|---|-----------|---|----------------------------|---|-----------|---|-----------------------------|---|-----------|----|
| | 2016 | | 2017/2018 | | 2016 | | 2017/2018 | | 2016 | | 2017/2018 | | 2016 | | 2017/2018 | |
| ML1 | 27,9 | b | 36,4 | b | 15,0 | a | 12,1 | a | 38,7 | a | 44,4 | a | 108,4 | a | 160,5 | ab |
| MS1 | 17,6 | a | 29,3 | a | 25,2 | b | 15,4 | b | 52,6 | b | 45,1 | a | 90,7 | a | 131,6 | a |
| ML2 | 24,7 | b | 36,2 | b | 17,7 | a | 12,1 | a | 43,5 | a | 47,6 | a | 108,1 | a | 174,1 | b |

Tab. 4 | Resultate aus den Streifenversuchen 2017–18 und 2018–19 zur Pflanzenhöhe (gemessen an zwei Zeitpunkten), zu Chlorophyllgehalt und TS-Ertrag von Mais nach den Gründüngungsmischungen ML1, MS1 und ML2 unter reduzierter respektive gepflügter Bodenbearbeitung. Mittelwerte von sieben Standorten. Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte weisen auf statistisch signifikante Unterschiede hin ($p < 0,05$).

| | Höhe (m) der Maispflanzen 5 Wochen nach Saat | | | | Höhe (m) der Maispflanzen 7 Wochen nach Saat | | | | Chlorophyllgehalt (YARA N-Tester Messwert) der Maispflanzen 9 Wochen nach Saat | | | | Ertrag Mais ganze Pflanze (dt TS/ha) | | | |
|-----|---|----|-----------|----|---|---|-----------|---|--|---|-----------|---|---|---|-----------|---|
| | Pflug | | Reduziert | | Pflug | | Reduziert | | Pflug | | Reduziert | | Pflug | | Reduziert | |
| ML1 | 0,60 | ab | 0,62 | ab | 1,40 | b | 1,35 | a | 579 | b | 493 | a | 186 | b | 149 | a |
| MS1 | 0,57 | a | 0,59 | a | 1,38 | b | 1,28 | a | 568 | b | 469 | a | 179 | b | 150 | a |
| ML2 | 0,64 | b | 0,63 | b | 1,43 | b | 1,33 | a | 608 | b | 522 | a | 190 | b | 161 | a |

duziert bearbeiteten Fläche. Der Zeitpunkt der Bodenbearbeitung wirkte sich bei der 1. Messung noch nicht signifikant auf die Pflanzenhöhe aus, bei der 2. Messung dagegen schon. Dies allerdings nicht, wenn gepflügt wurde, sondern nur bei der pfluglosen Variante: Wurde die reduzierte Bodenbearbeitung erst kurz vor der Saat durchgeführt, waren die Maispflanzen signifikant kleiner im Vergleich zum frühen Bearbeitungsstermin, der gut ein Monat vor der Saat stattfand. Bei der späten reduzierten Bodenbearbeitung ist die Erwärmung des Bodens und die N-Mineralisierung verzögert, was die Jugendentwicklung vom Mais bremst. Bei der Messung des Chlorophyllgehalts neun Wochen nach der Saat zeichnete sich ein ähnliches Bild ab, ausser dass das Verfahren «reduziert früh» nicht mehr schlechter als die beiden Verfahren mit dem Pflug (früh und spät) abschneidet. Zu diesem Zeitpunkt war somit die Photosyntheseleistung vom Mais dank frühzeitig reduzierter Bodenbearbeitung nicht beeinträchtigt, bei später dagegen schon.

Positiver Effekt einer Gründüngungsmischung auf Mais

Im Unterschied zum Blockversuch wirkten sich die Gründüngungsmischungen in den grossflächigen Streifenversuchen auf den Praxisbetrieben unterschiedlich auf die Pflanzenhöhe vom Mais aus. Wurde der Mais nach der Mischung ML2 angebaut, waren die Pflanzen im frühen Entwicklungsstadium fünf Wochen nach der Saat signifikant höher als nach der Mischung MS1 (Tab. 4). Dieser Effekt kam unabhängig davon zustande, ob gepflügt wurde oder nicht. Die meisten Landwirte wählten für die reduzierte Bodenbearbeitung einen frühzeitigen Termin.

Zwischen dem ersten und dem zweiten Messzeitpunkt der Pflanzenhöhe legte der Mais innerhalb von zwei Wochen mehr als das Doppelte an Höhe zu. Der Mischungseffekt wurde ab diesem Zeitpunkt vermutlich vom Düngungseffekt überlagert, denn es zeigte sich kein

Unterschied zwischen den Mischungen mehr. Auf allen Praxisbetrieben wurde mindestens eine Düngung in Form von Mist und/oder Gülle ausgebracht. Sowohl bei der 2. Messung der Pflanzenhöhe als auch beim Chlorophyllgehalt wurden höhere Werte nach dem Pflugeinsatz im Vergleich zur reduzierten Bodenbearbeitung festgestellt.

Mehrertrag im Mais nur mit Pflug

Sowohl im Blockversuch als auch in den Streifenversuchen wurde der Ertrag vom Mais durch die Art der Bodenbearbeitung signifikant beeinflusst, nicht aber durch die Mischung. Mit der reduzierten Bodenbearbeitung wurden im Blockversuch im Schnitt (über alle Mischungen und Bearbeitungszeitpunkte gerechnet) pro ha 26 dt TS/ha weniger geerntet beziehungsweise bewirkte das Pflügen einen Mehrertrag von 13,5%. In den Streifenversuchen belief sich die Ertragsdifferenz im Schnitt über alle Mischungen und Standorte gerechnet auf 32 dt TS/ha respektive 20,9%. Obwohl in den Streifenversuchen der Mais nach der Mischung ML2 sowohl beim Pflugverfahren (190 dt TS/ha) als auch bei der pfluglosen Variante (161 dt TS/ha) im Durchschnitt den höchsten Ertrag lieferte, war der Unterschied zwischen den Mischungen statistisch gesehen nicht signifikant (Tab. 4).

Der Zeitpunkt der Bodenbearbeitung zeigte im Blockversuch keinen signifikanten Einfluss auf den Ertrag. Dies galt vor allem für den Kolbenanteil. Beim Ganzpflanzenertrag war aber tendenziell (nur sehr knapp nicht signifikant $p=0,059$) eine Interaktion zwischen Art und Zeitpunkt der Bodenbearbeitung (Bb) zu erkennen (Abb. 3). Wo später gepflügt wurde, konnte etwas mehr Ertrag (+8 dt TS/ha) erzielt werden als mit dem früheren Pflügen. Bei der Mulchsaat verhielt es sich gerade umgekehrt. Der spätere reduzierte Bearbeitungszeitpunkt führte zu deutlich weniger Ertrag (–23 dt TS/ha) als der frühere.

Schlussfolgerungen

In den Praxisversuchen erreichte von den drei untersuchten abfrierenden Gründüngungsmischungen die Mischung ML2 mit einem Leguminosenanteil in der Biomasse von 58 % und durchschnittlich 174 kg N/ha die höchste Stickstoffanreicherung. Zudem wies sie dank der gut etablierten Futtererbse (*Pisum sativum subsp. arvense* L.) eine dichte Bodenbedeckung über den Winter und eine effektive Unkrautunterdrückung zu Beginn der Vegetation auf. Für viehschwache oder viehlose Betriebe mit begrenztem Stickstoffangebot kann der Einsatz einer solchen leguminosenreichen Gründüngungsmischung im pfluglosen Bio-Maisanbau somit viele Vorteile bringen. Ein weiterer wesentlicher Vorteil bei dieser Mischung ist die rasche Jugendentwicklung der Folgekultur Mais, da der Stickstoff beim Abbau der Biomasse im Boden rechtzeitig freigesetzt wird und keine zeitweilige Stickstoffimmobilisierung stattfindet. Somit ist auch nicht zwingend eine erhöhte Düngergabe bei der reduzierten Bodenbearbeitung nötig. Unabhängig von der vorgängigen Gründüngung muss aber grundsätzlich mit einem Minderertrag im Mais gerechnet werden, wenn auf den Pflug verzichtet wird. Die Erfahrung zeigt insbesondere, dass die reduzierte Bodenbearbeitung nicht erst kurz vor der Saat

vom Mais durchgeführt werden sollte, da sich sonst der Mais langsamer entwickelt. Für eine erfolgreiche Mulchsaat im biologischen Maisanbau ist die Bodenbearbeitung mindestens zwei bis drei Wochen vor der Saat zu empfehlen. Durch eine frühere Bearbeitung könnte je nach Witterung die N-Auswaschung zwar etwas höher sein. Aber der Nutzen von besser erwärmtem Boden und weniger starkem Unkrautbesatz ist für die Jugendentwicklung vom Mais grösser, als wenn zu lange mit der reduzierten Bodenbearbeitung gewartet wird. Bekannt ist, dass die N-Verluste über den Winter bei abfrierenden Zwischenkulturen grösser sind als bei nicht-abfrierenden. Unter welchen Voraussetzungen sich ein pflugloser Bio-Maisanbau aber auch mit nicht-abfrierenden Zwischenkulturen ähnlich erfolgreich umsetzen lässt und welche Auswirkungen dies auf die Stickstoffflüsse und den Mais als Folgekultur hätte, wäre in weiteren Versuchen zu klären. ■

Dank

Ein spezieller Dank geht an die Betriebsleiter der sieben Praxisbetriebe, welche die Versuche möglich gemacht haben. Finanziell unterstützt wurde das Projekt im Rahmen der Knospe-Ackerbaubeiträge durch Bio Suisse.

Literaturverzeichnis

- Büchi L., Gebhard C.-A., Liebisch F., Sinaj S., Ramseier H. & Charles R., 2015. Accumulation of biologically fixed nitrogen by legumes cultivated as cover crops in Switzerland. *Plant and Soil* **393**, 163–175.
- Cardinale B.J., Wright J.P., Cadotte M.W., Carroll I.T., Hector A., Srivastava D.S., Loreau M. & Weis J.J., 2007. Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **104** (46), 18123–18128.
- Justes E., Beaudoin N., Bertuzzi P., Charles R., Constant J., Dürr C., Hermon C., Joannon A., Le Bas C., Mary B., Mignolet C., Montfort F., Ruiz L., Sarthou J.P., Souchère V., Tournebise J., Savini I. & Réchauchère O., 2012. The use of cover crops to reduce nitrate leaching: effect on the water and nitrogen balance and other ecosystem services. Synopsis of the study report. INRA, France. 68 S.
- Nyfeler D., Huguenin-Elie O., Suter M., Frossard E. & Lüscher A., 2011. Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **140** (1–2), 155–163.
- Sinaj S., Charles R., Baux A., Dupuis B., Hiltbrunner J., Levy L., Pellet D., Blanchet G. & Jeangros B., 2017. 8/ Düngung von Ackerkulturen. In: Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017) (Ed. W. Richner & S. Sinaj). *Agrarforschung Schweiz* **8** (6), Spezialpublikation, 8/1–8/43.
- Stucki A.-D., 2017. Green manures for organic field crop production: Optimization of grain legume and clover portions in cover crop mixtures for organic cropping systems. Masterthesis, unveröffentlicht. BFH-HAFL (Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften), Zollikofen. 70 S.
- Thorup-Kristensen K., Magid J. & Jensen L.S., 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Advances in Agronomy* **79**, 227–302.
- Wittwer R.A., Dorn B., Jossi W. & van der Heijden M.G.A., 2017. Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. *Scientific Reports* **7**, 41911.