



UNIVERSITÄT  
HOHENHEIM

200  
1818  
2018  
JAHRE

## EIP Projekt BRAVÖ

Mit betrieblichen Innovationen Bodenfruchtbarkeit und Nachhaltigkeit auf vieharmen und viehlosen Öko-Betrieben steigern

# Wissenschaftliche Bewertung der von den Projektpartnern durchgeführten Maßnahmen zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit

### Autorinnen:

Ann-Marleen Rieps<sup>1)</sup>

Maria Müller-Lindenlauf<sup>2)</sup>

Dr. Sabine Zikeli<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup> Zentrum für Ökologischen Landbau, Universität Hohenheim, Stuttgart

<sup>2)</sup> Professorin für Agrarökologie und Ökologischen Landbau, Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU)

\* Kontakt: [sabine.zikeli@uni-hohenheim.de](mailto:sabine.zikeli@uni-hohenheim.de)

Mai 2018

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	1
Tabellenverzeichnis .....	2
Anhangsverzeichnis .....	2
1 Einleitung.....	3
2 Übersicht der teilnehmenden Betriebe und der dort ausgeführten Maßnahmen zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit .....	4
3 Maßnahmen zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit.....	6
3.1 Einsatz von Kompost .....	6
3.1.1 Aktuelle Umsetzung durch die beteiligten Landwirte.....	6
3.1.2 Auswirkungen von Kompost auf die Bodeneigenschaften.....	6
3.2 Einsatz von Zwischenfrüchte .....	9
3.2.1 Aktuelle Umsetzung durch die beteiligten Landwirte.....	9
3.2.2 Auswirkungen auf die Bodeneigenschaften.....	10
3.3 Klee grasbasierte Düngung – Cut & Carry und Silage.....	14
3.3.1 Aktuelle Umsetzung durch die beteiligten Landwirte.....	14
3.3.2 Auswirkungen von Cut & Carry und Silagedüngung auf die Bodeneigenschaften.....	14
3.4 Rottelenkung durch Fermente .....	18
3.4.1 Aktuelle Umsetzung durch die beteiligten Landwirte.....	18
3.4.2 Auswirkungen einer Rottelenkung der Zwischenfrüchte durch Fermente auf die Bodeneigenschaften.....	19
3.5 Mulchsaat (Soja in Roggenmatte) .....	22
3.5.1 Aktuelle Umsetzung durch die beteiligten Landwirte.....	22
3.5.2 Auswirkungen der Mulchsaat auf die Bodeneigenschaften.....	22
4 Abschließende Bewertung der Maßnahmen .....	25
Literaturverzeichnis.....	28
Anhang .....	32

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Maßnahmen die in den Partnerbetrieben des EIP-BRAVÖ umgesetzt werden. .....	5
Tabelle 2: Nährstoffgehalte unterschiedlicher Komposte nach Herkunft und weiterer organischer Düngemittel zum Vergleich zum Vergleich. ....	7
Tabelle 3: Nährstoffgehalte im Erntegut von Ackerbohne und Erbse. ....	12
Tabelle 4: N-Fixierung von Zwischenfrüchten. ....	12
Tabelle 5: Kurzfristige <sup>a</sup> und langfristige <sup>b</sup> N-Transfereffizienz von unterschiedlich aufbereiteter Kleegrassprossmasse. ....	16
Tabelle 6: Übersicht über die Auswirkung auf die chemische, physikalische und biologische Bodenfruchtbarkeit von viehlosen und vieharmen ökologisch wirtschaftenden Betrieben der jeweiligen Maßnahmen.....	26

## Anhangsverzeichnis

<b>Anhang 1:</b> Mineralstoffgehalte von Kleegrassilagen von 1997 bis 2011 aus dem ersten Schnitt (oben) und aus den Folgeschnitten (unten). Der Zweck der Silage ist in diesem Fall Viehfutter und nicht die Nutzung als Dünger. ....	32
<b>Anhang 2:</b> Inhaltsstoffe des Ferments von Partnerbetrieb Kränzler. ....	33
<b>Anhang 3:</b> Kategorisierung von mikrobiellen Impfmitteln nach Merkmalen und Funktionen der Arten .....	34

# 1 Einleitung

Auch im ökologischen Landbau nimmt die Spezialisierung der Betriebe weiter zu, was zu einem wachsenden Anteil von viehlos oder vieharm wirtschaftenden Betrieben führt. Da in viehlosen und vieharmen Ökobetrieben kein mineralisch-synthetischer Dünger und kein oder nur wenig betriebseigener tierischer Dünger zur Verfügung stehen, müssen die Landwirte neue Maßnahmen zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit ergreifen. Der Stickstoffeintrag durch Leguminosen, die in Symbiose mit Rhizobien Luftstickstoff aus der Luft binden können, ist hier von besonderer Bedeutung, da Stickstoff (N) in der Regel der ertragslimitierende Nährstoff ist. Um den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit langfristig zu gewährleisten, sollte jedoch nicht nur die Nährstoffversorgung mit Stickstoff berücksichtigt werden, sondern auch die Versorgung mit Phosphor (P) und Kalium (K) sowie der Humushaushalt, welcher starke Auswirkungen auf bodenphysikalische, -chemische und -biologische Eigenschaften hat. Die Integration von mehrjährigem Klee gras als Grünbrache in die Fruchtfolge ist dabei ein wichtiger Baustein, um die organische Bodensubstanz zu erhalten und ausreichend N für die Folgekulturen zu fixieren (Schulz et al. 2013). Im Gegensatz zu einem Wiederkäuerhaltenden Betrieb, der dieses Klee gras als Futter nutzt, existiert auf viehlosen Betrieben jedoch häufig keine direkte monetäre Verwertung. Besonders im viehlosen Acker- und Gemüsebau kommt es daher bei der Fruchtfolgegestaltung zu einem Konflikt zwischen „marktorientiertem Anbau und systembedingten Restriktionen“ (Fragstein und Niemsdorff 2018). In der Praxis bedeutet dies, dass der Fruchtfolgeplanung eine besondere Bedeutung zukommt, da diese der zentrale Baustein der Bodenfruchtbarkeit ist (Fragstein und Niemsdorff 2018). Hierzu zählt beispielsweise die Integration von Leguminosen und Zwischenfrüchte in die Fruchtfolge, auch wenn diese Maßnahme keinen direkten marktwirtschaftlichen Nutzen schafft.

Im Gegensatz zu N, das über der Luft unbegrenzt zur Verfügung steht und durch die Symbiose von Leguminosen mit Rhizobien „neu“ in den Betriebskreislauf eingeschleust werden kann, sind bei den Nährstoffen P und K besonders die langfristigen Entzüge zu betrachten, da diese einen erheblichen Einfluss auf die Nährstoffverfügbarkeit im Boden haben. Für beide Nährstoffe stellt der Boden ein Reservoir dar, aus dem durch Verwitterung und durch die Mineralisierung der organischen Bodensubstanz größere Mengen an P und K freigesetzt werden können. Dies kann jedoch nur dann erfolgen, wenn ausreichend P- und K-haltige Ausgangssubstanzen (organische Substanz, Tonminerale, Minerale des Ausgangsgesteins) vorhanden sind. Dabei ist zu beachten, dass Prozesse wie Verwitterung sehr langsam ablaufen und nicht zwangsläufig bedarfsgerecht Nährstoffe liefern. Langfristig muss also neben der Mobilisierung der bestehenden Vorräte auch der Ersatz der entzogenen Nährstoffe in den Blickpunkt rücken. Vieh haltende Betriebe sind häufig in der Lage, durch Futterzukauf und internes Recycling der Nährstoffe über Wirtschaftsdünger P- und K-Entzüge auszugleichen. Viehlose und vieharme Betriebe können durch unterschiedliche Maßnahmen (Nutzung von mobilen Düngemitteln wie

Klee gras, Leguminosenschrote) vorhandene Reserven im Boden (effizienter) nutzen, sollten aber langfristig Nährstoffimporte aus betriebsfremden Quellen (Kompost, Biogasgärreste u. ä.) ins Auge fassen, um Entzüge durch den Verkauf von Marktfrüchten auszugleichen.

Um diese Herausforderungen zu meistern, werden in der Ökolandbau-Praxis von vieharmen und viehlosen Pionierbetrieben bereits eine Vielzahl von Maßnahmen eingesetzt, um die Bodenfruchtbarkeit langfristig zu erhalten und zu steigern. Das EIP-AGRI Projekt BRAVÖ hat sich daher zum Ziel gesetzt, verschiedene innovative Maßnahmen, die bereits von den Projektpartnern in der Praxis eingesetzt werden, a) hinsichtlich ihres Einflusses auf die Bodenfruchtbarkeit zu untersuchen und zu bewerten, b) den Einsatz unterschiedlicher, Klee grasbasierter Düngemittel in einem Exaktversuch zu bewerten und c) in On-farm-Versuchen weitere Erkenntnisse zu den eingesetzten Maßnahmen zu erhalten.

Im vorliegenden Bericht werden die bodenfruchtbarkeitsfördernden / erhaltenden Maßnahmen kurz vorgestellt und deren Effekte auf die Bodenfruchtbarkeit basierend auf den Erkenntnissen der wissenschaftlichen Literatur beschrieben (vgl. Kapitel 3-7). Schlussfolgernd werden die Maßnahmen jeweils hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Bodenchemie, -physik und -biologie bewertet (vgl. Kapitel 4).

## 2 Übersicht der teilnehmenden Betriebe und deren Maßnahmen für die Bodenfruchtbarkeit

Die 10 ökologisch wirtschaftenden Demonstrationsbetriebe, die Projektpartner im EIP-AGRI Projekt BRAVÖ sind, liegen alle in Baden-Württemberg und wirtschaften viehlos oder vieharm. Die Größe der Betriebe ist relativ heterogen und liegt zwischen 15-270 ha. Die Betriebe haben durchschnittlich 43,8 ha Ackerland und 12,4 ha Grünland (ohne Einbeziehung des größten Betriebs mit 120 ha Grünland und 150 ha Ackerland). Einige Landwirte bauen Sonderkulturen wie Obst, Wein, Spargel, Pfingstrosen auf kleineren Flächen an oder besitzen Wald. Zwei Betriebe sind viehlos, ein Betrieb wirtschaftet in einer Kooperation mit einem Putenbetrieb und der Großteil der anderen Betriebe hält Rinder (Mutterkuhhaltung oder Färsenmast) mit 7 bis 28 Tieren teilweise plus Nachzucht. Ein Betrieb hat 32 Mast-schweine und 3000 Legehennen. Die viehhaltenden Betriebe haben einen Viehbesatz von 0,1 bis 0,4 GV pro Hektar (Tab. 1).

**Tabelle 1:** Übersicht der Maßnahmen die in den Partnerbetrieben des EIP-BRAVÖ umgesetzt werden. Die Großvieheinheiten (GV) der Betriebe wurden mit dem Großvieheinheitenrechner 2.1 der KTBL berechnet.

Partnerbetrieb	Maßnahme	GV <sup>1</sup>	GV ha <sup>-1</sup>
<b>Heiß</b>	- Grünschnittkompost	3,4	0
	- Silagedüngung		
	- Düngung mit frischem Klee gras („Cut & Carry“)		
	- Kompost		
<b>Kiechle</b>	- Kompost	0	0
<b>Köberle</b>	- Klee gras als Mulch	0	0
<b>Kränzler</b>	- Klee gras	43,4	0,2
	- Zwischenfrüchte		
	- Flächenrotte der Zwischenfrüchte mit Ausbringung von Fermenten		
	- Einsatz von Komposttee		
	- Kompost		
<b>Leibig</b>	- Kompost	4,2	0,1
	- Zwischenfrüchte		
	- Luzerne (Verkauf)		
<b>Petrik</b>	- Ackerbohnen- / Körnererbsen-Dichtsaa t	11,9	0,2
<b>Ruesch</b>	- Klee gras	0,8	0
	- Direktsaa t von Soja		
<b>Schmid</b>	- Luzerne	15,0	0,1
	- Zwischenfrüchte („Grüne Brücke“)		
	- Pfluglos		
	- Kompost		
<b>Wais</b>	- Klee gras	15,5	0,4
	- Ackerbohrendichtsaa t als Zwischenfrucht		
	- Zwischenfrüchte		
<b>Wenz</b>	- Klee gras	0	0
	- Zwischenfrüchte („Grüne Brücke“)		
	- Flächenrotte der Zwischenfrüchte mit Ausbringung von Fermenten		
	- Untersaaten		

Da über die Durchführung der Maßnahmen auf dem Betrieb zum aktuellen Stand des Projekts keine detaillierten Informationen vorliegen, werden diese lediglich kurz zusammengefasst (Tab.1). Fast alle Betriebe nutzen Klee gras oder Luzerne in ihrer Fruchtfolge. Fünf Betriebe setzen Kompost ein, lediglich ein Betrieb produziert Klee grassilage bzw. „Cut-and-Carry“ (frisch geschnittenes und ausgebrachtes Klee gras) als mobilen Dünger. Für sechs Betriebe sind Zwischenfrüchte zentrale Elemente des Bodenfruchtbarkeitsmanagements, wobei sich das Management sehr stark unterscheidet und vom Ansatz der „Grünen Brücke“ (Gewährleistung einer ständigen Bodenbedeckung) bei einem pfluglos wirtschaftenden Betrieb über den Einsatz von Fermenten zur Rottelenkung nach dem Umbruch bis hin zu

Dichtsaatverfahren im ökologischen Feldgemüsebau reicht (Tab.1). Reduzierte bzw. pfluglose Bewirtschaftung wird von zwei Betrieben durchgeführt. Insgesamt führen alle Betriebe mehrere Maßnahmen zum Erhalt bzw. zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit durch, die sich in ihrer Wirkung ergänzen, was jedoch in der vorliegenden Arbeit nicht evaluiert werden kann.

## 3 Maßnahmen zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit

### 3.1 Kompost

#### 3.1.1 Aktuelle Umsetzung durch die beteiligten Landwirte

Unter den teilnehmenden Landwirten bringen fünf Landwirte Kompost aus. Laut Aussagen der Landwirte wird der Kompost größtenteils von extern zugekauft. Die bisher vorliegenden beantworteten Fragebögen geben jedoch nur wenig bis keine Informationen über die Zusammensetzung und Ursprung des eingesetzten Kompostes und Ausbringungstechnik, Menge und Zeitpunkt. Ein Landwirt stellt einen Kompost aus Pferde- und Rindermist, Erde, Grünschnitthäcksel, Steinmehl und Asche her.

#### 3.1.2 Auswirkungen von Kompost auf die Bodeneigenschaften

Die Kompostierung ist ein weit verbreitetes, traditionelles Verfahren zur Aufbereitung von organischem Material in Deutschland. Kompost entsteht durch biologische Prozesse bei dem organisches Material (leicht umsetzbar, unterschiedliche Ausgangssubstrate) aerob von Bakterien und Pilzen zersetzt wird. Ein C:N-Verhältnis von 20 bis 25 des Ausgangsmaterials ist optimal. Es können unterschiedliche Substrate gemischt werden, um ein geeignetes C:N Verhältnis zu erreichen. Ein zu geringes C:N-Verhältnis kann zu  $\text{NH}_3$ -Bildung führen, was zu N-Verlusten führt und den pH-Wert steigen lässt, was wiederum ungünstig für den weiteren Abbau ist (Jørgensen 2018). Das Ausgangsmaterial von zugekauftem Kompost kann aus Küchen-, Bio-, Gartenabfällen oder Grünschnitt stammen und wird häufig in großtechnischen Anlagen produziert. Die Qualität des Komposts, d.h. die Abwesenheit von Schwermetallen, Fremdstoffen (z.B. Plastik), Krankheitserregern und vitalen Unkrautsamen ist bei solchen extern produzierten Komposten sehr wichtig und wird über das RAL-Gütesiegel der Bundesgütegemeinschaft Kompost zertifiziert. Die EU-Ökoverordnung und die Öko-Anbauverbände haben teilweise strengere Grenzwerte bzw. machen weitere Vorgaben zur Herkunft der Ausgangsmaterialien. Komposte können jedoch auch betriebsintern aus dort anfallendem Material produziert werden. Je nach Ausgangsmaterial haben Komposte unterschiedliche Nährstoffgehalte und -verhältnisse (vgl. Tabelle 2).

Die Düngung mit Kompost hat vielfältige Effekte auf die Bodenfruchtbarkeit. Vor allem fördert die Düngung mit Kompost die Bodenstruktur durch Humusaufbau, da der Kompost einen hohen Anteil an stabiler organischer Substanz besitzt. Dies erhöht außerdem die Kationenaustauschkapazität des Bo-

dens, da die organisch Substanz negativ geladen ist (Bhattacharya et al. 2016). Die Kompostausbringung erhöht zudem die Aggregatstabilität und Wasserhaltekapazität des Bodens was wiederum zu einer Reduzierung des Erosionsrisikos führt (Diacono und Montemurro 2010; Jörgensen 2018; Bhattacharya et al. 2016).

**Tabelle 2:** Trockenmasse (TM), Nährstoffgehalte unterschiedlicher Komposte nach Herkunft und weiterer organischer Düngemittel zum Vergleich

	TM	C/N	Ges.-N	N <sub>ver</sub> <sup>1</sup>	N <sub>eff</sub> <sup>2</sup>	P	K	Mg	S	Quelle
	%		kg t <sup>-1</sup> FM		% N		kg t <sup>-1</sup> FM <sup>3)</sup>			
<b>Kompost aus Klee-gras-Gemenge</b>	46	10,5	6,16	6	15	1,1	4,14	4,97	-	(Benke et al. 2017)
<b>Grünschnittkompost</b>	63	19,6	7,2	0-10	40	1,4	5,3	2,8	1,3	
<b>Bioabfallkompost</b>	65	15,5	9,4	0-10	40	2,0	6,3	2,9	-	
Zum Vergleich:										(Kolbe et al. 2015)
<b>Rindermist</b>	23	24	5,2	10-20	60	1,2	7,4	0,9	0,7	
<b>Horndünger</b>	90	,3	134	75-80	80	2,8	2,2	0,8	21,1	
<b>Ackerbohnen-schrot</b>	87	9,9	39,5	35-45	70	5,7	12,1	1,7	1,7	

<sup>1</sup> N-Verfügbarkeit im Jahr der Anwendung

<sup>2</sup> N-Effizienz und langfristige Düngewirkung (5-10 Jahre nach Anwendung)

<sup>3</sup> Frischmasse

Des Weiteren erhöht die Düngung mit Kompost die Aktivität der Bodenorganismen (Jörgensen 2018), denen das organische Material als Nahrung dient. Durch diesen Abbau von organischer Substanz werden zudem Nährstoffe aus dem Kompost freigesetzt. Außerdem kann eine Kompostdüngung zur Unterdrückung von Pflanzenkrankheiten beitragen, da einige der Mikroben die im Kompost enthalten sind, unterdrückend auf die Erreger bodenbürtiger Pflanzenkrankheiten wirken (z. B. Fusarien und Ascochyta-Erreger), deren sie natürliche Gegenspieler sind (Jörgensen 2018; Mehta et al. 2014). Die Wirkung des Kompostes diesbezüglich steigt mit dem Anteil des Komposts im Boden, so dass durch eine konzentrierte Ausbringung, z. B. dicht am Keimling, Pilzkrankheiten reguliert werden können (Jörgensen 2018). Durch die meist hohen Gehalte an Kohlenstoff im Kompost und ein vergleichsweise weites C:N Verhältnis im Vergleich zu anderen organischen Düngern läuft die Stickstoffmineralisierung langsam ab. Aufgrund der langsamen Mineralisierung des Kompostes dient dessen Anwendung eher als Düngung für die ganze Fruchtfolge als für eine bestimmte Kultur (Amlinger und Götz 1999). Der Zukauf von Komposten in Form von Bioabfall- oder Grüngutkompost kann außerdem den Einsatz von Rohphosphaten reduzieren und damit zum Schutz dieser begrenzten Ressource beitragen (Fragstein und Niemsdorff 2018). Durch den Einsatz dieser externen Komposte können außerdem in vieharmen

und viehlosen Betrieben Verluste an P und K über das Erntegut ausgeglichen werden. In diesem Kontext spielt eine intensive Qualitätssicherung der Komposte eine große Rolle, um den Eintrag von unerwünschtem Material (Fremdstoffe wie Plastikreste, keimfähige Beikrautsamen), organischen Schadstoffen oder Schwermetallen zu verhindern. Komposte mit dem Gütesiegel der Gütegemeinschaft Kompost unterliegen daher einer entsprechenden Qualitätssicherung und können je nach Ausgangsmaterial im Ökologischen Landbau eingesetzt werden. Im Ökologischen Landbau sind Komposte aus tierischen Exkrementen (die nicht aus der industriellen Tierhaltung stammen dürfen), Komposte aus getrennt gesammelten Haushaltsabfällen (Biotonne und Grünschnitt) und Rinde (von nicht chemisch behandeltem Holz) zugelassen (nach Verordnung (EG) Nr. 889/2008). Auch die Richtlinien der Bio-Anbauverbänden erlauben den Zukauf von Kompost, jedoch sind teilweise andere Grenzwerte zu beachten bzw. bestimmte Ausgangsmaterialien, die die EU-Ökoverordnung erlaubt, sind dort nicht zugelassen.

Hinsichtlich der Stickstoffdüngewirkung hat (Klee-Gras-basierter) Kompost eine sehr geringe N-Transfereffizienz – sowohl kurz als auch langfristig (Benke et al. 2017). Wesentliche physikalische und chemische Änderungen beim Kompostieren führen zu einer signifikanten Reduktion der Nährstoffverfügbarkeit insbesondere bei Stickstoff. Bei Kompost kommt es in dreifacher Weise zu N-Verlusten bzw. zur Reduzierung der Stickstoffdüngewirkung, die sich teilweise gegenseitig verstärken: Erstens, N-Verluste während des gesamten Prozesses von der Kompostierung bis zur Aufnahme in die Pflanze (Kompostierung, Lagerung, Ausbringung, Verluste nach Einarbeitung); zweitens, eine Reduzierung der kurzfristigen Düngereffizienz durch gasförmige N-Verluste von schnell verfügbarem N während der Kompostierung; drittens wird die langfristige Düngewirkung durch eine mangelnde Synchronisation der N-Freisetzung aus dem Kompost und dem N-Bedarf der Pflanze beeinträchtigt, so dass während der Vegetationsperiode ebenfalls N-Verluste auftreten können (Benke et al. 2017). Sikora und Enkiri (2000) zeigen in ihrer Studie, dass die Zugabe mineralischer Stickstoffdünger die Mineralisierung von Kompost stimulieren kann. Daraus lässt sich schließen, dass der Verlust von N während der Kompostierung nicht nur zu einer Reduzierung von leicht verfügbarem Stickstoff, sondern auch zu geringeren N-Mineralisierungsraten des verbleibenden organischen Stickstoffs führt (Sikora und Enkiri 2000). Des Weiteren verändern Stickstoffverluste die Nährstoffzusammensetzung des Komposts und führen zu relativ höheren Anteilen von nicht-flüchtigen Elementen wie P und Ca. Bei intensivem Einsatz von Komposten, z.B. im ökologischen Obst- und Gemüsebau, kann dies zu einem Nährstoffungleichgewicht im Boden führen (Möller und Zikeli 2017; Zikeli et al. 2017). Im Vergleich zur Kompostierung haben Verfahren wie die anaerobe Vergärung oder Silierung (vgl. Kapitel 3.3) einen geringeren Einfluss auf die Nährstoffzusammensetzung (Benke et al. 2017).

Kleegras, welches von viehlosen Betrieben nicht für die Fütterung, benötigt wird, kann durch die Kompostierung in den Betriebskreislauf eingebunden und verwertet werden. Die Investition in neue Technik (z.B. Kompostwender) und bauliche Gegebenheiten (versiegelte Kompostplatte) ist relativ gering, beispielsweise im Vergleich zu einer Biogasanlage. Es sollte allerdings beachtet werden, dass die N-Verluste von der Ernte des Kleegrases bis zur Aufnahme des im Kompost enthaltenen N in der gedüngten Kultur relativ hoch sind. Durch die geringe N-Nutzungseffizienz und die sehr langsame Mineralisierung des organischen Stickstoffs, ist die Ausbringung von Kompost eher eine Maßnahme für die Steigerung der Bodenqualität als eine N-Düngemaßnahme. In viehlosen Betrieben kann dieser Stickstoffverlust im Betriebskreislauf nachteilig sein. Ein Zukauf von Kompost und eine anderweitige Verwertung des Klees bzw. Klee-Gras-Gemenges aus der Fruchtfolge könnten diese Problematik lösen und die Nährstoffkreisläufe für P und K nachhaltiger gestalten.

## 3.2 Zwischenfrüchte

### 3.2.1 Aktuelle Umsetzung durch die beteiligten Landwirte

Im EIP-AGRI Projekt BRAVÖ bauen laut Fragebogen sechs der zehn beteiligten Landwirte Zwischenfrüchte an. Zwei verfahren nach dem Prinzip der „Grünen Brücke“. Dies bedeutet, dass vor Sommerungen immer Zwischenfrüchte angebaut werden. Ein Landwirt mit Feldgemüsebau etabliert ein Zwischenfruchtgemenge mit einem hohen Anteil an Ackerbohnen im Dichtsaatverfahren. Das Ziel ist hierbei, ein Jahr des Futterleguminosenanbaus (2. Kleegrasjahr) durch die Dichtsaat einer Körnerlegumino-se zu ersetzen, in diesem Fall durch Winterackerbohnen. Auf dem Betrieb existieren zwei Fruchtfolgen, eine rein ackerbauliche und eine Gemüsefruchtfolge: In der Ackerbaufruchtfolge werden Ackerbohnen angebaut, die gedroschen und dann als Saatgut für den Zwischenfruchtanbau in der Gemüsefruchtfolge genutzt werden. Dadurch bleibt der Stickstoff im Betriebskreislauf und es findet ein Transfer von K und P von der Ackerbaufruchtfolge in die Gemüsebaufruchtfolge statt. Im Projekt BRAVÖ wurde im ersten Jahr (2017) ein Gemenge mit 200 kg Winterackerbohnen der Sorte „Bioro“, 50 kg Wintererbsen der Sorte „Lisa“, 25 kg Winterwicken, 5 kg Inkarnatklee, Buchweizen, Sonnenblumen und Phacelia ausgesät.

Je nachdem welche Zwischenfrüchte wann und wie angebaut werden, ergeben sich unterschiedliche Auswirkungen auf die Bodeneigenschaften und die Folgekultur. Im Folgenden wird vor allem die Körnerleguminosendichtsaat eingegangen, die Rottelenkung durch Fermente wird in Kap. 3.4. diskutiert.

### 3.2.2 Auswirkungen auf die Bodeneigenschaften

Zwischenfrüchte werden in Zeiträumen angebaut, in denen der Acker sonst brach läge. Dies ist z.B. zwischen dem Drusch einer Kultur im Sommer (max. bis in den August) und der Aussaat einer Sommerung im April des folgenden Jahres der Fall. Hauptgründe für den Zwischenfruchtanbau ist die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit durch den Schutz vor Nährstoffverlusten durch Auswaschung und vor Erosion, die Erhöhung der Wasserhaltekapazität und die Beikrautunterdrückung (Reeves 1994; Fageria et al. 2005; Robačar et al. 2016). Besonders im Ökolandbau ist es wichtig, bereits mineralisierten Stickstoff im Herbst im System zu halten, damit er für die Nachfrucht weiterhin zur Verfügung steht und nicht verlagert bzw. ausgewaschen wird..

Um Körnerleguminosen als Zwischenfrucht langfristig einsetzen zu können, muss ein großes Augenmerk auf die Anbaupausen zwischen den Kulturen gelegt werden. Insbesondere die Erreger von Fußkrankheiten bei Körnerleguminosen (z. B. *Asochyta pisi*, *Phoma medicaginis* var. *Pinodella* oder *Fusarium* spp.) können im Boden überdauern und tragen zur Selbstunverträglichkeit der Körnerleguminosen bei. Dies betrifft auch kleinkörnige Leguminosen, die ebenfalls als Wirte für die gleichen Krankheiten fungieren. Daher sollten die Anbaupausen - egal ob Zwischenfrucht oder Hauptfrucht - eingehalten werden (Dabney et al. 2001; Spiegel et al. 2014). Im Hauptfruchtanbau sind es bei Erbsen 5-9 Jahre (bei weißblühenden länger als bei buntblühenden) und bei Ackerbohnen 4-5 Jahre. Als Abstand zu Feinleguminosen wie Klee und Luzerne sollten bei Erbse und Ackerbohne 2-4 Jahre eingehalten werden. Bei Nichteinhalten der Anbaupausen steigt das Risiko von Krankheits- und Schädlingsübertragung (KTBL 2013). Laut KTBL (2013) steigt das Infektionspotential ebenfalls, wenn das Pflanzenmaterial als Mulch auf den Flächen bleibt. Bei der Integration von Körnerleguminosen als Zwischenfrucht in die Fruchtfolge, ist dieser Aspekt daher von besonderer Bedeutung, da es hier der Zweck der Körnerleguminose ist, dass die Biomasse entweder direkt auf der Fläche eingearbeitet wird oder als Mulch auf der Bodenoberfläche verbleibt. Bisher liegen so gut wie keine Forschungsergebnisse zum Einsatz Körnerleguminosendichtsäten und deren Auswirkungen auf die Leguminosengesundheit vor, hier besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.

Ackerbohnen, Grünfüttererbsen, Wicken oder Lupinen als großkörnige und Kleearten oder Serradella als kleinkörnige Leguminosen eignen sich für den Einsatz als Zwischenfrucht. Welche Leguminosen-Zwischenfrucht geeignet ist und ob sie als Sommer- oder Herbstzwischenfrucht genutzt wird, hängt von den Standortbedingungen und der Fruchtfolge ab (Spiegel et al. 2014). Sommerzwischenfrüchte werden im Aussaatjahr einmalig in Form von Futter, Gründüngung (Mulchen) oder Biogassubstrat genutzt. Die Aussaat sollte so früh wie möglich zwischen Mitte Juli und Anfang August stattfinden, damit sich der Bestand vor dem Winter ausreichend entwickeln kann. Die Sorten bzw. Arten in der Mischung sollten spätsaatverträglich sein. Hierfür sind Körnerleguminosen wie Erbsen, Ackerbohnen, Lupinen

und auch kleinkörnige Leguminosen wie Perser- und Weißklee geeignet. Bei geeigneter Mischung können Sommerzwischenfrüchte hervorragend als Bienenweide dienen. (Paffrath 2006; Spiegel et al. 2014). Eine Winterzwischenfrucht wird im Frühjahr gemulcht oder als Frühjahrsschnitt genutzt. Die Aussaat erfolgt Anfang bis Ende September und die Arten in der Mischung müssen winterhart sein und auch im Frühjahr bei geringen Temperaturen schnell Biomasse produzieren (Spiegel et al. 2014). Körnerleguminosendichsaaten werden in der Regel beim Anbau von Feldgemüse eingesetzt, da erhebliche Mengen an Saatgut pro Hektar notwendig sind – dieser Einsatz ist nur bei hochpreisigen Kulturen ökonomisch sinnvoll.

Zwischenfrüchte binden das überschüssige Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), das nach der Hauptfrucht noch im Boden vorhanden ist, in ihrer Biomasse und konservieren es für die Folgekultur. Auf diese Weise wird das Risiko der  $\text{NO}_3^-$  Auswaschung über den Winter reduziert (Askegaard et al. 2005; Dabney et al. 2001). Bei einem Feldversuch von Askegaard et al. (2005) zeigte ein Klee gras-Gemenge auf einem sandigen Standort eine Reduzierung des Nitratgehalts von 30-38 % in der Bodenlösung und reduzierten denselben unter den Grenzwert für Trinkwasserqualität von  $50 \text{ mg L}^{-1}$ . Werden die Körnerleguminosen im Gemenge mit Nicht-Leguminosen angebaut, binden sie mehr Stickstoff aus dem Boden und aus der Atmosphäre und wachsen selbst wenn der Gehalt an Bodenstickstoff gering ist (Dabney et al. 2001). Im Gemenge ist der N-Gehalt im Bodenwasser geringer im Vergleich zu Reinsaat und bietet ein geringeres Risiko der N-Auswaschung. Außerdem findet bei einem Gemenge eine höhere N-Bindung statt als bei Reinsaat (Spiegel et al. 2014; Robačar et al. 2016).

Alternativ zu Futterleguminosen als Hauptkultur, können kleinkörnige Leguminosen wie verschiedene Kleearten oder Wicken auch als Sommerzwischenfrüchte angebaut werden (Müller und Thorup-Kristensen 2001). Dabei unterscheidet sich die Fixierleistung bedingt durch die kälteren Temperaturen und kürzeren Tagen im Spätsommer und Herbst von dem normalerweise im Frühling stattfindenden Wachstum der Leguminosen-Gemenge. Hinsichtlich der Fixierleistung wäre es möglich, Futterleguminosen-Gemenge als Hauptkultur bzw. Grünbrache mit Leguminosen durch Sommerzwischenfrüchte zu ersetzen (Müller und Thorup-Kristensen 2001). Allerdings wurden N-Verluste über den Winter und Effekte auf die Folgefrucht nicht untersucht. Andere Studien belegen außerdem, dass es vorteilhafter ist, Zwischenfrüchte im Gemenge anzubauen (Spiegel et al. 2014; vgl. Kapitel 3.2).

Die Stickstoffzufuhr auf der Fläche ergibt sich bei der Leguminosendichsaat als Zwischenfrucht durch das Saatgut (Tabelle 2) und die biologische N-Fixierung (Tabelle 4). Da die Biomasse gemulcht wird, gibt es keinen direkten N-Entzug auf den Flächen. Der verbliebene Stickstoff in den Ernterückständen steht der Folgefrucht zur Verfügung und wird im Laufe der Vegetationsperiode von Bodenlebewesen mineralisiert (Spiegel et al. 2014). Auf diese Weise können N-Düngemittel bei der Folgefrucht (in der Regel Gemüse) eingespart werden. Ein früher Umbruch der Zwischenfrucht bei erwärmtem Boden

kann jedoch eine schnelle Mineralisierung des Stickstoffs aus dem Pflanzenmaterial fördern und so das Risiko der N-Auswaschung ins Grundwasser erhöhen (Spiegel et al. 2014). Daher ist ein möglichst später Umbruch sinnvoll. Für eine optimale Verwertung des N aus der Biomasse ist es wichtig, dass die Zwischenfrüchte zu einem Zeitpunkt gemulcht werden oder abfrieren, an dem das C:N-Verhältnis noch niedrig ist (Katroschan et al. 2012). Das Management des Zwischenfruchtanbaus muss darauf abzielen, den Zeitpunkt der Mineralisierung des Pflanzenmaterials zeitlich möglichst mit dem N-Bedarf der Folgekultur zu synchronisieren (Kramberger et al. 2009). Die Erträge der Folgefrüchte können durch den Zwischenfruchtanbau bzw. von der Mineralisierung der Pflanzenreste gesteigert werden (Paffrath 2006; Doltra und Olesen 2013). Paffrath (2006) verzeichnete beispielsweise auf einer Fläche, die ökologisch und viehlos bewirtschaftet wurde, höhere Erträge bei Kartoffeln die einer Zwischenfrucht folgten (nach Ackerbohnen 343 dt ha<sup>-1</sup>, nach Brache ca. 245 dt ha<sup>-1</sup>). Die Kartoffeln erreichten nach Zwischenfrüchten wie Ölrettich, Phacelia/Perserklee oder Futtermalve/Alexandrinerklee ähnliche Erträge wie nach der Ackerbohne. Auf einem Standort mit Viehhaltung konnten keine Unterschiede im Kartoffelertrag zwischen einer vorhergehenden Brache oder Zwischenfrucht verzeichnet werden (Paffrath 2006). Den meisten Stickstoff konnte die Ackerbohne mit 178 kg N ha<sup>-1</sup> in ihrem Aufwuchs binden. Die hohen Stickstoffmengen in der Sprossmasse der Ackerbohnen gingen nicht verloren, sondern spiegelten sich in N<sub>min</sub>-Gehalten im Frühjahr und in den Kartoffelknollen wieder. Knollen nach Ackerbohnen (insgesamt 154 kg ha<sup>-1</sup>) entzogen fast 60 kg ha<sup>-1</sup> mehr N als Knollen nach Ölrettich (Paffrath 2006).

**Tabelle 3:** Nährstoffgehalte im Erntegut von Ackerbohne und Erbse (KTBL 2013).

Kulturart	N	P	K	Mg
Ackerbohne	42	6,6	33	3,0
Körnererbse	35	6,1	33	3,0

<sup>1</sup> 86 % Trockenmasse

**Tabelle 4:** N-Fixierung von Zwischenfrüchten (Kolbe et al. 2015).

Kulturart	Biomasse <sup>1</sup>	N-Gehalt in der Bio-	Bindung Luft-N
	t ha <sup>-1</sup>	masse kg N t <sup>-1</sup> FM	
Körnerleguminosen	13	5,2	48
Leguminosen/Nichtleguminosen	13	4,6	42
Gemenge			

Durch die Bindung von Kohlenstoff in der Biomasse der Zwischenfrüchte und deren Verbleib auf dem Feld wird der Anteil an organischer Substanz im Boden erhöht und die Humusbildung gefördert, was besonders bei viehlosen Betrieben von Bedeutung ist (Dabney et al. 2001; Paffrath 2006).

Eine Dichtsaat von Ackerbohnen oder Erbsen bietet außerdem eine gute Beikrautunterdrückung, die ansonsten bei Körnerleguminosen weniger gegeben ist. Eine Verzögerung der Keimung oder Samenbildung der Zwischenfrüchte kann jedoch aufgrund möglichen Durchwuchses in der Folgefrucht zu Problemen führen (Spiegel et al. 2014).

Zwischenfruchtanbau hat außerdem meist positive Effekte auf die physikalische Bodenfruchtbarkeit: Die Bodenbedeckung bietet Schutz vor Erosion und hat Einfluss auf den Wassergehalt im Boden durch eine erhöhte Wasserhaltekapazität. Obwohl Zwischenfrüchte dazu beitragen, den Boden länger feucht zu halten, muss auf trockenen Standorten bedacht werden, dass die Zwischenfrüchte ebenfalls Wasser für ihr Wachstum benötigen (Spiegel et al. 2014). Körnerleguminosen wie Ackerbohnen oder Lupinen können den Boden tief durchwurzeln, was dazu beitragen kann, Bodenverdichtungen aufzulockern.

Zwischenfrüchte wirken sich außerdem Zufuhr von Biomasse positiv auf das Bodenleben aus (Dabney et al. 2001, vgl. Kapitel über Kompost). Im Gemüsebau können Zwischenfrüchte außerdem dazu beitragen, Nematoden-, Schädlings- und Krankheitsbefall zu reduzieren (Hallmann 2004; Robačér et al. 2016; Viaene und Abawi 1998). In einem Feldversuch mit Kartoffeln zeigte sich, dass Ölrettich als Zwischenfrucht eine geeignete Bekämpfungsmaße der Nördlichen Wurzelgallennematode (*Meloidogyne hapla*) darstellen kann. Die Zwischenfrüchte dienen dabei entweder als Nicht-Wirtspflanze oder als Fangpflanze und verringern so die Vermehrung der pflanzenparasitären Nematoden. Der Effekt ist am deutlichsten, wenn die Zwischenfrüchte eingearbeitet werden (bei Ölrettich maximal sechs Wochen nach der Aussaat), da sonst die Gefahr einer Vermehrung der Nematoden besteht (Hallmann 2004; BLE 2014). Auch andere Zwischenfrüchte wie Sudangras und Tagetes zeigten in weiteren Versuchen eine deutliche Reduzierung des Befalls (BLE 2014).

Werden Zwischenfrüchte als Untersaaten im Gemüse etabliert, können sie zu größeren Populationen von Bodenprädatoren wie Laufkäfern, Kurzflügler und Spinnen führen, die Schädlinge kontrollieren können (Altieri et al. 1985). Blattkrankheiten können durch den Mulch der Zwischenfrucht reduziert werden, da eine Verbreitung von Pathogenen, die durch Anspritzen oder durch Wind übertragen werden, vermieden wird (Robačér et al. 2016).

Zu den wenigen Nachteilen des Zwischenfruchtanbaus gehört das Risiko eines N-Defizits in der Folgekultur durch die Immobilisierung von N bei einem zu weiten C/N-Verhältnis in der Zwischenfruchtbiomasse (> 25, Fageria et al. 2005). Auf trockenen Standorten muss darauf geachtet werden, dass die Wasserverfügbarkeit für die Hauptfrucht trotz der Zwischenfrucht bzw. Untersaat gewährleistet ist (Spiegel et al. 2014).

### 3.3 Klee grasbasierte Düngung – Cut & Carry und Silage

#### 3.3.1 Aktuelle Umsetzung durch die beteiligten Landwirte

Einer der teilnehmenden Landwirte wendet beide Düngemittel an: Die Silage wird im Herbst auf die Herbstsaaten auf ca. 15 ha der Betriebsfläche ausgebracht, der frische Klee grasschnitt wird im Frühjahr auf ca. 10 ha in wachsenden Kulturen verteilt. Dabei werden ca. 1,5 ha Ackerfläche mit dem silierten Aufwuchs von 1 ha der Klee grasfläche gedüngt (Nährstoffgehalte in der Silage vgl. Anhang 1). Bei Cut & Carry düngt der Landwirt 1 ha der frischen Klee grasbiomasse auf 1 ha Ackerfläche.

#### 3.3.2 Auswirkungen von Cut & Carry und Silagedüngung auf die Bodeneigenschaften

Auch in vieharmen oder viehlosen ökologisch wirtschaftenden Betrieben ist die Integration von Futterleguminosen in die Fruchtfolge von großer Bedeutung, um ausreichend N in das System zu bringen und damit die N-Versorgung der Folgekulturen zu sichern, Anbaupausen einzuhalten und mehrjährige Beikräuter zu bekämpfen. Da die Nutzung der Klee grasbiomasse als Futter in viehlosen Betrieben nicht möglich ist und häufig keine Vieh haltenden Nachbarn für Futter-Mist-Kooperationen existieren, wird das Klee gras häufig nicht geschnitten und abgefahren sondern lediglich gemulcht und verbleibt auf der Fläche. Allerdings kann durch den Mulch und dessen Zersetzung die N-Fixierleistung des Klees reduziert werden (Helmert et al. 2003; Stinner et al. 2008) und höhere Lachgasemissionen erzeugen (Helmert et al. 2004). Andere Studien haben hingegen keine erheblich höheren N<sub>2</sub>O-Emissionen im Vergleich zum Abfahren des Klee grasses festgestellt (Brozyna et al. 2013). Durch ein Abfahren des Mulches für eine alternativen Nutzung kann eine Reduzierung der N-Fixierung verhindert werden so dass der betriebliche Nettozugewinn an Stickstoff gesteigert werden kann (Möller 2018; Fragstein und Niemsdorff 2018). Daher sind sinnvolle alternative Nutzungsmöglichkeiten von Futterleguminosen als mobiler Dünger für vieharme und viehlose Betriebe interessant.

Anstelle der Nutzung als Futter ergeben sich folgende Nutzungsoptionen:

- Gründüngung (Mulchen)
- Futter-Mist-Kooperation mit viehaltenden Betrieben
- Kompostierung
- Klee gras-Silage zur Düngung
- Transfer des frischen Klee grasses von Feld zu Feld (Cut & Carry)
- Biogasnutzung
- Saatgutvermehrung

Außerdem können Leguminosen-Gemenge ohne landwirtschaftliche Verwertung auf Naturschutzflächen als Bienenweide oder Wildäsung dienen (Spiegel et al. 2014).

Das frische Klee gras oder die Silage können entweder gehäckselt eingearbeitet werden oder als Mulch an der Oberfläche verbleiben (Stumm 2017; Alpers 2016). Eine intensive Vermischung mit dem Boden und ein geringes C:N-Verhältnis trägt zu einer schnellen Mineralisierung des Substrates bei. In einem

Feldversuch mit Spinat stellte sich die Aussaat des Spinats vier Wochen nach Einarbeitung von Klee gras als vorteilhaft heraus, da Mineralisierung Vorlauf hatte (Alpers 2014). Es ist außerdem wichtig, den Schnittzeitpunkt des Klee grasses früh genug zu wählen, damit keine keimfähigen Unkrautsamen vorhanden sind, da sonst durch den Transfermulch das Risiko einer Verbreitung der Unkräuter auf die Zielfläche besteht (Alpers 2014). Laut Alpers (2014) beträgt das Verhältnis zwischen Geber- und Nehmerfläche bei Cut & Carry-Verfahren im Freilandgemüsebau meistens 1:1 (teilweise bis zu 3:1). Bei Unterglasanbau kann sogar ein Verhältnis sogar 5:1 sinnvoll sein.

Im viehlosen ökologischen Landbau ist es eine große Herausforderung, die organische Bodensubstanz zu erhalten. Schulz et al. (2013) zeigten in einem elf Jahre dauernden Systemversuch den negativen Einfluss einer Fruchtfolge mit Marktfrüchten (viehlos) im Vergleich zu einer Fruchtfolge mit Futterbau auf den Kohlenstoffgehalt im Boden. Die Fruchtfolge eines viehlosen Betriebs sollte also perennierende Leguminosen(-Gemenge) integrieren, um den Gehalt der organischen Bodensubstanz zu erhalten und ggfs. zu erhöhen (Brock et al. 2017; Schulz et al. 2013). Werden ausschließlich Maßnahmen wie Strohdüngung und Zwischenfruchtanbau durchgeführt, ist dies nicht möglich (Schulz et al. 2013).

Die Art der Behandlung bzw. der Verwertung der Klee grassprossmasse zu einem N-Düngemittel hat einen starken Einfluss auf die Stickstoffzusammensetzung und die gesamte N-Transfereffizienz (= N-Transfer von Klee grassbiomasse bis N-Aufnahme durch die Nehmerpflanze) (Benke et al. 2017). Eine ganzheitliche Betrachtung und Bewertung von Düngemitteln aus Klee grassprossmasse sollte nicht nur die kurz- und langfristige Düngewirkung betrachten, sondern auch die N-Flüsse und N-Verluste des gesamten Verfahrens zur Düngengewinnung (Silieren, Kompostieren etc., Verdauung durch Wiederkäuer, etc.) einbeziehen. In einer Studie von Benke et al. (2017) wurde der N-Transfer von Feld zu Feld und von Feld zu Pflanze von unterschiedlichen Klee grassbasierten Substraten auf ihre kurzfristige und langfristige N- und P-Düngewirkung untersucht ( Tabelle 5).

Für eine hohe N-Transfereffizienz – sowohl kurz- als auch langfristig – ist es wichtig, dass möglichst wenig N während des Verfahrens zur Düngerherstellung (Kompostierung, Silierung, Biogasvergärung, etc.) verloren geht. Außerdem spielt das  $\text{NH}_4^+/\text{N}_t$ -Verhältnis und das C/N-Verhältnis eine Rolle: Je geringer das C:N-Verhältnis und je größer das  $\text{NH}_4^+/\text{N}_t$ -Verhältnis der Düngesubstrate, desto größer ist die kurzfristige N-Nutzungseffizienz des Düngers (Benke et al. 2017). Für die langfristige Düngeneffizienz spielt die Vermeidung von N-Verlusten entlang der Verarbeitungskette der klee grassbasierten Dünger (von der Klee grassernte bis zur Bodeneinarbeitung des Düngers) eine größere Rolle als die chemischen Eigenschaften der Dünger. Für die kurzfristige N-Nutzungseffizienz des Düngers haben letztere jedoch einen größeren Einfluss (Benke et al. 2017). Dabei unterscheiden sich Klee grass und Silage während eines Topfversuchs über 11 Wochen nicht. Beide zeigten relativ gleichmäßige N-Mineralisierung. Benke et al. (2017) raten aufgrund der hohen N-Verluste bei der Kompostierung und der schlechten

N-Verfügbarkeit im Kompost davon ab, N-reiche organische Biomasse zu kompostieren. Stattdessen sollte ein anderes Verfahren gewählt werden: Cut & Carry, Silage oder Biogasgärrest. Besonders im ökologischen Gemüsebau spielt dies eine große Rolle, da hier ein großer Anteil der Kulturen einen sehr hohen N-Bedarf hat (Benke et al. 2017).

**Tabelle 5:** Kurzfristige<sup>1</sup> und langfristige<sup>2</sup> N-Transfereffizienz von unterschiedlich aufbereiteter Kleegrassprossmasse (nach Benke et al. (2017)).

<b>Verfahren</b>	<b>Kurzfristige N-Transfereffizienz</b>	<b>Langfristige N-Transfereffizienz</b>
	%	
<b>Frisches Klee gras (Cut &amp; Carry)</b>	27	60
<b>Klee grassilage</b>	28	56
<b>Zum Vergleich:</b>		
<b>Klee grasskompost</b>	6	15
<b>Festmist (Rind)</b>	12	22
<b>Flüssigmist (Rind)</b>	23	48
<b>Klee gras-Gärrest</b>	56	70
<b>Mineraldünger</b>	104	85

<sup>1</sup> Beschreibt das Verhältnis von verfügbarem N für das Pflanzenwachstum gegenüber dem ursprünglich in der jeweiligen Klee grassbiomasse enthaltene N. Kurzfristig bedeutet hier die ersten 4 Wochen nach der Aussaat der zu düngenden Kultur.

<sup>2</sup> Beschreibt das Verhältnis von langfristig verfügbarem N für das Pflanzenwachstum gegenüber dem ursprünglich in der jeweiligen Klee grassbiomasse enthaltene N.

Die verschiedenen Klee grass-basierten Düngemittel unterscheiden sich in ihrer Düngewirkung nur leicht: In Blumenkohl wurde ein Anteil von 80 % vermarktungsfähigen Blumen beim Einsatz von Luzerne-Pellets und den sonst üblich angewendeten Haarmehlpellets von erzielt, während der Anteil bei Silage- und Klee grassdüngung bei 70 % war, in der ungedüngten Kontrolle waren nur 30 % der Blumen marktfähig (Stumm 2017). Auch van der Burgt et al. (2013) verglichen Klee grass- bzw. Luzernegrass-basierte Dünger mit üblichem Wirtschaftsdünger (hier Geflügelmist) beim Anbau von Spinat und Kartoffeln, wobei die Nutzung von Cut & Carry und Silage von Leguminosen-Gemengen zu ähnlichen Erträgen wie der Einsatz tierischer Dünger führte. Dabei hatte auch der Zeitpunkt der Ausbringung einen Einfluss auf den Ertrag: bei Spinat war die Ausbringung ca. fünf Wochen vor der Aussaat am wirkungsvollsten (van der Burgt et al. 2013). Die P- und K-Bilanzen waren bei den pflanzlichen Düngern nur leicht positiv, da der P- und K-Gehalt der Klee grassprossmasse dem N-Bedarf des Spinats ähnelte. Der Einsatz von Geflügelmist führte zu einem sehr hohen kalkulatorischen P-Überschuss. Beim Einsatz dieser Dünger in Kartoffeln waren die Ergebnisse für P ähnlich, allerdings waren die K-Bilanzen negativ (van der Burgt et al. 2013). Cut & Carry-Dünger aus Klee grass- oder Luzernegrass-Gemengen haben ein großes Potential als N-Dünger und reduzieren das Risiko von P-Überschüssen im Gemüsebau, wie sie beispielsweise

durch den Einsatz von Hühnertrockenkot zustande kommen (van der Burgt et al. 2013) haben. In reinen Ackerbaufruchtfolgen spielen P-Überschüsse dagegen keine Rolle, da auf solchen Betrieben externe Düngemittel aus Kostengründen kaum eingesetzt werden.

Die Nutzung der Kleegrassprossmasse birgt hingegen auch Probleme: Ein Nachteil des Cut & Carry-Verfahrens ist, dass die Produktion der frischen Kleegrassbiomasse und die Ausbringung auf andere Kulturen, z.B. Getreide, zeitlich nicht kompatibel sind. Daher ist ein lagerfähiger und somit räumlich und zeitlich mobiler Dünger wie Kleegrassilage oder-pellets häufig vorteilhafter. Eine Düngung mit Silage kann allerdings auch Nachteile für Boden und Kultur mit sich bringen: Im Kohlrabianbau schnitt die Kleegrassilage im Vergleich zu üblicherweise genutzten Handelsdünger (hier Phytogran) hinsichtlich vermarktungsfähiger Ware, Knollengewicht und Erntezeitpunkt bei Kohlrabi schlechter ab (Alpers 2016). Dies wurde auf eine langsamere Mineralisierung und eventuell eine phytotoxische Wirkung (Minderwuchs, Blattvergilbungen) zurückgeführt (Alpers 2016). Zwischen Einarbeitung und Pflanzung sollte daher eine Wartezeit (im Freiland wegen geringerer Bodentemperaturen als im Gewächshaus von mehreren Wochen) eingeplant werden, um eine mögliche Schädigung zu verringern und die Mineralisierung etwas fortschreiten zu lassen, sodass mehr Stickstoff aus der Silage pflanzenverfügbar ist (Alpers 2016). Durch das Mulchen des Kleegrases können zwar erhöhte Lachgasemissionen auftreten (Helmert et al. 2003), jedoch entstehen diese Lachgasemissionen im Falle von Cut & Carry Düngung nach Starkregenereignissen ebenfalls. Das heißt, die Emissionen werden vom Geber- auf das Nehmerfeld übertragen (Stumm und Köpke 2017). Diese Lachgasemissionen sind in vergleichbarer Höhe zu denen von gemulchtem Klee gras (bis zu  $250 \text{ g N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) (Helmert et al. 2004; Stumm und Köpke 2017).

In den oben genannten Studien wurde die Klee grassbiomasse jeweils in den Boden eingearbeitet. Im Gemüsebau (Feld und Gewächshaus), gibt es außerdem die Möglichkeit, den frischen Klee grassschnitt oder die Silage als Mulchschicht auf der Oberfläche der Nehmerfläche zu verteilen. Mulch aus Klee grassprossmasse hat im Gegensatz zum Mulch aus Vlies oder Folie, mit denen ebenfalls positive Effekte wie Verschlammungsschutz, aktiveres Bodenleben, ausgeglichener Wasser- und Wärmehaushalt in der Krume, Unkrautunterdrückung etc. erreicht werden, zusätzlich eine düngende Funktion und versorgt die Kultur fortlaufend durch die Mineralisierung der Biomasse mit Nährstoffen. Temperatur- und Feuchteverhältnisse und das C:N-Verhältnis des Materials bestimmen dabei die Geschwindigkeit der Zersetzung. Darüber hinaus ist die Dicke der Mulchschicht wichtig: Sie darf nicht zu dünn sein, damit die Kultur durchgehend mit Nährstoffen versorgt und eine Beikrautunterdrückung gewährleistet wird, aber auch nicht zu dick, damit die nachfolgende Bodenbearbeitung nicht gestört wird. Im Zweifelsfall kann es zu Mehrarbeit durch Nachlegen oder Abräumen des Mulches kommen (Alpers 2014).

Probleme können durch Schädlinge wie Schnecken, Asseln und Mäuse unter der Mulchschicht entstehen (Alpers 2014).

Eine Alternative für die Nutzung des Kleegrasaufwuchses, neben Silage oder Cut & Carry, ist die anaerobe Vergärung in einer Biogasanlage: Der Kohlenstoff wird dem Substrat entzogen, der Stickstoff bleibt hingegen mit ähnlicher Konzentration vorhanden. Auf diese Weise kann der Ertrag und Qualität von anderen Fruchtfolgefeldern durch den Nährstofftransfer erhöht und der Betrieb im Einklang mit ökologischen und systembedingten Zusammenhängen intensiviert werden (Benke et al. 2017; Möller 2018)

Bodenphysikalisch profitieren sowohl das Geber- als auch das Nehmerfeld von der Integration des Futterleguminosen-Gemenges. Für das Nehmerfeld kann die Düngung mit frischem Klee gras oder Silage die Erosion an Hanglagen vermindern. Das Geberfeld profitiert ebenfalls durch den Anbau der Futterleguminosen: Dieser fördert das Bodenleben und schafft die Grundlage für ein dauerhaftes Humusmanagement. Außerdem kann bei regelmäßiger Nutzung der Unkrautdruck reduziert werden (Stumm und Köpke 2015). Die verbleibende Biomasse auf dem Geberfeld (inkl. Wurzeln) und die aufgebrachte Biomasse auf dem Nehmerfeld bieten außerdem Nahrung für Bodenlebewesen (vgl. Kapitel 3.1).

Insgesamt lässt sich festhalten, dass Klee grassilage einen zeitlich und örtlich mobilen Dünger darstellt und eine aus Sicht der Düngung und Pflanzenernährung eine gute Alternative zum Mulchen darstellt. Allerdings sind das Silieren, die Lagerung und die spätere Ausbringung mit einem erhöhten Arbeitsaufwand verbunden und erzeugt höhere Kosten für den Maschineneinsatz als reine Mulchverfahren.

In intensiven Gemüsebaubetriebe kann durch die Integration von Klee gras in der Fruchtfolge und durch die Nutzung der entsprechenden mobilen Dünger wie Cut-and-Carry und Silage der betriebsinterne N-Kreislauf optimiert werden wobei gleichzeitig das Risiko von P-Überschüssen durch den Zukauf externer Dünger verringert wird. In reinen Ackerbaubetrieben sollte dagegen darauf geachtet werden, dass die Exporte von P und K durch das Erntegut langfristig durch externe Dünger ersetzt werden, da die Nutzung von mobilen Klee gras-basierten Düngern zwar die Nährstoffeffizienz verbessert aber lediglich P- und K-Transfers zwischen Geber- und Nehmerfläche ermöglicht.

## 3.4 Rottelenkung durch Fermente

### 3.4.1 Aktuelle Umsetzung durch die beteiligten Landwirte

Im Projekt EIP-Projekt BRAVÖ setzen zwei Landwirte die Flächenrotte ein. Auf einem Feldtag Mitte Oktober 2017 wurde die Methode erläutert und vorgeführt: Ein Zwischenfruchtgemenge (Biodiversitätsmischung mit Kreuzblütlern, Leguminosen und Gräsern; 50 kg ha<sup>-1</sup>) wird 3-4 cm flach eingefräst. Im

Vorderanbau wird eine Spritze angebracht, mit der das Ferment<sup>1</sup> auf den Boden ausgebracht wird (ca. 100 l ha<sup>-1</sup>), im gleichen Arbeitsgang wird das Ferment mit der im Heck angebrachten Fräse (Celli Fräse) eingearbeitet. Die Fräse läuft mit mindestens 300 Umdrehungen pro Minute. Das schnelle Rotieren und die flache Einarbeitung sind wichtig für eine feine Bodenstruktur, die für eine schnelle Zersetzung der Biomasse der Zwischenfrucht vorteilhaft ist. Das Ferment wird auf dem eigenen Betrieb hergestellt und besteht aus einem zugekauften Ausgangsprodukt, in dem verschiedene Mikroorganismen (siehe Kapitel 3.4.2) enthalten sind und das mit Wasser, Melasse, Meersalz und Kräutern vom eigenen Betrieb versetzt wird. Der Einsatz des Ferments soll die Aktivität des Bodenlebens stimulieren und so die Zersetzung des Pflanzenmaterials beschleunigen. Die Biomasse der Zwischenfrucht dient als „Futter“ für die Bodenlebewesen und soll die Bodenfruchtbarkeit fördern und den Humusanteil erhöhen. Nach 10 Tagen Flächenrotte kommt der Grubber zum Einsatz (8-10 cm tief), um ggfs. Durchwuchs aus dem ersten Arbeitsgang einzuarbeiten. Danach wird die Folgekultur ausgesät.

### 3.4.2 Auswirkungen einer Rottelenkung der Zwischenfrüchte durch Fermente auf die Bodeneigenschaften

Untersuchungen mit Mikroorganismen und deren potentielle Funktion als Förderer des Pflanzenwachstums finden schon seit vielen Jahren statt, da ihnen eine positive Wirkung auf die Mineralisierung und Mobilisierung von Bodennährstoffen, die Unterdrückung von Pathogenen, den Schutz vor Stress oder die Stimulation des Wurzelwachstums zugeschrieben wird (Higa und Wididana 1991; Neumann 2017).

Die Anwendung von unterschiedlichen mikrobiellen Präparaten auf landwirtschaftlichen Flächen findet unter vielen unterschiedlichen Bezeichnungen statt: Einsatz von pflanzenwachstumsfördernden Mikroorganismen (engl. Plant growth-promoting microorganisms (PGPM)), von „Effektiven Mikroorganismen“ (EM)<sup>2</sup>, mikrobiellen Impfmitteln, Biodüngern<sup>3</sup>, Bio-Effektoren oder Fermente (wie im aktuellen Projekt). Gemeint ist meist eine Mischung aus unterschiedlichen Arten / Gattungen von Mikroorganismen, die der Förderung der Bodenfruchtbarkeit und des Pflanzenwachstums dienen sollen. In anderen Fällen werden jedoch einzelne Bakterienarten oder -stämme (z.B. Impfung von Rhizobienstämmen bei Leguminosen) eingesetzt, in weiteren Fällen natürliche Extrakte (aus Pflanzen, Algen, Kompost, etc.). Es gibt außerdem unterschiedliche Ausbringungsmethoden, je nach Zweck der Nutzung

---

<sup>1</sup> Inhaltsstoffe des Ferments siehe Anhang 2.

<sup>2</sup> Geschützter Markenbegriff. Im Folgenden Text „EM®“ meint das Markenprodukt und „Effektive Mikroorganismen“ die allgemeine Bezeichnung.

<sup>3</sup> Sehr weitreichender Begriff. Bezieht Mikroorganismen mit ein, bedeutet aber auch Düngung mit Pflanzenmaterial, Kompost oder tierischen Exkrementen. Das Wort „Dünger“ ist im Kontext der Nutzung von Mikroorganismen oder aktiven Substanzen jedoch irreführend, da diese u.a. die Nährstoffnutzungseffizienz erhöhen sollen, meist jedoch selbst kaum Nährstoffe ins System bringen.

und der Art des Mittels. Die Präparate können sowohl auf den Boden, das Saatgut oder die Pflanze ausgebracht werden. Im vorliegenden Projekt wird ein Ferment mit effektiven Mikroorganismen auf flach eingearbeitetes Pflanzenmaterial ausgebracht, das Ziel ist eine schnellere Zersetzung der Zwischenfrüchte.

Es sind viele Produkte für den Einsatz in der Landwirtschaft auf dem Markt erhältlich, meist sollen sie die Erträge und die Bodenfruchtbarkeit erhöhen. Allerdings ist die mikrobielle Zusammensetzung oft nicht im Detail deklariert, sodass es für Anwender schwierig ist, die Wirkung abzuschätzen. Außerdem erschwert dies der Wissenschaft, die Effektivität der Produkte zu untersuchen (Schenck zu Schweinsberg-Mickan und Müller 2009). Bekannt sind vor allem die EM<sup>®</sup> die von Teruo Higa, Professor für Gartenbau der Universität Ryukyu, Okinawa, Japan, entwickelt wurden und deren genaue Zusammensetzung ebenfalls geheim gehalten wird. Enthalten sind ca. 80 nützliche Mikroorganismen aus Populationen von Milchsäurebakterien, Hefen, phototrophen Bakterien, Fadenpilzen und Actinomyceten (Higa und Parr 1994).

Unter kontrollierten Versuchsbedingungen konnten Effekte auf die Förderung des Pflanzenwachstums festgestellt werden, wohingegen bei Feldversuchen nur selten Effekte zu beobachten waren, die auf die entsprechenden Mikroorganismen zurückzuführen sind (Schenck zu Schweinsberg-Mickan und Müller 2009; Mayer et al. 2010; Neumann 2017). Grund hierfür ist der starke Einfluss von Umweltfaktoren auf das Pflanzenwachstum und auf die Stoffwechselprozesse im Boden. In einem mehrjährigen internationalem Projekt BIOFECTOR, in dem 30 unterschiedliche Produkte, mit sogenannte Bio-Effektoren<sup>4</sup>, in über 150 Gefäß- und Feldversuchen getestet wurden, konnten nur für 30 % der Datensätze signifikante Effekte durch den Einsatz der Mikroorganismen festgestellt werden (Neumann 2017).

In einem 4-jährigem Feldversuch unter temperierten Klimaklimabedingungen konnten Mayer et al. (2010) bei Einsatz von EM<sup>®</sup> keine signifikanten Unterschiede in den Erträge von Kartoffeln, Wintergerste und Luzerne, der mikrobiellen Biomasse des Bodens und der Struktur der Bakteriengemeinschaften im Boden feststellen. Die basale Bodenatmung und das N-Mineralisierungspotential bzw. Substratumsatz als Kenngrößen der mikrobiellen Aktivität zeigten nur signifikante Unterschiede wenn EM mit Bokashi<sup>5</sup> appliziert wurde. Die Varianten, in denen ausschließlich die Lösung mit EM (EM<sup>®</sup> Präparate hergestellt durch anaerobe Fermentation aus Zuckerrohr, Molasse und Wasser) ausgebracht wurde, gab es hinsichtlich aller oben genannten Parametern keine signifikanten Unterschiede zu sterilisierten

---

<sup>4</sup> Mit Bio-Effektoren sind hier sowohl bakterielle und pilzliche Isolate als auch Pflanzen- und Kompostextrakte und dessen aktiven Inhaltstoffe gemeint.

<sup>5</sup> Bokashi ist organisches Material, welches nicht wie Kompost aerob zersetzt wird, sondern durch Zugabe von Mikroorganismen anaerob fermentiert wird. Bei der Einarbeitung in den Boden ist Bokashi für die Bodenmikroorganismen schnell umsetzbar (Footer 2013).

Kontrolle (Mayer et al. 2010). Die Unterschiede, die bei Bokashi auftraten, könnten auch auf die Nährstoffinputs der Trägerlösung zurückzuführen sein (Mayer et al. 2010). Effekte auf die Struktur der Bakteriengemeinschaften und der Substratnutzung wurden vermutlich durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen und Zugabe von organischem Material verursacht, jedoch nicht durch die Mikroorganismen, die in Form der EM-Präparaten ausgebracht wurden (Mayer et al. 2010). Ähnliche Ergebnisse erzielten Schenck zu Schweinsberg-Mickan und Müller (2009). Sie untersuchten die Ausbringung von EM<sup>®</sup> auf Boden zusammen mit Lupinenschrot oder Stroh. Die Varianten mit EM<sup>®</sup> führten teilweise zu einer erhöhten Bodenatmung und Erhöhung des C und N der mikrobiellen Biomasse. Es gab auch eine gering signifikant höhere N-Mineralisierung gegenüber der Kontrolle. Allerdings ließ sich ebenfalls kein Unterschied zwischen den Varianten mit EM<sup>®</sup>, sterilisierten EM<sup>®</sup> und Molasse feststellen. Die Autoren schlussfolgern, dass die Effekte auf die Molasse zurückzuführen sind (Schenck zu Schweinsberg-Mickan und Müller 2009).

Ergebnisse aus einer Meta-Analyse von Schütz et al. (2017), die sich mit mikrobiellen Impfmitteln beschäftigt haben, zeigen im Gegensatz zu den bisher vorgestellten Studien eine ertragssteigernde Wirkung, die durch die Mikroorganismen zu begründen ist. Es wurden Effekte von Biodüngern<sup>6</sup> auf Ertragssteigerung, N- und P-Nutzungseffizienz und Effekte in unterschiedlichen Klimabedingungen untersucht (Schütz et al. 2017). Die geringsten positiven Effekte zeigten sich bei kontinentalem Klima (+8,5 +- 2,4%). Die stärksten Effekte auf den Ertrag waren unter trockenen Klimabedingungen zu verzeichnen (+20,0 -+1,7 %). Die Effekte der P-Mobilisierung durch die Mikroorganismen war generell höher bei Böden mit hohen P-Gehalten als bei Böden mit geringem P-Gehalt und waren am effektivsten bei AM-Pilzen<sup>7</sup> (> P-mobilisierender Mikroorganismen > N-fixierende Mikroorganismen) (Schütz et al. 2017, vgl. Anhang 3). Außerdem waren die Effekte durch die AM-Pilz-Impfung bei geringem Gehalt an organischer Bodensubstanz und neutralem pH-Wert am effektivsten. Die Art der Ausbringungstechnik und des Substrats wurde in der Studie jedoch nicht untersucht und es ist nicht ersichtlich ob die untersuchten Studien eine sterile Variante enthielten. Aus den oben genannten Studien wird dem Substrat und dem Test mit einer sterilen Variante eine ausschlaggebende Bedeutung zugewiesen.

Die Menge der applizierten effektiven Mikroorganismen ist im Vergleich zu den Mikroorganismen im Boden verschwindend gering, was das Erzielen eines Effektes erschwert und laut Theorie der Bodenökologie auch nicht zu erwarten sein sollte: Die komplexen symbiotischen und konkurrierenden Beziehungen unter den Bodenmikroorganismen sorgen für eine gewisse Stabilität und damit zu einer raschen Wiedereinstellung des ursprünglichen Zustands nach einer Ausbringung von effektiven Mikroorganismen (Córdor-Golec et al. 2007).

---

<sup>6</sup> Hier: Mikrobielle Impfmittel (inklusive AM-Pilze, PGPR).

<sup>7</sup> Arbuskulären Mykorrhizapilze

Die Flächenrotte und der Anbau von Zwischenfrüchten sind generell als positiv für das Bodenleben und den Humusaufbau zu werten (vgl. Kapitel 3.2). Ob die Mikroorganismen in den Fermenten die Zersetzungsprozesse fördern, ist momentan jedoch nicht eindeutig wissenschaftlich belegt. Der Einfluss des Substrats (Kompost, Molasse) scheint eine größere Rolle zu spielen als die Mikroorganismen. Es gibt eine Vielzahl von nicht immer zuverlässigen Quellen, die auf die Effektivität von Effektiven Mikroorganismen hinweisen und häufig kommerzielle Ziele verfolgen (Córdor-Golec et al. 2007). Einige Studien zeigen jedoch positive Effekte der effektiven Mikroorganismen (vgl. Schütz et al. 2017) und viele Versuche werden nicht publiziert (Córdor-Golec et al. 2007). Mehr Forschung ist nötig, um die Effekte von effektiven Mikroorganismen auf die Bodenfruchtbarkeit, Nährstoffmobilisierung und Erträge zu untersuchen.

### 3.5 Mulchsaat (Soja in Roggenmatte)

#### 3.5.1 Aktuelle Umsetzung durch die beteiligten Landwirte

Ein Projektpartner nutzt dieses Verfahren und sät Soja in eine „Mulchmatte“, die aus niedergewaltem Winterroggen besteht.

#### 3.5.2 Auswirkungen der Mulchsaat auf die Bodeneigenschaften

Unter Direktsaat oder auch „No-Till“ versteht man die Saat in einen unbearbeiteten, ungestörten Boden. Alle Ernterückstände verbleiben an der Bodenoberfläche, sofern sie nicht geborgen werden (Tebrügge und Böhrnsen 1995). Ein Grund für diese Art der Bodenbearbeitung ist die Reduzierung der Arbeitsgänge für die Unkrautkontrolle sowie der Erosionsschutz (Triplett und Dick 2008). Die reduzierte Bodenbearbeitung und das Vorhandensein einer Mulchschicht haben jedoch auch vielfältige Effekte auf die Bodenfruchtbarkeit (Triplett und Dick 2008; Derpsch et al. 2010).

Das Verfahren der Soja-Direktsaat ist vor allem in Nord- und Südamerika weit verbreitet. Es wird dort in der konventionellen Landwirtschaft auf sehr großen Flächen eingesetzt, da es vor Erosion schützt und aufgrund von verringerten Kosten für Maschineneinsatz und reduziertem Arbeitseinsatz sehr kostengünstig ist. Um Direktsaat durchführen zu können, ist ein Herbizideinsatz nötig, um Durchwuchs der Kulturpflanzen und Beikräuter zu bekämpfen – dies ist im ökologischen Landbau nicht möglich. Um die Vorteile der Mulchsaat auch im ökologischen Landbau nutzen zu können, wurden in Nord- und Südamerika Mulchsaat-Anbausysteme entwickelt, die auf „high residue cover crop mulching“ beruhen. In diesen Systemen muss die Mulchmenge groß genug sein, um eine dicke Matte zu erzeugen, die Beikräuter und Durchwuchs unterdrückt. Man geht dabei von Biomasse-mengen von  $> 6 \text{ t ha}^{-1}$  aus, die die Zwischenfrucht mindestens liefern muss (Morse 2006). Bei der Direktsaat von Soja wird üblicherweise Winterroggen als Zwischenfrucht angebaut, im Frühjahr mit einem „Roller-Crimper“ (einer Art

Riffelwalze) niedergewalzt und die Sojabohnen direkt in die Mulchmatte gedrillt. Als Alternative zu dem genannten Anbauverfahren kann beispielsweise der Winterroggen als Grünschnittroggen geerntet werden und die Sojabohne in die Stoppel gesät werden. Eine weitere Möglichkeit ist es Wintergetreide in weiter Reihe anzubauen, zu hacken und Soja beim letzten Hackdurchgang in die Reihen zwischen das Getreide zu drillen. Das Getreide wird hoch gedroschen und die Sojabohne kann sich weiter entwickeln und im Spätsommer geerntet werden (Beesten 2017). In Europa hat sich die Direktsaat bei Soja noch nicht durchgesetzt. Ein Grund ist die langsamere Bodenerwärmung durch die Roggenmatte, die den wärmeliebenden Sojabohnen nicht zu Gute kommt und problematischer ist als bei anderen Kulturen (Beesten 2017) .

In der Praxis könnten theoretisch alle Kulturen, die mit weitem Reihenabstand angebaut werden, direkt in eine Mulchschicht gesät oder gepflanzt werden (Mais, Gemüse, Sojabohne etc.). Durch den weiten Reihenabstand, mechanische Beikrautregulierung und spätem Bestandsschluss sind genau diese Kulturen häufig erosionsgefährdet, wodurch alternative Anbaumaßnahmen durchaus sinnvoll sein können. Im Folgenden wird jedoch ausschließlich die Direktsaat von Soja diskutiert.

Die Effekte von Direktsaat auf die Bodenfruchtbarkeit betreffen sowohl bodenphysikalische, als auch chemisch-biologische Eigenschaften. Dazu zählen die Bodenstruktur, die Tragfähigkeit, die Aggregatstabilität, die biologische Aktivität und Umsetzungs- und Verlagerungsprozesse (Tebrügge und Böhrnsen 1995). Dabei verändert sich die Bodenstruktur folgendermaßen: Hinsichtlich der Porengrößenverteilung nimmt der Anteil an Grobporen ( $> 10 \mu\text{m}$ ) ab und der von Mittelporen ( $10 - 0,2 \mu\text{m}$ ) zu. Der Übergang von Ober- zu Unterboden ist homogener und verzahnt. Nach langjährigem Praktizieren von Direktsaat bildete sich ein stabiles Bodengefüge, bei dem das Gesamtporenvolumen in 12, 20 und 40 cm Tiefe durch die Belastung von Erntemaschinen etc. unverändert blieb während sich im Gegensatz dazu beim Pflugeinsatz das Porenvolumen verringerte (Tebrügge und Böhrnsen 1995). Die Bildung von stabilen Aggregaten durch eine höhere mikrobielle Aktivität bei langjähriger Direktsaat kann die Gefahr der Oberflächenverschlammung und somit auch die Erosionsanfälligkeit reduzieren (Tebrügge und Böhrnsen 1995). Außerdem kann die Nitratfracht nach starken Niederschlagsereignissen in tiefere Bodenschichten verringert werden, indem das Überschusswasser durch das kontinuierliche vertikale Bodensystem schneller abgeleitet und dadurch die Auswaschung von Nitrat verringert werden kann (by-pass-effect) (Tebrügge und Böhrnsen 1995).

Regenwürmer sind von großer Bedeutung für Umsetzungsprozesse im Boden. Vertikale Regenwurmgänge fördern das Infiltrationsvermögen, Durchlüftung, und Durchwurzelbarkeit. Eine hohe biologische Aktivität und eine Lebendverbauung der Bodenpartikel trägt zur Bildung stabiler Ton-Humus-Komplexe bei (Tebrügge und Böhrnsen 1995). Ob Direktsaatverfahren zu einer Steigerung der Regenwurmanzahl bzw. -aktivität führen, ist laut der verfügbaren Literatur nicht eindeutig. Tebrügge und

Böhrnsen (1995) fanden in ihrem 15-jährigen Feldversuch fünf Mal mehr Regenwürmer und achtmal mehr Regenwurmgänge auf Flächen mit Direktsaat im Vergleich zu gepflügten Flächen. Peigné et al. (2009) kommen hingegen zu einem anderen Ergebnis: Die Abundanz und Biomasse der Regenwürmer sinkt leicht, egal bei welcher Bodenbearbeitung. Die Bodenverdichtung bei der Direktsaat war höher als beim Pflugeinsatz. Es wurden zwar mehr Arten von anözischen Regenwürmern bei der Direktsaat gefunden, jedoch ohne Unterschiede bezüglich der Aktivität. In einem Zeitraum von drei Jahren konnten die Regenwürmer die Anzahl und Struktur der Makroporen eines Bodens unter konservierenden Bodenbearbeitung nicht verbessern (Peigné et al. 2009). Außerdem kann es durch eine dicke Mulchschicht des Roggens und eine Verdichtung des Bodens dazu kommen, dass die Aktivität des heterotrophen Bodenlebens – und somit auch die Aktivität der Rhizobien – gehemmt wird (Beesten 2017). Da im ökologischen Landbau keine reinen No-Till-Systeme existieren und Mulchsaat mit reduzierter, nicht wendender Bodenbearbeitung abwechselt, ist fraglich, ob die oben genannten Ergebnisse auf den ökologischen Landbau übertragen werden können.

Da es wenige Studien über die Direktsaat in Bezug auf Bodenfruchtbarkeit im ökologischen Landbau gibt, beziehen sich die im Folgenden beschriebenen Effekte nicht explizit auf die Direktsaat sondern auch auf die konservierende Bodenbearbeitung.

Berner et al. (2008) untersuchten in einem Feldversuch, wie sich Bodenfruchtbarkeitsparameter bei Reduzierung der Bodenbearbeitung - wendend mit dem Pflug - im Gegensatz zum nicht-wendenden Grubber verändert. Dabei wurden der organische Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) im Boden, die mikrobielle Biomasse des Bodens ( $C_{mic}$ ), die Dehydrogenase-Aktivität (DHA) und die Regenwurmdichte und -biomasse betrachtet. Die Intensität der Bodenbearbeitung hatte hauptsächlich einen Effekt auf die oberen 10 cm Boden im Vergleich zu den Messungen in 10-20 cm Bodentiefe,  $C_{org}$  stieg um 7 % bei der reduzierten Bodenbearbeitung, was vor allem durch die größere Menge an Pflanzenresten auf dem Feld zu erklären ist (Berner et al. 2008).  $C_{mic}$ ,  $N_{mic}$  und die DHA erhöhten sich bei der reduzierten Bodenbearbeitung erhöht. Das berechnete  $C_{mic}$  zu  $C_{org}$  Verhältnis, welches als Indikator für biologische Bodenfruchtbarkeit gilt, war bei reduzierter Bodenbearbeitung 15 % höher als bei wendender Bodenbearbeitung. Grund hierfür ist auch die Zufuhr von organischem Pflanzenmaterial an der Bodenoberfläche (Berner et al. 2008). Die gesamte Regenwurmdichte und -biomasse wurde in dem Versuch nicht durch die Art der Bodenbearbeitung beeinflusst. Die hohe Anzahl an Kokons und Jungwürmern könnte jedoch zu einer vorteilhaften Entwicklung der Regenwurmpopulation unter reduzierter Bodenbearbeitung führen. Die Erträge von Weizen und Gerste waren geringer, wobei sich der Ertrag eines Klee-Hafer-Gemenges nicht veränderte. Grund hierfür ist vermutlich die asynchrone Freisetzung von N (aus Boden, Wirtschaftsdünger und Pflanzenresten) zum N-Bedarf des Getreides. Das Pflügen führt zu einer schnelleren N-Mineralisierung und kommt dem Bedarf des Getreides in früheren Entwicklungsstadien näher (Berner

et al. 2008). Die Studie bezieht sich jedoch auf die Umstellungsphase auf reduzierte Bodenbearbeitung und kann keine Aussagen zu Langzeiteffekten auf die Bodenfruchtbarkeit und des Ertrags durch Veränderungen der C-Sequestrierung und des Unkrautdruck machen (Berner et al. 2008).

Um eine Aussage über den Einfluss der Direktsaat auf die Bodenfruchtbarkeit treffen zu können ist der Betrachtungszeitraum von großer Bedeutung. Wie die oben genannten Studien zeigen, führen die unterschiedlichen Betrachtungszeiträume zu gegensätzlichen Ergebnissen. Es kann festgehalten werden, dass die Direktsaat und reduzierte Bodenbearbeitung positive Effekte für das Bodengefüge und für das Bodenleben und somit für Stoffwechselprozesse im Boden haben kann. Jedoch ist eine konsequente Durchführung über mehrere Jahre vermutlich sinnvoll. Wenn die Direktsaat in Soja aus Gründen der Verbesserung der Bodenstruktur umgesetzt wird, sollte auch in den anderen Fruchtfolgegliedern reduzierte Bodenbearbeitung angewendet werden was jedoch im ökologischen Anbau schwierig durchzuführen ist. Außerdem sind die Vorteile klima- und standortabhängig und stehen bekannten (z.B. phytosanitären) Herausforderungen gegenüber.

## 4 Abschließende Bewertung der Maßnahmen

Die folgende Bewertung ist eine Zusammenfassung des oben diskutierten aktuellen Stands der Forschung. Die bisher angewandten Maßnahmen der Partnerbetriebe wirken sich alle positiv auf die Bodenfruchtbarkeit aus (Tabelle 6).

Der **Kompost** kann sowohl vom eigenen Betrieb stammen, als auch von extern zugekauft werden. Letzterer ermöglicht eine Zufuhr von P und anderen Nährstoffen in den Betriebskreislauf, welche vor allem für viehlose und Vieh arme Ackerbaubetriebe von großer Bedeutung ist um langfristig die Bodenfruchtbarkeit zu sichern. Als kurzfristig wirkender N-Dünger ist der Kompost hingegen wenig geeignet und die Kompostierung von betriebseigenem Klee gras für die Düngung ist mit höheren N-Verlusten verbunden als beispielsweise die Silierung. Für die biologische und physikalische Bodenfruchtbarkeit spielt der Aspekt der Zufuhr organischen Materials die größte Rolle (Erosionsschutz, Nahrung für Bodenlebewesen, Humusaufbau, etc.). **Zwischenfrüchte** reduzieren durch den Aufwuchs im Herbst eine N-Auswaschung über den Winter und können zusätzlich Stickstoff binden, sofern Leguminosen als Zwischenfrucht angebaut werden. Außerdem schützen sie vor Erosion und fördern durch ihre Biomasse, die oft auf dem Feld verbleibt, die Humusbildung. Bei einer **Körnerleguminosendichtsaa**t stellt auch das Saatgut eine zusätzliche Nährstoffzufuhr da, wenn es nicht auf dem eigenen Betrieb produziert wird. Es ist wichtig, auch bei Zwischenfrüchten Anbaupausen zu beachten. **Klee gras** als Hauptkultur sollte auch in viehlosen Fruchtfolgen ein fester Bestandteil sein, da ansonsten ein Erhalt der organischen Bodensubstanz nicht gewährleistet werden kann. Hier profitiert sowohl das Geberfeld als auch das Nehmerfeld, wenn die Klee grassprossmasse als frische Biomasse oder als Silage ausgebracht wird.

**Tabelle 6:** Übersicht über die Auswirkung auf die chemische, physikalische und biologische Bodenfruchtbarkeit von viehlosen und vieharmen ökologisch wirtschaftenden Betrieben der jeweiligen Maßnahmen (++ sehr positiv, + positiv, o neutral, - negativ).

Maßnahme	Bewertung			
	++	+	o	-
<b>Kompost</b>				
Chemisch				
Physikalisch				
Biologisch				
<b>Zwischenfrüchte (Ackerbohne)</b>				
Chemisch				
Physikalisch				
Biologisch				
<b>Rottelenkung durch Fermente</b>			? <sup>2</sup>	
Chemisch			?	
Physikalisch			?	
Biologisch			?	
<b>Silagedüngung und Cut &amp; Carry</b>				
Chemisch				
Physikalisch				
Biologisch				
<b>Mulchsaat</b>				
Chemisch				
Physikalisch				
Biologisch				

<sup>1</sup> Flächenrotte von Zwischenfrüchten.

<sup>2</sup> Effekte von Mikroorganismen im Ferment.

Besonders mit der Verwertung als Silage, kann ein hofeigener, zeitlich und räumlich mobiler Dünger erzeugt werden. Die **Mulchsaat und reduzierte Bodenbearbeitung** haben weniger Einfluss auf die chemische Bodenfruchtbarkeit, da keine Nährstoffe zugeführt werden. Durch die Zwischenfrucht und dessen Mulchschicht wird das Erosionsrisiko vermindert und Bodenbearbeitungsmaßnahmen für die Beikrautkontrolle werden überflüssig. Das Mulchmaterial bietet Nahrung für Bodenlebewesen und durch

die Vermeidung der Bodenbearbeitung wird das Bodenleben geschont (z. B. keine Zerstörung von Regenwurmgängern). Es ist allerdings eine große Herausforderung, einen optimalen Zwischenfruchtbestand zu produzieren, d.h. zum richtigen Zeitpunkt im Frühjahr zu walzen und zu säen, sodass eine effektive Unkrautunterdrückung besteht. Die **Rottelenkung von Zwischenfrüchten mithilfe von Fermenten** die effektive Mikroorganismen enthalten, ist bisher wenig erforscht. Wissenschaftliche Studien, die sich generell mit dem Einsatz von Fermenten und Mikroorganismen im Pflanzenbau beschäftigen, sind hingegen vorhanden. Diese kommen hinsichtlich der Wirksamkeit zu unterschiedlichen Ergebnissen, sodass nicht klar ist, ob die Wirkung tatsächlich durch die Mikroorganismen oder auf das Substrat mit dem sie auf Pflanzen oder Boden ausgebracht werden, zu begründen ist.

Es ist sinnvoll, die beschriebenen Maßnahmen weiterhin zu beforschen und für den viehlosen ökologischen Landbau zu anzupassen und zu optimieren. Die Maßnahmen tragen zu einem effizienteren Nährstoffmanagement auf den Betrieben bei, können allerdings nicht allein zu ausgeglichenen Nährstoffbilanzen führen, da kaum externe Nährstoffe in den Betriebskreislauf zugeführt werden (Ausnahmen sind der Zukauf von externen Komposten und extern produzierten Körnerleguminosen für Dichtsaaten von Zwischenfrüchten). Ausnahmen sind die biologische N-Fixierung der Leguminosen, der Zukauf von Kompost und der Zukauf von Saatgut (Ackerbohrendichtsaat). Eine Kombination der Maßnahmen ist möglich und sinnvoll.

## Literaturverzeichnis

Alpers, G. (2014): Düngen und Mulchen mit Grünmasse, 15.03.2014, S. 33–34.

Alpers, G. (2016): Klee gras-Silage eher ungeeignet. In: *Bauernblatt*, S. 51–52.

Altieri, M. A.; Wilson, R. C.; Schmidt, L. L. (1985): The effects of living mulches and weed cover on the dynamics of foliage- and soil-arthropod communities in three crop systems. In: *Crop Protection* 4 (2), S. 201–213. DOI: 10.1016/0261-2194(85)90018-3.

Amlinger, F.; Götz, B. (Hg.) (1999): Stickstoff in Bioabfall- und Grünschnittkompost. Bewertung von Bindungsdynamik und Düngewert. Runder Tisch Kompost - RTK. Wien, 29.-30.9.1998. Umweltbundesamt.

Askegaard, M.; Olesen, J. E.; Kristensen, K. (2005): Nitrate leaching from organic arable crop rotations: effects of location, manure and catch crop. In: *Soil Use and Management* (21), S. 181–188. Online verfügbar unter <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-2743.2005.tb00123.x/epdf>.

Beesten, F. von (2017): Soja – die geborene Direktsaatkultur? Hg. v. Deutscher Sojafördering e.V. Taifun Tofu GmbH. Online verfügbar unter <https://www.sojafoerderung.de/anbauratgeber/besondere-anbauverfahren/direktsaat-im-wintergetreide/>, zuletzt geprüft am 15.01.2018.

Benke, A. P.; Rieps, A.-M.; Wollmann, I.; Petrova, I.; Zikeli, S.; Möller, K. (2017): Fertilizer value and nitrogen transfer efficiencies with clover-grass ley biomass based fertilizers. In: *Nutr Cycl Agroecosyst* 107 (3), S. 395–411. DOI: 10.1007/s10705-017-9844-z.

Berner, A.; Hildermann, I.; Fließbach, A.; Pfiffner, L.; Niggli, U.; Mäder, P. (2008): Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organic management. In: *Soil and Tillage Research* 101 (1-2), S. 89–96. DOI: 10.1016/j.still.2008.07.012.

Bhattacharya, S. S.; Kim, K.-H.; Das, S.; Uchimiya, M.; Jeon, B. H.; Kwon, E.; Szulejko, J. E. (2016): A review on the role of organic inputs in maintaining the soil carbon pool of the terrestrial ecosystem. In: *Journal of environmental management* 167, S. 214–227. DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.09.042.

BLE, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hg.) (2014): Ölrettich zur Regulierung von Wurzelgallennematoden. Unter Mitarbeit von J. Hallmann. Online verfügbar unter <https://www.oekolandbau.de/erzeuger/pflanzenbau/allgemeiner-pflanzenbau/pflanzenschutz/schadereger/schadorganismen-im-ackerbau/kartoffel/aus-der-forschung/>, zuletzt aktualisiert am 29.05.2014, zuletzt geprüft am 13.04.2018.

Brock, C.; Dannehl T.; Blumenstein, B.; Möller, D. (2017): Humusersatzstrategien im viehlosen Ökolandbau. In: Sebastian Wolfrum, Hauke Heuwinkel, Hans Jürgen Reents, Klaus Wiesinger und Kurt-Jürgen Hülsbergen (Hg.): Ökologischen Landbau weiterdenken. Verantwortung übernehmen, Vertrauen stärken : Beiträge zur 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Freising, 7. - 10.03.2017. Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt. 1. Auflage 2017. Berlin: Dr. Köster, S. 292–295.

Brozyna, M. A.; Petersen, S. O.; Chirinda, N.; Olesen, J. E. (2013): Effects of grass-clover management and cover crops on nitrogen cycling and nitrous oxide emissions in a stockless organic crop rotation. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 181, S. 115–126. DOI: 10.1016/j.agee.2013.09.013.

Cóndor-Golec, A. F.; Gonzáles Pérez; Lokare, C. (2007): Effective Microorganisms: Myth or reality? In: *Revista Peruana de Biología* 2 (14), S. 315–319.

Dabney, S. M.; Delgado, J. A.; Reeves, D. W. (2001): USING WINTER COVER CROPS TO IMPROVE SOIL AND WATER QUALITY. In: *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32 (7-8), S. 1221–1250. DOI: 10.1081/CSS-100104110.

- Derpsch, R.; Friedrich, T.; Kassam, A.; Hongwen, L. (2010): Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. In: *Int J Agric & Biol Eng*, S. 1–25.
- Diacono, M.; Montemurro, F. (2010): Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. In: *Agron. Sustain. Dev.* 30 (2), S. 401–422. DOI: 10.1051/agro/2009040.
- Doltra, J.; Olesen, J. E. (2013): The role of catch crops in the ecological intensification of spring cereals in organic farming under Nordic climate. In: *European Journal of Agronomy* 44, S. 98–108. DOI: 10.1016/j.eja.2012.03.006.
- Fageria, N. K.; Baligar, V. C.; Bailey, B. A. (2005): Role of Cover Crops in Improving Soil and Row Crop Productivity. In: *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 36 (19-20), S. 2733–2757. DOI: 10.1080/00103620500303939.
- Footer, A. (2013): Bokashi Composting. Scraps to Soil in Weeks. Gabriola Island: New Society Publishers. Online verfügbar unter <https://ebookcentral.proquest.com/lib/gbv/detail.action?docID=5180755>.
- Fragstein und Niemsdorff, P. von (2018): Feldgemüsebau. In: M. Wachendorf, A. Bürkert und R. Graß (Hg.): *Ökologische Landwirtschaft*. 1. Aufl. Stuttgart: Eugen Ulmer, S. 154–157.
- Hallmann, J. (2004): Nachhaltige Wirkung von Ölrettich auf die Abundanzdynamik von Wurzelgallen-nematoden im ökologischen Landbau. Münster, 2004.
- Helmert, M.; Heuwinkel, H.; Pommer, G.; Gutser, R.; Schmidhalter, U. (2003): N-Flüsse in gemulchtem und geschnittenem Klee gras: Warum Klee gras-Brache im Ökologischen Landbau (OL) die Erträge der Folgefrucht nicht erhöht. In: *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* (102), S. 347. Online verfügbar unter 248.
- Helmert, M.; Heuwinkel, H.; Pommer, G.; Gutser, R.; Schmidhalter, U. (2004): Management effects in organically grown clover-grass on nitrous-oxide emissions: comparison of mulching and cutting. In: A. Weiske (Hg.): *Proceedings of the Int. Conference, Greenhouse Gas Emissions from Agriculture - Mitigation Options and Strategies*, S. 218–219.
- Higa, T.; Parr, J. F. (1994): Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment. Atami, Japan, 1994.
- Higa, T.; Wididana, G. N. (1991): The Concept and Theories of Effective Microorganisms. In: J. F. Parr, S. B. Hornick und C. E. Whitman (Hg.): *Proceedings of the First International Conference on Kyusei Nature Farming*. Washington, DC, USA. U.S. Department of Agriculture, S. 118–124.
- Jørgensen, R. (2018): Nährstoffmanagement und Humuswirtschaft. In: M. Wachendorf, A. Bürkert und R. Graß (Hg.): *Ökologische Landwirtschaft*. 1. Aufl. Stuttgart: Eugen Ulmer, S. 52–68.
- Katroschan, K.-U.; Teixeira, G.; Kahlen, K.; Stützel, H. (2012): Decomposition of lupine seeds and seedlings as N fertilizer in organic vegetable production. In: *Plant Soil* 357 (1-2), S. 59–71. DOI: 10.1007/s11104-012-1144-4.
- Kolbe, H.; Schmidt, E.; Klages, S. (2015): Bodenfruchtbarkeit und Düngung. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hg.): *Faustzahlen für den Ökologischen Landbau*. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, S. 103–151.
- Kramberger, B.; Gselman, A.; Janzekovic, M.; Kaligarić, M.; Bracko, B. (2009): Effects of cover crops on soil mineral nitrogen and on the yield and nitrogen content of maize. In: *European Journal of Agronomy* 31 (2), S. 103–109. DOI: 10.1016/j.eja.2009.05.006.

- KTBL, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (2013): Körnerleguminosen anbauen und Verwerten. Darmstadt (KTBL-Heft, 100).
- Leisen, E. (2012): Mineralstoffgehalte der Aufwüchse von Klee gras und Grünland in Öko-Milchviehbetrieben in den letzten 15 Jahren. Münster, 2012.
- Mack, R. (2017): Ackerbohnen im Feldgemüse. Ackerbohnen düngen das Feldgemüse, baut man sie zusammen an. In: *bioland-Fachmagazin für ökologischen Landbau* (04), S. 11.
- Mayer, J.; Scheid, S.; Widmer, F.; Fließbach, A.; Oberholzer, H.-R. (2010): How effective are 'Effective microorganisms® (EM)'? Results from a field study in temperate climate. In: *Applied Soil Ecology* 46 (2), S. 230–239. DOI: 10.1016/j.apsoil.2010.08.007.
- Mehta, C. M.; Palni, U.; Franke-Whittle, I. H.; Sharma, A. K. (2014): Compost. Its role, mechanism and impact on reducing soil-borne plant diseases. In: *Waste management (New York, N.Y.)* 34 (3), S. 607–622. DOI: 10.1016/j.wasman.2013.11.012.
- Möller, D. (2018): Betriebswirtschaft. In: M. Wachendorf, A. Bürkert und R. Graß (Hg.): *Ökologische Landwirtschaft*. 1. Aufl. Stuttgart: Eugen Ulmer, S. 282–296.
- Möller, K.; Zikeli, S. (2017): Bericht zum Forschungsprojekt „Monitoring der Nährstoffflüsse und des Bodennährstoffstatus von ökologisch bewirtschafteten Apfelanlagen in Baden Württemberg“. unveröffentlichter Forschungsbericht, 17 Seiten., 2017.
- Morse, M. (2006): Developing no-tillage systems without chemicals: the best of both worlds? In: Paul Kristiansen und Agram M. Taji (Hg.): *Organic agriculture. A global perspective*. Ithaca, New York: Comstock Pub. Associates, S. 83–91.
- Müller, T.; Thorup-Kristensen, K. (2001): N-Fixation of Selected Green Manure Plants in an Organic Crop Rotation. In: *Biological Agriculture & Horticulture* 18 (4), S. 345–363. DOI: 10.1080/01448765.2001.9754897.
- Neumann, G. (Hg.) (2017): Bio-effectors for alternative plant nutrition strategies: practical aspects for successful applications in crop production. International Plant Nutrition Colloquium 2017. Kopenhagen, 21.-24.08.2017.
- Paffrath, A. (2006): Vorfruchtwirkung verschiedener Zwischenfrüchte für den Ökologischen Landbau geprüft. Köln-Ausweiler.
- Peigné, J.; Cannavaciolo, M.; Gautronneau, Y.; Aveline, A.; Giteau, J. L.; Cluzeau, D. (2009): Earthworm populations under different tillage systems in organic farming. In: *Soil and Tillage Research* 104 (2), S. 207–214. DOI: 10.1016/j.still.2009.02.011.
- Reeves, D. W. (1994): Cover Crops and Rotations. In: J. L. Hartfield und B. A. Stewart (Hg.): *Crops Residue management. Advances in Soil Science*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, S. 125–172.
- Robačar, M.; Canali, S.; Kristensen, H. L.; Bavec, F.; Mlakar, S. G.; Jakop, M.; Bavec, M. (2016): Cover crops in organic field vegetable production. In: *Scientia Horticulturae* 208, S. 104–110. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.12.029.
- Schenck zu Schweinsberg-Mickan, M.; Müller, T. (2009): Impact of effective microorganisms and other biofertilizers on soil microbial characteristics, organic-matter decomposition, and plant growth. In: *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172 (5), S. 704–712. DOI: 10.1002/jpln.200800021.

- Schulz, F.; Brock, C.; Schmidt, H.; Franz, K.-P.; Leithold, G. (2013): Development of soil organic matter stocks under different farm types and tillage systems in the Organic Arable Farming Experiment Gladbacherhof. In: *Archives of Agronomy and Soil Science* 60 (3), S. 313–326. DOI: 10.1080/03650340.2013.794935.
- Schütz, L.; Gattinger, A.; Meier, M.; Müller, A.; Boller, T.; Mäder, P.; Mathimaran, N. (2017): Improving Crop Yield and Nutrient Use Efficiency via Biofertilization-A Global Meta-analysis. In: *Frontiers in plant science* 8, S. 2204. DOI: 10.3389/fpls.2017.02204.
- Sikora, L. J.; Enkiri, N. K. (2000): Efficiency of compost-fertilizer blends compared with fertilizer alone. In: *Soil Science* (165), S. 444–451.
- Spiegel, A.-K.; Gronle, A.; Arncken, C.; Bernhardt, T.; Heß, J.; Schmack, J. Schmid, J. et al. (2014): Leguminosen nutzen. Naturverträgliche Anbaumethoden aus der Praxis. Bonn (Praxishandbuch).
- Stinner, W.; Möller, K.; Leithold, G. (2008): Effects of biogas digestion of clover/grass-leys, cover crops and crop residues on nitrogen cycle and crop yield in organic stockless farming systems. In: *European Journal of Agronomy* 29 (2-3), S. 125–134. DOI: 10.1016/j.eja.2008.04.006.
- Stumm, C. (2017): Futterleguminosen im Viehlosen Betrieb sinnvoll nutzen. In: *bioland-Fachmagazin für ökologischen Landbau* (04), S. 8–10.
- Stumm, C.; Köpke, U. (2015): Optimierung des Futterleguminosenanbaus im viehlosen Acker- und Gemüsebau. In: Häring, A. M. et al. (Hg.): Am Mut hängt der Erfolg - Rückblicke und Ausblicke auf die Ökologische Landbewirtschaftung. Beiträge zur 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Hochschule für nachhaltige Entwicklung. 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Eberswalde, 17.-20. März 2015. Berlin: Dr. Köster, S. 311–314.
- Stumm, C.; Köpke, U. (2017): Düngung mit Sprossmasse von Futterleguminosen: Lachgasemissionen und Nitratverluste. In: Sebastian Wolfrum, Hauke Heuwinkel, Hans Jürgen Reents, Klaus Wiesinger und Kurt-Jürgen Hülsbergen (Hg.): Ökologischen Landbau weiterdenken. Verantwortung übernehmen, Vertrauen stärken : Beiträge zur 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Freising, 7. - 10.03.2017. Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt. 1. Auflage 2017. Berlin: Dr. Köster, S. 342–345.
- Tebrügge, F.; Böhrnsen, A. (1995): Direktsaat. Auswirkungen auf bodenökologische Faktoren und Ökonomie. In: *Landtechnik* 50 (1), S. 6–7.
- Triplett, G. B.; Dick, W. A. (2008): No-Tillage Crop Production. A Revolution in Agriculture! In: *Agronomy Journal* 100 (Supplement\_3), S-153. DOI: 10.2134/agronj2007.0005c.
- van der Burgt, G.J.H.M.; van Eekeren, N.; Scholberg, J.; Koopmans, C. (2013): Lucerne (*Medicago sativa*) or grass-clover as cut-and-carry fertilizers in organic agriculture. In: Á. Helgadóttir und A. Hopkins (Hg.): The Role of Grasslands in a Green Future. Threats and Perspectives in Less Favoured Areas. European Grassland Federation (EGF). Iceland (Grassland Science in Europe, 18).
- Viaene, N. M.; Abawi, G. S. (1998): Management of Meloidogyne hapla on Lettuce in Organic Soil with Sudangrass as a Cover Crop. In: *Plant Disease* 82 (8), S. 945–952. DOI: 10.1094/PDIS.1998.82.8.945.
- Zikeli, S.; Deil, K.; Möller, K. (2017): The challenge of imbalanced nutrient flows in organic farming systems: A study of Organic greenhouses in Southern Germany. In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* (244), S. 1–13.

## Anhang

**Anhang 1:** Mineralstoffgehalte von Kleegrassilagen von 1997 bis 2011 aus dem ersten Schnitt (oben) und aus den Folgeschnitten (unten). Der Zweck der Silage ist in diesem Fall Viehfutter und nicht die Nutzung als Dünger (Leisen 2012).

Erntejahr	Anzahl Proben	Kalzium	Phosphor	Kalium (g/100 g T)	Magnesium	Natrium
2011	27	0,83	0,28	2,92	0,16	0,08
2010	12	0,88	0,30	2,94	0,17	0,10
2007 - 2011	107	0,83	0,32	3,01	0,17	0,09
2002 - 2006	85	0,80	0,33	2,90	0,17	0,11
1997 - 2001	38	0,82	0,33	2,82	0,16	0,08
erforderliche Gehalte für Milchkühe <sup>1)</sup>		0,40 - 0,61	0,25 - 0,38		0,15 - 0,16	0,12 - 0,14
erforderliche Gehalte für Pflanzen <sup>2)</sup>			0,31 - 0,37 <sup>2)</sup>	2,00 - 2,50 <sup>2)</sup>		

1) niedriger Wert: Bedarf bei Trockenstehern, hoher Wert: 35 kg Milchleistung

2) niedriger Wert: Bedarf bei 30 % Rohfaser und 10 % Rohprotein (altes Futter), hoher Wert: bei 20 % Rohprotein und 21 % Rohfaser (junges Futter)

Erntejahr	Anzahl Proben	Kalzium	Phosphor	Kalium (g/100 g T)	Magnesium	Natrium
2011	49	1,11	0,34	3,23	0,22	0,10
2010	13	0,86	0,37	3,25	0,17	0,07
2007 - 2011	132	1,00	0,35	3,04	0,20	0,08
2002 - 2006	98	1,01	0,35	2,86	0,22	0,10
1997 - 2001	39	0,98	0,34	2,67	0,20	0,11
erforderliche Gehalte für Milchkühe <sup>1)</sup>		0,40 - 0,61	0,25 - 0,38		0,15 - 0,16	0,12 - 0,14
erforderliche Gehalte für Pflanzen <sup>2)</sup>			0,31 - 0,37 <sup>2)</sup>	2,00 - 2,50 <sup>2)</sup>		

1) niedriger Wert: Bedarf bei Trockenstehern, hoher Wert: 35 kg Milchleistung

2) niedriger Wert: Bedarf bei 30 % Rohfaser und 10 % Rohprotein (altes Futter), hoher Wert: bei 20 % Rohprotein und 21 % Rohfaser (junges Futter)

**Anhang 2:** Inhaltsstoffkonzentrationen des Ferments des Partnerbetriebs Kränzler

<b>Nährstoffe</b>	<b>Konzentration</b>
Gesamt-C %	1,31
Gesamt-N %	0,043
Phosphor mg l <sup>-1</sup>	15,5
Kalium mg l <sup>-1</sup>	1604
Magnesium mg l <sup>-1</sup>	196
Calcium mg l <sup>-1</sup>	566
Natrium mg l <sup>-1</sup>	260
Kupfer mg l <sup>-1</sup>	0,1
Mangan mg l <sup>-1</sup>	2,81
Eisen mg l <sup>-1</sup>	7,6
Zink mg l <sup>-1</sup>	0,55
Bor µg l <sup>-1</sup>	214
Selen µg l <sup>-1</sup>	29
Molybdän µg l <sup>-1</sup>	245
Nickel µg l <sup>-1</sup>	90

**Anhang 3:** Kategorisierung von mikrobiellen Impfmitteln nach Merkmalen und Funktionen der Arten (Schütz et al. 2017).

Kategorie	Art
Arbuskulären Mykorrhizapilze (AM-Pilze)	<i>Entrophosphora colombiana</i> , <i>Glomus caledonium</i> , <i>G. clarum</i> , <i>G. etunicatum</i> , <i>G. fasciculatum</i> , <i>G. hoi</i> , <i>G. intraradices</i> (new name: <i>Rhizophagus irregularis</i> ), <i>G. mosseae</i> , <i>Gigaspora rosea</i>
P-mobilisierender Mikroorganismen	<i>Arthrobacter chlorophenolicus</i> , <i>Bacillus firmus</i> , <i>B. megaterium</i> , <i>B. mucilaginosus</i> , <i>Burkholderia caryophylli</i> , <i>Enterobacter asburiae</i> , <i>Microbacterium arborescens</i> , <i>Paenibacillus</i> sp., <i>P. polymixa</i> , <i>Penicillium bilaii</i> , <i>Providencia</i> sp., <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>P. argentinensis</i> , <i>P. cepacia</i> , <i>P. chlororaphis</i> subsp. <i>aurantiaca</i> , <i>P. diminuta</i> , <i>P. fluorescens</i> , <i>P. fragi</i> , <i>P. jesseni</i> , <i>P. marginalis</i> , <i>P. paleroniana</i> , <i>P. putida</i> , <i>P. striata</i> , <i>P. syringae</i> , <i>P. tolasii</i> , <i>Serratia marcescens</i> , <i>Staphylococcus saprophyticus</i>
N-fixierende Mikroorganismen	<i>Anabaena azollae</i> , <i>A. cylindrica</i> , <i>A. oscillaroides</i> , <i>A. variabilis</i> , <i>A. torulosa</i> , <i>Aphanothece</i> spp., <i>Aulosira fertilissima</i> , <i>Azolla caroliniana</i> , <i>Azospirillum brasilense</i> , <i>A. lipoferum</i> , <i>Azotobacter brasilense</i> , <i>A. chroococcum</i> , <i>Bacillus polymyxa</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>Beijerinckia indica</i> , <i>Bradyrhizobium diazoefficiens</i> , <i>B. japonicum</i> , <i>Brevundimonas diminuta</i> , <i>Burkholderia vietnamensis</i> , <i>Calothrix</i> sp., <i>C. elenkinii</i> , <i>Gloeotrichia</i> sp., <i>Gluconacetobacter diazotrophicus</i> , <i>Herbaspirillum seropedicae</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Mesorhizobium ciceri</i> , <i>Nostoc muscorum</i> , <i>N. sp.</i> , <i>Rhizobium leguminosarum</i> , <i>Staphylococcus</i> sp., <i>Tolypothrix tenuis</i>
P-mobilisierender und N-fixierende Mikroorganismen	Stämme von <i>Bacillus megaterium</i> , <i>B. polymixa</i> , <i>Enterobacter</i> sp., gemeinsame Impfung von P-Mobilisierern und N-Fixierern
Andere Mikroorganismen für Biodünger	<i>Actinomycetes</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>A. tubingensis</i> , <i>Bacillus circulans</i> , <i>B. mycoides</i> , <i>B. pumilus</i> , <i>B. simplex</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>Burkholderia tropica</i> , <i>Citrobacter freundii</i> , <i>Kurthia</i> sp., <i>Ochrobactrum anthropic</i> , <i>O. ciceri</i> , <i>Penicillium brevicompactum</i> , <i>P. solitum</i> , <i>Piriformopora indica</i> , <i>Rhodobacter capsulatus</i> , <i>Rhodopseudomonas</i> sp., <i>Rhodotorula glutinis</i> , <i>Thiobacillus</i> sp., <i>T. thiooxidans</i> , <i>Trichoderma atroviride</i> , <i>T. harzianum</i> , <i>Variovorax paradoxus</i> , joint inoculations with AMF