



Abschlussbericht der Operationellen Gruppe BRAVÖ

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



Europäischer Landwirtschafts-
fonds für die Entwicklung des
Ländlichen Raums (ELER)

Hier investiert Europa in die
Ländlichen Gebiete mitfinan-
ziert durch das Land Baden-
Württemberg



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LÄNDLICHEN RAUM
UND VERBRAUCHERSCHUTZ



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



Hochschule für
Wirtschaft und Umwelt
Nürtingen-Geislingen



mepl.landwirtschaft-bw.de/

im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft (EIP)
August 2021

Inhaltsverzeichnis

1. KURZDARSTELLUNG	6
1.1. AUSGANGSSITUATION UND BEDARF.....	6
1.2. PROJEKTZIEL UND KONKRETE AUFGABENSTELLUNG	6
1.3. MITGLIEDER DER OPG	7
1.4. PROJEKTGEBIET.....	8
1.5. PROJEKTLAUFZEIT UND –DAUER	9
1.6. BUDGET	9
1.7. ABLAUF DES VORHABENS.....	9
1.8. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE.....	9
2. EINGEHENDE DARSTELLUNG	11
2.1. VERWENDUNG DER ZUWENDUNG	11
2.2. DETAILIERTE ERLÄUTERUNG DER SITUATION ZU PROJEKTBEGINN.....	11
2.2.1. <i>Ausgangssituation</i>	11
2.2.2. <i>Projektaufgabenstellung</i>	11
3. ERGEBNISSE DES INNOVATIONSPROJEKTES	12
3.1. ERGEBNISSE INSTITUT FÜR ANGEWANDTE AGRARFORSCHUNG HOCHSCHULE FÜR WIRTSCHAFT UND UMWELT NÜRTINGEN-GEISLINGEN	12
3.1.1. <i>Einleitung</i>	12
3.1.2. <i>Methoden</i>	12
3.1.2.1. Nährstoffbilanzierung.....	13
3.1.2.2. Hoftorbilanz.....	13
3.1.2.3. Bodenbilanz.....	14
3.1.2.4. Nährstoffflussdiagramme.....	15
3.1.2.5. Humusbilanzierung.....	16
3.1.2.6. Ökobilanzierung	17
3.1.2.7. Ziel und Untersuchungsrahmen	17
3.1.2.8. Sachbilanz.....	19
3.1.2.9. Wirkungsabschätzung	20
3.1.2.10. Auswertung und Interpretation	21
3.1.3. <i>Ergebnisse</i>	22
3.1.3.1. Betrieb Leibing - Kompost I: Zukauf vom Kompostwerk	22
3.1.3.2. Betrieb Schmid - Tiefenlockerung & Zwischenfruchtanbau mit angepasster Bodenbearbeitung in Folgefrucht 28	
3.1.3.3. Betrieb Köberle - Mulchen von Klee gras & Zwischenfruchtanbau mit angepasster Bodenbearbeitung 30	
3.1.3.4. Betrieb Heiß – Klee gras transfer	31
3.1.3.5. Betrieb Kiechle - Kompost II: Eigene Herstellung	38
3.1.3.6. Betrieb Ruesch - Direktsaat in Roggenmulchmatte.....	43
3.1.3.7. Betrieb Wais - Leguminosendichsaat I.....	45
3.1.3.8. Betrieb Kränzler - Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment	51
3.1.3.9. Betrieb Petrik - Leguminosendichsaat II.....	56
3.1.4. <i>Diskussion</i>	59
3.1.4.1. Methodische Grenzen und Unsicherheiten in den Datengrundlagen	59
3.1.4.2. Diskussion der Ergebnisse	62
3.2. ERGEBNISSE ZENTRUM ÖKOLOGISCHER LANDBAU, UNIVERSITÄT HOHENHEIM, STUTTGART.....	66
3.2.1. <i>Einleitung</i>	66
3.2.2. <i>Material und Methoden</i>	66
3.2.2.1. Datenerhebung und Datenverfügbarkeit	66
3.2.2.2. Leistungs- und Kostenrechnung	67
3.2.2.3. Lineare Programmierung.....	68
3.2.3. <i>Ergebnisse der Kosten- und Leistungsrechnungen</i>	69
3.2.3.1. Betrieb Kiechle - Kompost I: Eigene Herstellung	70

3.2.3.2.	Betrieb Schmid – Tiefenlockerung & Zwischenfruchtanbau mit angepasster Bodenbearbeitung in Folgefrucht	73
3.2.3.3.	Betrieb Köberle – Mulchen von Klee gras & Zwischenfruchtanbau mit angepasster Bodenbearbeitung	76
3.2.3.4.	Betrieb Heiß - Klee grastransfer	80
3.2.3.5.	Betrieb Leibing – Kompost II – Zukauf von Kompostwerk	83
3.2.3.6.	Betrieb Ruesch – Direktsaat in Roggenmulchmatte	85
3.2.3.7.	Betrieb Wais – Winterleguminosen.....	89
3.2.3.8.	Betrieb Kränzler – Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment.....	92
3.2.3.9.	Betrieb Petrik – Leguminosendichtsaa.....	95
3.2.4.	Ergebnisse der Linearen Programmierung	99
3.2.4.1.	Szenario 1 – Basisszenario	99
3.2.4.2.	Szenario 2 - Vergleich mit der Maßnahme „Rindermist düngen“	103
3.2.4.3.	Szenario 3 – Optimierung durch biozyklisch-vegane Zertifizierung.....	105
3.2.4.4.	Szenario 4 – Vernachlässigung der Nährstoff- und Humusbilanzen	107
3.2.5.	Diskussion der Ergebnisse der Kosten- und Leistungsrechnung	109
3.2.6.	Diskussion der Ergebnisse der Linearen Programmierung	110
3.2.7.	Zusammenfassung	117
3.3.	ERGEBNISSE EXAKTVERSUCH KLEINHOHENHEIM	121
3.3.1.	Einleitung.....	121
3.3.2.	Material und Methoden	125
3.3.2.1.	Versuchsstandort	125
3.3.2.2.	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	125
3.3.2.3.	Ertragsfassung und Probenaufbereitung der Pflanzenproben	130
3.3.2.4.	Bodenprobenahme (Mineralischer Bodenstickstoff (N _{min}) und Grundanalysen)	131
3.3.2.5.	Laboranalysen	133
3.3.3.	Ergebnisse	134
3.3.3.1.	Nährstoffgehalte der Düngemittel	134
3.3.3.2.	Bodengehalt P, K, und Mg	134
3.3.3.3.	N- Dynamik im Boden.....	135
3.3.3.4.	Stickstoffmineralisierung Sommerweizen	137
3.3.3.5.	Ertragswirkung der Düngemittel auf die Hauptfrucht Kartoffeln	137
3.3.3.6.	Ertragswirkung der Düngemittel auf die Folgefrucht Sommerweizen	140
3.3.4.	Diskussion.....	141
3.3.5.	Fazit.....	143
4.	NUTZEN DER ERGEBNISSE FÜR DIE PRAXIS.....	145
4.1.	ERGEBNISSE DER OG IN BEZUG AUF.....	145
4.1.1.	<i>...die Zusammenarbeit.....</i>	145
4.1.2.	<i>der besondere Mehrwert des Formates einer OG für die Durchführung des Projekts?.....</i>	145
4.1.3.	<i>...auf eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projekts. 145</i>	
4.2.	NUTZEN DER ERGEBNISSE FÜR DIE PRAXIS	145
4.2.1.	<i>(Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse.....</i>	146
4.2.2.	<i>Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit.....</i>	146
5.	KOMMUNIKATIONS- UND DISSEMINATIONSKONZEPT.....	146
6.	LITERATURVERZEICHNIS.....	149
7.	ANHANG	155
7.1.	ANHANG ZU KAPITEL 3.1.....	155
7.2.	ANHANG ZU KAPITEL 3.2.....	156

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verteilung der Partnerbetriebe in Baden-Württemberg.....	8
Abbildung 2: Im Projekt BRAVÖ berücksichtigte Nährstoffimporte und -exporte der Hoftorbilanz	14
Abbildung 3: Im Projekt BRAVÖ berücksichtigte Nährstoffzuflüsse und -abflüsse der Bodenbilanz	15
Abbildung 4: Prinzip der Humusbilanzierung (Leithold et al. 2007)	17
Abbildung 5: Stickstoffflüsse des Innovationsbetriebs „Kompost I: Zukauf von Kompostwerk“ im Jahr 2017.....	22
Abbildung 6: Phosphorflüsse des Innovationsbetriebs „Kompost I: Zukauf von Kompostwerk“ im Jahr 2017	23
Abbildung 7: Kaliumflüsse des Innovationsbetriebs „Kompost I: Zukauf von Kompostwerk“ im Jahr 2017	23
Abbildung 8: Ergebnisse der Ökobilanz einer Düngung von 50 kg N/ha mit externem Kompost im Vergleich zu einer Düngung mit Rindermist	26
Abbildung 9: Stickstoffflüsse des Innovationsbetriebs „Kleeegrastransfer“ im Jahr 2017.....	32
Abbildung 10: Phosphorflüsse des Innovationsbetriebs „Kleeegrastransfer“ im Jahr 2017	33
Abbildung 11: Kaliumflüsse des Innovationsbetriebs „Kleeegrastransfer“ im Jahr 2017	33
Abbildung 12: Ergebnisse der Ökobilanzierung einer Düngung mit 50 kg N/ha durch Cut & Carry Klee gras bzw. Silagedüngung im Vergleich zu einer Düngung mit Rindergülle.....	36
Abbildung 13: Stickstoffflüsse des Innovationsbetriebs „Kompost II: Eigene Herstellung“ im Jahr 2017.....	38
Abbildung 14: Phosphorflüsse des Innovationsbetriebs „Kompost II: Eigene Herstellung“ im Jahr 2017	39
Abbildung 15: Kaliumflüsse des Innovationsbetriebs „Kompost II: Eigene Herstellung“ im Jahr 2017	39
Abbildung 16: Ergebnisse der Ökobilanz einer Düngung von 50 kg N/ha mit Kompost im Vergleich zu einer Düngung mit Gärresten	42
Abbildung 17: Stickstoffflüsse des Innovationsbetriebs „Leguminosendichtsaa t I“ im Jahr 2017	46
Abbildung 18: Phosphorflüsse des Innovationsbetriebs „Leguminosendichtsaa t I“ im Jahr 2017.....	46
Abbildung 19: Kaliumflüsse des Innovationsbetriebs „Leguminosendichtsaa t I“ im Jahr 2017	46
Abbildung 20: Ergebnisse der Ökobilanzierung einer Düngung mit 50 kg N durch Leguminosendichtsaa t im Vergleich zu einer Düngung mit Hornmehl	49
Abbildung 21: Stickstoffflüsse des Innovationsbetriebs „Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment“ im Jahr 2017	51
Abbildung 22: Phosphorflüsse des Innovationsbetriebs „Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment“ im Jahr 2017	52
Abbildung 23: Kaliumflüsse des Innovationsbetriebs „Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment“ im Jahr 2017	52
Abbildung 24: Ergebnisse der Ökobilanzierung des intensiven Zwischenfruchtanbaus im Vergleich zu einer Düngung mit 5 kg P/ha durch Geflügelmist	55
Abbildung 25: Logo Biozyklisch-Veganer Anbau.....	111
Abbildung 26: Logo IFOAM Family of Standards.....	111
Abbildung 27: Umfang der innovativen Maßnahmen und Deckungsbeiträge der Szenarien 1-4.....	113
Abbildung 28: Monetäre Bewertung der Nährstoffe in den Szenarien 1-4 und nach Landhandelspreisen.....	115
Abbildung 29: Ausbringung von Düngemitteln im Frühjahr.....	126
Abbildung 30: Kartoffelbestand am 09.06.2018.....	128
Abbildung 31: Kartoffelbestand am 11.06.2018.....	128
Abbildung 32: Blühende Kartoffelpflanzen am 20.06.2018.....	129
Abbildung 33: Endernte am 05.09.2018	130
Abbildung 34: Aussortieren der Knollen um den Anteil beschädigter, fauler, grüner und mit Drahtwürmern infizierter Kartoffeln zu bestimmen.	131
Abbildung 35: erste Bodenprobennahme am 16.03.2018	132
Abbildung 36 a-f: Vergleich der Bodengehalte an mineralischem Stickstoff ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) (N_{min} kg ha ⁻¹) im Kartoffelanbau mit unterschiedlichen Zeitpunkten in den Jahren 2018 und 2019.	136
Abbildung 37 a, b: Vergleich der Bodengehalte an mineralischem Stickstoff ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) (N_{min} kg ha ⁻¹) im Sommerweizenanbau 2019 und 2020 in der Bodentiefe 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm in Abhängigkeit von der Düngebehandlung).	137
Abbildung 38: Frischmasseertrag der Kartoffelknollen (in t ha ⁻¹) im Vergleich der zwei Versuchsjahre 2018 und 2019.	139
Abbildung 39: Die marktfähigen Erträge (t ha ⁻¹) der Kartoffelknollen in den Größen < 3,5 und >11cm wurden als marktfähige Erträge standardisiert.....	140
Abbildung 40: Sommerweizen ertrag (2019 und 2020) in Abhängigkeit von der Düngung im Folgejahr nach Kartoffelanbau (2018 und 2019).	141

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Im Projekt BRAVÖ untersuchte Verfahren und deren Referenzverfahren für die Ökobilanzierung	18
Tabelle 2: Ausbringungsart und Transportstrecke der Referenzsubstanzen und des externen Kompostes.....	18
Tabelle 3: Im Projekt BRAVÖ untersuchte Wirkungskategorien der Ökobilanzierung.....	20
Tabelle 4: Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Kompost I: Zukauf von Kompostwerk“. Die Salden der Hoftorbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine besserer Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.	24
Tabelle 5: Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Kompost I: Zukauf von Kompostwerk“ nach VDLUFA.....	25
Tabelle 6: Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Tiefenlockerung & Zwischenfruchtanbau mit angepasster Bodenbearbeitung in Folgefrucht“. Die Salden der Hoftorbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine besserer Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.....	28
Tabelle 7: Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Tiefenlockerung & Zwischenfruchtanbau mit angepasster Bodenbearbeitung in Folgefrucht“ nach VDLUFA.....	29
Tabelle 8: Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Mulchen von Klee gras & Zwischenfruchtanbau mit angepasster Bodenbearbeitung“. Die Salden der Hoftorbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine besserer Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.....	30
Tabelle 9: Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Mulchen von Klee gras & Zwischenfruchtanbau mit angepasster Bodenbearbeitung“ nach VDLUFA	31
Tabelle 10: Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Klee grastransfer“. Die Salden der Hoftorbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine besserer Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.	34
Tabelle 11: Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Klee grastransfer“ nach VDLUFA.....	34
Tabelle 12: Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Kompost II: Eigene Herstellung“. Die Salden der Hoftorbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine besserer Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.	40
Tabelle 13: Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Kompost II: Eigene Herstellung“ nach VDLUFA.....	40
Tabelle 14: Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Direktsaat in Roggenmulchmatte“. Die Salden der Hoftorbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine besserer Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.	44
Tabelle 15: Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Direktsaat in Roggenmulchmatte“ nach VDLUFA	44
Tabelle 16: Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Leguminosendichsaat I“. Die Salden der Hoftorbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine besserer Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.	48
Tabelle 17: Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Leguminosendichsaat I“ nach VDLUFA	48
Tabelle 18: Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment“. Die Salden der Hoftorbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine besserer Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.....	53
Tabelle 19: Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment“ nach VDLUFA.....	54
Tabelle 20: Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Leguminosendichsaat II“. Die Salden der Hoftorbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine besserer Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.	57
Tabelle 21: Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Leguminosendichsaat II“ nach VDLUFA	58
Tabelle 22: Herstellungskosten und Zusammensetzung für 11,33 m ³ (Ausbringungsmenge je ha) des selbst hergestellten Komposts	70
Tabelle 23: Kompost: Kosten und Leistungen im Vergleich:	72
Tabelle 24: Tiefenlockerung: Leistungen und Kosten im Vergleich	75
Tabelle 25: Zwischenfrucht vor Braugerste-Linsen-Gemenge: Leistungen und Kosten im Vergleich.....	78
Tabelle 26: Klee gras mulchen: Leistungen und Kosten im Vergleich	79
Tabelle 27: Klee grastransfer: Leistungen und Kosten im Vergleich	82
Tabelle 28: Kompostdüngung: Leistungen und Kosten im Vergleich.....	84
Tabelle 29: Direktsaat in Roggenmulchmatte: Leistungen und Kosten im Vergleich.....	87
Tabelle 30: Leguminosen als Winterzwischenfrucht vor Brokkoli: Leistungen und Kosten im Vergleich.....	90
Tabelle 31: Zusammenstellung der Kosten für die Herstellung von 1000l Ferment.....	92
Tabelle 32: Zwischenfruchtanbau mit Flächenrotte und Ausbringung von Ferment: Leistungen und Kosten im Vergleich	94
Tabelle 33: Leguminosendichsaat als Frühjahrzwischenfrucht 2: Leistungen und Kosten im Vergleich.....	97
Tabelle 34: Fruchtfolge Szenario 2, 3 und 4.....	116
Tabelle 35: Durchgeführte Maßnahmen und Probenahmen in Kartoffeln für die Versuchsjahre (2018 und 2019)	127
Tabelle 36: Durchgeführte Maßnahmen in Sommerweizen (2019 und 2020)	129
Tabelle 37: Durchgeführte Maßnahmen und Probenahmen in Kartoffeln für die Versuchsjahre 2018 und 2019 und in Sommerweizen für die Versuchsjahre 2019 und 2020	132

Tabelle 38: N-Werte der Kjeldahl-Analyse aller Düngemittel gemittelt über beide Versuchsjahre 2018/2019.....	134
Tabelle 39: Durchschnittlicher Gehalt an pflanzenverfügbaren Nährstoffen P, K und Mg in Bodenproben gezogen vor der Ausbringung der Düngemittel im Frühjahr	135
Tabelle 40: Vergleich der Zwischenernte in Abhängigkeit von den eingesetzten Düngemitteln (unterschiedliche Kleinbuchstaben zeigen statistisch signifikante Unterschiede).....	138
Tabelle 41: C/N Verhältnis der Kartoffelknollen und der oberirdischen Biomasse sowie die Stickstoffnutzungseffizienz (SNE) in den Jahren 2018 und 2019.	138
Tabelle 42: Berechnete Transportstrecken der Referenzsubstrate. Falls nicht anders angegeben erfolgte der Transport mit dem Traktor.	155
Tabelle 43: Berechnete Varianten in der Ausbringungstechnik der Referenzsubstrate.....	155
Tabelle 44: Berechnete Kombinationen der Varianten für Referenzverfahren	155
Tabelle 45: Ansprüche und Lieferungen der innovativen Maßnahmen „Kleegrastransfer“ und „Komposteinsatz“	157
Tabelle 46: Optimales Produktionsprogramm in Szenario 1.....	158
Tabelle 47: Szenario 1, Sensitivitätsanalyse, erster Teil	159
Tabelle 48: Ansprüche und Lieferungen des Verfahrens „1 ha Ackergrasanbau“	160
Tabelle 49: Szenario 1, Sensitivitätsanalyse, zweiter Teil	161
Tabelle 50: Optimales Produktionsprogramm in Szenario 2.....	162
Tabelle 51: Szenario 2, Sensitivitätsanalyse, erster Teil	163
Tabelle 52: Szenario 2, Sensitivitätsanalyse, zweiter Teil	164
Tabelle 53: Anpassung der Produktionsverfahren in Szenario 3 im Vergleich zu Szenario 1	166
Tabelle 54: Optimales Produktionsprogramm Szenario 3	167
Tabelle 55: Szenario 3, Sensitivitätsanalyse, erster Teil	168
Tabelle 56: Szenario 3, Sensitivitätsanalyse, zweiter Teil	169
Tabelle 57: Optimales Produktionsprogramm in Szenario 4.....	170
Tabelle 58: Szenario 4, Sensitivitätsanalyse, erster Teil	171
Tabelle 59: Szenario 4, Sensitivitätsanalyse, zweiter Teil	172

1. Kurzdarstellung (Meike Oltmanns)

1.1. Ausgangssituation und Bedarf

Im ökologischen Landbau ist die Anzahl der Betriebe, die mit sehr geringen Viehbesätzen (< 0,2 GV ha⁻¹) oder ganz viehlos arbeiten, von ca. 20 % um die Jahrtausendwende (Schmidt 2004) auf ca. 34 % (Maaß et al. 2017) gestiegen. Es ist zu erwarten, dass sich dieser Anstieg aus ökonomischen Gründen in der nächsten Zeit fortsetzen wird. Im Gegensatz zum Gemischtbetrieb stehen viehlos und vieharm wirtschaftende Betriebe aufgrund der fehlenden Wirtschaftsdünger vor besonderen Herausforderungen, was den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit betrifft.

Die viehlosen/vieharmen Betriebe konzentrieren sich in Baden-Württemberg vor allem in den Regionen mit hohem Acker- und Sonderkulturanteil und können deswegen nur eingeschränkt über Futter-Mist-Kooperationen organischen Dünger zuführen. Diese Betriebe unterliegen erhebliche Anforderungen um eine nachhaltige Bewirtschaftung insbesondere in Bezug auf die Bodenfruchtbarkeit zu gewährleisten.

Viele BetriebsleiterInnen wissen von den Herausforderungen, vor denen ihre Betriebe stehen und setzen sich bereits intensiv in der Praxis mit dieser Thematik auseinander. Eine Reihe von Betrieben verfolgt betriebsangepasst neue Ansätze (z.B. Düngung mit frisch geschnittener Kleegrasbiomasse oder der Düngung mit Kleegrassilage) oder entwickelt bereits etablierte Verfahren weiter (z.B. Kompostierung), um die Bodenfruchtbarkeit zu sichern und die Erträge stabil zu halten. Oft fehlt jedoch ein Austausch über diese betriebseigenen Innovationen mit Kollegen und Beratern. Darüber hinaus liegen kaum wissenschaftliche Untersuchungen dieser Innovationen vor.

Aus diesem Grund wurde im Jahr 2017 von Demeter Baden-Württemberg, dem Forschungsring e.V., Demeter Beratung e.V., Landwirten, sowie der Universität Hohenheim und der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen das EIP-Projekt BRAVÖ (www.bravö.de) ins Leben gerufen.

1.2. Projektziel und konkrete Aufgabenstellung

Ziel des Projektes war die Untersuchung und Bewertung verschiedener Innovationen zur Erhaltung und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, die bereits auf Biobetrieben mit geringer Viehbesatzdichte oder gar keiner Tierhaltung eingesetzt werden.

Folgende Punkte sollten im Rahmen des Projektes bearbeitet werden:

- Identifikation und Beschreibung von Maßnahmen zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit
- Übertragbarkeit auf andere Betriebe prüfen
- Netzwerk zwischen viehlosen/vieharmen Betrieben aufbauen
- Austausch zwischen Landwirten – Beratung – Wissenschaft
- Erstellen von Informationsmaterial für Praxis und Beratung

1.3. Mitglieder der OPG

Landwirtschaftliche Unternehmen der Urproduktion:

Rolle im Projekt	Name	Maßnahme
Innovationsbetrieb	Anton Köberle	Kleegrasmulch, Lockerungstiefe variiert vor Zwischenfrucht
<i>Testbetrieb</i>	Albert u. Benedikt Kneiße GbR	
Innovationsbetrieb	Manfred Kränzler	Rottelenkung mit Fermenten in ZF, Kompostextrakte auf grüne Pflanzen
<i>Testbetrieb</i>	Tanja und Heinz Binder	
Innovationsbetrieb	Manfred Schmid	Bodenlockerung in wachsender Zwischenfrucht; Kompostierung nach Lübke
<i>Testbetrieb</i>	Martin Häring	
Innovationsbetrieb	Barbara und Friedrich Ruesch	Mulchsaat Soja
<i>Testbetrieb</i>	IFUL Müllheim, Hochburg	
Innovationsbetrieb	Friedrich Wenz	Unterkrumenlockerung vor Zwischenfrüchten
<i>Testbetrieb</i>	Johannes Witt	
Innovationsbetrieb	Bernd Kiechle	Kompostierung aerob verschiedenster Materialien, Kompostanwendung
<i>Testbetrieb</i>	Joel Siegel	
Innovationsbetrieb	Klaus Wais	Leguminosen-Dichtsaat, Ackerbohnen
<i>Testbetrieb</i>	Lukas Dreyer, Reyerhof	
Innovationsbetrieb	Tobias Heiß	Kompostierung aerob, Cut & Carry: KG frisch und Silage
<i>Testbetrieb</i>	Tobias Knäpple, Knäpple-Siegmann GbR	
Innovationsbetrieb	Dieter Leibing	Getreide-Hacktechnik, Kompostdüngung
<i>Testbetrieb</i>	Wolfgang Siehler (kein OPG Mitglied)	
Innovationsbetrieb	Biolandhof Petrick	Ackerbohrendichtsaat, Cut & Carry, Mulchsaat
<i>Testbetrieb</i>	Johannes Witt	

Beratung: Demeter Beratungsverein e.V.

Forschungs- und Versuchseinrichtungen: Universität Hohenheim und Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen

Koordination: Demeter Baden-Württemberg e.V. und Forschungsring e.V.

Assoziierte Partner: Landwirtschaftliches Technologiezentrum, Bioland Landesverband Baden-Württemberg e.V. und Naturland Baden-Württemberg e.V.

1.4. Projektgebiet

Die 10 ökologisch wirtschaftenden Innovationsbetriebe, die Projektpartner im EIP-AGRI Projekt BRAVÖ sind, lagen 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 Mastschweine und 3000 Legehennen.

Die nachfolgende Abbildung 1 gibt einen Überblick über die räumliche Verteilung der einzelnen Innovationsbetriebe in Baden-Württemberg.

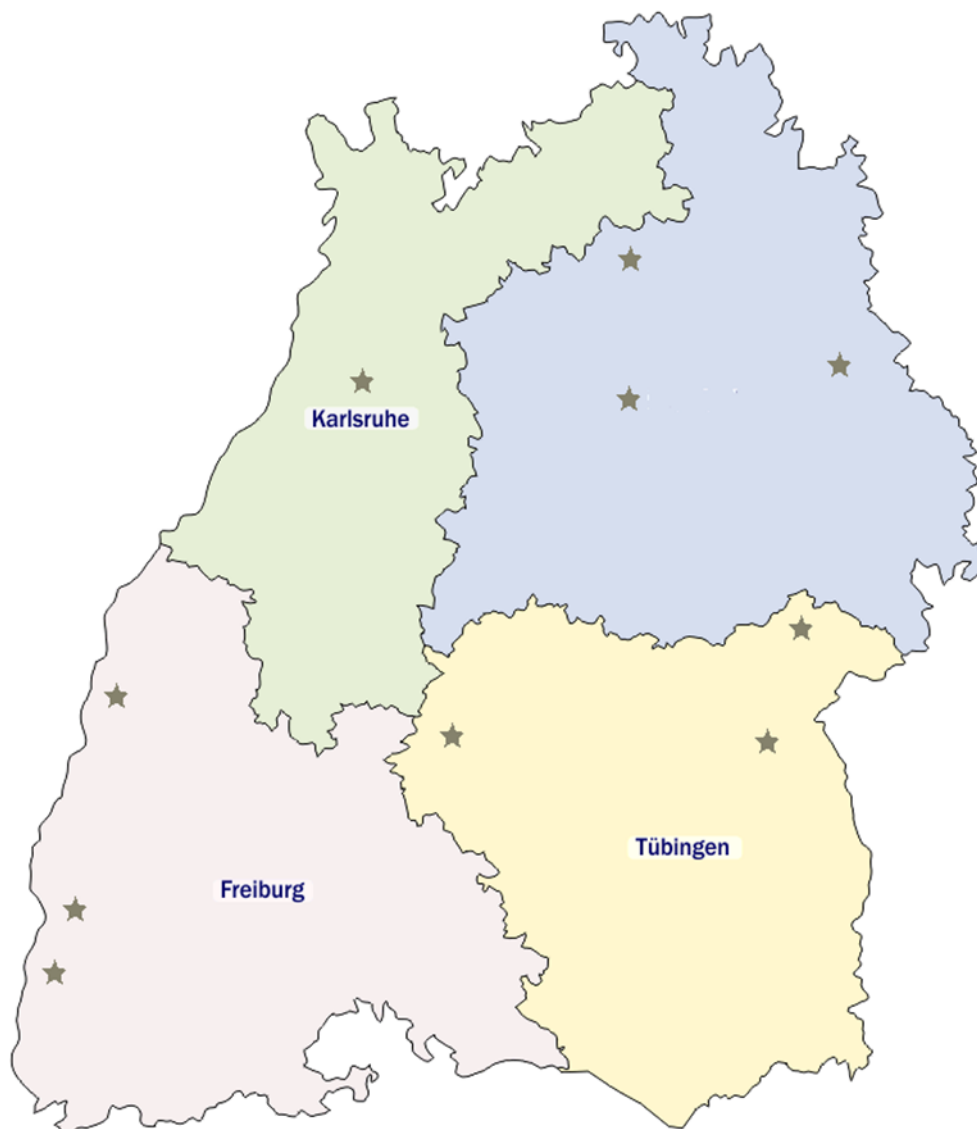


Abbildung 1: Verteilung der Partnerbetriebe in Baden-Württemberg

1.5. Projektlaufzeit und –dauer

Die Projektlaufzeit war ursprünglich geplant vom 10.04.2017 bis zum 30.04.2020 (Bewilligungszeitraum). Die Laufzeit musste pandemiebedingt verlängert werden bis zum 30.04.2021.

1.6. Budget

Das bewilligte Budget lag bei: 387.547,95 €. Verausgabt wurden 312573,86 €.

1.7. Ablauf des Vorhabens

Das Projekt bestand aus vier Teilen: 1) Bewertung bestehender Praktiken ("Innovationen") zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, die von den teilnehmenden Betrieben in der Regel selbst erdacht wurden, um auch in viehlosen oder vieharmen Betrieben die Bodenfruchtbarkeit auf hohem Niveau zu erhalten, 2) Feldversuch zur Bewertung von Kleeegrasdüngern, 3) On-Farm-Versuche zum besseren Verständnis der angewandten Innovationen und 4) Wissenstransfer zwischen den "Innovations"- und Testbetrieben. Das Projekt beinhaltet eine intensive Vernetzung zwischen den beteiligten Betrieben, landwirtschaftlichen Beratern und Wissenschaftlern.

DATUM	MEILENSTEIN
Apr. 17	Projektanfang
Jun. 17	M1 10 "Innovations-Betriebe" gefunden
Mrz. 18	M2 6 Veranstaltungen (Feldtage und Workshops)
Mai. 18	M3 Dokumentation der On-Farm-Innovationen liegt vor
Dez. 18	M4 auf mind. 5 Testbetrieben wurde eine Innovation eingeführt (Jahr 2)
Mrz. 19	M5 mind. 7 Veranstaltungen (Jahr 2)
Sep. 19	M6 vorläufige Ergebnisse der Begleitstudien liegen vor; interner Workhop
Dez. 19	M7 auf 10 Testbetrieben wurde eine Innovation eingeführt (Jahr 3)
Mrz. 20	M8 Ergebnisse Hohenheim Exaktversuch und On-Farm-Versuche liegen vor
Mrz. 20	M9 6 Veranstaltungen (Jahr 3)
Mrz. 20	M10 Kurzdokumentation für Erzeuger
Apr. 20	M11 Abschlussbericht/Projektende

Da das Projekt erst während der Vegetationsperiode in 2017 starten konnte, verzögerte sich der Ablaufplan. Es wurde eine kostenneutrale Verlängerung beantragt. Pandemiebedingt verzögerten sich einige Arbeiten weiterhin, so dass das Projekt bis zum 30.04.2021 verlängert wurde.

1.8. Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Forschungsprojekt EIP-BRAVÖ wurden die innovativen Maßnahmen von neun Ökobetrieben in Baden-Württemberg auf ihre ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit untersucht. Die Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen erforschte wie sich die Maßnahmen auf Nährstoff-, Humus- und Ökobilanzen auswirken. Die Universität Hohenheim ging der Frage nach, welche Kosten und Leistungen durch die Maßnahmen zu erwarten sind. Betrachtet wurden u.a. Leguminosendichtsaat (als Alternative zu Hornmehl), Kleeagrastransfer (als Alternative zu einer Futter-Mist-Kooperation) und eigene bzw. Zukauf von Kompost (als Alternative zu Rindermistzukauf).

Die Mehrzahl der in dieser Studie untersuchten Innovationsbetriebe hatte stark bis sehr stark positive Humusbilanzen. Dies bedeutet, dass die Zufuhr an potentiell humusbildender organischer Substanz größer war als die potentielle Humuszehrung durch die angebauten Kulturen. Da die Bilanzierungsmethode nach VDLUFA (2014) jedoch kein Verhältnis von zugeführter Kohlenstoffmenge zum Aufbau von Humus herstellt, kann nur ausgesagt werden, dass es auf den Innovationsbetrieben mit positiver Humusbilanz sehr wahrscheinlich ist, dass sich die Humusvorräte im Durchschnitt aller Flächen vergrößern. Somit besteht Grund zu der Annahme, dass die betreffenden Betriebe auf einem guten Weg sind, ihre Bodenfruchtbarkeit zu erhalten oder zu verbessern.

Einige wenige Betriebe weisen jedoch auch negative Humusbilanzen aus. Diese Betriebe zeichnen sich allesamt durch einen intensiven Anbau stark humuszehrender Kulturen wie Kartoffeln und Gemüse aus, die einen sehr hohen Humusreproduktionsbedarf verursachen. Diese starke Humuszehrung wird auf den betreffenden Betrieben nur unzureichend durch die Zufuhr organischer Düngemittel ausgeglichen. Auch werden auf den Betrieben kaum Nebenprodukte wie Stroh und Zwischenfrüchte, die eine Humusreproduktionsleistung bewirken könnten, in die Böden eingearbeitet. Somit ist es sehr wahrscheinlich, dass die Betriebe langfristig zumindest keine Vergrößerung der Humusvorräte erzielen und damit die Bodenfruchtbarkeit nicht verbessert wird.

Die Energie- und Treibhausgasbilanzen der Innovationen Klee-grastransfer und Kompost sind in etwa so hoch wie die der Wirtschaftsdüngeranwendung, hier kommt es auf den Einzelfall an welches Verfahren besser ist. Generell gilt: Je weiter die Transportentfernungen für den Wirtschaftsdünger sind, desto eher lohnt sich die Innovation auch in Bezug auf Energie- und Treibhausgase. Die Energie- und Treibhausgasbilanzen der Leguminosendichtsaaft fallen deutlich schlechter aus als die der Referenzverfahren. Vorteilhaft sind die viehlosen Innovationen fast durchgängig in Bezug auf die Ammoniakemissionen, die zur Überdüngung natürlicher Ökosysteme und damit zum Biodiversitätsverlust beitragen.

In Bezug auf die Nährstoffbilanzen ist festzuhalten, dass nur Betriebe mit Kompostzukauf positive Hoftorbilanzen für P und K aufwiesen. Auf die Schließung regionaler Stoffkreisläufe sollte in Zukunft ein besonderes Augenmerk gelegt werden, um eine langfristige Nährstoffverarmung durch den Verkauf des Erntegutes zu vermeiden. Insbesondere durch den Verkauf von Ackerfutterleguminosen- und Grünlandaufwuchs gehen Betrieben erhebliche, oft unterschätzte Nährstofffrachten verloren. Klee-grastransfer bietet gerade in vieharmen Regionen eine vielversprechende Möglichkeit, Nährstoffe im Betrieb zu halten.

Die innovativen Maßnahmen Klee-grastransfer und Kompost erwiesen sich absolut gesehen als ökonomisch rentabel, d.h. die Leistungen übersteigen die Kosten; nur bei der Maßnahme Leguminosendichtsaaft ist dies nicht der Fall. Im Vergleich zu den Referenzverfahren erwiesen sich die innovativen Maßnahmen allerdings als weniger rentabel als tierische Düngemittel.

Als die Ergebnisse des Projektes Bravö im Rahmen der 11. Wintertagung zum Ökologischen Landbau Baden-Württemberg an der Universität Hohenheim vorgestellt wurden, zeigte sich in der anschließenden Diskussion eine Diskrepanz der Ergebnisse zu den subjektiven Einschätzungen der anwesenden Landwirte. Die Landwirte berichteten von gleichbleibenden oder steigenden Erträgen und sahen die Phosphorversorgung ihrer Böden nicht als den limitierenden Faktor an. Aus diesem Grund wurde ein Literaturreview zur Phosphorversorgung und Phosphoranalytik, eine Studie zum aktuellen Zustand der Phosphorversorgung von Böden auf Ökobetrieben in Baden-Württemberg, ein Vergleich verschiedener Extraktionsmethoden für pflanzenverfügbares Phosphat sowie eine Nachhaltigkeitsbewertung mit Smart

ausgewählter BRAVÖ-Betriebe durchgeführt. Diese zusätzlichen Arbeiten sind in einem **zweiten Abschlussbericht** zu finden.

2. Eingehende Darstellung

2.1. Verwendung der Zuwendung

Die Zuwendungen wurden verwendet für die laufende Kosten der Zusammenarbeit der OPG Bravö, diese setzten sich aus Kosten für die Koordination, Betriebskosten und Reisekosten aller an der OPG beteiligten Akteure zusammen. Die Direktkosten des Projektes, beinhalteten Aufwandsentschädigungen für die beteiligten Landwirte und Gelder für die Beratung. Der dritte Posten wurde für die projektbegleitenden Studien verwendet, wie Personalkosten, Sachmittel für Analysen und für die Durchführung des Exaktversuches.

2.2. Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

2.2.1. Ausgangssituation

„Wie lässt sich die Bodenfruchtbarkeit langfristig sichern oder sogar steigern, obwohl das Tier als wichtigstes Element des Betriebskreislaufs fehlt?“ Diese Frage stellen sich einige BetriebsleiterInnen und setzen sich bereits intensiv in der Praxis mit dieser Thematik auseinander. Diese Betriebe verfolgen betriebsangepasst neue Ansätze um die Bodenfruchtbarkeit zu sichern und die Erträge stabil zu halten. Oft fehlt jedoch ein Austausch über diese betriebseigenen Innovationen mit Kollegen und Beratern. Darüber hinaus liegen kaum wissenschaftliche Untersuchungen dieser Innovationen vor.

2.2.2. Projektaufgabenstellung

Ziel des Projektes war die Untersuchung und Bewertung verschiedener Innovationen zum Erhalt und der Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, die bereits auf viehlosen oder vieharmen Öko-Betrieben eingesetzt werden.

Um diese Ziele zu erreichen wurden im **ersten Projektteil**:

- 10 Öko-Betriebe ausgewählt, die bereits eine Innovation zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit etabliert haben, und 10 Testbetriebe, die an der Umsetzung dieser Innovationen interessiert sind und diese ab dem zweiten Projektjahr ausprobieren wollten. Dadurch sollte die Übertragbarkeit auf andere Standorte geprüft und die Verbreitung der identifizierten Methoden gefördert werden.

Zu den Innovationen gehörten:

- der Einsatz von Düngemitteln auf Kleebasis: frisch geschnittene Kleeblattpflanzensilage (Cut-& Carry) und Kleeblattpflanzensilage,

- Verfahren zur Kompostierung von organischem Material aus dem eigenen Betrieb und aus externen Quellen,
- die Kombination von neuen Gründungsvarianten, einschließlich der Verwendung von Fermenten,
- modifizierte bzw. reduzierte Bodenbearbeitungssysteme.

Diese Verfahren wurden auf öffentlichen Feldtagen vorgestellt. Die praktische Vorstellung der innovativen Maßnahmen zur Bodenfruchtbarkeit auf diesen Feldtagen förderte erfolgreich die Wissensweitergabe und die Vernetzung der unterschiedlichen Akteure.

Der **zweite Projektteil** bestand in der Nachhaltigkeitsanalyse dieser viehlos und vieharm wirtschaftender Öko-Betriebe.

Der **dritte Projektteil** befaßte sich mit einem Exaktversuch zur Bewertung von Klee grasdüngern. Sowie mit zwei On-Farm-Versuchen zum besseren Verständnis der angewandten Innovationen.

3. Ergebnisse des Innovationsprojektes

3.1. Ergebnisse Institut für Angewandte Agrarforschung Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen

Prof. Dr. Maria Müller-Lindenlauf, Dipl. Geoökol. Jutta Will
M. Sc. Daniel Villwock, M. Sc. Mara Bonney

3.1.1. Einleitung

Aufgabe der HfWU Nürtingen in diesem Projekt ist es, die von den Landwirten entwickelten Innovationen, im Hinblick auf ihre ökologische Nachhaltigkeit, zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden Hoftor-, Boden- und Humusbilanzen der Betriebe und deren Innovation erstellt. Außerdem wurden für fünf Innovationen Ökobilanzen erstellt. Diese fünf Innovationen sind werden zusätzlich zu diesem Abschlussbericht in einer Broschüre für Praktiker dargestellt. Die Innovationen der übrigen Betriebe decken sich entweder mit denen der fünf für die Ökobilanzierung ausgewählten Betriebe bzw. Innovationen, oder sind für eine Ökobilanzielle Bewertung nicht geeignet, weil der Nutzen mit der gegebenen Datenlage nicht quantifiziert werden kann (reine Bodenbearbeitungsänderungen bzw. Einsatz von Fermenten).

3.1.2. Methoden

Die ökologische Bewertung der innovativen Maßnahmen zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit im EIP-Agri Projekt BRAVÖ basiert auf verschiedenen Analysen. Von den insgesamt neun Innovationsbetrieben wurde eine Auswahl von fünf Betrieben tiefer betrachtet. Für die Auswahl ausschlaggebend war, ob sich für die Innovationen Ökobilanzen erstellen lassen. Dazu ist erforderlich, dass ein Innovationen einen quantifizierbaren Effekt auf Ertrag oder Nährstoffflüsse haben. Für die ausgewählten fünf Betriebe wurden folgende Analysen erstellt:

- Nährstoffbilanzen (Hoftorbilanzen, Bodenbilanzen, Nährstoffflussdiagramme)
- Humusbilanzen (nach VDLUFA)

- Ökobilanzen (ausgewählte Wirkungskategorien)

Für die vier verbleibenden Betriebe wurden ebenfalls Nährstoff- und Humusbilanzen erstellt, aber auf die sehr aufwendigen Nährstoffflussdiagramme verzichtet.

3.1.2.1. Nährstoffbilanzierung

Die Nährstoffbilanzen wurden auf Grundlage von betriebsbezogenen Aufzeichnungen der Innovationsbetriebe aus den Jahren 2015 bis 2017 berechnet. Zur Ermittlung der umgeschlagenen Mengen an Erntegütern, Düngemitteln etc. wurden Befragungen der Betriebsleiter durchgeführt sowie Ackerschlagkarteien und Unterlagen der Buchführung ausgewertet. Zur Abschätzung der Nährstoffgehalte der Nährstoffzugänge und -abgänge wurden überwiegend Richtwerte aus Datenbanken (LFL 2018, LEL 2016, LfULG 2011) herangezogen. In Einzelfällen standen Nährstoffgehalte aus Laboranalysen zur Verfügung. Insbesondere aus der Verwendung der Richtwerte aus Datenbanken ergibt sich eine hohe Unsicherheit, da beispielsweise die Nährstoffgehalte im Erntegut oder in zugekauften organischen Düngemitteln erheblich schwanken können.

Um eine Vergleichbarkeit der Nährstoffbilanzen unter den Betrieben sowie eine Vergleichbarkeit von Hoftor- und Bodenbilanz innerhalb eines Betriebes herzustellen, wurden die absoluten Bilanzsalden (in kg) der Hoftor- und der Bodenbilanz durch die Ackerfläche der Betriebe geteilt und dadurch ein relativer Wert (in kg/ha) ermittelt. Für die Nährstoffe Phosphor (P) und Kalium (K) werden die Bilanzsalden sowohl in Phosphorpentoxid (P_2O_5) und Kaliumoxid (K_2O) als auch umgerechnet auf reine Phosphor- und Kaliummengen angegeben. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass Düngeberechnungen in den Betrieben z.T. mit P_2O_5 und K_2O rechnen, zum Teil aber auch mit den elementaren Nährstoffen P und K.

3.1.2.2. Hoftorbilanz

Abbildung 2 gibt einen Überblick über die in der Hoftorbilanz berücksichtigten Nährstoffimporte und -exporte. Wie der Name „Hoftorbilanz“ andeutet, werden diejenigen Nährstoffzugänge und -abgänge saldiert, die anschaulich betrachtet durch das Hoftor des Gesamtbetriebes gehen. Dabei ist es unerheblich, welchem Bereich des Betriebs die Nährstoffe zu- oder abfließen – sei es dem Ackerboden, dem Grünland, dem Stall oder anderen Nährstoffspeichern wie Komposten, Mist- oder Silage-Speichern. Im Rahmen dieser Studie wurden neben den zugekauften Nährstoffmengen auch die von den Leguminosen aus der Luft fixierten Stickstoffmengen als „Zukauf“ in der Hoftorbilanz berücksichtigt. Diffuse Ein- und Austräge wie gasförmige Stickstoffverluste oder die atmosphärische Stickstoffdeposition wurden jedoch nicht berücksichtigt.

Ausgeglichene Hoftorbilanzen sind ein Zeichen für eine nachhaltige Betriebsführung: In diesem Fall ist weder mit hohen Umweltbelastungen zu rechnen noch mit einer langfristigen Abnahme der Bodenfruchtbarkeit. Stark negative wie auch stark positive Hoftorbilanzen sagen aus, dass ein Betrieb mittel- bis langfristig Probleme im Nährstoffhaushalt haben kann. In diesen Fällen sollte die Betriebsleitung tiefer in die Analyse einsteigen und die Ursachen und möglichen Folgen der Defizite oder Überschüsse untersuchen. Negative Hoftorbilanzen können beispielsweise langfristig zur Verarmung der Böden führen, positive Hoftorbilanzen zu Überdüngung und Verlusten.

Hoftorbilanzen sind jedoch aus mehreren Gründen nicht in dem Maße aussagekräftig, dass sie als einzige Grundlage für betriebliche Entscheidungen herangezogen werden können. Zum einen bezieht sich das Ergebnis auf die Gesamtheit des Betriebes und gibt somit keinen

Aufschluss über die Bilanz einzelner Bereiche wie Acker, Grünland oder Stall. Insbesondere im ökologischen Landbau häufig auftretende innerbetriebliche Verlagerungen von Nährstoffen, typischerweise vom Grünland auf die Ackerflächen, werden somit in der Hoftorbilanz nicht sichtbar. Zum anderen werden diffuse Ein- und Austräge von Nährstoffen nicht berücksichtigt, wie beispielsweise Stickstoffverluste bei der Lagerung und Ausbringung von organischen Düngemitteln. Zur tieferen Analyse dieser „unsichtbaren Größen“ dienen die Stoffflussdiagramme und die Bodenbilanz. Beide umfassen sämtliche In- und Outputs, die Stoffflussdiagramm allerdings auf gesamtbetrieblicher Ebene, die Bodenbilanzen hingegen mit Fokus auf die Ackerflächen.

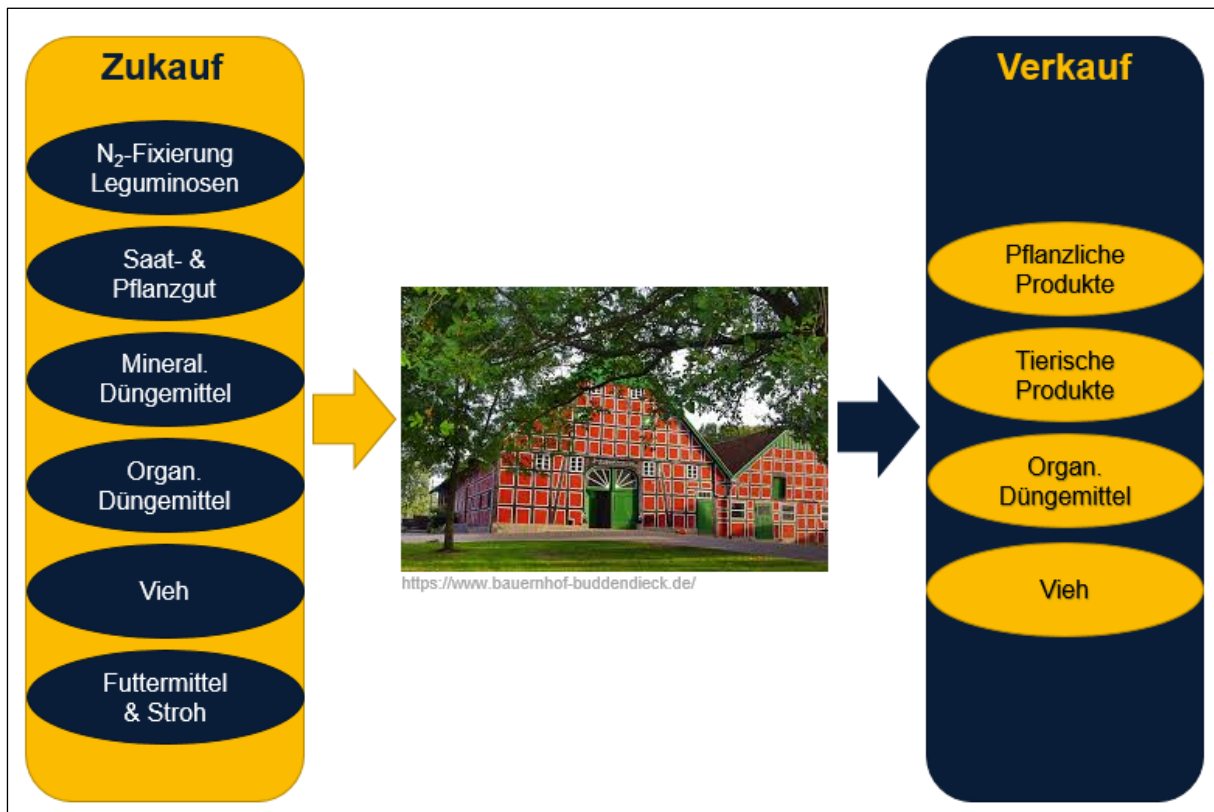


Abbildung 2: Im Projekt BRAVÖ berücksichtigte Nährstoffimporte und -exporte der Hoftorbilanz

3.1.2.3. Bodenbilanz

Abbildung 3 zeigt die Nährstoffzuflüsse und -abflüsse, die in der Bodenbilanz saldiert werden. Die Bodenbilanz wurde nur für die Ackerflächen erstellt und berücksichtigt neben den außerbetrieblich zugekauften und verkauften Nährstoffmengen auch innerbetrieblich zu- und abgeführten Nährstoffe sowie Verluste aus Denitrifikation und Depositionen aus der Luft. Nicht berücksichtigt wurden die schwer mess- und schätzbaren Ein- und Austräge innerhalb der Bodensubstanz wie Mineralisation und Immobilisation von Nährstoffen sowie Verluste durch Auswaschung und Erosion.

Ausgeglichene Bodenbilanzen können in der Regel als positiv bewertet werden. Sie sagen aus, dass im Betrachtungszeitraum die Summe aller dem Ackerboden abgeführten und „verlorenen“ Nährstoffe durch die Summe aller zugeführten und „gewonnenen“ Nährstoffe ausgeglichen wurde. Stark negative und stark positive Bodenbilanzen zeigen an, dass der Ackerboden im Durchschnitt mit Nährstoffen unversorgt- oder angereichert wurde. In jedem Fall lohnt sich eine genauere Analyse und insbesondere auch ein Blick auf einzelne Schläge. Auf Schlägen kann ein Nährstoffdefizit kurz- bis mittelfristig durch eine entsprechende Fruchtfolge oder betriebliche Maßnahmen bedenkenlos kompensiert werden. Langfristig

führen negative Bodenbilanzen jedoch zur Verarmung der Böden, weshalb die Betriebsleitung langfristig die Nährstoffzufuhr erhöhen oder den Entzug senken sollte. Eine Überversorgung der Böden mit Nährstoffen kann kurzfristig und langfristig zu Problemen führen, die im ökologischen und ökonomischen Sinne vermieden werden sollten. Insbesondere hohe Düngemittelüberschüsse auf einzelnen Schlägen können kurzfristig problematische Auswaschungsverluste verursachen. Dies hängt jedoch stark von der Qualität und Applikationstechnik der Düngemittel ab.

Weichen Hoftor- und Bodenbilanz stark voneinander ab, ist dies in der Regel ein Indiz für einen hohen Nährstoffverlust außerhalb der Ackerflächen – beispielsweise Stickstoffverluste im Stall oder den anderen Nährstoffspeichern – oder einen innerbetrieblichen Transfer von Nährstoffen – typischerweise vom Grünland über den Stall auf die Ackerflächen. Da die Grünlandbodenbilanzen in diesem Bericht nicht ausgewiesen werden, kann bei hohem Grünlandanteil eine stark negative oder stark positive Bodenbilanz der Grünlandflächen ein weiterer Grund sein.

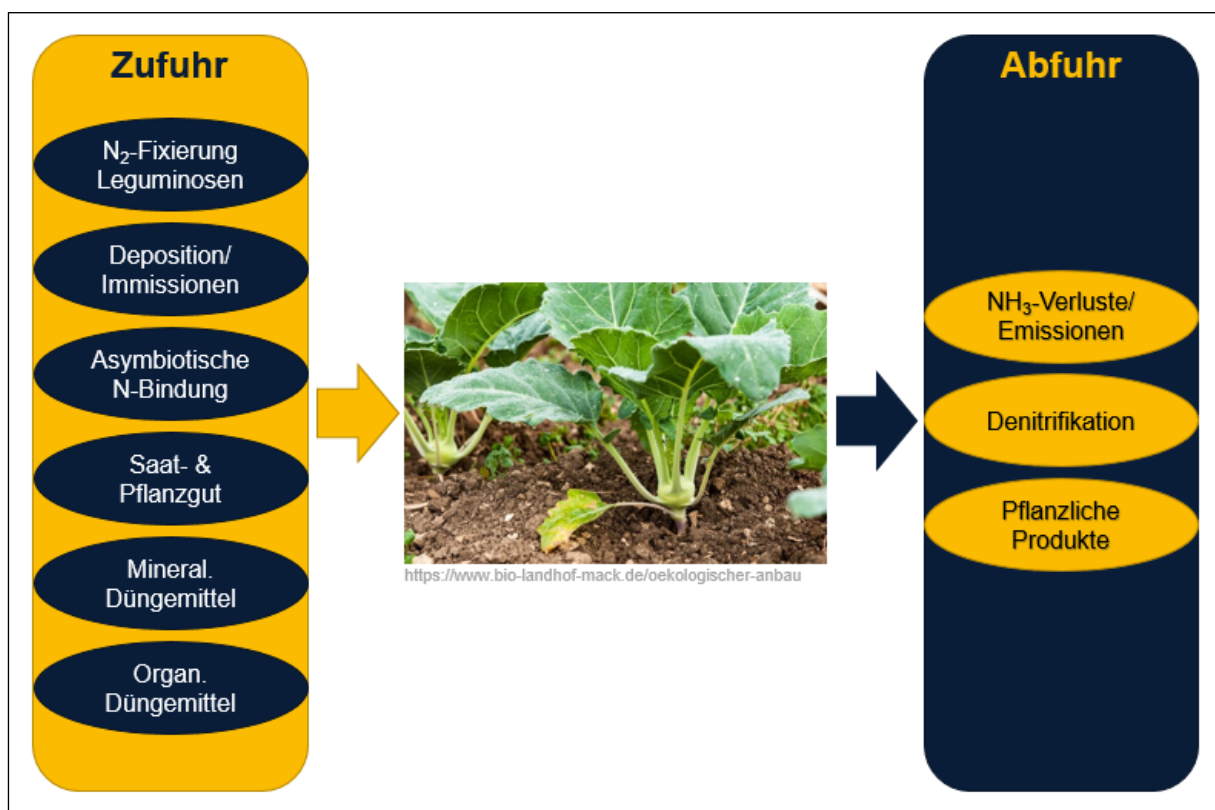


Abbildung 3: Im Projekt BRAVÖ berücksichtigte Nährstoffzuflüsse und -abflüsse der Bodenbilanz

3.1.2.4. Nährstoffflussdiagramme

Für eine Auswahl von fünf Betrieben wurden die Nährstoffbilanzen mittels Nährstoffflussdiagrammen anschaulich dargestellt. Dazu wurden die Betriebe mit der Software eSankey modelliert. Die Nährstoffflussdiagramme enthalten die drei Bereiche Ackerboden, Grünland und Stall, aber auch andere Nährstoffspeicher wie Komposte, Mist- oder Silage-Speicher. Zu, von und zwischen diesen Orten werden Nährstoffflüsse mittels Pfeilen dargestellt, deren Stärke proportional zur Nährstoffmenge ist. Die absoluten Nährstoffmengen der einzelnen Flüsse (in kg) sowie die Bilanzsalden der drei Bereiche Ackerboden, Grünland und Stall sind in den Nährstoffflussdiagrammen angezeigt. Durch die Pfeile und deren Stärke lässt sich gut erkennen, wie komplex die Nährstoffflüsse der Betriebe und wie groß der Einfluss einzelner Flüsse auf die Nährstoffbilanzen ist.

3.1.2.5. Humusbilanzierung

Abbildung 4 zeigt das Prinzip der Humusbilanzierung. Diese schätzt die Veränderungen der Humusvorräte im Ackerboden unter den jeweiligen Pflanzenproduktionssystemen. Sie soll dazu dienen, optimale Humusvorräte zu sichern und möglichst produktive Anbausystemen zu erzielen. Es gibt einige unterschiedliche Methoden der Humusbilanzierung. Von komplexen Modellen, die sehr viele Daten und Parameter benötigen, bis hin zu einfachen Modellen, die mit wenigen Daten auskommen. Je mehr Daten verarbeitet werden und je komplexer die Modelle sind, desto höher ist in der Regel die Aussagekraft über die Veränderung der Humusvorräte im Boden. Nur wenige Modelle können die absoluten Veränderungen der Humusvorräte im Boden abschätzen. Da diese Modelle jedoch mit sehr vielen Daten zu Boden, Klima, Humus-Ausgangsmenge sowie zu den angebauten Kulturen gespeist werden müssen, sind derartige Bilanzierungen ohne aufwendige Analysen nicht möglich. In dieser Studie wurde zunächst mit der Humusbilanzierung nach HU-MOD (Brock et al. 2012) begonnen, die speziell für den Ökolandbau entwickelt wurde. Dieses Modell kann zwar nicht die absolute Veränderung der Humusvorräte berechnen, jedoch zumindest die relative Veränderung, d.h. ob die Humusvorräte sich verringert oder vergrößert haben. Da jedoch für einige der in den Projektbetrieben angebauten Kulturen, insbesondere für in den Innovationsbetrieben häufig vorkommende Sonderkulturen und Zwischenfrüchte, keine Parameter vorlagen, wurde letztendlich mit der einfacheren Humusbilanzierung nach VDLUFA (2014) gearbeitet.

Humusbilanzierung nach VDLUFA (2014) benötigt sehr wenige Daten, kann jedoch nur eine Aussage zum Düngbedarf zum Erhalt der Bodenproduktivität treffen. Dies wird durch die verwendete Einheit verdeutlicht. Sowohl für Maßnahmen, die den Humusgehalt im Boden potentiell verringern (beispielsweise der Anbau humuszehrender Kulturen), als auch solche die ihn potentiell erhöhen (organische Düngung), wird die dimensionslose Einheit Humusäquivalent (Häq) verwendet. Diese entspricht zwar der Einheit kg Humus-C, soll aber verdeutlichen, dass nicht eine Veränderung der Humusmenge gemeint ist, sondern eine gewisse Menge Kohlenstoff, die potentiell den Humusvorrat im Boden verändert. Ein Verhältnis von zugeführter Kohlenstoffmenge zum Aufbau von Humus wird nicht hergestellt.

Die Humusbilanzierung nach VDLUFA gliedert sich in zwei Schritte. Im Ersten Schritt wird der sogenannte Humusreproduktionsbedarf durch die angebauten Kulturen ermittelt. Die meisten Marktfrüchte wie Getreide, Kartoffeln und Gemüse haben nach Festlegung der VDLUFA eine humuszehrende Wirkung, also einen positiven Humusreproduktionsbedarf. Hierbei wird zusätzlich zur Kulturart auch unterschieden, auf welchen Böden bzw. in welchen Bewirtschaftungsintensitäten die Kulturen angebaut werden. „Untere Werte“ stehen für Böden in einem guten Kulturzustand, deren Bodenfruchtbarkeit lediglich erhalten werden soll, oder für ertragsschwache Standorte. Mittlere Werte stehen für Böden, deren Funktionen gefördert und deren Fruchtbarkeit aufgebaut werden soll. Obere Werte stehen für Böden in schlechtem Kulturzustand, deren Funktionen und Fruchtbarkeit stark gefördert werden sollen, oder Anbausysteme mit hohem Humusbedarf ohne mineralische Stickstoffdüngung, z.B. Ökologischer Landbau bei hohem Ertragsniveau. Je höher die Nutzungsintensität oder der Verbesserungsbedarf der Humusvorräte im Boden, desto stärker humuszehrend werden die Kulturen eingestuft, und desto mehr organische Düngung muss aufgewendet werden, um eine ausgeglichene Humusbilanz zu erzielen. Einige Kulturen, wie beispielsweise Leguminosen und Gründüngung, haben eine humusmehrende Wirkung, also einen negativen Humusreproduktionsbedarf, auch Humusreproduktionsleistung genannt. Auch auf dem Feld verbleibende Nebenprodukte einiger Kulturen werden mit einer Humusreproduktionsleistung

mit einberechnet. Im Saldo aller angebauten Kulturen ergibt sich in aller Regel ein positiver Humusreproduktionsbedarf, also ein potentieller Abtrag organischer Bodensubstanz.

Im zweiten Schritt der Humusbilanzierung nach VDLUFA wird die Humusreproduktionsleistung durch die zugeführten organischen Düngemittel bestimmt. Hierbei ist insbesondere der Trockenmasse-Anteil in den Düngemitteln von hoher Bedeutung. In dieser Studie wurden Schätzwerte verwendet, die zu einer gewissen Unsicherheit führen. Am Ende werden Humusreproduktionsbedarf und Humusreproduktionsleistung miteinander verrechnet und der Saldo durch die Ackerfläche geteilt, sodass ein relativer Wert in t/ha/a entsteht. Mit diesem Wert ist ein Vergleich der Betriebe möglich.

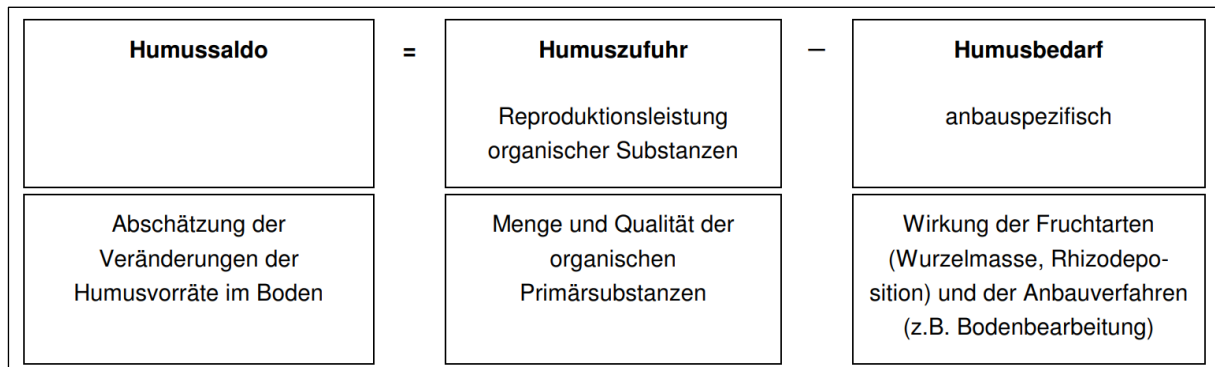


Abbildung 4: Prinzip der Humusbilanzierung (Leithold et al. 2007)

3.1.2.6. Ökobilanzierung

Die Ökobilanzierung ist ein wichtiges Instrument zur Einschätzung von ökologischen Wirkungen eines Produktes bzw. einer Dienstleistung während dessen gesamten Lebensweges. Mit Hilfe der Ökobilanz können u.a. Möglichkeiten zur Verbesserung der Umwelteigenschaften von Produkten und Dienstleistungen in den verschiedenen Phasen ihres Lebensweges aufgezeigt werden. Entscheidungsträger in Politik und Industrie können sie zur Hilfe nehmen aber auch interessierte Privatpersonen können sie zur Entscheidungsfindung z.B. in ihrem Konsumverhalten nutzen.

In der vorliegenden Studie wurden sogenannte Übersichtsökobilanzen durchgeführt. Die Durchführung erfolgt angelehnt an die internationalen Normen für Produkt-Ökobilanzen ISO 14040 & 14044. Es wurde allerdings keine ISO-konforme Ökobilanz durchgeführt, für diese wäre u. a. ein externer Review notwendig.

3.1.2.7. Ziel und Untersuchungsrahmen

Eine Ökobilanzierung erfolgt in vier Stufen. In der ersten Phase werden das Ziel und der Untersuchungsrahmen festgelegt. Dabei wird entschieden, was untersucht werden soll und in welchem Umfang. Bei dieser Entscheidung fließen die Gründe für die Studiendurchführung ebenso ein wie die anzusprechende Zielgruppe und die beabsichtigte Anwendung. Die vorliegende Studie soll als Entscheidungshilfe in der ökologischen Landwirtschaft dienen. Ihr Ziel ist es, Landwirten die Umwelteinflüsse verschiedener innovativer Maßnahmen zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit im Vergleich zu alternativen Methoden, so genannten Referenzverfahren, im Hinblick auf Treibhausgasemissionen, Eutrophierung und Primärenergiebedarf zu verdeutlichen. Referenzverfahren werden benötigt um Ökobilanzen beurteilen zu können. Es sind Verfahren, die anstatt der innovativen Maßnahmen durchgeführt werden könnten. Bei der Auswahl der Referenzverfahren ist darauf zu achten, dass sie eine

ähnliche Wirkung auf z.B. Bodenfruchtbarkeit und Düngewirkung haben wie die innovative Maßnahme.

Die im Projekt BRAVÖ untersuchten Verfahren von fünf Innovationsbetrieben und den dazu ausgewählten Referenzverfahren werden in **Tabelle 1** dargestellt. Um die Wirkung von Transport und Ausbringung der verschiedenen Referenzsubstrate auf die untersuchten Wirkungskategorien zu verdeutlichen, wurden die Referenzverfahren mit unterschiedlichen Transportentfernungen und Ausbringungsarten berechnet. Die Transportstrecke beeinflusst durch den Kraftstoffverbrauch die Ökobilanz; die Art der Ausbringung der Substrate hat vor allem Einfluss auf die Ammoniak-Emissionen, aber auch der Kraftstoffverbrauch ändert sich. In **Tabelle 2** sind die berechneten Transportstrecken und Ausbringungsarten der Referenzsubstrate und des externen Kompostes dargestellt. Für die Abbildung der Ergebnisse wurde jeweils die Transportstrecke von 15 km und die typische Ausbringungsart zugrunde gelegt. Die Ergebnisse der weiteren Varianten sind in den Diagrammen als schwarze Linien eingetragen. Sie stellen die maximal und minimal zu erwartenden Emissionen der Verfahren dar.

Tabelle 1: Im Projekt BRAVÖ untersuchte Verfahren und deren Referenzverfahren für die Ökobilanzierung

Verfahren	Referenzverfahren
Leguminosendichtsart	Hornmehl
Cut & Carry Klee gras	Rindergülle
Silagedüngung	Rindergülle
Kompost aus eigener Kompostierung	Gärreste
Kompost vom Kompostwerk	Rindermist
Intensiver Zwischenfruchtanbau	Geflügelmist

Tabelle 2: Ausbringungsart und Transportstrecke der Referenzsubstanzen und des externen Kompostes

	Typisch	Ausbringungsart		Transportstrecke			
		Min. Emissionen	Max. Emissionen	V1	V2	V3	V4
Hornmehl	Kreiselegge	-	Ohne Einarbeitung	2 km	15 km	30 km	-
Rindergülle	Schleppschlauch	Injektionsgrubber	Breitverteiler	2 km	15 km	30 km	-
Gärreste	Ohne Einarbeitung	Kreiselegge	Ohne Einarbeitung	2 km	15 km	30 km	-
Rindermist	Kreiselegge nach 4 Std	Kreiselegge sofort	Ohne Einarbeitung	2 km	15 km	30 km	-
Geflügelmist	Ohne Einarbeitung	Kreiselegge	Ohne Einarbeitung	2 km	15 km	30 km	600km
Kompost	Kreiselegge	-	-	2 km	15 km	30 km	

Die bei der Herstellung von Hornmehl (Verarbeitung und Vertrieb) und Kompost entstehenden Emissionen fließen in die Bilanzen ein und sind in den Abbildungen im Materialverbrauch enthalten.

Als Basis der Ökobilanz dient eine Vergleichseinheit, die so genannte funktionelle Einheit. Sie wurde in dieser Studie auf einen Hektar festgelegt. Das bedeutet, dass sich die Stoffflüsse der einzelnen Maßnahmen jeweils auf einen Hektar Anbaufläche beziehen. Jede Methode und

jedes Referenzverfahren wurde demzufolge so berechnet, als würde jeweils ein Hektar Fläche mit diesem Verfahren „gedüngt“. Zur besseren Vergleichbarkeit der Methoden wurden alle Verfahren, außer Zwischenfruchtanbau und dessen Referenzmethode Geflügelmist, auf das Düngeäquivalent 50 kg N pro Hektar bezogen. Die hervorzuhebende Düngewirkung vom Zwischenfruchtanbau ist in diesem Fall die Phosphorfreisetzung aus der nicht pflanzenverfügbaren Phosphorreserve des Bodens. Deshalb wird für diese Innovation mit einem Düngeäquivalent von 5 kg P pro Hektar gerechnet. Als Referenzverfahren wird eine Düngung mit Geflügelmist angesetzt. In allen Verfahren wird also so vorgegangen, dass jede Fläche (1 ha) mit 50 kg N bzw. 5 kg P gedüngt wird. Aufgrund der Datenverfügbarkeit, des Arbeitsaufwandes und des daraus zu erwartenden Nutzens, wurde bei der Festlegung des Untersuchungsrahmens entschieden, die Herstellung der Arbeitsgeräte nicht in die Bilanzierung einfließen zu lassen. Diese Festlegung gilt für alle in diesem Projekt betrachteten Verfahren und ist eine in Ökobilanzen übliche Vorgehensweise.

3.1.2.8. Sachbilanz

Nach der Festlegung des Untersuchungsrahmens erfolgt in der zweiten Phase der Ökobilanz die Zusammenstellung und Quantifizierung von Inputs und Outputs in einer Sachbilanz. Dazu werden in einem ersten Schritt für jedes Verfahren die einzelnen Arbeitsschritte und eingesetzten Maschinen bestimmt. Daraus errechnet sich der Kraftstoff- und Materialverbrauch. Auch für alle weiteren Betriebsmittel, z.B. Silofolie, werden die benötigten Materialmengen bestimmt. In einem zweiten Schritt werden dann zu jedem verbrauchten Betriebsmittel die dazugehörigen Emissionen und Ressourcenaufwendungen ermittelt. Diese so genannten „Ökobilanzdatensätze“ erhält man aus Ökobilanzdatenbanken. Hier wurden die Datenbank ecoinvent Version 3.6 verwendet. So erhält man aus der Datenbank z.B. eine Liste aller Stoffe (Rohstoffe, Stoffgruppen, Einzelstoffe) die bei der Herstellung und bei der Verbrennung eines Kilogramm Diesels eingesetzt werden, sowie alle Emissionen (z.B. CO₂, Stickoxide u.a.) die dabei entstehen.

Bei der Auswahl der Datensätze muss darauf geachtet werden, dass die Kriterien, die bei der Festlegung des Untersuchungsrahmens festgesetzt wurden, auch eingehalten werden. In unserem Fall wurde z.B. für Diesel ein Datensatz gewählt, der bei der Beschaffung des Rohöls beginnt, über den Transport des Rohöls zur Raffinerie, dem Raffinerieprozess mit allen Vorketten und den weiteren Transport zur Tankstelle, dem Tankvorgang und die Verbrennung des Diesels im Motor eines landwirtschaftlichen Gerätes alle Stationen beinhaltet.

3.1.2.9. Wirkungsabschätzung

In der dritten Phase, der Wirkungsabschätzung werden die verschiedenen In- und Outputgrößen zu so genannten Wirkungskategorien zusammengefasst. So werden z.B. alle Treibhausgasemissionen in der Kategorie „Treibhauseffekt“ zusammengefasst. Dazu werden die Emissionen nach ihrer jeweiligen Klimawirksamkeit in so genannte CO₂-Äquivalente umgerechnet und aufaddiert. Die in BRAVÖ berechneten Wirkungskategorien sind in **Tabelle 3** aufgeführt.

Tabelle 3: Im Projekt BRAVÖ untersuchte Wirkungskategorien der Ökobilanzierung

Wirkungskategorie	Einheit	Abkürzung Einheit
Primärenergiebedarf (Abiotische Ressource)	Megajoule pro Hektar	MJ/ha
Treibhausgasemissionen (Global Warming Potential)	Kilogramm Kohlenstoffdioxid-Äquivalente pro Hektar	kg CO ₂ eq/ha
Terrestrische Eutrophierung	Kilogramm Phosphat-Äquivalente pro Hektar	mol Neq/ha

Der Primärenergiebedarf umfasst sowohl den direkten Energiebedarf als auch den indirekten Energiebedarf aus vorgelagerten Prozessen, wie Energiegewinnung, -umwandlung und -verteilung.

In der Wirkungskategorie Treibhauseffekt werden alle klimarelevanten Gase zusammengefasst. Diese Gase führen in der Atmosphäre zu einer Veränderung der Strahlungsbilanz und damit zu einer Erhöhung der Temperatur.

Bei der terrestrischen bzw. aquatischen Eutrophierung werden die Stoffe zusammengefasst, die zu einer Überdüngung von Land- und Wasserökosystemen führen. Diese Überdüngung führt in den Gewässern zu einem erhöhten Algenwachstum, was wiederum zu einem Verlust der Biodiversität führen kann. In Landökosystemen kann Eutrophierung ebenfalls zu einer Gefährdung der biologischen Vielfalt führen, da dadurch nährstoffliebende Pflanzen bevorzugt werden. Die terrestrische Eutrophierungswirkung ergibt sich aus gasförmigen Emissionen – insbesondere Ammoniak und Stickoxide – die über die Luft transportiert werden und sich über natürlichen Ökosystemen absetzen. Aquatische Eutrophierung entsteht überwiegend durch die Auswaschung von Nitrat und die Abschwemmung von löslichen Phosphorverbindungen. Da sowohl die Nitratemissionen als auch die Phosphorauswaschung in starkem Maße vom gesamtbetrieblichen Management abhängen und nicht einer einzelnen Kultur oder einem Düngungsverfahren zugeordnet werden können, wurde entschieden die Ergebnisse für diese Wirkungskategorie im Folgenden nicht auszuweisen. Die sich unmittelbar aus den betrachteten Verfahren resultierenden Ergebnisse für diese Wirkungskategorie sind nicht aussagekräftig, da sie nur einen Bruchteil der tatsächlich durch den Ackerbau verursachten aquatischen Eutrophierung abbilden.

3.1.2.10. Auswertung und Interpretation

Auf Grundlage dieser gesamten Betrachtungen und Berechnungen können die Ergebnisse dann im vierten Schritt der Ökobilanz ausgewertet und interpretiert werden. Bei der Interpretation ist es wichtig auch zu bedenken, welche Auswirkungen die Unsicherheiten in den Datengrundlagen oder die methodischen Festlegungen auf das Ergebnis haben können. Grundsätzlich kann man sagen: Absolute Ergebnisse aus verschiedenen Ökobilanzstudien sind nur eingeschränkt vergleichbar. Die Relation zweier Verfahren aus der gleichen Untersuchung ist jedoch relativ sicher. Die Ökobilanzen im Projekt BRAVÖ beziehen sich anders als die Nährstoffbilanzen nur auf die innovative Methode des Betriebes, nicht auf den Gesamtbetrieb.

3.1.3. Ergebnisse

3.1.3.1. Betrieb Leibing - Kompost I: Zukauf vom Kompostwerk

Betriebsportrait für das Jahr 2017

- 28 ha Ackerbau und 5 ha Grünland
- 5 Großvieheinheiten (0,15 GV je Hektar): Rinder
- Anbau von Getreide (ca. 12,5 ha), Luzerne (ca. 10,5 ha), Ackerbohnen (ca. 5 ha)

Wie wird gedüngt?

- Stallmist aus Rinderhaltung
- Zukauf von Rindermist
- Zukauf von Kompost

Nährstoffflüsse im Jahr 2017

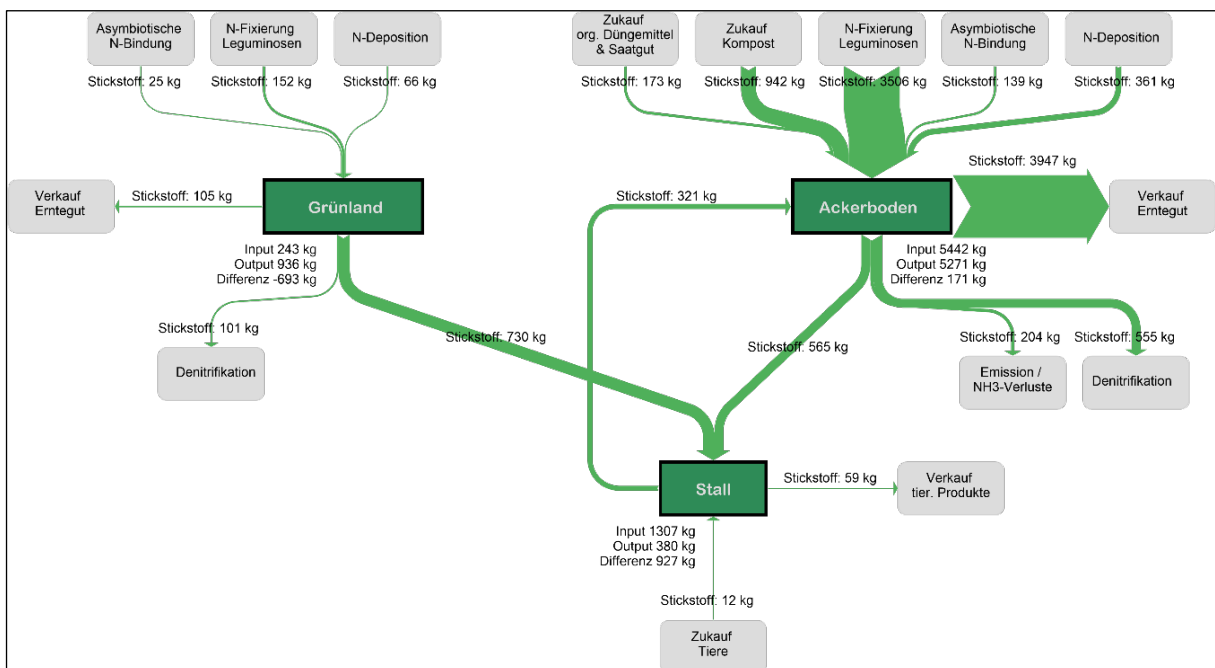


Abbildung 5: Stickstoffflüsse des Innovationsbetriebs „Kompost I: Zukauf vom Kompostwerk“ im Jahr 2017

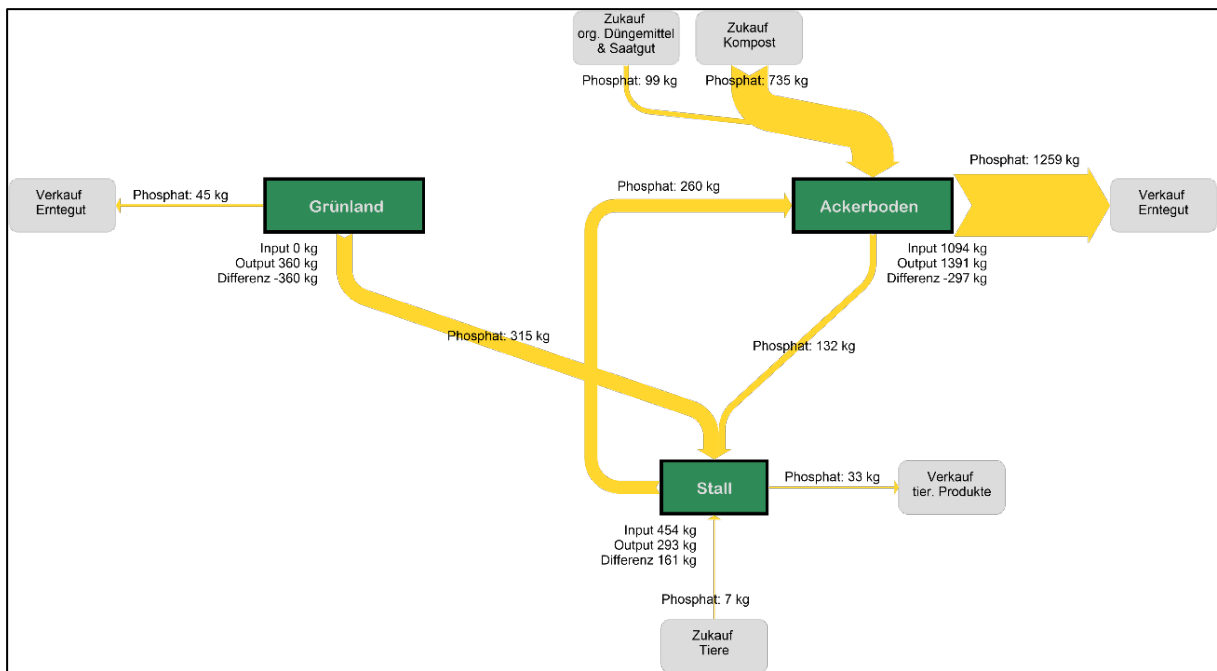


Abbildung 6: Phosphorflüsse des Innovationsbetriebs „Kompost I: Zukauf von Kompostwerk“ im Jahr 2017

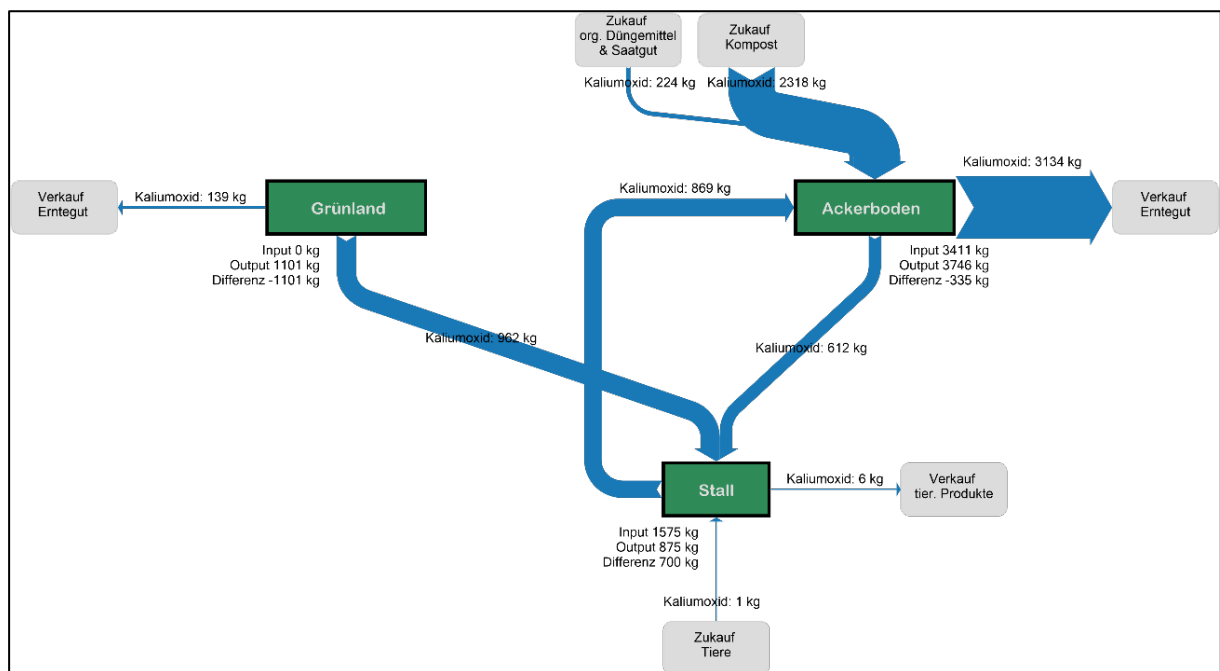


Abbildung 7: Kaliumflüsse des Innovationsbetriebs „Kompost I: Zukauf von Kompostwerk“ im Jahr 2017

Abbildung 5, Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen die Nährstoffflüsse des Innovationsbetriebes beispielhaft für das Jahr 2017. Auf dem Grünland gibt es rechnerisch Nährstoffdefizite, da die Abfuhr des Ernteguts nicht durch Düngung ausgeglichen wird. Eine langfristige Verarmung der Grünlandflächen wäre die Folge. Der Großteil der im Erntegut des Grünlands enthaltenen Nährstoffe wird über den Stall auf die Ackerflächen transferiert. Der Stall hat in dieser Berechnung stark positive Bilanzen. Wahrscheinlich handelt es sich dabei jedoch nicht um Verluste von Nährstoffen, sondern um unter- oder überschätzte Mengenangaben. Vermutlich wurde die Menge an Rindermist und Gülle zur Düngung der Ackerflächen um den Differenzbetrag unterschätzt. Der Input von Kompost und Rindermist als

organische Zukaufsdünger stellen jedoch trotz der möglichen Unterschätzung der betrieblichen Wirtschaftsdünger eine weitaus größere Nährstoffquelle für die Ackerflächen dar. Beim Stickstoff kommt mit der Fixierung der Leguminosen noch ein großer Input hinzu. Über das Erntegut, insbesondere über die nährstoffreiche Luzerne, werden verhältnismäßig große Mengen an Nährstoffen abgefahren. Nur ein geringer Teil der Luzerne geht in den eigenen Stall, der größere Teil wird verkauft. Dadurch gehen dem Betrieb große Mengen Phosphor und Kalium verloren.

Hof- und Bodenbilanz

Tabelle 4: Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Kompost I: Zukauf von Kompostwerk“. Die Salden der Hofbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine besserer Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.

Nährstoffbilanz		Nährstoffsaldo (kg/ha/a)					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P	K
Erweiterte Hofbilanz	Mittelwert 2015 - 2017	14	4	-22	14	2	-18
Erweiterte Bodenbilanz	Mittelwert 2015 - 2017	9	13	7	9	6	6

Tabelle 4 zeigt die Hof- und Bodenbilanz des Innovationsbetriebes als Mittelwert aus den Jahren 2015 bis 2017. In der Hofbilanz werden die Inputs- und Outputs saldiert, die anschaulich betrachtet durch das Hof des Gesamtbetriebes gehen. Die Bodenbilanz schaut genauer auf die Ackerflächen und berücksichtigt alle Inputs und Outputs, auch Verluste aus Denitrifikation und Depositionen aus der Luft. Die Hofbilanz des Innovationsbetriebes erreicht im Mittel der Jahre 2015 bis 2017 einen leicht positiven Saldo für Stickstoff und Phosphor, einen negativen für Kalium. Durch den hohen Export von Nährstoffen mit dem Erntegut, insbesondere über die nährstoffreiche Luzerne, ist eine ausreichende Nachlieferung durch Düngung wichtig. Auffällig ist, dass die Hofbilanz über die Jahre hinweg extrem variiert, da die Nährstoffgehalte im zugekauften Kompost stark schwanken. Die Betriebsleitung sollte die Nährstoffgehalte des Kompostes gut im Auge behalten und etwaige Defizite, insbesondere für Phosphor und Kalium, durch alternative Nährstoffquellen ausgleichen. Eine verstärkte interne Nutzung der Luzerne oder ein größerer Import von Stallmist würde zur Entlastung der Nährstoffbilanzen beitragen.

Die Bodenbilanz ist für alle drei betrachteten Nährstoffe leicht positiv. Beim Stickstoff ist die Bodenbilanz etwas weniger positiv als die Hofbilanz. Dies ist auf innerbetriebliche Stickstoffverluste zurückzuführen. Dass die Bodenbilanz in Bezug auf Phosphor und Kalium besser ausfällt als die Hofbilanz liegt daran, dass über den Stallmist Nährstoffe vom Grünland auf die Ackerflächen übertragen werden.

Humusbilanz

Tabelle 5: Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Kompost I: Zukauf von Kompostwerk“ nach VDLUFA

Humusbilanz nach VDLUFA	Humussaldo (Häq/ha/a)		
	Untere Werte	Mittlere Werte	Obere Werte
2015	1456	1422	1389
2016	1428	1354	1280
2017	1354	1301	1247
Mittelwert 2015 - 2017	1413	1359	1305

Tabelle 5 zeigt die Humusbilanz des Innovationsbetriebs nach VDLUFA. Im Jahr 2017 kommt es durch den humuszehrenden Anbau von Getreide zu einem Humusreproduktionsbedarf von -4.960 Häq/a auf mittleren Böden. Dem gegenüber steht eine Humusreproduktionsleistung von 8.930 Häq/a durch den Anbau humusmehrender Ackerfutter- und Körnerleguminosen, insbesondere verursacht durch die Luzerne. Durch die angebauten Kulturen ergibt sich somit ein Saldo von 3.970 Häq/a, was bezogen auf die gesamte Ackerfläche von 28 ha eine Humusreproduktionsleistung von 142 Häq/ha/a ergibt. Weitere Humusreproduktionsleistungen entstehen durch auf dem Feld verbleibendes Getreidestroh (4.278 Häq/a bzw. 153 Häq/ha/a) und die organische Düngung mit Stallmist und Kompost (28.169 Häq/a bzw. 1006 Häq/ha/a). Beim Kompost entstehen durch die Verwendung von Richtwerten beim Feuchte- und Kohlenstoffgehalt jedoch erhebliche Unsicherheiten. Je nach Zustand der Böden schwankt die Humusbilanz des Betriebes im Mittel der Jahre 2015 und 2017 zwischen 1.413 und 1.305 Häq/ha/a. Die Humusbilanz ist dadurch sehr stark positiv. Eine langfristige Erhöhung des Humusgehalts ist zu erwarten. Bei langfristig gleichbleibender Bewirtschaftung ist mit einer starken Nährstoffnachlieferung aus der organischen Bodensubstanz zu rechnen.

Ökobilanz

Abbildung 8 zeigt die Ergebnisse der Ökobilanz einer Düngung von 50 kg N/ha mit Kompost im Vergleich zu einer Düngung mit Rindermist. Die Ökobilanz bezieht sich anders als die Nährstoffbilanzen nur auf die innovative Methode des Betriebes, nicht auf den Gesamtbetrieb. Diese wird mit alternativen Möglichkeiten der Düngung verglichen. Beim Kompostierungsprozess entstehen neben anderen Emissionen auch Gase, welche klimarelevant sind (Treibhausgase) und welche, die zu terrestrischer Eutrophierung führen (Ammoniak). Die Menge der bei der Kompostierung entstehenden Emissionen hängt von unterschiedlichen Faktoren ab:

- Verfahrenstyp (Offene, geschlossene, teilgeschlossene Kompostierung)
- Materialeigenschaften (Wassergehalt, C/N-Verhältnis, Struktur...)
- Rotteführung (Temperatur, Belüftung, Wasserhaushalt, pH-Wert)

Das bedeutet, dass die Menge und Art der Emissionen bei der Kompostierung sehr unterschiedlich sein können. In der vorliegenden Berechnung für externen Kompost wurde ein Datensatz verwendet, der aus einer Mischung unterschiedlicher Verfahren und Materialien

berechnet wurde. Berücksichtigt wurden in diesem Datensatz Garten-, Küchen- und Bioabfälle, die sowohl in Mischung als auch als Einzelkomponenten in industriellen Kompostierungsanlagen, heimischen Komposthaufen und Kompostcontainers kompostiert wurden. Die tatsächlichen Werte können demnach variieren. CO₂-Emissionen, die bei der Kompostierung entstehen (mikrobieller Abbau der organischen Substanz) werden bei der Bilanzierung nicht berücksichtigt, da nur so viel CO₂ entsteht, wie zuvor beim Aufwuchs der Substanzen aus der Luft gezogen wurde. Sie sind also nicht fossilen Ursprungs. Für die Ökobilanzierung relevante CO₂-Emissionen entstehen beim Transport und Bearbeitung des Komposts.

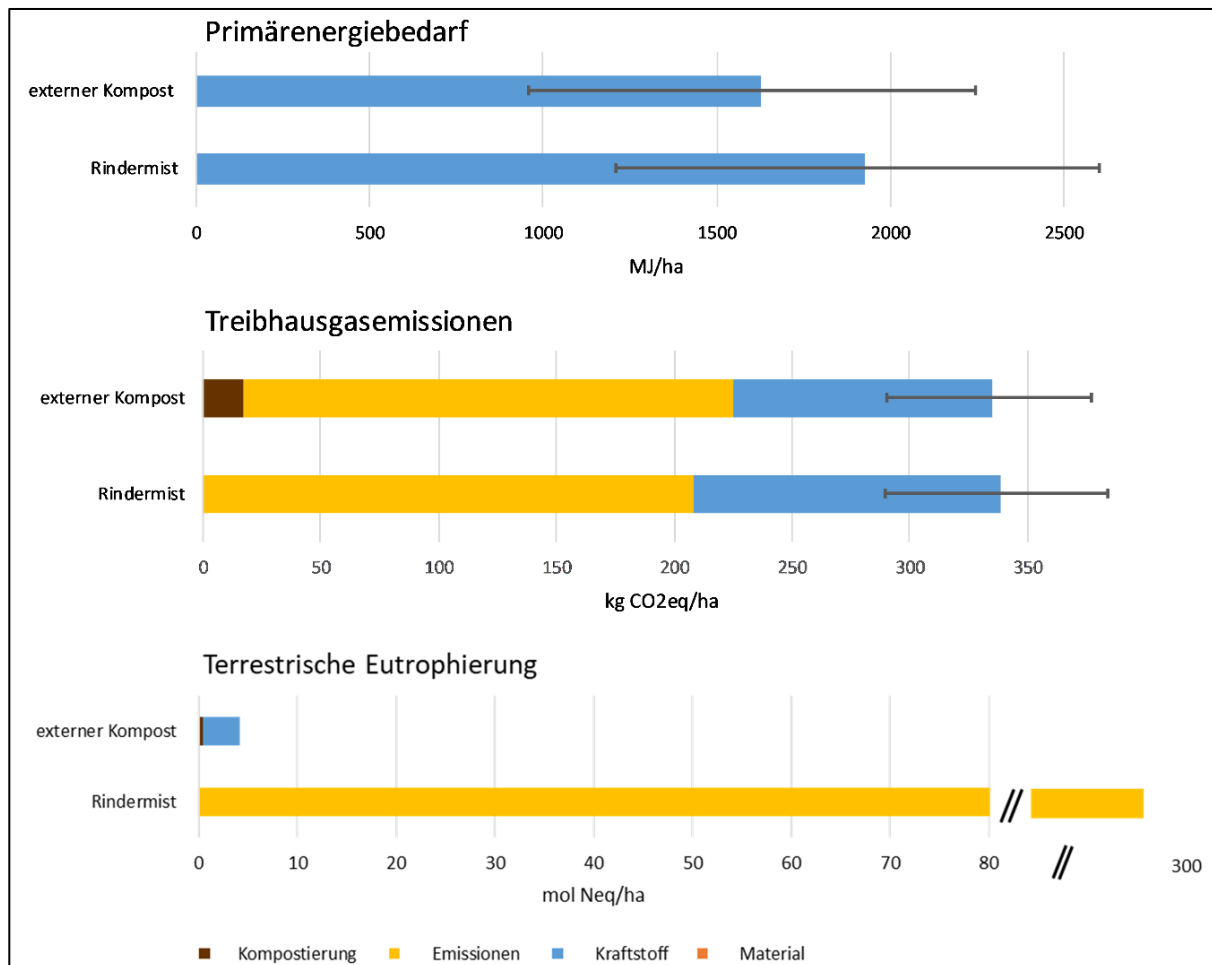


Abbildung 8: Ergebnisse der Ökobilanz einer Düngung von 50 kg N/ha mit externem Kompost im Vergleich zu einer Düngung mit Rindermist.

Als Referenzverfahren zur Düngung mit externem Kompost wurde die Düngung mit Rindermist (frisch) mit verschiedenen Varianten angesetzt. Es wurden verschiedene Transportstrecken und unterschiedliche Arten der Ausbringung berechnet (siehe **Tabelle 2**). Die Einarbeitung des Mistes führt zu geringeren Ammoniakemissionen, aber zu einem höheren Kraftstoffverbrauch, da mehr Arbeitsgänge notwendig sind. Die Ergebnisse der Varianten sind in den Grafiken als schwarze Linien dargestellt. Für den Kompost und den Rindermist wurde eine Transportstrecke von 15 km zum Hof veranschlagt. Die blauen Balken in den Diagrammen bezeichnen die Emissionen bzw. dem Energiebedarf aus dem Kraftstoffverbrauch der Verfahren. Die gelben Balken bezeichnen die direkten Emissionen des

ausgebrachten Komposts bzw. Rindermists. Bei den braunen Balken handelt es sich um Emissionen, die bei der Kompostierung entstehen.

Der Primärenergiebedarf der Düngung mit Kompost ist geringer als der mit Rindermist. Er stammt bei beiden Verfahren aus dem Verbrauch von Kraftstoff. Da für eine Düngung von 50 kg N/ha eine größere Menge an Rindermist gebraucht wird als an Kompost (Kompost hat eine höhere N-Konzentration als Rindermist), ist auch der Kraftstoffverbrauch bei der Düngung mit Kompost niedriger. Falls die bei der Kompostierung entstehende Energie genutzt wird, kann für dieses Verfahren ein negativer Primärenergiebedarf resultieren. Die Werte für Rindermist schwanken, je nachdem mit welcher Anfahrtsstrecke gerechnet wird.

Die Treibhausgasemissionen, die beim Einsatz von Kompost entstehen, sind gleich hoch wie die bei der Düngung mit Rindermist. Unterschiedliche Transportstrecken des Mistes und des Kompostes sind in den schwarzen Balken an den Diagrammen dargestellt. Der braune Balken stammt aus den Emissionen, die während der Kompostierung stattfinden. Die bei der Entstehung von Rindermist anfallenden Treibhausgasemissionen werden der Tierhaltung zugerechnet und kommen deshalb in dieser Berechnung nicht vor. Ein großer Anteil am Treibhauspotential haben die Lachgasemissionen (gelber Balken), die bei der Umsetzung des Stickstoffs aus den ausgebrachten Düngern entstehen. Diese sind allerdings mit einer sehr großen Unsicherheit behaftet und können stark schwanken. Da für beide Dünger mit einer Gesamtmenge von 50 kg N gerechnet wurde, ergeben sich hier keine Unterschiede.

Die Terrestrische Eutrophierung ist bei der Kompost-Düngung deutlich geringer als bei der Ausbringung von Rindermist. Das liegt an den hohen Ammoniak-Emissionen bei der Ausbringung von Rindermist. Selbst bei Einarbeitung des Rindermists und dadurch geringeren Ammoniak-Emissionen ist die Kompostdüngung deutlich besser. Bei der Kompostdüngung wird von reifem Kompost ausgegangen, von welchem keine Ammoniak-Emissionen zu erwarten sind. Bei der Kompostierung entstehen ebenfalls Ammoniak-Emissionen. Diese sind aufgrund N-armer Substrate und guter Kompostierungsbedingungen (z.B. Biofilter) sehr gering.

Fazit

In diesem Innovationsbetrieb hatte der Zukauf von Kompost einen starken Einfluss auf die Nährstoff- und Humusbilanzen des Betriebes.

Die Hoftorbilanzen des Betriebes sind im Mittel der Jahre annähernd ausgeglichen. Über den Verkauf des Ernteguts der Ackerflächen, insbesondere über die nährstoffreiche Luzerne, werden verhältnismäßig große Mengen an Nährstoffen exportiert. Daher ist eine ausreichende Düngung der Ackerflächen wichtig. Die Nährstoffgehalte des zugekauften Kompostes schwanken jedoch von Jahr zu Jahr stark. Die Betriebsleitung sollte die Nährstoffgehalte des Kompostes gut im Auge behalten und etwaige Defizite, insbesondere für Phosphor und Kalium, durch alternative Nährstoffquellen ausgleichen.

Typisch für tierhaltende Betriebe ist, dass über den Stallmist Nährstoffe vom Grünland auf die Ackerflächen übertragen werden. Dadurch fällt die Bodenbilanz der Ackerflächen in Bezug auf Phosphor und Kalium etwas besser aus als die Hoftorbilanz.

Zukauf von Fertigkompost ist eine gute Option, Nährstoffe und organische Substanz zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit zu importieren. Die Nährstoffgehalte können jedoch erheblich schwanken und sollten stets überwacht werden.

Die Ökobilanz der Düngung mit Kompost fällt im Vergleich zu einer Düngung mit Rindermist in allen drei berechneten Wirkungskategorien besser aus. Zu bedenken ist jedoch, dass die

Ökobilanz der Kompostierung in der Praxis je nach Kompostierungsverfahren und eingesetzten Substraten sehr stark schwanken kann. Die Ökobilanz fällt vor allem deswegen besser aus, weil weniger Ammoniak entsteht (N-ärmere Substrate!) und weil eine professionelle Kompostierung Emissionen reduzieren kann.

3.1.3.2. Betrieb Schmid - Tiefenlockerung & Zwischenfruchtanbau mit angepasster Bodenbearbeitung in Folgefrucht

Betriebsportrait für das Jahr 2017

- 70 ha Ackerbau und 30 ha Grünland
- 5 Großvieheinheiten (0,05 GV je Hektar): Legehennen und Mastschweine
- Anbau von Getreide (ca. 19,5 ha), Körnermais (ca. 14 ha), Soja (ca. 12 ha), Ackerbohnen und Erbsen (ca. 6,5 ha) sowie Luzerne (ca. 11 ha) und Rotklee (ca. 2 ha)

Wie wird gedüngt?

- Stallmist aus Legehennenhaltung
- Gülle aus Mastschweinehaltung
- Kompost aus eigener Herstellung (Pferde- und Rindermist wird zugekauft)
- 22 ha Zwischenfruchtanbau

Hoftor- und Bodenbilanz

Tabelle 6: Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Tiefenlockerung & Zwischenfruchtanbau mit angepasster Bodenbearbeitung in Folgefrucht“. Die Salden der Hoftorbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine besserer Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.

Nährstoffbilanz		Nährstoffsaldo (kg/ha/a)					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P	K
Erweiterte Hoftorbilanz	Mittelwert 2015 - 2017	-6	-34	-84	-6	-14	-70
Erweiterte Bodenbilanz	Mittelwert 2015 - 2017	3	-4	-24	3	-2	-20

Tabelle 6 zeigt die Hoftor- und Bodenbilanz des Innovationsbetriebes als Mittelwert aus den Jahren 2015 bis 2017. Die Hoftorbilanz für Stickstoff ist leicht negativ, die für Phosphor negativ und die Kalium-Hoftorbilanz stark negativ. Grund dafür ist, dass der Betrieb den gesamten Grünlandaufwuchs und Teile der Ackerfutterleguminosen verkauft und nur einen Teil dieser hohen Nährstoffexporte durch den Zukauf organischer Wirtschaftsdünger kompensiert. Lediglich beim Stickstoff wird der hohe Export durch die N-Fixierung der Leguminosen gepuffert. Eine gesteigerte interne Nutzung des Ernteguts des Grünlands, beispielsweise in Form von Silage, würden die Hoftorbilanz sowie auch die Bodenbilanz verbessern. Das Grünland wurde im Jahr 2015 und 2016 noch durch die Weidehaltung der Rinder (244 Tage) und die Ausbringung der Gülle von Mastschweinen gedüngt, wodurch es zu einem Ausgleich der im Erntegut entzogenen Nährstoffe kam. Seit 2017 hält der Betrieb jedoch keine Rinder und Schwein mehr, weshalb nun langfristig eine Verarmung des Grünlands droht.

Die Bodenbilanz, die sich nur auf die Ackerflächen bezieht, ist für Stickstoff und Phosphor etwa ausgeglichen, für Kalium negativ. Die zugekauften Mengen an Pferde- und Rindermist als nährstoffreiche Kompostsubstrate gleichen den Entzug von Nährstoffen mit dem Erntegut in Bezug auf Stickstoff und Phosphor in etwa aus. Bei der Kompostierung wurde nur mit Stickstoffverlusten gerechnet, nicht mit Kaliumverlusten über das Sickerwasser. Damit ist die Bodenbilanz noch einigermaßen ausgeglichen. Die Betriebsleitung sollte darauf achten, bei der Kompostierung Sickerwasserverluste zu minimieren, um insbesondere die dringend benötigten Nährstoffe Phosphor und Kalium nicht zu verlieren.

Humusbilanz

Tabelle 7: Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Tiefenlockerung & Zwischenfruchtanbau mit angepasster Bodenbearbeitung in Folgefrucht“ nach VDLUFA

Humusbilanz nach VDLUFA	Humussaldo (Häq/ha/a)		
	Untere Werte	Mittlere Werte	Obere Werte
2015	622	525	428
2016	386	289	193
2017	449	367	286
Mittelwert 2015 - 2017	485	394	302

Tabelle 7 zeigt die Humusbilanz des Innovationsbetriebs nach VDLUFA. Im Jahr 2017 kam es durch den großflächigen Anbau humuszehrender Kulturen wie Körnermais und Getreide zu einem Humusreproduktionsbedarf von -19.000 Häq/a auf mittleren Böden. Der Anbau von humusmehrenden Ackerfutter- und Körnerleguminosen sowie Winterzwischenfrüchten steht dem mit 13.840 Häq/a entgegen. Durch die angebauten Kulturen ergibt sich somit ein Saldo von -5.160 Häq/a, was bezogen auf die gesamte Ackerfläche von 70 ha einen Humusreproduktionsbedarf von -74 Häq/ha/a ergibt. Die hohen Humusreproduktionsleistungen des auf dem Feld verbleibende Maisstrohs (11.200 Häq/a bzw. 160 Häq/ha/a) sowie der Düngung der Ackerflächen mit Pferde-, Rinder- und Putenmist (19.672 Häq/a bzw. 281 Häq/ha/a) führen in der gesamten Humusbilanz zu einem Saldo von 25.712 Häq/a bzw. 367 Häq/ha/a auf mittleren Böden. Je nach Zustand der Böden schwankt die Humusbilanz des Betriebes im Mittel der Jahre 2015 und 2017 zwischen 302 und 485 Häq/ha/a und ist damit in einem sehr positiven Bereich. Ein Humusaufbau ist langfristig zu erwarten.

Fazit

Der Anbau von Zwischenfrüchten trägt in diesem Innovationsbetrieb aufgrund des geringen Leguminosenanteils nur geringfügig zur Stickstoffbilanz des Betriebes bei. Die Tiefenlockerung hat auf die Nährstoff- und Humusbilanzen keinen direkt abbildbaren Effekt.

Die Hoftorbilanzen aller drei bilanzierten Nährstoffe sind auf diesem Betrieb negativ. Grund dafür ist der Verkauf des gesamten Grünlandaufwuchses und Teile der Ackerfutterleguminosen.

Die Bodenbilanzen sind ausgeglichen (Stickstoff und Phosphor) oder negativ (Kalium). Die trotz der hohen Exporte in etwa ausgeglichenen Bodenbilanzen sind auf die Düngung mit nährstoffreichem Kompost aus zugekauftem Pferde- und Rindermist zurückzuführen.

3.1.3.3. Betrieb Köberle - Mulchen von Klee gras & Zwischenfruchtanbau mit angepasster Bodenbearbeitung

Betriebsportrait für das Jahr 2017

- 56 ha Ackerbau und 18 ha Grünland
- Keine Tierhaltung
- Anbau von Getreide (ca. 35 ha), Klee gras (ca. 17,5 ha) und Hanf (ca. 2,5 ha)

Wie wird gedüngt?

- Stroh verbleibt auf dem Feld
- Klee grasmulch
- 5 ha Zwischenfruchtanbau

Hoftor- und Bodenbilanz

Tabelle 8: Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Mulchen von Klee gras & Zwischenfruchtanbau mit angepasster Bodenbearbeitung“. Die Salden der Hoftorbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine besserer Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.

Nährstoffbilanz		Nährstoffsaldo (kg/ha/a)					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P	K
Erweiterte Hoftorbilanz	Mittelwert 2015 - 2017	-26	-44	-96	-26	-19	-80
Erweiterte Bodenbilanz	Mittelwert 2015 - 2017	2	-21	-25	2	-9	-21

Tabelle 8 zeigt die Hoftor- und Bodenbilanz des Innovationsbetriebes als Mittelwert aus den Jahren 2015 bis 2017. Die Hoftorbilanzen aller drei bilanzierten Nährstoffe sind stark negativ. Der Betrieb importiert keinerlei Nährstoffe durch Zukauf, verkauft jedoch den gesamten Grünlandaufwuchs sowie, abgesehen vom Klee gras, das gesamte Erntegut des Ackerlands.

Die Bodenbilanz für Stickstoff wird durch die hohe N-Fixierung des Klee grasses sowie der legumen Zwischenfrucht Komponenten ausgeglichen. Die Bodenbilanzen für Phosphor und Kalium sind wie auch die Hoftorbilanzen negativ. Da dem Betrieb ohne jeglichen Import von Phosphor und Kalium die Nährstoffe des verkauften Ernteguts ersatzlos verloren gehen, kommt es langfristig zu einer Verarmung. Ein phosphor- und kaliumhaltiges Düngemittel wird dringend empfohlen. Ob es durch den intensiven Zwischenfruchtanbau zu einer Mobilisierung von Phosphor aus dem Ausgangsgestein kommt, kann nicht sicher beantwortet werden. Hier besteht Forschungsbedarf. Langfristig ist eine P-Verarmung der Böden jedoch auch bei hohen P-Reserven nicht nachhaltig.

Humusbilanz

Tabelle 9: Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Mulchen von Klee gras & Zwischenfruchtanbau mit angepasster Bodenbearbeitung“ nach VDLUFA

Humusbilanz nach VDLUFA	Humussaldo (Häq/ha/a)		
	Untere Werte	Mittlere Werte	Obere Werte
2015	556	476	396
2016	541	465	389
2017	540	459	379
Mittelwert 2015 - 2017	546	467	388

Tabelle 9 zeigt die Humusbilanz des Innovationsbetriebs nach VDLUFA. Im Jahr 2017 wird der Humusreproduktionsbedarf von Getreide und Hanf (-15.040 Häq/a auf mittleren Böden) durch die Humusreproduktionsleistung des Klee grasses und der Zwischenfrüchte (14.672 Häq/a) etwa ausgeglichen. Durch die angebauten Kulturen ergibt sich somit ein Saldo von -368 Häq/a, was bezogen auf die gesamte Ackerfläche von 56 ha einen Humusreproduktionsbedarf von -7 Häq/ha/a ergibt. Das auf dem Feld verbleibende Getreidestroh (11.238 Häq/a bzw. 201 Häq/ha/a) und Klee gras (14.840 Häq/a bzw. 265 Häq/ha/a) sorgen für große Humusreproduktionsleistungen und erzeugen in der gesamten Humusbilanz einen positiven Saldo von 25.710 Häq/a bzw. 459 Häq/ha/a auf mittleren Böden. Je nach Zustand der Böden schwankt die Humusbilanz des Betriebes im Mittel der Jahre 2015 und 2017 zwischen 388 und 546 Häq/ha/a und ist damit in einem stark positiven Bereich. Ein Humusaufbau ist langfristig zu erwarten.

Fazit

Der Anbau von Klee gras und Zwischenfrüchten mit legumen Komponenten trägt in diesem Innovationsbetrieb aufgrund des hohen Flächenanteils erheblich zur ausgeglichenen Stickstoffbilanz des Betriebes bei.

Die Hoftorbilanzen aller drei bilanzierten Nährstoffe sind auf diesem Betrieb negativ. Grund dafür ist, dass keinerlei Nährstoffe zugekauft werden, bei gleichzeitigem Verkauf des gesamten Grünlandaufwuchses und des Getreides.

Die Bodenbilanzen für N ist durch die N-Fixierung des Klee grasses ausgeglichen, die für Kalium und Phosphor sind ebenfalls negativ.

3.1.3.4. Betrieb Heiß – Klee grastransfer

Betriebsportrait für das Jahr 2017

- 75 ha Ackerbau und 34 ha Grünland
- 8 Großvieheinheiten (0,07 GV je Hektar): Mastputen
- Anbau von Getreide (ca. 43,5 ha), Sonnenblumen (ca. 11 ha), Erbsen (ca. 10 ha), Klee gras (ca. 10 ha) sowie Körnersenf (ca. 0,6 ha) und Weidelgras (ca. 0,15 ha)

Wie wird gedüngt?

- Stallmist aus Mastputenhaltung
- Frischer Kleeegrasschnitt (Cut & Carry)
- Klee gras-Silage
- Kompost aus eigener Herstellung (Grünschnitt und Laub wird zugekauft)
- Zukauf von Pferdemit
- Zukauf von Carbokalk als mineralischer Handelsdünger

Nährstoffflüsse im Jahr 2017

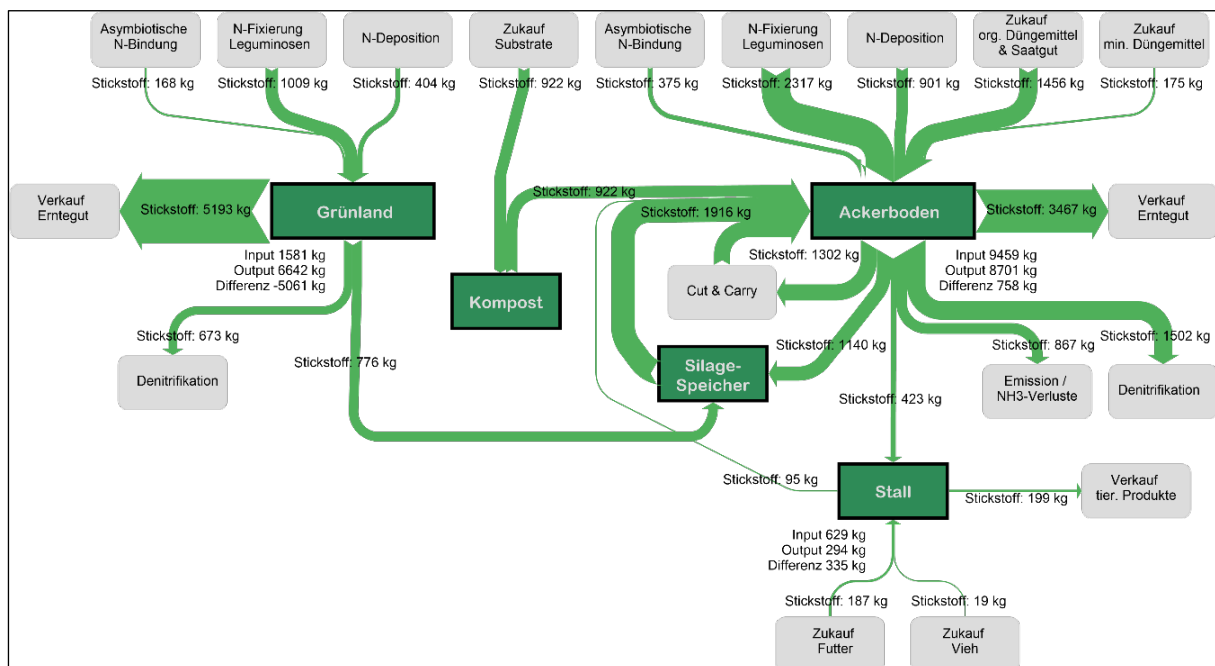


Abbildung 9: Stickstoffflüsse des Innovationsbetriebs „Klee-grastransfer“ im Jahr 2017

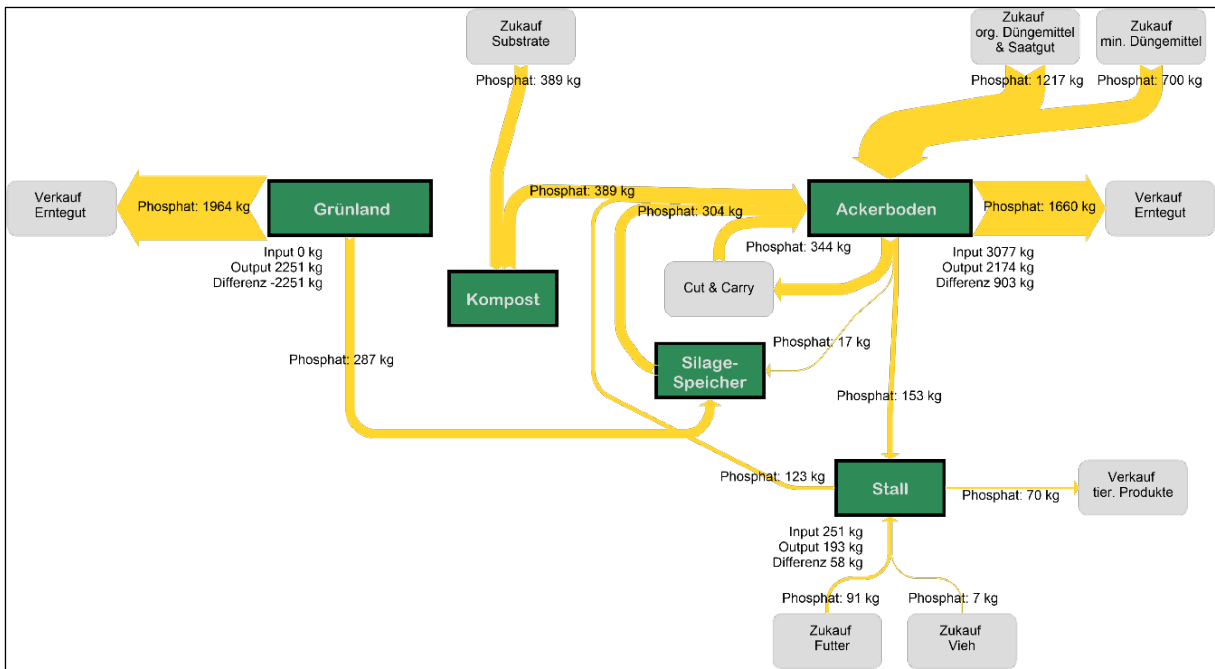


Abbildung 10: Phosphorflüsse des Innovationsbetriebs „Klee-grastransfer“ im Jahr 2017

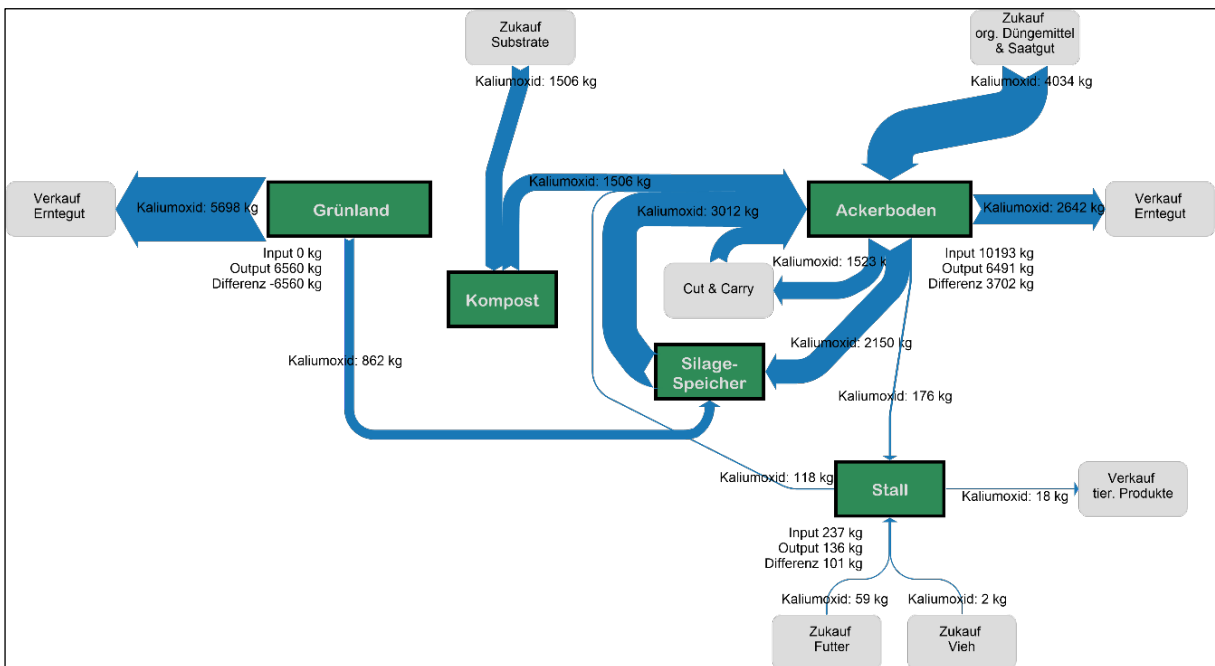


Abbildung 11: Kaliumflüsse des Innovationsbetriebs „Klee-grastransfer“ im Jahr 2017

Abbildung 9, Abbildung 10 und Abbildung 11 zeigen die Nährstoffflüsse des Innovationsbetriebes beispielhaft für das Jahr 2017. Im Grünland gibt es rechnerisch große Nährstoffdefizite. Grund dafür ist, dass große Nährstoffmengen mit dem Erntegut abgefahren werden und das Grünland nicht gedüngt wird. Die Stickstofffixierung der Leguminosen im Grünland beträgt nur etwa 1/5 der abgefahrenen Stickstoffmenge und kann die Abfuhr somit nicht kompensieren. Hier besteht jedoch eine hohe Datenunsicherheit, da sowohl die N-Gehalte im Erntegut als auch die N-Fixierung durch Leguminosen stark schwanken können. Gesichert ist jedoch das Defizit in Bezug auf Kalium und Phosphor. Langfristig kommt es zu einer Verarmung des Grünlandes.

Im Ackerbau entstehen durch eine vielfältige Düngung aus internen und externen Quellen positive Bilanzsalden. Insbesondere die Rückführung der gesamten Kleeernte (10 ha) über Cut & Carry und Silage, ein geringer Transfer vom Grünland, sowie der Zukauf von Kompost-Substraten und Pferdemist tragen zur guten Nährstoffversorgung der Böden bei. Wirtschaftsdünger aus dem Stall spielen in diesem Betrieb nur eine untergeordnete Rolle.

Hof- und Bodenbilanz

Tabelle 10: Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Kleeernte“. Die Salden der Hofbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine bessere Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.

Nährstoffbilanz		Nährstoffsaldo (kg/ha/a)					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P	K
Erweiterte Hofbilanz	Mittelwert 2015 - 2017	-42	-20	-45	-42	-9	-37
Erweiterte Bodenbilanz	Mittelwert 2015 - 2017	4	4	50	4	2	41

Tabelle 10 zeigt die Hof- und Bodenbilanz des Innovationsbetriebes als Mittelwert aus den Jahren 2015 bis 2017. Die Hofbilanzen aller drei bilanzierten Nährstoffe sind auf diesem Betrieb stark negativ. Grund dafür ist der Verkauf des Großteils des Ernteguts auf Seiten des Grünlands. Etwa 85 % der im Grünland-Erntegut enthaltenen Nährstoffmenge wird verkauft und lediglich 15% über die Silage dem Ackerland zugeführt. Eine gesteigerte interne Verwendung des Grünlandaufwuchses, z.B. als Silagedünger, oder ein Import von Wirtschaftsdünger in der Größenordnung des verkauften Grünlandaufwuchses, würden die Hofbilanz verbessern.

Die Bodenbilanz von Stickstoff und Phosphor ist etwa ausgeglichen, die von Kalium sogar stark positiv. Grund dafür ist der vielfältige Einsatz von mineralischen und organischen Zukaufdüngern wie Carbokalk (reich an Phosphor) sowie Pferdemist (sehr reich an Kalium) und Substraten für die eigene Kompostherstellung. Des Weiteren kommt ein Nährstofftransfer vom Grünland auf den Acker hinzu.

Humusbilanz

Tabelle 11: Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Kleeernte“ nach VDLUFA

Humusbilanz nach VDLUFA	Humussaldo (Häq/ha/a)		
	Untere Werte	Mittlere Werte	Obere Werte
2015	661	561	460
2016	601	490	379
2017	650	562	473
Mittelwert 2015 - 2017	638	537	437

Tabelle 11 zeigt die Humusbilanz des Innovationsbetriebs nach VDLUFA. Im Jahr 2017 kommt es durch den großflächigen Anbau humuszehrender Kulturen wie Getreide und Sonnenblumen zu einem erheblichen Abbau organischer Bodensubstanz (-22.128 Häq/a auf

mittleren Böden). Dem gegenüber steht jedoch die Zufuhr organischer Bodensubstanz durch den Anbau humusmehrender Kulturen in Form von Ackerfutter- und Körnerleguminosen sowie Winterzwischenfrüchten (10.518 Häq/a). Durch die angebauten Kulturen ergibt sich somit ein Saldo von -11.610 Häq/a, was bezogen auf die gesamte Ackerfläche von 75 ha eine Humuszehrung von -155 Häq/ha/a ergibt. Da bei vielen Kulturen jedoch Nebenprodukte auf dem Feld verbleiben, insbesondere bei den 11 ha Sonnenblumen, werden 17.959 Häq/a bzw. 239 Häq/ha/a gutgeschrieben. Durch die Düngung der Ackerflächen mit Klee gras und insbesondere den stark humusmehrenden Düngemitteln Pferdemist und Kompost kommt es zu einer Humusreproduktionsleistung von 35.768 Häq/a bzw. 477 Häq/ha/a. In der gesamten Humusbilanz kommt es letztendlich zu einem Saldo von 562 Häq/ha/a auf mittleren Böden. Je nach Zustand der Böden schwankt die Humusbilanz des Betriebes im Mittel der Jahre 2015 und 2017 zwischen 638 und 437 Häq/ha/a und ist damit in einem stark positiven Bereich. Ein Humusaufbau ist langfristig zu erwarten.

Ökobilanz

Abbildung 12 zeigt die Ergebnisse der Ökobilanzierung einer Düngung mit 50 kg N/ha durch Cut & Carry Klee gras bzw. Silagedüngung im Vergleich zu einer Düngung mit Rindergülle (Referenzmethode). Bei der Referenzmethode wurden verschiedene Transportstrecken zur Anlieferung der Gülle als auch unterschiedliche Ausbringungsmethoden untersucht (siehe **Tabelle 2**) um deren Einfluss auf die Ökobilanz zu verdeutlichen. Für die Variante mit maximalen Ammoniak-Emissionen bei der Ausbringung wurde der Breitverteiler angesetzt, bei der Variante mit minimalen Emissionen die Ausbringung mit dem Güllegrubber. Als typisches Verfahren wurde die Ausbringung mit dem Schleppschlauch angesetzt. Die Verringerung der Emissionen bei der Ausbringung von Rindergülle führt allerdings zu einer Erhöhung des Kraftstoffverbrauchs und den damit verbundenen Emissionen. In den Grafiken veranschaulichen die schwarzen Balken die Bandbreite der Ergebnisse der berechneten Varianten der Referenzmethode Rindergülle. Kleinster und größter Wert liegen teilweise weit auseinander. Rindergülle ist ein Reststoff aus der Tierhaltung und deshalb mit einer geringen Vorkette belastet. Die bei der Tierhaltung entstehenden Emissionen werden nicht der Gülle angerechnet.

Die blauen Balken in den Diagrammen bezeichnen die Emissionen durch den Kraftstoffverbrauch, der beim Anbau des Klee grasses und der Ausbringung des Düngers entsteht. Die orangenen Balken bezeichnen die Emissionen aus dem Materialbedarf dieser Verfahren. Die gelben Balken bezeichnen die direkten Emissionen bei der Ausbringung der Düngemittel und deren Umsetzung auf der Fläche.

Beim Klee grassanbau wird von einer viermaligen Nutzung durch vier Schnitte, die unterschiedlich verwendet werden, ausgegangen. Dem ersten Schnitt folgt das Kreiseln, das Schwaden und die Bergung auf einen Ladewagen. Mit Miststreuern wird der frische Klee grassaufwuchs auf zu düngende Schläge ausgebracht (Cut & Carry). Der zweite Schnitt wird siliert. Dabei erfolgt nach der Mahd das Kreiseln, das Schwaden und die Ablage in ein Silo mit Festfahren und Verdichten. Die Silage wird mit Silofolie und Schutzgitter abgedeckt. Die Ausbringung dieser Silage auf die zu düngenden Schläge erfolgt mit Miststreuern. Schnitt drei und vier werden für Cut & Carry verwendet und wurden wie Schnitt eins berechnet.

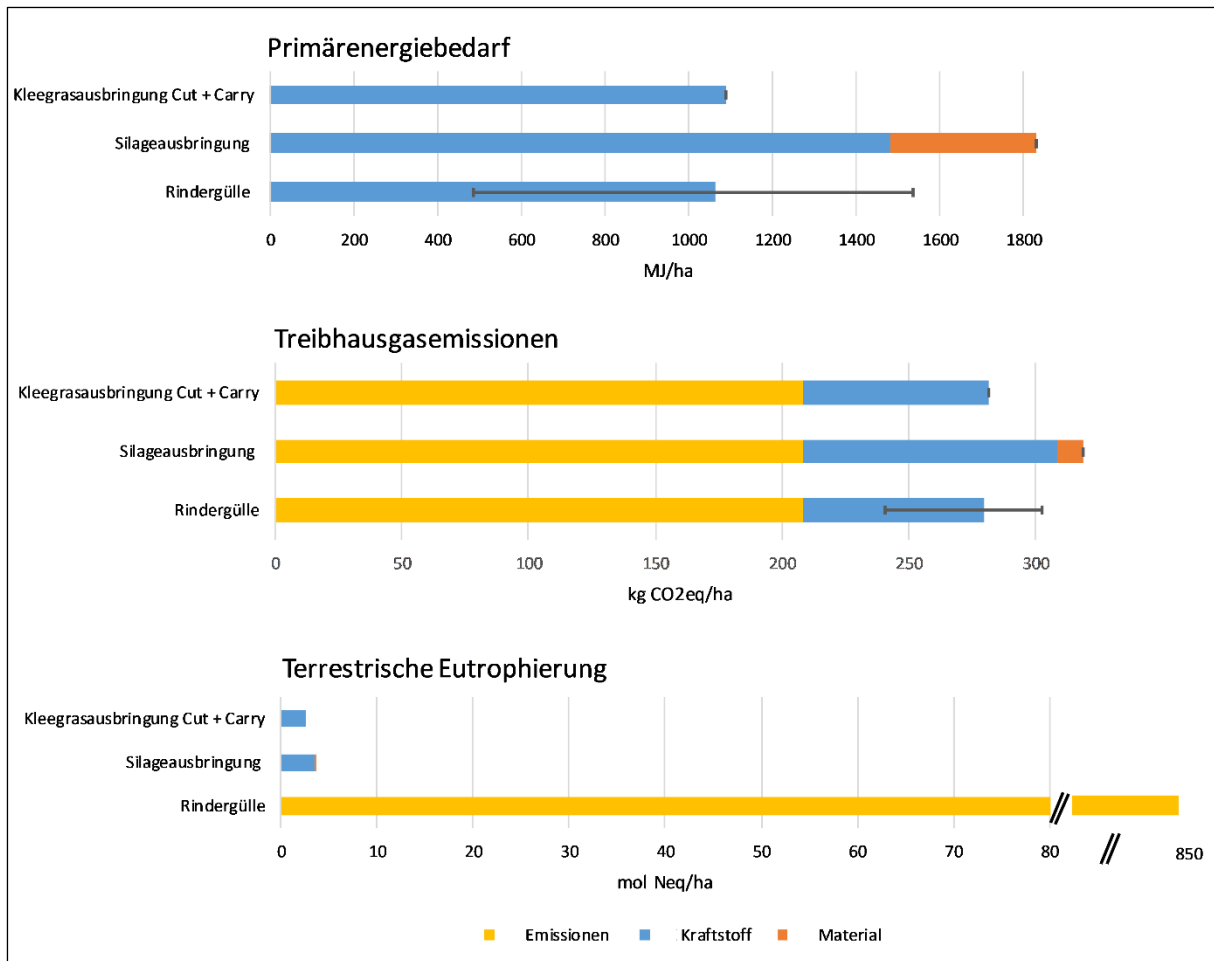


Abbildung 12: Ergebnisse der Ökobilanzierung einer Düngung mit 50 kg N/ha durch Cut & Carry Kleegras bzw. Silagedüngung im Vergleich zu einer Düngung mit Rindergülle

Die Düngung mit frischem Kleegras hat einen ähnlichen Primärenergiebedarf wie die Düngung mit Rindergülle. Bei einer weiteren Anfahrt der Gülle und einer Ausbringung mit verringerten Emissionen (Güllegrubber), ist der Primärenergiebedarf beim Referenzverfahren höher als bei der Düngung mit frischem Kleegras. Die Düngung mit Silage hat aufgrund des erhöhten Material- und Kraftstoffverbrauchs einen höheren Primärenergiebedarf als das Referenzverfahren. Der Einsatz von Silofolie und Siloschutzgitter (oranger Balken, Material) hat auf den Primärenergiebedarf einen großen Einfluss, da die Herstellung der Materialien mit über 300 MJ/ha zu Buche schlägt. Würde anstatt der Folie und des Gitters die Silage mit Naturmaterialien bedeckt, würde hier ein geringerer Wert für das Material resultieren.

Das Treibhauspotential ist für frisches Kleegras und für Silagedüngung ähnlich der Referenzmethode Gülledüngung, wobei die Silagedüngung aufgrund des höheren Kraftstoff- und Materialverbrauchs etwas höher liegt. Entscheidend beim Treibhauseffekt dieser Maßnahmen sind die Lachgasemissionen. Diese sind mit hohen Unsicherheiten behaftet. Bei den zur Berechnung verwendeten Werten handelt es sich um Faustzahlen, die tatsächlichen Werte können sich je nach vorherrschenden Bedingungen unterscheiden. Da keine Emissionsmessungen durchgeführt wurden, können keine genauen Aussagen zu den N₂O-Emissionen gemacht werden.

Düngung mit frischem Kleegras und Silagedüngung haben im Vergleich zur Düngung mit Rindergülle sehr geringe Auswirkungen auf die terrestrische Eutrophierung. Da bei der Ausbringung von Rindergülle hohe Ammoniakemissionen entstehen, sind selbst bei einer

Ausbringung mit dem Injektionsgrubber Ammoniakemissionen in Höhe von 75 mol N-Äq./ha zu erwarten.

Flächenbedarf

Für die Düngung eines Hektar Acker mit 50 kg N aus Klee gras werden 0,16 ha Fläche für den Anbau des Klee grasses benötigt. Dieser Flächenbedarf bezieht sich auf die Annahme der viermaligen Nutzung, wobei der erste sowie der dritte und vierte Schnitt (zusammen 75% der Gesamt-Stickstoffmenge aller vier Nutzungen) für Cut & Carry und der zweite für Silage verwendet wird. Es wurde von einem Jahresgesamtertrag von 58 t FM/ha und einem N-Gehalt von 5,8 kg N/t FM ausgegangen. Würden alle vier Schnitte für Silage verwendet und damit ein Hektar Acker mit 50 kg N gedüngt, wäre der Flächenbedarf mit 0,18 ha etwas größer. Dies liegt daran, dass bei der Herstellung der Silage 15-20% Massenverluste (z.B. Bröckelverluste der stickstoffreichen Kleeblätter bei der Bergung der Anweil silage) kalkuliert werden, die beim frischen Cut & Carry Klee gras nicht vorkommen.

Fazit

Der Anbau von Klee gras trägt in diesem Innovationsbetrieb aufgrund des hohen Flächenanteils maßgeblich zur Stickstoff- und Humusbilanz des Betriebes bei.

Die Hof torbilanzen aller drei bilanzierten Nährstoffe sind auf diesem Betrieb stark negativ. Grund dafür ist der Verkauf von 85% der im Erntegut des Grünlands enthaltenen Nährstoffmengen. Die anderen 15% werden über die Silage auf die Ackerflächen transferiert.

Die Bodenbilanzen der Ackerflächen sind ausgeglichen (Stickstoff und Phosphor) oder stark positiv (Kalium). Dies ist auf den Import verschiedener Zukaufsdünger zurückzuführen. Besonders der Pferdemit enthält sehr viel Kalium.

Die innerbetriebliche Nutzung von Klee gras über Cut & Carry und Silage ist eine gute Möglichkeit um Leguminosenstickstoff in den Betrieb zu bringen und ihn zu verschiedenen Zeitpunkten im Jahr auf verschiedene Flächen zu verteilen. Der Innovationsbetrieb nutzt diese Düngemethode in Kombination mit vielen anderen Düngemitteln, um positive Boden- und Humusbilanzen zu erzielen.

Die Ökobilanz von Cut & Carry Klee gras fällt sowohl beim Primärenergiebedarf als auch beim Treibhauspotential ähnlich aus wie die Düngung mit Rindergülle aus der Region. Überregional bezogene Gülle fällt schlechter aus. Die terrestrische Eutrophierung ist bei Cut & Carry deutlich besser als beim Referenzverfahren.

Die Ökobilanz der Silagedüngung fällt für die terrestrische Eutrophierung deutlich besser aus als das Referenzverfahren. Das Treibhauspotential liegt bei der Silagedüngung etwas höher als bei der Gülledüngung. Lediglich beim Primärenergiebedarf fällt die Silagedüngung aufgrund des Einsatzes von Silofolie und Siloschutzgitter schlechter aus als das Referenzverfahren. Würde hier anstatt der Folie und des Gitters eine Abdeckung mit Naturmaterial vorgenommen, würde dieser Wert geringer ausfallen.

Die relativ gute Ökobilanz der Rindergülle ist darauf zurückzuführen, dass es sich um ein Nebenprodukt ohne Vorkette handelt (Aufwendungen für die Futtermittelerzeugung werden den tierischen Produkten zugerechnet, nicht dem Wirtschaftsdünger). Zu bedenken ist, dass bei einer Ausweitung des viehlosen Ackerbaus Gülle nicht in hinreichendem Ausmaß zur Verfügung steht.

Für die Erzeugung von frischem Klee gras oder Klee grassilage wird eine erhebliche Fläche benötigt, die in der Ökobilanz vollständig der gedüngten Kultur zuzurechnen ist. Für die

Düngung von 50 kg N pro Hektar mit Silage oder frischem Klee gras werden etwa 0,16 ha zusätzliche Fläche benötigt.

3.1.3.5. Betrieb Kiechle - Kompost II: Eigene Herstellung

Betriebsportrait für das Jahr 2017

- 15 ha Ackerbau und Sonderkulturen
- Keine Tierhaltung
- Anbau von Gemüse (ca. 5,5 ha), Spargel (ca. 5 ha), Kernobst (ca. 3,5 ha), Trauben (ca. 0,6 ha) und Johannisbeeren (0,4 ha)

Wie wird gedüngt?

- Kompost aus eigener Herstellung (Pferdemist, Rindermist, Gemüseputzabfälle und Grünschnitthäcksel werden zugekauft)

Nährstoffflüsse im Jahr 2017

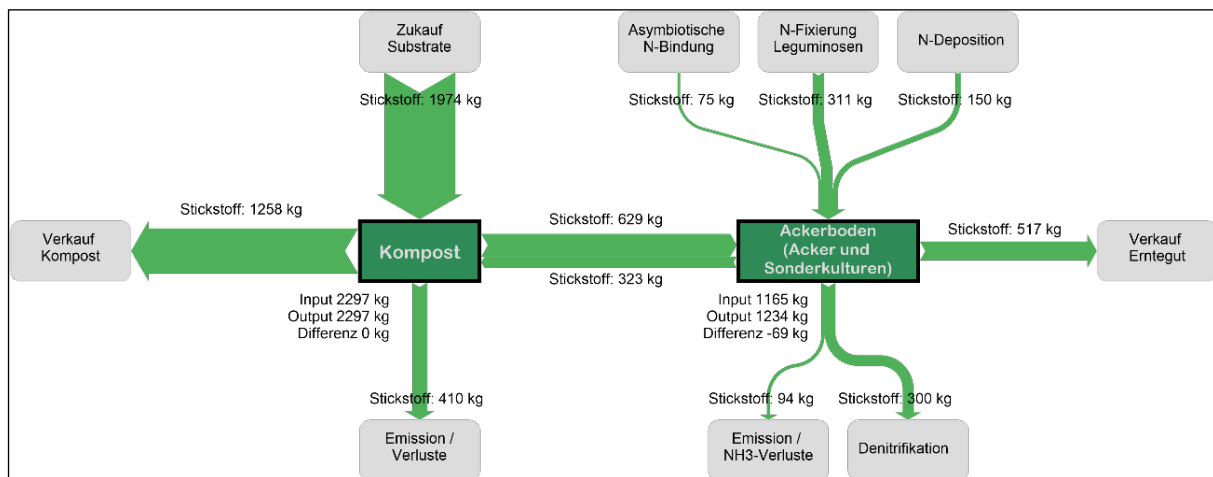


Abbildung 13: Stickstoffflüsse des Innovationsbetriebs „Kompost II: Eigene Herstellung“ im Jahr 2017

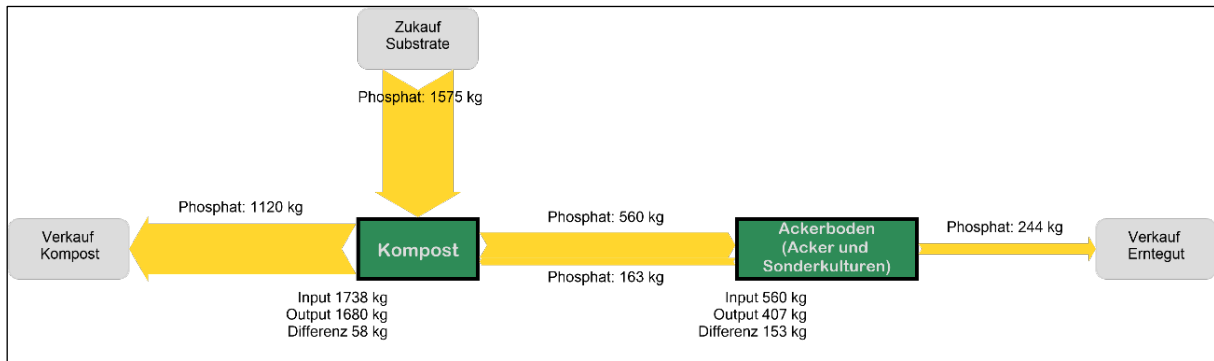


Abbildung 14: Phosphorflüsse des Innovationsbetriebs „Kompost II: Eigene Herstellung“ im Jahr 2017

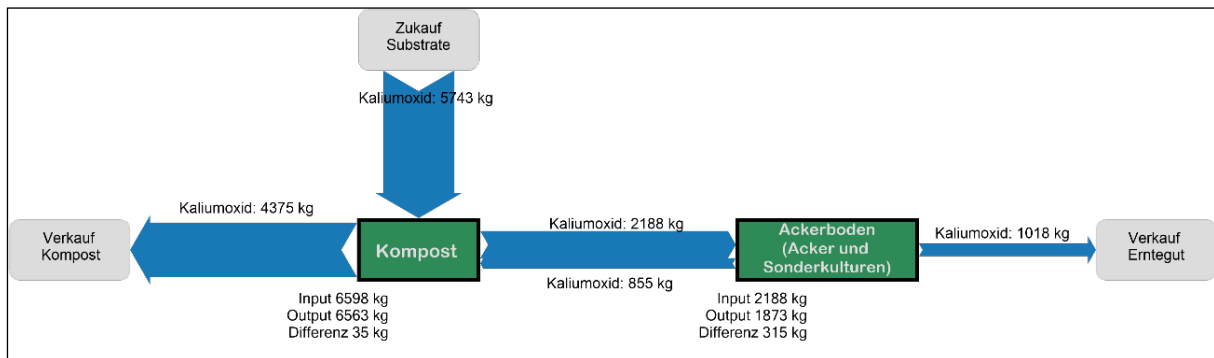


Abbildung 15: Kaliumflüsse des Innovationsbetriebs „Kompost II: Eigene Herstellung“ im Jahr 2017

Abbildung 13, Abbildung 14 und Abbildung 15 zeigen die Nährstoffflüsse des Innovationsbetriebes für die Jahre 2015 bis 2017, da der Betrieb über die Jahre 2015 bis 2017 stets dieselben Kulturen und Maßnahmen aufwies. Der auf dem Betrieb hergestellte Kompost erweist sich als Hauptumschlagplatz für Nährstoffe. Zuflüsse sind der Zukauf von äußerst nährstoffreichen Substraten wie Pferde- und Rindermist sowie Grünschnittmäcksel und Gemüseputzabfälle. Dazu kommen eigene Substrate wie die Nebenprodukte der Gemüse- und Kernobsterzeugung, die verhältnismäßig wenig Nährstoffe enthalten. Der Großteil des fertigen Kompostes wird verkauft, ein kleiner Teil geht auf die Ackerflächen. Somit „bezuschusst“ der Kompost-Betrieb den Ackerbau mit importierten Nährstoffen. Neben Stickstoffverlusten von 15 – 20 % der im zugeführten Substrat und gedüngten Kompost enthaltenen Stickstoffmenge wurden keine weiteren Nährstoffverluste vom Kompost kalkuliert. Die tatsächlichen Nährstoffverluste im Kompostierungsprozess unterliegen großen Schwankungen und können auch deutlich höher ausfallen. Durch Auswaschungsverluste können auch erhebliche Mengen Kalium dem Betrieb verloren gehen. Auf Seite des Ackerbodens gibt es neben der Kompostdüngung keine weiteren Düngemittel. Beim Stickstoff kommt noch die Stickstofffixierung der Leguminosen, einer Zwischenfrucht und einer Brache hinzu. Ansonsten werden die Bodenbilanzen aller drei Nährstoffe maßgeblich durch die Differenz von Kompostdüngung und abgefahrenem Erntegut sowie der Nebenprodukte bestimmt.

Hof- und Bodenbilanz

Tabelle 12: Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Kompost II: Eigene Herstellung“. Die Salden der Hofbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine besserer Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.

Nährstoffbilanz		Nährstoffsaldo (kg/ha/a)					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P	K
Erweiterte Hofbilanz	2015 - 2017	34	14	23	34	6	19
Erweiterte Bodenbilanz	2015 - 2017	-5	10	21	-5	4	17

Tabelle 12 zeigt die Hof- und Bodenbilanz des Innovationsbetriebes der Jahre 2015 bis 2017. In der Hofbilanz ergibt sich für alle drei bilanzierten Nährstoffe ein positiver Saldo. Dies liegt daran, dass der Betrieb besonders nährstoffreiche Substrate für die Kompostherstellung zukauf und eine geringere Menge eines etwas weniger nährstoffreichen Kompostes verkauft. Dadurch werden erhebliche Nährstoffmengen von außerhalb in den Betrieb gebracht. Die Stickstofffixierung durch Leguminosen trägt noch einen kleinen Teil zur positiven Hofbilanz bei.

In der Bodenbilanz ergibt sich ein leicht negativer Saldo für Stickstoff und ein positiver Saldo für Phosphor und Kalium. Diese Defizite und Überschüsse liegen jedoch im Rahmen der Unsicherheit, die mit der Berechnung einhergehen. Somit können diese Bilanzen als annähernd ausgeglichen gelten.

Humusbilanz

Tabelle 13: Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Kompost II: Eigene Herstellung“ nach VDLUFA

Humusbilanz nach VDLUFA	Humussaldo (Häq/ha/a)		
	Untere Werte	Mittlere Werte	Obere Werte
2015 - 2017	1111	1011	911

Tabelle 13 zeigt die Humusbilanz des Innovationsbetriebs nach VDLUFA für die annualen Kulturen. Für die Sonderkulturen Kernobst, Trauben und Johannisbeeren sowie Spargel liegen keine Parameter vor. In den Jahren 2015 bis 2017 ergibt sich aus den Anbau von humuszehrendem Gemüse ein Humusreproduktionsbedarf von -3.800 Häq/a auf mittleren Böden. Die Humusreproduktionsleistung der Zwischenfrucht und Brache steht dem mit 2.310 Häq/a entgegen. Aus den berücksichtigten Kulturen ergibt sich somit ein Saldo von -1.490 Häq/a, was bezogen auf die Ackerfläche der annualen Kulturen von 10 ha einen Humusreproduktionsbedarf von -149 Häq/ha/a ergibt. Durch die Kompostdüngung kommt es zu einer Humusreproduktionsleistung von 11.600 Häq/a bzw. 1160 Häq/ha/a. In der gesamten Humusbilanz kommt es letztendlich zu einem Saldo von 10.110 Häq/a bzw. 1.011 Häq/ha/a auf mittleren Böden. Je nach Zustand der Böden schwankt die Humusbilanz des Betriebes zwischen 1.111 und 911 Häq/ha/a. Die Humusbilanz ist dadurch sehr stark positiv. Ein langfristiger Aufbau organischer Bodensubstanz ist wahrscheinlich. Langfristig sind hohe Nährstoffnachlieferungen aus der organischen Bodensubstanz zu erwarten.

Ökobilanz

Abbildung 16 zeigt die Ergebnisse der Ökobilanz einer Düngung von 50 kg N/ha mit Kompost im Vergleich zu einer Düngung mit Gärresten. Eigenschaften des Ausgangsmaterials (C/N-Verhältnis, Nährstoffe, Wassergehalt, Struktur), des Verfahrenstyps (Aufbau der Miete, offene oder geschlossene Kompostierung) sowie die Behandlung während der Kompostierung (Rotteführung: Auf- und Umsetzen, Belüftung, Bewässerung) sind entscheidend für die Emissionen aus der Kompostierung. Da diese Faktoren von Hof zu Hof aber auch innerhalb des gleichen Hofes z.B. bei unterschiedlichen Ausgangsmaterialien stark variieren, wurde bei der Ökobilanzierung des Komposts mit einem Datensatz gerechnet, der einen Mischwert aus unterschiedlichen Kompostarten und –verfahren darstellt. Berücksichtigt wurden in diesem Datensatz Garten-, Küchen- und Bioabfälle, die sowohl in Mischung als auch als Einzelkomponenten in industriellen Kompostierungsanlagen, heimischen Komposthaufen und Kompostcontainers kompostiert wurden.

Als Referenzmethode zur internen Kompostierung wurde die Düngung mit Gärresten gewählt. Diese wurden aus einer Entfernung von 15 km mit dem Traktor zum Feld transportiert. Gärreste haben einen hohen Wassergehalt. Für eine Düngung von 50 kg N/ha werden ca. 10 t Gärreste oder lediglich 5 t Kompost gebraucht. Der Vergleich mit Gärresten wurde deshalb gewählt, weil die Vergärung eine mögliche Alternative zur Kompostierung von Gemüseabfällen darstellt. Für die Variante mit maximalen Ammoniak-Emissionen wurde von einer Ausbringung auf Stroh bei 25°C ohne Einarbeitung ausgegangen. Die Variante mit den geringsten Ammoniak-Emissionen beinhaltet eine Einarbeitung der Gärreste und nimmt eine Temperatur von 5°C an. Die schwarzen Linien an den Balken zeigen die Unterschiede der Ergebnisse durch die verschiedenen Varianten. Die Einarbeitung der Gärreste führt durch den höheren Kraftstoffverbrauch zu höheren Treibhausgasemissionen und höherem Primärenergiebedarf als bei Varianten ohne Einarbeitung. Die blauen Balken in den Diagrammen bezeichnen die Emissionen bzw. dem Energiebedarf der durch den Kraftstoffverbrauch bedingt ist. Die gelben Balken bezeichnen die Emissionen bei der Ausbringung von Gärresten. Die braunen Balken spiegeln die Emissionen bei der Kompostierung wider.

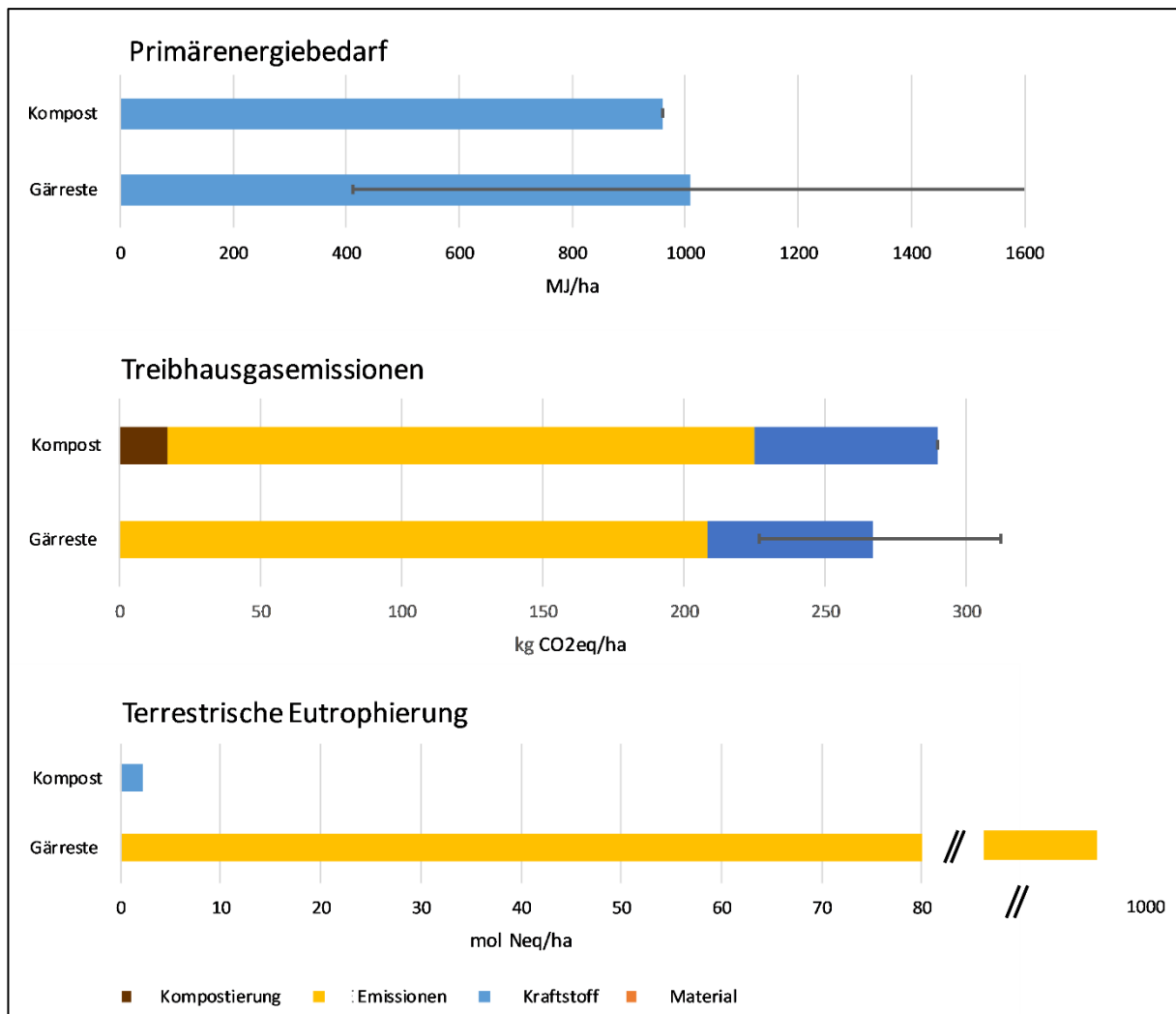


Abbildung 16: Ergebnisse der Ökobilanz einer Düngung von 50 kg N/ha mit Kompost im Vergleich zu einer Düngung mit Gärresten

Der Primärenergiebedarf der Kompostdüngung ist ähnlich hoch wie der der Düngung mit Gärresten. Die blauen Balken in den Diagrammen stammen aus dem Kraftstoffbedarf. Diese sind bei beiden Verfahren ähnlich hoch. Gärreste haben zwar eine größere Transportstrecke (15 km; Kompost wird auf dem Hof erzeugt und wird nur vom Hof zum Feld transportiert), der Kompost wird allerdings nach der Ausbringung mit der Kreiselegge eingearbeitet, im Gegensatz zu den Gärresten, diese werden nicht eingearbeitet. Bei beiden Verfahren wurde die energetische Nutzung nicht in die Ökobilanz mit einberechnet. Falls die bei der Kompostierung bzw. Biogasherstellung freiwerdende Wärmeenergie genutzt wird und dies in die Ökobilanz eingerechnet wird, würde daraus ein negativer Primärenergiebedarf resultieren.

Treibhausgasemissionen, die beim Einsatz von Kompost entstehen sind ähnlich hoch wie die bei der Düngung mit Gärresten. Der braune Balken spiegelt die Emissionen, die während der Kompostierung entstehen wider. Die gelben Balken stammen aus den Lachgasemissionen, die bei der Ausbringung und Zersetzung der Substrate auf dem Feld entstehen. Diese Werte sind mit einer hohen Unsicherheit behaftet und können deutlich von den hier dargestellten Werten abweichen.

Die Terrestrische Eutrophierung ist bei der Kompost-Düngung geringer als bei der Düngung mit Gärresten. Das liegt an den direkten Emissionen bei der Ausbringung von Gärresten. Die

Höhe der direkten Emissionen können aber schwanken. Sind die Gärreste dünnflüssiger, werden sie eingearbeitet und herrschen niedrige Temperaturen, entsteht weniger Ammoniak. Bei der Ausbringung von Kompost wird von reifem Kompost ausgegangen, von welchem keine Ammoniakemissionen zu erwarten sind.

Fazit

In diesem Innovationsbetrieb spielt der Kompost als Hauptumschlagplatz für Nährstoffe und einziges Düngemittel die entscheidende Rolle bei den Nährstoff- und Humusbilanzen des Betriebes.

Die Hoftorbilanzen sind allesamt positiv. Dies liegt daran, dass der Betrieb besonders nährstoffreiche Substrate für die Kompostherstellung zukaft und eine geringere Menge eines etwas weniger nährstoffreichen Kompostes verkauft. Dadurch werden erhebliche Nährstoffmengen von außerhalb in den Betrieb gebracht.

Die Bodenbilanzen für Stickstoff und Phosphor sind ausgeglichen, da die im Erntegut abgefahrenen Nährstoffmengen durch die Kompostdüngung ausreichend kompensiert werden. Für Kalium ergibt sich eine stark positive Bodenbilanz, da der Kompost sehr reich an Kalium ist.

Die Humusbilanz ist stark positiv. Allerdings ist zu beachten, dass die Humusbilanz nur für die annualen Kulturen berechnet wurde. Spargel, Reben, Johannisbeeren und Obstbau wurden nicht berücksichtigt, da keine Parameter vorlagen.

Eigene Kompostherstellung mit Zukaufsubstraten ist eine gute Option, um Nährstoffe innerbetrieblich sinnvoll zu verwerten und weitere Nährstoffe von außerhalb zu importieren. Die Applikation kann zeitlich und örtlich zielgerichtet erfolgen. Der Flächenbedarf ist gering.

Der Primärenergiebedarf und das Treibhauspotential sind bei der Düngung mit Kompost ähnlich dem der Düngung mit Gärresten, im Einzelfall hängt die Bilanz stark von den Transportentfernungen, dem Verfahrenstyp, der Rotteführung sowie der Abwärmenutzung ab.

Die Terrestrische Eutrophierung ist bei der Kompostdüngung deutlich besser als bei der Düngung mit Gärresten, das niedrigere Ammoniakemissionen zu erwarten sind.

3.1.3.6. Betrieb Ruesch - Direktsaat in Roggenmulchmatte

Betriebsportrait für das Jahr 2017

- 55 ha Ackerbau, 0,5 ha Grünland und 8 ha Weinbau
- 0,8 Großvieheinheiten (0,01 GV je Hektar): Mastschweine, Schafe, Ziegen
- Anbau von Getreide (ca. 18,5 ha), Soja (ca. 18 ha), Einlegegurken (ca. 7,5 ha), Erbsen (ca. 5 ha), Klee gras (ca. 3,5 ha), Kartoffeln (ca. 1,5 ha), Streuobst (ca. 1,5 ha) und Topinambur (ca. 0,5 ha)

Wie wird gedüngt?

- Stroh verbleibt auf dem Feld
- Klee gras-Düngung
- 12,5 ha Zwischenfruchtanbau
- Haarmehl-Pellets als organischer Zukaufsdünger

Hof- und Bodenbilanz

Tabelle 14: Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Direktsaat in Roggenmulchmatte“. Die Salden der Hofbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine besserer Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.

Nährstoffbilanz		Nährstoffsaldo (kg/ha/a)					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P	K
Erweiterte Hofbilanz	Mittelwert 2015 – 2016	-12	-28	-40	-12	-12	-33
Erweiterte Bodenbilanz	Mittelwert 2015 – 2016	-23	-28	-41	-23	-12	-34

Tabelle 14 zeigt die Hof- und Bodenbilanz des Innovationsbetriebes als Mittelwert aus den Jahren 2015 und 2016. Die Hofbilanzen und Bodenbilanzen sind sehr ähnlich, da sie sich nur durch eine sehr geringe Grünlandfläche unterscheiden und die Inputs und Outputs des Ackerbodens auch überwiegend die des Hofes sind. Lediglich das Klee gras und der Roggen werden abgefahren und nicht verkauft, landen aber als Dünger wieder auf dem Feld und sind daher bilanztechnisch neutral. Auch der Stall ist durch seine sehr kleine Dimension zu vernachlässigen. Die Bilanzen aller drei bilanzierten Nährstoffe sind negativ. Der Betrieb importiert lediglich Haarmehl-Pellets, exportiert jedoch mit dem Großteil des verkauften Ernteguts eine größere Menge an Nährstoffen. Somit kommt es hier langfristig zu einer Verarmung.

Humusbilanz

Tabelle 15: Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Direktsaat in Roggenmulchmatte“ nach VDLUFA

Humusbilanz nach VDLUFA	Humussaldo (Häq/ha/a)		
	Untere Werte	Mittlere Werte	Obere Werte
2015	52	-57	-165
2016	73	-24	-122
Mittelwert 2015 - 2016	63	-40	-144

Tabelle 15 zeigt die Humusbilanz des Innovationsbetriebes nach VDLUFA. Im Jahr 2016 kam es durch die humuszehrenden Kulturen wie Getreide, Kartoffeln und Gurken zu einem Humusreproduktionsbedarf von -16.834 Häq/a auf mittleren Böden. Die Humusreproduktionsleistung der humusmehrenden Kulturen wie Soja, Erbsen, Klee gras und die Winterzwischenfrüchte betrug 10.053 Häq/a. Aufgrund fehlender Parameter wurden die Dauerkulturen Wein und Kernobst nicht berücksichtigt. Durch die angebauten annuellen Kulturen ergibt sich somit ein Saldo von -6.781 Häq/a, was bezogen auf die Ackerfläche der annuellen Kulturen von 46 ha einen Humusreproduktionsbedarf von -147 Häq/ha/a ergibt. Das auf dem Feld verbleibende Getreidestroh (3.195 Häq/a bzw. 69 Häq/ha/a) und Klee gras (2.464 Häq/a bzw. 53 Häq/ha/a) sorgen mit ihren Humusreproduktionsleistungen dafür, dass die Bilanz am Ende einen etwa ausgeglichenen Saldo von -1.121 Häq/a bzw. -24 Häq/ha/a auf mittleren Böden aufweist. Je nach Zustand der Böden schwankt die Humusbilanz des Betriebes im Mittel der Jahre 2015 und 2016 zwischen 63 und -144 Häq/ha/a und ist damit leicht negativ. Um eine Humuszehrung unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus

sicher zu vermeiden sollte eine positive Humusbilanz auch im mittleren und oberen Wert angestrebt werden.

Fazit

Die innovative Methode „Direktsaat in Roggenmulchmatte“ trägt in diesem Betrieb aufgrund der geringen Dimensionen nur unwesentlich zu den Nährstoff- und Humusbilanzen des Betriebes bei.

Die Hofter- und Bodenbilanzen aller drei bilanzierten Nährstoffe sind auf diesem Betrieb negativ. Grund dafür ist, dass mit dem einzigen Zukaufsdünger Haarmehl nur wenige Nährstoffe importiert werden, jedoch der Großteil des Ernteguts verkauft wird.

Die Humusbilanzen der Ackerflächen sind leicht negativ.

3.1.3.7. Betrieb Wais - Leguminosendichtsatz I

Betriebsportrait für das Jahr 2017

- 22,5 ha Ackerbau und 15 ha Grünland
- 24 Großvieheinheiten (0,65 GV je Hektar): Mutterkühe und Nachzucht, Pferde
- Anbau von Getreide (ca. 10 ha), Kartoffeln (ca. 5 ha), Klee gras (3 ha), Ackerbohnen (ca. 1,5 ha) sowie Feldgemüse (ca. 3 ha)

Wie wird gedüngt?

- Stallmist aus Mutterkuh- und Pferdehaltung
- Zukauf von Horngries und Vinasse als organische Handelsdünger
- Zukauf von Kalimagnesia als mineralischer Handelsdünger
- Düngung eines Teils des Feldgemüses durch Leguminosendichtsatz

Nährstoffflüsse im Jahr 2017

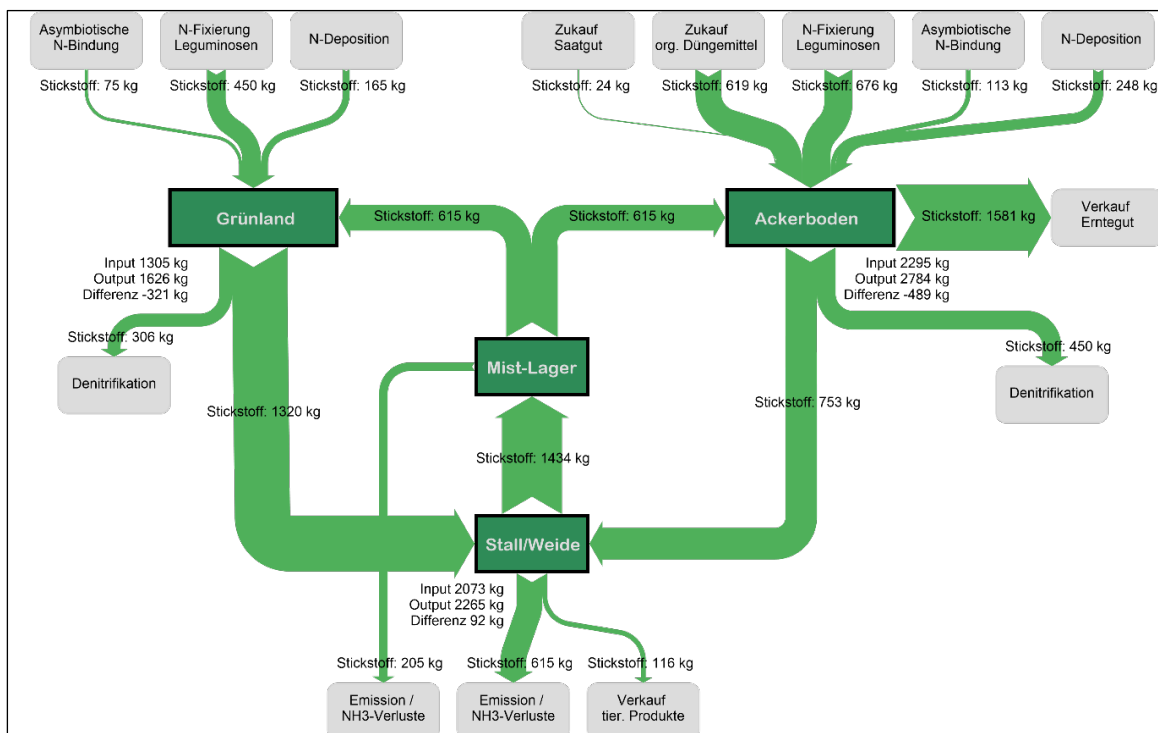


Abbildung 17: Stickstoffflüsse des Innovationsbetriebs „Leguminosendichtsatz I“ im Jahr 2017

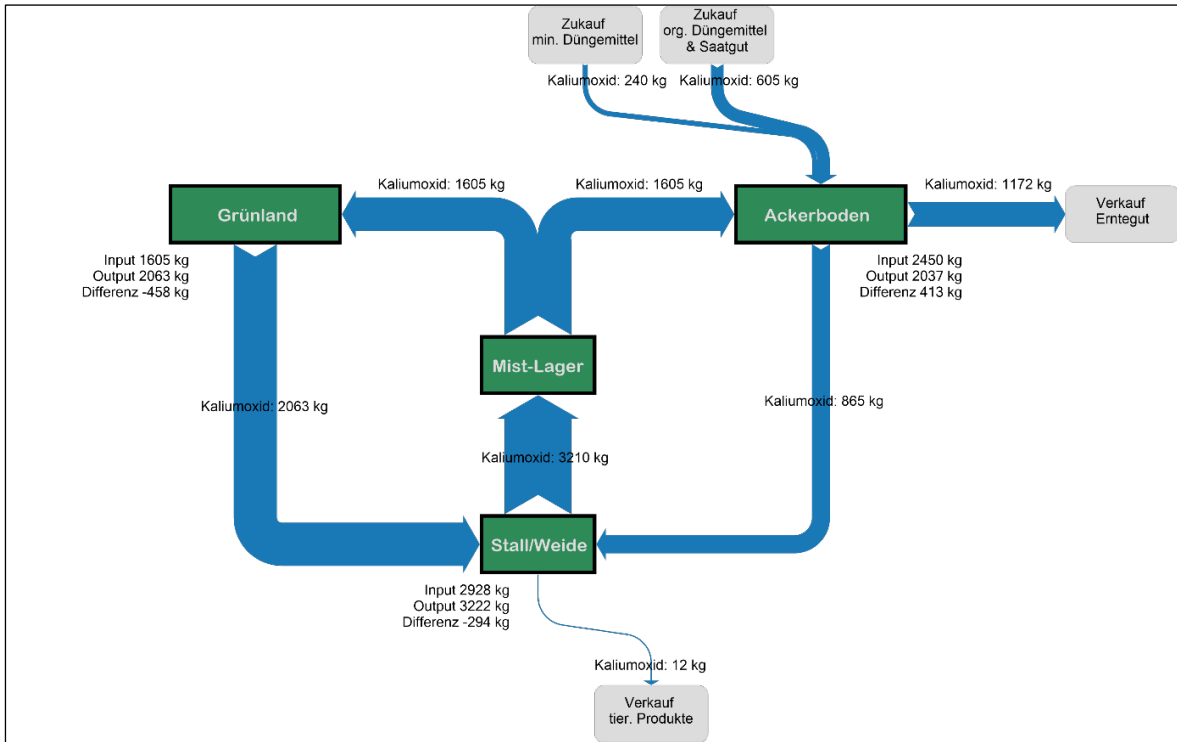


Abbildung 17: Phosphorflüsse des Innovationsbetriebs „Leguminosendichtsaat I“ im Jahr 2017

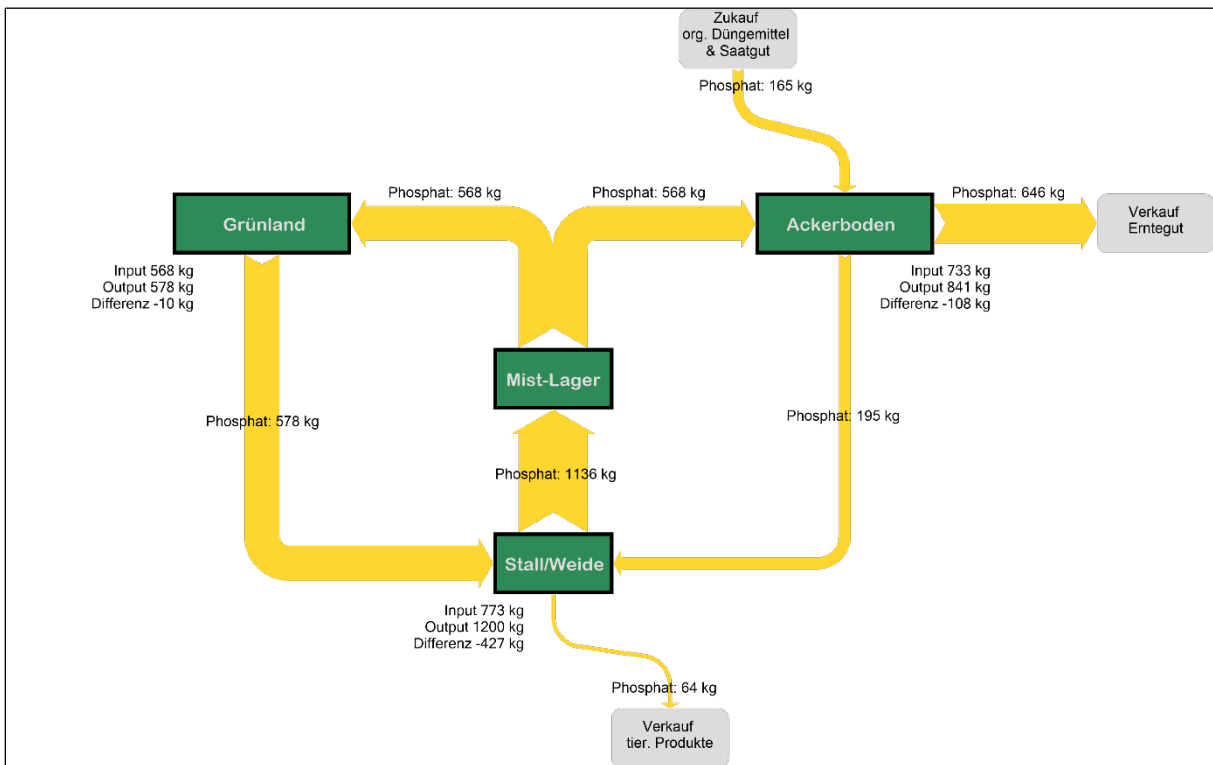


Abbildung 18: Kaliumflüsse des Innovationsbetriebs „Leguminosendichtsaat I“ im Jahr 2017

Abbildung 17, Abbildung 18 und Abbildung 19 zeigen die Nährstoffflüsse des Innovationsbetriebes beispielhaft für das Jahr 2017. Man sieht: Sowohl im Grünland als auch im Ackerbau gibt es rechnerisch ein Stickstoffdefizit. Die Stickstoffbilanzen im Grünland sind jedoch sehr unsicher. Sowohl die Fixierungsleistung der Leguminosen als auch die Stickstoffgehalte im Erntegut schwanken stark. Die Verluste liegen in der Größenordnung der

Denitrifikationsverluste, die ebenfalls sehr unsicher sind. Fachlich besteht hier noch kein Grund zur Sorge. Auch das Bilanzdefizit im Ackerbau liegt noch im Rahmen der Unsicherheit. Bilanzen bis +/- 20 kg N/ha können als annähernd ausgeglichen gelten. Dennoch ist Achtsamkeit geboten: Die hohen Nährstoffexporte aus dem Betrieb werden trotz vielfältiger Düngemittelzufuhr nicht ganz ausgeglichen. Hier sollte der Betriebsleiter einen wachen Blick auf die Ertragsentwicklung haben. Typisch für tierhaltende Ökologische Betriebe ist der auch hier zu sehende Transfer von Nährstoffen aus dem Grünland über den Stall auf den Acker. So wird ein Teil des Bilanzdefizits im Ackerbau ausgeglichen, allerdings zu Lasten des Grünlandes. Die größte Stickstoffquelle des Ackerbodens ist die Stickstofffixierung durch Leguminosen. Der Anbau von 1,5 ha Ackerbohnen trägt dazu aber mit nur etwa 200 kg Stickstoff relativ wenig bei. Mit etwa 500 kg Stickstoff liegt die Fixierungsleistung der 3 ha Klee gras deutlich höher. Eine weitere Nährstoffquelle sind organische Zukaufsdünger wie Horngras, Vinasse und externer Pferdemist, die die Ackerflächen mit etwa 600 kg Stickstoff anreichern.

Hof- und Bodenbilanz

Tabelle 16: Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Leguminosendichtsaa I“. Die Salden der Hof- und Bodenbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine bessere Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.

Nährstoffbilanz		Nährstoffsaldo (kg/ha/a)					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P	K
Erweiterte Hof- und Bodenbilanz	Mittelwert 2015 & 2017	13	-25	-28	13	-11	-23
Erweiterte Bodenbilanz	Mittelwert 2015 & 2017	-28	-16	-20	-28	-7	-17

Tabelle 16 zeigt die Hof- und Bodenbilanz des Innovationsbetriebes als Mittelwert aus den Jahren 2015 und 2017. Die Hof- und Bodenbilanz des Innovationsbetriebes erreicht einen positiven Saldo von 13 kg N/ha. Die Bodenbilanz ist jedoch mit -27 kg N/ha deutlich negativ. Dies liegt daran, dass innerbetriebliche Nährstoffverluste auftreten. In diesem Fall – und das ist typisch – vor allem im Stall und in der Mistlagerung. Für Phosphor und Kalium sind sowohl die Hof- und Bodenbilanzen als auch die Bodenbilanzen deutlich negativ. Der Output durch den Verkauf der Produkte wird kaum durch Inputs in Form von Düngemittelzukauf ausgeglichen. Anders als bei Stickstoff besteht für Phosphor und Kalium keine Möglichkeit, Nährstoffe aus der Luft in den Betrieb zu bringen. Die zugekauften Düngemittel sind im Falle dieses Betriebes vor allem organische Stickstoffdünger mit nur geringen Phosphor- und Kaliumgehalten.

Dass die Bodenbilanz in Bezug auf Phosphor und Kalium etwas besser ausfällt als die Hof- und Bodenbilanz liegt daran, dass über den Stallmist Nährstoffe vom Grünland auf die Ackerflächen übertragen werden. Negative Phosphor- und Kalium-Salden können innerbetrieblich nur durch die Verwitterung des Ausgangsgesteins ausgeglichen werden. Die Freisetzung von pflanzenverfügbaren Nährstoffen aus dem Ausgangsgestein ist allerdings sehr gering und auch nicht dauerhaft möglich. Daher ist zu empfehlen, die Phosphor- und Kalium-Defizite durch das Schließen regionaler Stoffkreisläufe auszugleichen.

Humusbilanz

Tabelle 17: Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Leguminosendichtsaa I“ nach VDLUFA

Humusbilanz nach VDLUFA	Humussaldo (Häq/ha/a)		
	Untere Werte	Mittlere Werte	Obere Werte
2015	90	-52	-194
2017	172	38	-97
Mittelwert 2015 & 2017	131	-7	-145

Tabelle 17 zeigt die Humusbilanz des Innovationsbetriebes nach VDLUFA. Im Jahr 2017 kommt es durch den überwiegenden Anbau stark humuszehrender Kulturen wie Getreide, Kartoffeln und Gemüse zu einem Humusreproduktionsbedarf von -11.554 Häq/a auf mittleren Böden. Dem gegenüber steht eine eher geringe Humusreproduktionsleistung von 2.153 Häq/a durch den Anbau humusmehrender Kulturen in Form von Ackerfutter- und Körnerleguminosen. Durch die angebauten Kulturen ergibt sich somit ein Saldo von -9.401 Häq/a, was bezogen auf die gesamte Ackerfläche von 22,5 ha eine Humuszehrung von -418 Häq/ha/a ergibt. Durch

die Düngung der Ackerflächen mit Pferde- und Rindermist kommt es zu einem erheblichen Eintrag organischer Substanz von 10.248 HÄq/a bzw. 455 HÄq/ha/a. In der gesamten Humusbilanz kommt es letztendlich zu einem Saldo von 38 HÄq/ha/a auf mittleren Böden. Je nach Zustand der Böden schwankt die Humusbilanz des Betriebes im Mittel der Jahre 2015 und 2017 zwischen 131 und -145 HÄq/ha/a. Die Humusbilanz ist dadurch im Mittel leicht negativ. Um eine Humuszehrung unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus sicher zu vermeiden sollte eine positive Humusbilanz auch im mittleren und oberen Wert angestrebt werden.

Ökobilanz

Abbildung 20 zeigt die Ergebnisse der Ökobilanzierung einer Düngung mit 50 kg N durch Leguminosendichtsaat im Vergleich zu einer Düngung mit Hornmehl (Referenzmethode). Dabei wurden unterschiedliche Varianten der Referenzmethode untersucht um die Einflüsse auf die Ökobilanz sichtbar zu machen. Die Ergebnisse der Varianten sind in den Grafiken als schwarze Linien an den Balken von Hornmehl dargestellt.

Die Leguminosendichtsaat besteht aus zwei getrennten Schritten, dem Leguminosenanbau zur Bereitstellung des Saatguts und der Dichtsaat. Beide Arbeitsschritte benötigen mehrere Arbeitsgänge, die einen im Vergleich zur Referenzmethode hohen Kraftstoffverbrauch verursachen. Hornmehl ist als Reststoff aus der Tierhaltung nur mit einer geringen Vorkette belastet. Die blauen Balken in den Diagrammen bezeichnen die Emissionen bzw. den

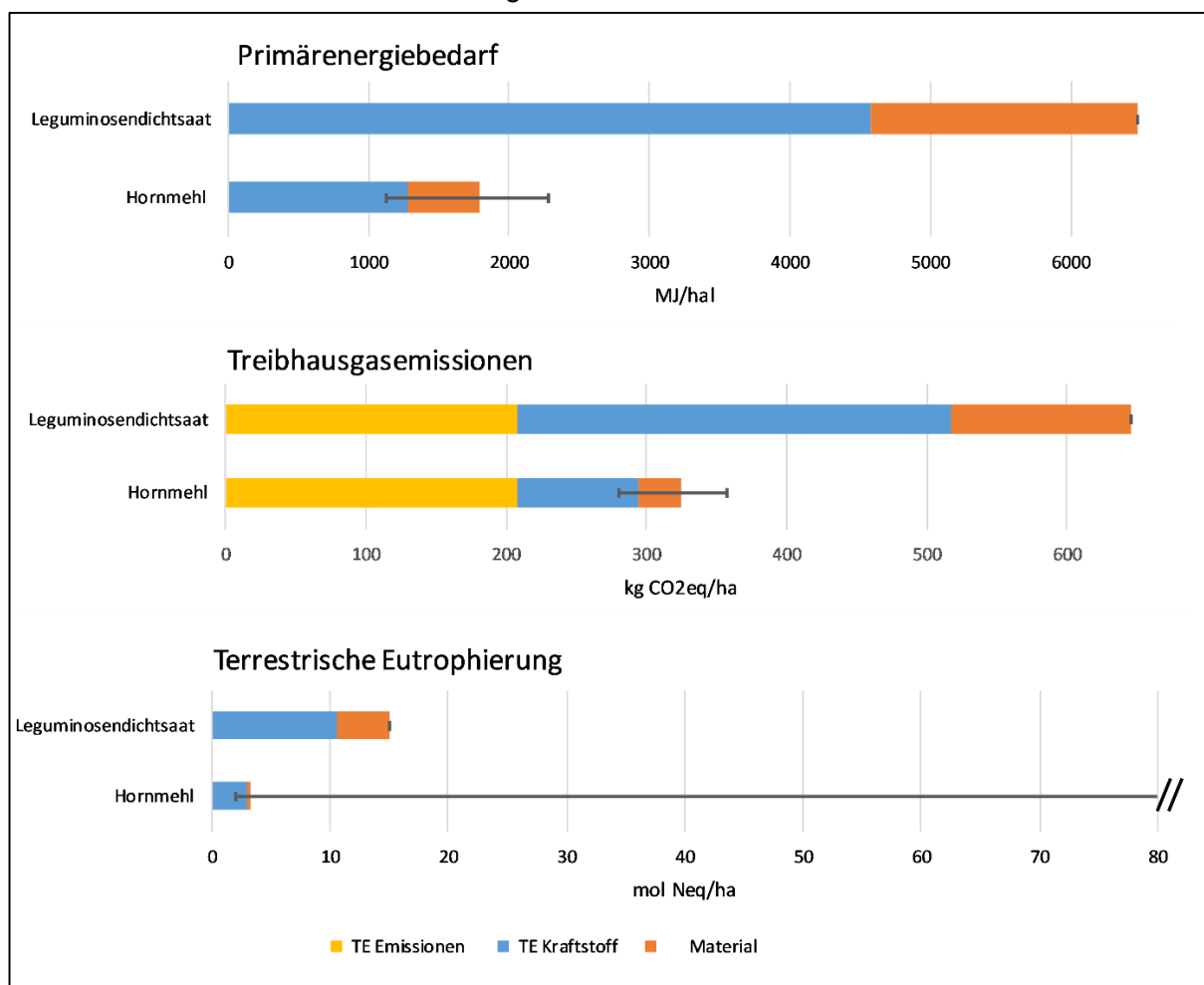


Abbildung 19: Ergebnisse der Ökobilanzierung einer Düngung mit 50 kg N durch Leguminosendichtsaat im Vergleich zu einer Düngung mit Hornmehl

Energiebedarf beim Leguminosenanbau resp. bei der Herstellung des Hornmehls. Die orangen Balken spiegeln die Emissionen bzw. den Energiebedarf durch den Kraftstoffverbrauch. Die gelben Balken bezeichnen die direkten Emissionen aus dem ausgebrachten Hornmehl bzw. den ausgebrachten und eingearbeiteten Ackerbohnen.

Der Primärenergiebedarf der Leguminosendichtsaa ist mit über 6000 MJ/ha deutlich höher als eine Düngung mit Hornmehl. Selbst bei der Annahme eines 30 km Transport des Hornmehls ist der Primärenergiebedarf der Leguminosendichtsaa noch mehr als doppelt so hoch.

Die Leguminosendichtsaa hat durch den erhöhten Kraftstoffverbrauch einen höheren CO₂-Ausstoß. Dieser bedingt ein höheres Treibhauspotential. Zusätzlich sind bei beiden Düngemitteln Lachgasemissionen zu beachten (gelber Balken). Allerdings sind diese Emissionen in beiden Verfahren mit sehr großen Unsicherheiten behaftet.

Die Terrestrische Eutrophierung der Leguminosendichtsaa ist im Vergleich zu einer Düngung mit Hornmehl deutlich höher. In dieser Wirkungskategorie ist das Ergebnis für Leguminosendichtsaa und Hornmehlausbringung nach der Standardmethode ausschließlich durch den Kraftstoffverbrauch und den daraus resultierenden NO_x-Emissionen bedingt. Wird allerdings von maximalen direkten Emissionen bei der Hornmehlausbringung ausgegangen (Ausbringung mit Breitverteiler, keine Einarbeitung der Pellets, warme Witterung) resultieren daraus hohe Ammoniak-Emissionen. In dem Fall ist die terrestrische Eutrophierung durch die Düngung mit Hornmehl deutlich höher als bei einer Düngung mit Leguminosendichtsaa.

Flächenbedarf

Der Flächenbedarf darf bei der Leguminosendichtsaa nicht außer Acht gelassen werden. Vor der Dichtsaa werden die Ackerbohnen zuerst auf einem Feld angebaut, danach erfolgt die eigentliche Dichtsaa auf einem weiteren Feld. Das führt zu einem erhöhten Flächenbedarf und zwar müssen für einen Hektar mit Ackerbohndichtsaa gedüngte Fläche 0,38 ha Ackerbohnen angebaut werden, wenn mit 50 kg N aus Ackerbohndichtsaa je Hektar gedüngt wird.

Fazit

In diesem Innovationsbetrieb hatte der Anbau von Ackerbohnen aufgrund seines geringen Flächenanteils nur einen sehr geringen Einfluss auf die Nährstoff- und Humusbilanzen des Betriebes.

Die Stickstoffbilanz des Betriebes ist auf Hofebene leicht positiv, die Bodenbilanz der Ackerflächen ist jedoch negativ. Dies liegt daran, dass Nährstoffe im Betrieb verloren gehen, insbesondere durch Emissionen aus Stall- und Wirtschaftsdünger. Allerdings unterliegt die Stickstoffbilanz einer hohen Unsicherheit. Stickstoffgehalte im Erntegut, Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger und auch die Fixierungsleistung der Leguminosen können in der Praxis stark schwanken.

Die Phosphor- und Kaliumbilanzen sind deutlich negativ. Der Betrieb exportiert erhebliche Nährstoffmengen mit dem Erntegut, importiert über Düngemittelzukauf aber nur sehr geringe Mengen. Es besteht daher das Risiko, dass es langfristig zu einer Mangelsituation kommt, da die Mineralisierung aus dem Ausgangsgestein die hohen Verluste nicht mehr ausgleichen kann.

Leguminosendichtsaa ist eine Option, verlustarm Leguminosenstickstoff nicht legumen Ackerkulturen zur Verfügung zu stellen. Durch den hohen Flächenbedarf ist die betriebliche

Anbaufläche jedoch in diesem Fall gering, und damit auch der Einfluss auf die gesamtbetrieblichen Nährstoffbilanzen.

Die Ökobilanz der Leguminosendichtsaat fällt gegenüber alternativen organischen Düngern (hier: Hornmehl) negativ aus. Dies liegt daran, dass es sich bei Hornmehl um ein Nebenprodukt der Tierhaltung handelt, dass nicht extra erzeugt, sondern nur aufbereitet werden muss. Es ist allerdings zu bedenken, dass Hornmehl nur in begrenzten Mengen verfügbar ist. Außerdem ist zu bedenken, das Hornmehl ein Nebenprodukt konventioneller und oft industrieller Tierhaltung ist.

3.1.3.8. Betrieb Kränzler - Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment

Betriebsportrait für das Jahr 2017

- 156 ha Ackerbau und 20 ha Grünland
- 38 Großvieheinheiten (0,22 GV je Hektar): Mutterkühe und Nachzucht, Schafe, Legehennen
- Anbau von Getreide (ca. 113 ha), Klee gras (ca. 11,5 ha), Ackerbohnen (ca. 8,5 ha), Zuckerrüben (ca. 2,3 ha) sowie Gemüse (ca. 0,05 ha)

Wie wird gedüngt?

- Kompost aus eigener Herstellung (Rindermist und Grünschnitt wird zugekauft)
- Düngung durch Zwischenfruchtanbau (Gemenge und Untersaaten)

Nährstoffflüsse im Jahr 2017

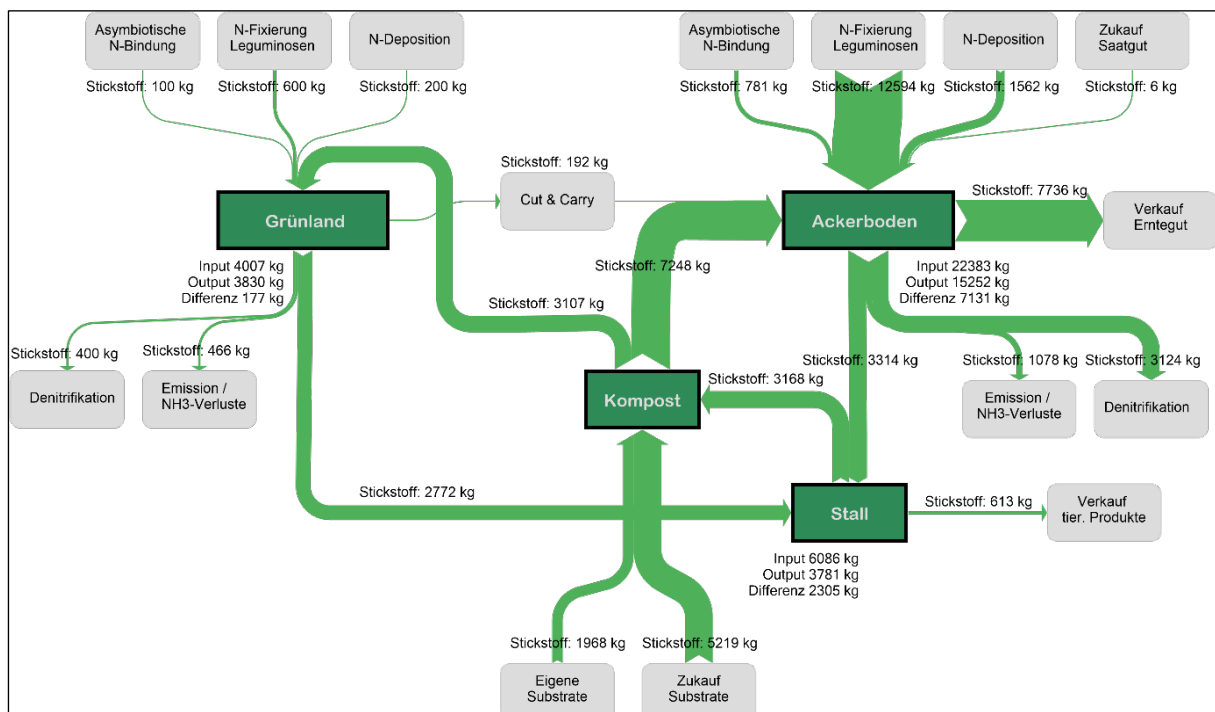


Abbildung 20: Stickstoffflüsse des Innovationsbetriebs „Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment“ im Jahr 2017

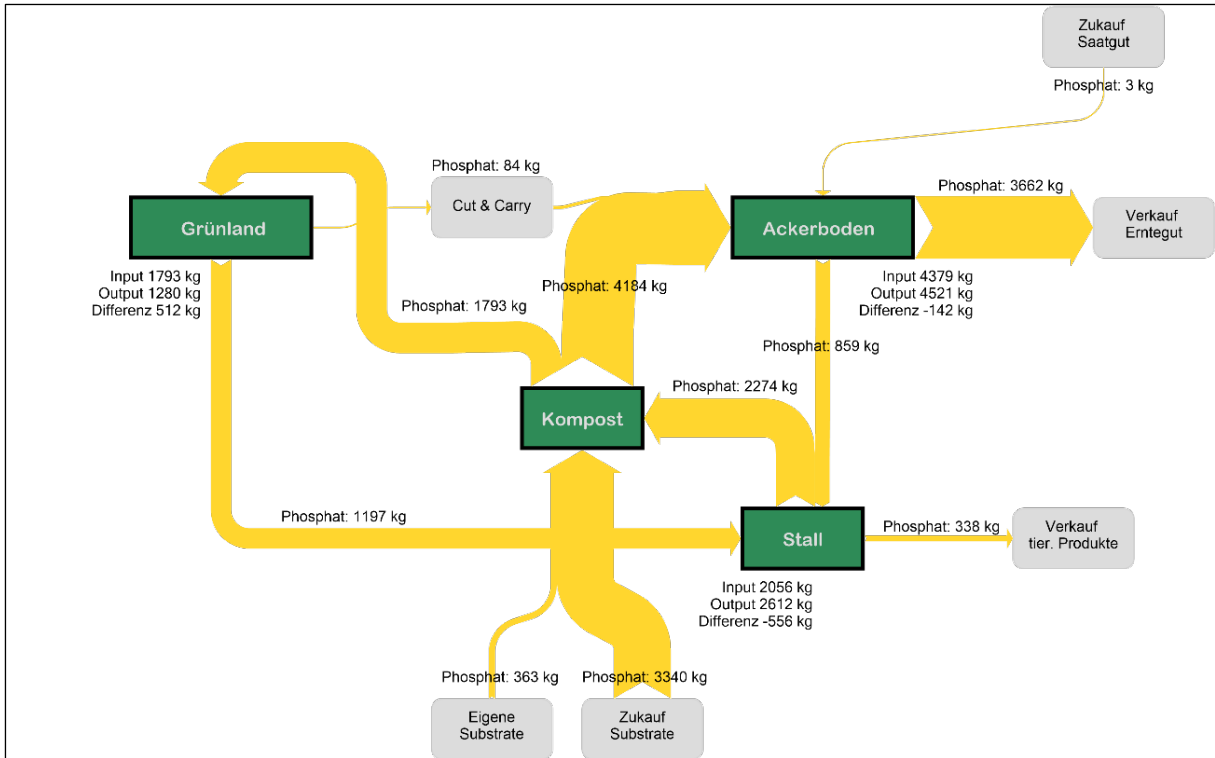


Abbildung 21: Phosphorflüsse des Innovationsbetriebs „Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment“ im Jahr 2017

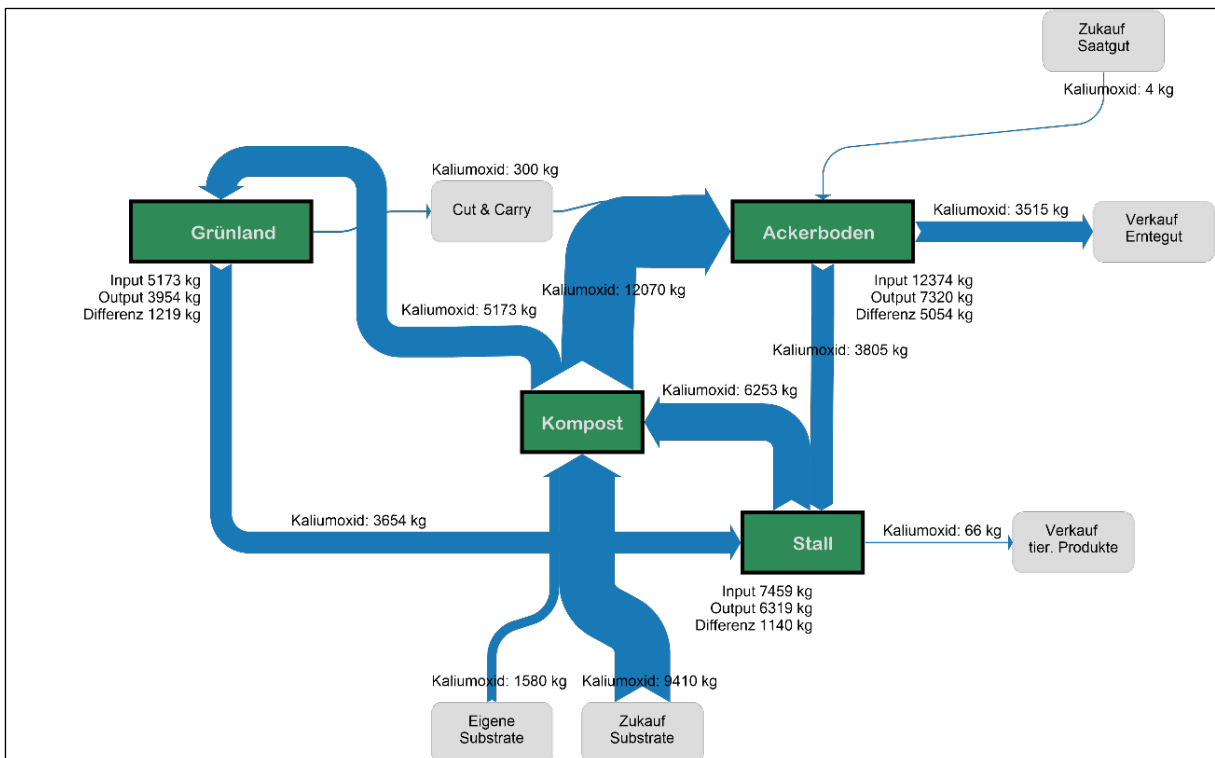


Abbildung 22: Kaliumflüsse des Innovationsbetriebs „Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment“ im Jahr 2017

Abbildung 21, Abbildung 22 und Abbildung 23 zeigen die Nährstoffflüsse des Innovationsbetriebes beispielhaft für das Jahr 2017. Auf dem Grünland wird der Nährstoffentzug des Ernteguts durch die Kompostdüngung in etwa ausgeglichen. Im Stall sollten rechnerisch ausgeglichene Salden entstehen. Die stark positive Stickstoffbilanz im Stall

lässt sich durch eine Unterschätzung von gasförmigen Emissionen und Futtermitteln erklären. Gerade kleine Tierbestände, die wirtschaftlich nicht im Fokus der Betriebsleitung stehen, weisen eher unausgeglichene Bilanzen auf. Das Phosphordefizit und der Kaliumüberschuss sind nicht allzu groß und liegen im Rahmen der Unsicherheit, die durch die Verwendung von Richtwerten bei der Berechnung entstehen. Der Kompost stellt für Phosphor und Kalium den größten Umschlagplatz dar. Zu sehen ist, dass die Substrate, insbesondere der zugekaufte und eigene Rindermist, sehr hohe Phosphor- und Kaliumgehalte haben. Aufgrund von vorgelagerten Stickstoffverlusten im Stall und der Zwischenlagerung enthält der Stallmist nicht allzu große Stickstoffmengen. Der Großteil dieser Nährstoffe wird in Form des fertigen Komposts auf die Ackerflächen ausgebracht. Während die Bodenbilanzen der Ackerflächen für Phosphor und Kalium maßgeblich durch diese Kompostdüngung und die Abfuhr des Ernteguts bestimmt ist, kommt es beim Stickstoff durch die Fixierung der Leguminosen, insbesondere der Zwischenfrüchte, zu einem erheblichen Import. Dem gegenüber stehen geringe Stickstoffverluste. Die Bodenbilanz für Stickstoff ist dadurch stark positiv. Für Phosphor ist sie annähernd ausgeglichen, für Kalium dagegen ebenfalls positiv.

Hoftor- und Bodenbilanz

Tabelle 18: Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment“. Die Salden der Hoftorbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine besserer Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.

Nährstoffbilanz		Nährstoffsaldo (kg/ha/a)					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P	K
Erweiterte Hoftorbilanz	Mittelwert 2015 - 2017	55	-22	-34	55	-10	-28
Erweiterte Bodenbilanz	Mittelwert 2015 - 2017	32	-17	-32	32	-7	-26

Tabelle 18 zeigt die Hoftor- und Bodenbilanz des Innovationsbetriebes als Mittelwert aus den Jahren 2015 bis 2017. Die Hoftorbilanz des Innovationsbetriebes erreicht einen stark positiven Stickstoffsaldo, der maßgeblich durch den enormen Stickstoffinput der Zwischenfrüchte zu erklären ist. Die Bodenbilanz ist ebenfalls positiv, aber nicht ganz so stark. Dies liegt daran, dass innerbetrieblich Stickstoffverluste auftreten. In diesem Fall vor allem im Stall und in der Mistlagerung.

Für Phosphor und Kalium sind sowohl die Hoftorbilanzen als auch die Bodenbilanzen deutlich negativ. Im Jahr 2017 wurde eine verhältnismäßig geringe Fläche an nährstoffreichem Klee gras angebaut (11,5 ha) und dieses komplett innerbetrieblich verwertet. Dadurch war der Nährstoffexport durch den Verkauf des Ernteguts nicht allzu hoch und konnte durch den Zukauf nährstoffreicher Kompostsubstrate, insbesondere Rindermist, ausgeglichen werden. Hingegen wurde in den beiden Vorjahren viel größere Flächen an Klee gras angebaut (36 und 73 ha) und der Großteil der Ernte verkauft. Dadurch kam es im Vergleich zum Jahr 2017 zu deutlich höheren Exporten bei Phosphor und Kalium, die bei ähnlicher Düngemenge zu stark negativen Bilanzsalden führten. Beim Stickstoff wurde dieser Effekt durch die gesteigerte Stickstofffixierung bei gesteigerter Anbaufläche abgefedert. Anders als bei Stickstoff besteht für Phosphor und Kalium keine Möglichkeit, Nährstoffe aus der Luft in den Betrieb zu bringen. Negative Phosphor- und Kalium-Salden können innerbetrieblich nur durch die Verwitterung des Ausgangsgesteins ausgeglichen werden. Die Freisetzung von pflanzenverfügbaren Nährstoffen aus dem Ausgangsgestein ist allerdings sehr gering und auch nicht dauerhaft

möglich. Daher ist zu empfehlen, die Phosphor- und Kalium-Defizite durch das Schließen regionaler Stoffkreisläufe auszugleichen.

Humusbilanz

Tabelle 19: Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment“ nach VDLUFA

Humusbilanz nach VDLUFA	Humussaldo (Häq/ha/a)		
	Untere Werte	Mittlere Werte	Obere Werte
2015	900	827	754
2016	1121	1086	1050
2017	829	735	640
Mittelwert 2015 - 2017	950	882	815

Tabelle 19 zeigt die Humusbilanz des Innovationsbetriebs nach VDLUFA. Im Jahr 2017 kommt es durch den überwiegenden Anbau stark humuszehrender Kulturen wie Getreide, Kartoffeln, Zuckerrüben und Gemüse zu einem erheblichen Humusreproduktionsbedarf von - 48.156 Häq/a auf mittleren Böden. Durch den Anbau humusmehrender Kulturen in Form von Zwischenfrüchten sowie Ackerfutter- und Körnerleguminosen kommt es zu einer Humusreproduktionsleistung von 55.624 Häq/a. Die Bilanzierung der Zwischenfrüchte ist allerdings mit Unsicherheiten verbunden, da die Einordnung der hier angewendeten Kulturen schwierig war. Durch die angebauten Kulturen ergibt sich somit ein Saldo von 7.468 Häq/a, was bezogen auf die gesamte Ackerfläche von 156 ha eine Humuszehrung von 48 Häq/ha/a ergibt. Weitere Humusreproduktionsleistungen entstehen durch auf dem Feld verbleibendes Stroh und Rübenblatt (38.916 Häq/a bzw. 250 Häq/ha/a) und die Düngung der Ackerflächen mit Kompost (68.206 Häq/a bzw. 437 Häq/ha/a). Auch hieraus ergibt sich eine Unsicherheit, da die Humusreproduktionsleistung vom Kompost maßgeblich von dessen Feuchte- und Kohlenstoffgehalt abhängt und hierfür Richtwerte genutzt wurden. In der gesamten Humusbilanz kommt es letztendlich zu einem Saldo von 735 Häq/ha/a auf mittleren Böden. Je nach Zustand der Böden schwankt die Humusbilanz des Betriebes im Mittel der Jahre 2015 und 2017 zwischen 950 und 815 Häq/ha/a. Die Humusbilanz ist dadurch sehr stark positiv. Ein Humusaufbau ist wahrscheinlich. Langfristig sind hohe Nährstoffnachlieferungen aus der organischen Bodensubstanz zu erwarten.

Ökobilanz

Abbildung 24 zeigt die Ergebnisse der Ökobilanzierung des intensiven Zwischenfruchtanbaus im Vergleich zu einer Düngung mit 5 kg P/ha durch Geflügelmist. Neben der Stickstoffdüngung spielt beim intensiven Zwischenfruchtanbau auch die Phosphormobilisierung eine große Rolle. Ob und in welchem Umfang eine nennenswerte Erschließung von Phosphor Reserven durch den Anbau von Zwischenfrüchten möglich ist, ist umstritten. Dennoch wurde hier eine Mobilisierung von 5 kg N angesetzt. Das Verfahren wurde mit der Düngung mit Geflügelmist verglichen, welcher ebenfalls als Phosphor-Lieferant dient. Es wurden verschiedene Varianten der Geflügelmistdüngung berechnet, der Einfluss dieser Varianten auf die Ökobilanz sind in den Graphiken als schwarze Linien auf den Balken der Referenzmethode sichtbar. Die blauen Balken in den Diagrammen bezeichnen die Emissionen bzw. den Energiebedarf beim intensiven Zwischenfruchtanbau resp. bei der Düngung mit Geflügelmist. Die orangen Balken spiegeln die Emissionen bzw. den Energiebedarf durch den Kraftstoffverbrauch wider. Die

gelben Balken bezeichnen die direkten Emissionen, die bei der Einarbeitung der Zwischenfrucht bzw. bei der Ausbringung von Geflügelmist entstehen.

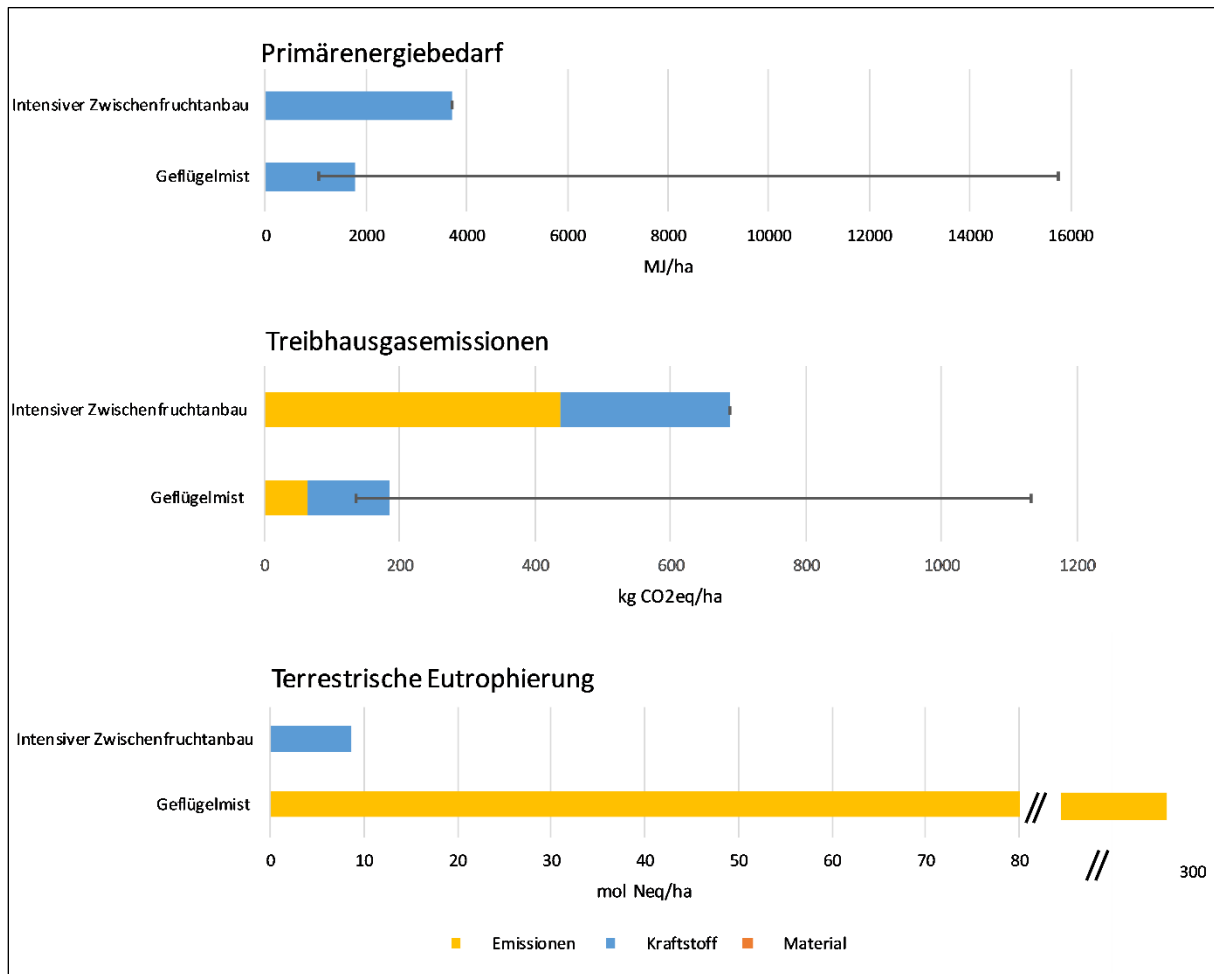


Abbildung 23: Ergebnisse der Ökobilanzierung des intensiven Zwischenfruchtanbaus im Vergleich zu einer Düngung mit 5 kg P/ha durch Geflügelmist

In die Berechnungen des Primärenergiebedarfs fließt nur der Energiebedarf vom Transport des Mists zu Hof und Feld und dessen Ausbringung ein. Der Energiebedarf aus der Geflügelhaltung ist hier nicht mitberücksichtigt, da Geflügelmist lediglich Reststoff der Tierhaltung ist. Der Primärenergiebedarf des intensiven Zwischenfruchtanbaus im Vergleich zu regionalem Geflügelmist höher. Überregional bezogener Geflügelmist ist allerdings deutlich energieaufwendiger als die innovative Maßnahme.

Die Treibhausbilanz des Zwischenfruchtanbaus schneidet im Vergleich zu überregional bezogenem Geflügelmist besser ab. Bei regionalem Mist sind die Treibhausgasemissionen geringer als beim Zwischenfruchtanbau. Das liegt an der Menge der Arbeitsschritte und dem damit verbundenen Kraftstoffverbrauch, die der Zwischenfruchtanbau benötigt. Die direkten Emissionen sind mit hohen Unsicherheiten behaftet, da es mit Faustzahlen und nicht mit tatsächlich gemessenen Werten gerechnet wurde. Die Emissionen können je nach Begebenheiten (Temperatur, Bodenbeschaffenheit, Düngerbeschaffenheit) stark variieren. Auch beim Treibhauseffekt ist zu beachten, dass der Geflügelmist mit einer geringen Vorkette belastet ist, da er ein Reststoff aus der Tierhaltung ist und Treibhausgasemissionen bei der Tierhaltung nicht dem Mist zugeschrieben werden.

Der Zwischenfruchtanbau ist im Vergleich zur Geflügelmistausbringung deutlich vorteilhafter im Hinblick auf die Eutrophierung von Landökosystemen. Zwar hat der Zwischenfruchtanbau durch den höheren Kraftstoffverbrauch auch höhere NO_x-Emissionen, diese werden allerdings durch die hohen Ammoniak-Emissionen bei der Geflügelmistausbringung deutlich übertroffen. Selbst wenn von minimalen Emissionen bei der Geflügelmistausbringung ausgegangen wird (Einarbeitung in einem extra Arbeitsschritt), schneidet der intensive Zwischenfruchtanbau in Hinblick auf die terrestrische Eutrophierung besser ab.

Fazit

In diesem Innovationsbetrieb hatte der intensive Zwischenfruchtanbau aufgrund seines hohen Flächenanteils einen maßgeblichen Einfluss auf die Stickstoff- und die Humusbilanz des Betriebes.

Die Hoftorbilanz des Innovationsbetriebes erreicht einen stark positiven Stickstoffsaldo, der maßgeblich durch den enormen Stickstoffinput der Zwischenfrüchte zu erklären ist. Die Bodenbilanz ist ebenfalls positiv, aber nicht ganz so stark. Dies liegt daran, dass innerbetrieblich Stickstoffverluste auftreten. In diesem Fall vor allem im Stall und in der Mistlagerung.

Für Phosphor und Kalium sind sowohl die Hoftorbilanzen als auch die Bodenbilanzen deutlich negativ. Der Betrieb exportiert erhebliche Nährstoffmengen mit dem Erntegut, die über den Zukauf der Kompostsubstrate nicht ausgeglichen werden können. Es besteht daher das Risiko, dass es langfristig zu einer Mangelsituation kommt, da die Mineralisierung aus dem Ausgangsgestein die hohen Verluste nicht mehr ausgleichen kann.

Intensiver Zwischenfruchtanbau ist eine Option, verlustarm Leguminosenstickstoff nicht legumen Ackerkulturen zur Verfügung zu stellen und die Humusbilanz zu verbessern.

Die Ökobilanz des intensiven Zwischenfruchtanbaus fällt in der Wirkungskategorien Primärenergiebedarf und Treibhauspotential schlechter aus als die des Referenzverfahrens. Das liegt vor allem am höheren Kraftstoffverbrauch beim Zwischenfruchtanbau. Bei dem Referenzverfahren Geflügelmist handelt es sich um ein Nebenprodukt der Tierhaltung, für das keine Erzeugungsaufwendungen, sondern nur Transport- und Ausbringungsaufwendungen anfallen.

Aufgrund der hohen Ammoniak-Emissionen bei der Geflügelmistausbringung fällt in der Wirkungskategorie terrestrische Eutrophierung die Bilanz für den intensiven Zwischenfruchtanbau deutlich besser aus.

3.1.3.9. Betrieb Petrik - Leguminosendichtsaaat II

Betriebsportrait für das Jahr 2017

- 51 ha Ackerbau und 9 ha Grünland
- 18 Großvieheinheiten (0,3 GV je Hektar): Rinder, Ziegen und Legehennen
- Anbau von Getreide (ca. 16 ha), Gemüse (ca. 9 ha), Klee gras (ca. 7,5 ha), Soja (ca. 7 ha), Kartoffeln (ca. 7 ha), Erbsen und Ackerbohnen (ca. 2,5 ha)

Wie wird gedüngt?

- 13 ha Zwischenfruchtanbau
- Kompost aus Stallmist und Gemüseputzabfällen
- Zukauf von mineralischen Handelsdüngern

Hof- und Bodenbilanz

Tabelle 20: Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Leguminosendichtsaa II“. Die Salden der Hofbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine besserer Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.

Nährstoffbilanz		Nährstoffsaldo (kg/ha/a)					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P	K
Erweiterte Hofbilanz	Mittelwert 2015 - 2017	11	-10	-22	11	-4	-18
Erweiterte Bodenbilanz	Mittelwert 2015 - 2017	-11	-13	-24	-11	-6	-20

Tabelle 20 zeigt die Hof- und Bodenbilanz des Innovationsbetriebes als Mittelwert aus den Jahren 2015 bis 2017. Die Hofbilanz für Stickstoff ist leicht positiv, die für Phosphor leicht negativ und die für Kalium negativ. Beim Stickstoff schlägt sich der hohe Import über die Stickstofffixierung der verschiedenen Leguminosen, die überwiegend betriebsintern Verwendung finden, positiv in der Hofbilanz nieder. Bei Phosphor und Kalium kann über mineralische Zukaufsdünger und zugekauftes Futter ein Teil der Exporte im verkauften Erntegut wieder ausgeglichen werden.

Die Bodenbilanzen sind leicht negativ. Dass beim Stickstoff die Bodenbilanz so viel schlechter ausfällt als die Hofbilanz liegt daran, dass innerbetrieblich Verluste auftreten. In diesem Fall insbesondere im Stall und bei der Kompostierung. Dass die Bodenbilanz bei Phosphor und Kalium etwas schlechter als die Hofbilanz ausfällt, liegt an innerbetrieblichen Nährstofftransfers. Einerseits werden zwar Teile des sehr nährstoffreichen Grünlandaufwuchses über den Stall und den Kompost auf den Ackerboden transferiert. Durch die Weidehaltung der Rinder (11 GV/Jahr, 200 Tage) werden jedoch auch viele Nährstoffe aus dem Futter, welches sowohl vom Ackerboden wie auch aus externen Quellen stammt, auf das Grünland zurückgeführt. So kommt es zu betriebsinternen Kreisläufen, die zwar dafür sorgen, dass das Grünland nicht verarmt, jedoch erhebliche Potentiale für Nährstoffverluste mit sich bringen. In diesem Fall wurde nur mit Stickstoffverlusten gerechnet. Damit ist die Bodenbilanz noch einigermaßen ausgeglichen. Die Betriebsleitung sollte jedoch darauf achten, bei der Kompostierung Sickerwasserverluste zu minimieren, um insbesondere die dringend benötigten Nährstoffe Phosphor und Kalium nicht zu verlieren.

Humusbilanz

Tabelle 21: Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Leguminosendichtsaa II“ nach VDLUFA

Humusbilanz nach VDLUFA	Humussaldo (Häq/ha/a)		
	Untere Werte	Mittlere Werte	Obere Werte
2015	-15	-105	-194
2016	64	-35	-135
2017	-21	-131	-241
Mittelwert 2015 - 2017	10	-90	-190

Tabelle 21 zeigt die Humusbilanz des Innovationsbetriebs nach VDLUFA. Im Jahr 2017 kommt es durch den großflächigen Anbau stark humuszehrender Kulturen die Getreide, Kartoffeln und Gemüse zu einem erheblichen Humusreproduktionsbedarf von -20.270 Häq/a auf mittleren Böden. Dem gegenüber steht eine Humusreproduktionsleistung von 8.358 Häq/a etwa aus dem Anbau von Ackerfutter- und Körnerleguminosen sowie Zwischenfrüchten. Durch die angebauten Kulturen ergibt sich somit ein Saldo von -11.912 Häq/a, was bezogen auf die gesamte Ackerfläche von 51 ha einen Humusreproduktionsbedarf von -234 Häq/ha/a ergibt. Die Düngung mit kompostiertem Stallmist führt zu einer Humusreproduktionsleistung von 5.250 Häq/a bzw. 103 Häq/ha/a. In der gesamten Humusbilanz kommt es somit zu einem negativen Saldo von -6.662 Häq/a bzw. -131 Häq/ha/a auf mittleren Böden. Je nach Zustand der Böden schwankt die Humusbilanz des Betriebes im Mittel der Jahre 2015 und 2017 zwischen 10 und -190 Häq/ha/a und ist damit im Mittel negativ. Um eine Humuszehrung unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus sicher zu vermeiden sollte eine positive Humusbilanz auch im mittleren und oberen Wert angestrebt werden.

Fazit

Die Leguminosendichtsaa trägt in diesem Innovationsbetrieb aufgrund des geringen Flächenanteils nur geringfügig zur ausgeglichenen Stickstoff- und Humusbilanz des Betriebes bei.

Die Hoftorbilanz für Stickstoff ist leicht positiv, die für Phosphor und Kalium sind nur leicht negativ. Grund dafür ist, dass Teile des nährstoffreichen Ernteguts innerbetrieblich verwertet werden und zusätzlich Futter und mineralische Düngemittel importiert werden.

Die Bodenbilanzen aller drei Nährstoffe sind leicht negativ. Bei Stickstoff ist die negative Veränderung im Vergleich zur Hoftorbilanz auf Verluste im Stall und der Kompostierung zurückzuführen. Bei Phosphor und Kalium wurden jedoch keine Verluste berechnet.

Die Humusbilanz ist leicht negativ. Um eine Humuszehrung zu vermeiden sollte die Zufuhr organischer Substanz etwas erhöht werden.

3.1.4. Diskussion

3.1.4.1. Methodische Grenzen und Unsicherheiten in den Datengrundlagen

Nährstoffbilanzen

Die Erstellung von Nährstoffbilanzen ist stets mit methodischen Grenzen und Unsicherheiten verbunden, die Auswirkungen auf das Ergebnis haben. Die Bilanzen sind methodisch dadurch begrenzt, dass sie nur eine bestimmte Auswahl an Zu- und Abflüssen berücksichtigen. So wurden in dieser Studie einige Größen wie die Freisetzung von Nährstoffen aus dem Ausgangsgestein, die Mineralisation und Immobilisation von Nährstoffen im Boden, sowie Verluste durch Auswaschung und Erosion nicht in die Berechnung mit aufgenommen, da eine genaue Ermittlung sehr komplex oder aufwendig ist. Auf die Verwendung von Richtwerten wurde verzichtet, da das Ausmaß dieser Größen von vielen Faktoren abhängig ist und noch unzureichend erforscht ist.

Die Datengrundlagen, auf der die Bilanzen beruhen, sind mit hohen Unsicherheiten verbunden. Die Nährstoffbilanzen wurden auf Grundlage von betriebsbezogenen Aufzeichnungen berechnet. Zur Ermittlung der umgeschlagenen Mengen an Erntegütern, Düngemitteln etc. wurden Befragungen der Betriebsleiter durchgeführt sowie Ackerschlagkarteien und Unterlagen der Buchführung ausgewertet. Bei den Angaben der Betriebsleiter handelt es sich oft um Schätzungen, die naturgemäß eine gewisse Unsicherheit mit sich bringen. Die Nährstoffgehalte der umgeschlagenen Mengen wurden überwiegend aus Datenbanken (LFL 2018, LEL 2016, LfULG 2011) herangezogen. Nur in Einzelfällen, wie etwa bei den zugekauften und selbst hergestellten Komposten und organischen Wirtschaftsdüngern, standen Nährstoffgehalte aus Laboranalysen zur Verfügung. Aus der Verwendung der Richtwerte aus Datenbanken ergibt sich eine hohe Unsicherheit, da beispielsweise die Nährstoffgehalte im Erntegut oder in organischen Düngemitteln erheblich schwanken können (LfL 2018). Ein weiteres Unsicherheitspotential ergibt sich aus der Verwendung von Richtwerten für die schwer messbaren Größen wie die von den Leguminosen aus der Luft fixierten Stickstoffmengen sowie diffuse Ein- und Austräge wie die asymbiotische Stickstoff-Bindung, die atmosphärische Stickstoffdeposition sowie gasförmige Stickstoffverluste bei der Lagerung und Ausbringung von organischen Düngemitteln. Somit bilden die Nährstoffbilanzen sicherlich an manchen Stellen nicht exakt die Realität auf den Innovationsbetrieben ab, sondern vielmehr ein mögliches Szenario.

Eine Plausibilitätsprüfung der Nährstoffbilanzen ergab in einigen Fällen Differenzen, die auf diese Unsicherheiten zurückzuführen sind. Dies kann am Beispiel der Orte wie Stall, Kompost, Mist- oder Silage-Speicher verdeutlicht werden. Wird beispielsweise einer dieser Orte innerhalb des Betrachtungszeitraumes mit Nährstoffen befüllt und später wieder komplett geräumt, so hat der Ort praktisch eine ausgeglichene Bilanz. In den Berechnungen ergaben sich jedoch oft positive oder negative Salden. Dies deutet auf eine Unter- oder Überschätzung der Mengenangaben, Nährstoffgehalte oder Verluste hin. In Einzelfällen wurden die Mengen, Nährstoffgehalte oder Verluste auf Grundlage von weiteren Recherchen so angepasst, dass sich ausgeglichene Salden ergaben. Es war jedoch in vielen Fällen nicht möglich, die genaue Ursache für die unausgeglichene Salden zu ermitteln. Außerdem ist für die Ackerböden und das Grünland, deren Bilanzen praktisch nicht ausgeglichen sein müssen, eine derartige Korrektur nicht möglich.

Die Aussagekraft der Nährstoffbilanzen ist weiterhin dadurch begrenzt, dass die Bilanzen immer eine gesamtbetriebliche Betrachtung sind, und etwaige kritische Salden auf Schlagebene nicht erkennbar sind. So sagt beispielsweise eine ausgeglichene oder positive Bodenbilanz zwar aus, dass im Betrachtungszeitraum die allen Ackerflächen abgeführten und

„verlorenen“ Nährstoffe durch die zugeführten und „gewonnenen“ Nährstoffe in Summe ausgeglichen oder überkompensiert wurden. Dennoch kann es in solch einer Situation zu erheblichen Nährstoffdefiziten oder -überschüssen auf einzelnen Schlägen kommen. Darum lohnt sich in jedem Fall eine genauere Betrachtung der Nährstoffbilanzen auf Schlagebene. Ein Nährstoffdefizit auf Schlagebene kann kurz- bis mittelfristig durch eine entsprechende Fruchtfolge oder betriebliche Maßnahmen bedenkenlos kompensiert werden. Langfristig führen negative Bodenbilanzen jedoch zur Verarmung der Böden, weshalb die Betriebsleitung langfristig die Nährstoffzufuhr erhöhen oder den Entzug senken sollte. Eine Überversorgung einzelner Schläge mit Nährstoffen kann kurzfristig und langfristig zu Problemen führen, die im ökologischen und ökonomischen Sinne vermieden werden sollten. Insbesondere hohe Düngemittelüberschüsse auf einzelnen Schlägen können kurzfristig problematische Auswaschungsverluste verursachen. Dies hängt jedoch stark von der Qualität und Applikationstechnik der Düngemittel ab.

Humusbilanzen

Auch die Humusbilanzen sind mit methodischen Grenzen und Unsicherheiten behaftet. In dieser Studie wurde zunächst mit der Humusbilanzierung nach HU-MOD (Brock et al. 2012) begonnen, die speziell für den Ökolandbau entwickelt wurde. Dieses Modell kann zwar nicht die absolute Veränderung der Humusvorräte berechnen, jedoch zumindest die relative Veränderung, d.h. ob die Humusvorräte sich verringert oder vergrößert haben. Da jedoch für einige der in den Projektbetrieben angebauten Kulturen, insbesondere für in den Innovationsbetrieben häufig vorkommende Sonderkulturen und Zwischenfrüchte, keine Parameter vorlagen, wurde letztendlich mit der einfacheren Humusbilanzierung nach VDLUFA (2014) gearbeitet. Die Humusbilanzierung nach VDLUFA (2014) benötigt sehr wenige Daten, kann jedoch nur eine Aussage zum Düngbedarf zum Erhalt der Bodenproduktivität treffen. Dies wird durch die verwendete Einheit verdeutlicht. Sowohl für Maßnahmen, die den Humusgehalt im Boden potentiell verringern (beispielsweise der Anbau humuszehrender Kulturen), als auch solche die ihn potentiell erhöhen (organische Düngung), wird die dimensionslose Einheit Humusäquivalent (Häq) verwendet. Diese entspricht zwar der Einheit kg Humus-C, soll aber verdeutlichen, dass nicht eine Veränderung der Humusmenge gemeint ist, sondern eine gewisse Menge Kohlenstoff, die potentiell den Humusvorrat im Boden verändert. Ein Verhältnis von zugeführter Kohlenstoffmenge zum Aufbau von Humus wird nicht hergestellt. Aus den Ergebnissen dieser einfacheren Methode kann zwar eine Tendenz abgeleitet werden, ob langfristig eine relative Veränderung der Humusvorräte zu erwarten ist, jedoch nur in begrenztem Maße, da die standortspezifischen Parameter und Prozesse, die Einfluss auf die Humusbildung haben, nicht mit einberechnet werden konnten. Es besteht also weiterhin Forschungsbedarf für die Humusbilanzierung im Bereich der Sonderkulturen und Entwicklungsbedarf praxistauglicher genauerer Modelle, um verlässlichere Aussagen zum Veränderung der Humusvorräte treffen zu können.

Wie auch bei den Nährstoffbilanzen handelt es sich auch bei den Humusbilanzen um flächenübergreifende Bilanzierungen. Dadurch kann aus den Bilanzsalden keine Aussage über die Situation auf einzelnen Schlägen abgeleitet werden.

Ökobilanzen

Aufgrund ihrer Komplexität ist eine Ökobilanz mit Unsicherheiten behaftet, die bei der Beurteilung und Interpretation der Ergebnisse zu bedenken sind. Bei der Betrachtung der Umweltauswirkungen eines Produktes über dessen gesamten Lebensweg, werden viele Annahmen getroffen, die von der Realität abweichen können. Diese Abweichungen haben je nach Wirkungskategorie unterschiedliche Auswirkungen auf das Ergebnis.

In der vorliegenden Studie kann unterschieden werden zwischen Unsicherheiten, die durch Annahmen in der Sachbilanzierung entstehen und Unsicherheiten, die durch die Auswahl und Bearbeitung der Daten in der Ökobilanzdatenbank entstehen.

Folgende Annahmen werden in der Sachbilanz getroffen und können zu Unsicherheiten führen:

- Nährstoffkonzentrationen, Dichte und Ausbringungsmenge der Substrate (Klee gras, Silage, Kompost, Rindergülle, Rindermist, Hühnermist, Hornmehl, Gärreste)
- Emissionen bei der Ausbringung, Kompostierung und Tierhaltung
- Kraftstoff- und Materialverbrauch
- Erträge von als Dünger verwendeten Leguminosen

Nährstoffkonzentration, Dichte, Ausbringungsmenge der Substrate: Für die Berechnung der Ausbringungsmenge an Substrat für eine Düngung von 50 kg N/ha bzw. 5 kg P/ha, werden die Nährstoffkonzentrationen der Substrate benötigt. Diese Werte stammen aus verschiedenen Quellen (u.a. Düngeverordnung 2017, Cuhls et al 2015) und können von den tatsächlich vorliegenden Werten abweichen. Weicht z. B. die Stickstoffkonzentration in der Realität von den angenommenen Werten ab, resultiert daraus auch eine veränderte Lachgas- und Ammoniakemission bei der Ausbringung. Ebenso könnten bei einer veränderten N-Konzentration der Substrate die Ausbringungsmenge angepasst werden, dadurch würde sich auch der Treibstoffverbrauch ändern und damit u.a. die Treibhausgasemissionen.

Emissionen bei der Ausbringung, Kompostierung und Tierhaltung: Für die Berechnung der Emissionen bei der Ausbringung der Substrate wurde Faustzahlen und Daten aus der Literatur herangezogen (Flessa 2014). Diese Daten geben nur einen Anhaltwert oder beziehen sich auf eine bestimmte Gegebenheit, die von der Realität abweichen können. Ammoniakemissionen können z.B. höher sein, wenn das Substrat nicht in den Boden eingearbeitet oder breitwürfig ausgebracht wird. Ebenso können Temperatur, Wassergehalt des Bodens, Bodenart, Porengröße und pH-Wert die Emissionen beeinflussen, da sie N-Dynamik im Boden beeinflussen. Bei den Lachgasemissionen wurde für alle Substrate mit einem Wert von 1% des N-Gehaltes gerechnet (IPCC 2006). Die tatsächliche Höhe der N₂O-Emissionen kann stark von dieser Faustzahl abweichen.

Die Emissionen bei der Kompostierung hängen zum einen von der technischen Ausstattung, Rotteführung und der Bauart der Kompostierungsanlage ab (offen oder geschlossen, mit oder ohne Biofilter) und zum anderen von den eingesetzten Materialeigenschaften (v.a. N-Konzentration) und der Reife der Komposte ab. Sind sie noch nicht voll ausgereift, können diese nach der Ausbringung größere Mengen an Ammoniak emittieren. Wird die bei der Kompostierung freiwerdende Wärme zur Energiegewinnung verwendet, wird diese Energie dem Kompost gutgeschrieben und er erhält eine positive Energiebilanz. Weichen die tatsächlichen Zustände von den Annahmen ab, resultieren daraus auch andere Ergebnisse.

Bei den Substraten, die als Nebenprodukte in der Tierhaltung entstehen (Gülle, Mist, Hornmehl), werden nur die Emissionen bei der Ausbringung mit in die Ökobilanz eingerechnet. Die Emissionen die bei der Tierhaltung entstehen werden den Hauptprodukten zugerechnet (z.B. Milch, Fleisch, Eier) und werden in dieser Ökobilanzierung nicht berücksichtigt.

Kraftstoff- und Materialverbrauch: Für die Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs der verschiedenen Verfahren wurden die benötigten Arbeitsgänge und die dabei eingesetzten Maschinen und zurückgelegten Entfernungen festgelegt. Der Kraftstoffverbrauch ist der größte Einflussfaktor am Primärenergiebedarf und an den Treibhausgasemissionen der Verfahren. Weichen tatsächlich zurückgelegte Strecke und eingesetzte Motorleistung von den Annahmen in dieser Studie ab, resultieren daraus auch ein z.T. sehr unterschiedliche Werte von Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen.

Auch beim Materialverbrauch (Silofolie, Siloschutzgitter, Saatgut) kann der tatsächlicher Verbrauch von den hier angenommenen Werten abweichen, wodurch sich die Ergebnisse ändern. (Bei der Silofolie und Schutzgitter sind die Entsorgung nicht mit einberechnet. Diese würde zu einer Verschlechterung der Silage-Ergebnisse in den Wirkungskategorien THG und KEA führen.)

Des Weiteren muss bei der Betrachtung von Ökobilanzergebnissen beachtet werden, dass auch die Daten, die aus der Ökobilanzdatenbank stammen mit Unsicherheiten behaftet sind. Diese sind:

- Datenursprung und Datenqualität: Die in den Datenbanken hinterlegten Datensätze stammen z.T. aus Einzelstudien und beschreiben kein statistisches Mittel aller Produktlinien. So ist z.B. bei den hier eingesetzten Datensätzen für Silofolie oder Hornmehl von Datenunsicherheiten auszugehen.
- Allokationen (wie werden Nebenprodukte bewertet): Werden in einem Produktionsprozess mehrere Produkte erzeugt (z.B. Milch, Fleisch und Mist), dann erfolgt eine anteilige Zuordnung der Aufwendungen auf die Endprodukte durch ein Allokationsverfahren. Hierzu gibt es verschiedene Möglichkeiten, z.B. nach Marktwert der Produkte oder nach physischen Eigenschaften wie dem Nährwert oder dem Energiegehalt. In der vorliegenden Studie wurde ein Systemmodell angewandt, welches Mehrproduktaktivitäten durch Zuteilung, basierend auf einer physikalischen, wirtschaftlichen, Massen- oder anderen Eigenschaft unterteilt. Alle Nebenprodukte, die als verwertbar eingestuft werden, werden abgeschnitten. Für Wirtschaftsdünger und Hornmehl wird die Vorkette (also die Tierhaltung) mit dem Faktor Null alloziert, die Aufwendungen der Tierhaltung gehen in die Ökobilanzdatensätze dieser beiden Produkte also nicht ein.
- Abschneidekriterien: Wertschöpfungsketten sind in Ökobilanzen zwar grundsätzlich „von der Wiege bis zur Bahre“ zu erfassen, allerdings müssen trotzdem Entscheidungen über Abschneidegrenzen getroffen werden. Nicht erfasst wurden in diesem Fall die Herstellungsaufwendungen für die im Prozess verwendeten Maschinen und Geräte sowie für Gebäude.
- Diese Abweichungen sind allerdings für die berechneten innovativen Maßnahmen und für die Referenzmethoden gleich. Daher sind die Ergebnisse dieser Übersichtsökobilanz nicht als Absolutwerte zu verstehen, sondern müssen immer im Vergleich zu der Referenzmethode betrachtet werden.

3.1.4.2. Diskussion der Ergebnisse

Nährstoffbilanzen

Die Analyse der Nährstoffbilanzen ergab, dass viele Betriebe dazu neigen, große Nährstoffmengen in Form von Ackerfutterleguminosen und dem Aufwuchs der Grünlandflächen zu exportieren, ohne den Verlust durch eine hinreichende Rückführung von

zugekauften Wirtschaftsdüngern auszugleichen. Somit kommt es häufig zu negativen Hofter- und Bodenbilanzen. Grund für diese Praxis kann sein, dass die Betriebe aufgrund einer Reduktion der Viehbestände im Stall keine Verwendung mehr für die nährstoffreichen Ackerfutterleguminosen und dem Aufwuchs der Grünlandflächen haben. Dann exportieren sie das Erntegut beispielsweise an viehhaltende Nachbarbetriebe. Hierbei sollte jedoch gewährleistet sein, dass die Betriebe im Gegenzug eine äquivalente Menge an Nährstoffen importieren, z.B. in Form von Mist oder Kompost eines viehhaltenden Nachbarbetriebes. Eine mögliche Alternative zum Export ist die interne Nutzung der Ackerfutterleguminosen in Form von Silage oder der direkten Umverteilung der Nährstoffe über Cut and Carry. Hierbei können die Nährstoffe relativ verlustarm im Pflanzenmaterial gespeichert und zeitlich und örtlich gezielt verteilt werden.

Ein weiterer Aspekt, der bei mehreren Betrieben beobachtet wurde, ist die Tatsache, dass die Hofter- und Bodenbilanzen für Stickstoff trotz hoher Exporte über die nährstoffreichen Erntegüter, insbesondere auch den bereits erwähnten Export von Ackerfutterleguminosen und dem Aufwuchs der Grünlandflächen, einigermaßen ausgeglichen sind. Dies liegt daran, dass in den Innovationsbetrieben meist sehr viel Leguminosen und Zwischenfrüchte mit hohem Leguminosenanteil angebaut werden, die über die Symbiose mit stickstofffixierenden Bakterien Stickstoff aus der Luft fixieren. Dadurch wird die Stickstoffbilanz flächenübergreifend zwar annähernd ausgeglichen. Temporär und auf einzelnen Flächen kann jedoch sehr wohl ein Stickstoffmangel auftreten. Wichtig ist also auch hier eine schlagspezifische Betrachtung der einzelnen Nährstoffe. Auch hier kann die Düngung mit Ackerfutterleguminosen in Form von Silage oder Cut and Carry sinnvoll sein. Während beispielsweise beim Mulchen und Einarbeiten einer Ackerfutterleguminose oder einer Zwischenfrucht die Nährstoffe auf dem Schlag verbleiben, können sie mittels Silage oder Cut and Carry von einem Schlag auf den anderen umverteilt werden.

Im Gegensatz zum Stickstoff können Phosphor und Kalium nicht aus der Luft gewonnen werden. Das Ausmaß der Mobilisierung dieser Nährstoffe aus dem Ausgangsgestein sowie der Mobilisierung aus dem Boden durch Säureaufschluss in der Rhizosphäre der Pflanzen sind wissenschaftlich umstritten und wurde in dieser Nährstoffbilanzierung nicht berücksichtigt. Somit konnte in dieser Bilanzierung ein Ausgleich für die hohen Exporte im Erntegut nur durch hinreichende Importe von mineralischen oder organischen Düngemitteln erfolgen. Häufig waren die Importe jedoch nicht ausreichend, weshalb es bei Phosphor und Kalium meist zu negativen Salden kam. Als sehr geeignete Düngemittel erwiesen sich in diesem Zusammenhang Stallmist und Komposte. Mist und Komposte eignen sich sehr gut, um Stoffkreisläufe regional zu schließen. Komposte können durch eine Kombination an eigenen und zugekauften Substraten auf dem eigenen Betrieb hergestellt oder fertig zugekauft werden. Wo tierische Reststoffe (Mist) nicht vorhanden sind, müssen pflanzliche Kompostsubstrate erschlossen werden. Dies sind insbesondere Bioabfall und Grünschnitt. Die Kompostverfügbarkeit und Kompostqualität ist jedoch in vielen Regionen noch unzureichend. Hier besteht Handlungsbedarf durch die Politik.

Humusbilanzen

Die Mehrzahl der in dieser Studie untersuchten Innovationsbetriebe hatte stark bis sehr stark positive Humusbilanzen. Dies bedeutet, dass die Zufuhr an potentiell humusbildender organischer Substanz größer war als die potentielle Humuszehrung durch die angebauten Kulturen. Da die Bilanzierungsmethode nach VDLUFA (2014) jedoch kein Verhältnis von zugeführter Kohlenstoffmenge zum Aufbau von Humus herstellt, kann nur ausgesagt werden, dass es auf den Innovationsbetrieben mit positiver Humusbilanz sehr wahrscheinlich ist, dass sich die Humusvorräte im Durchschnitt aller Flächen vergrößern. Somit besteht Grund zu der

Annahme, dass die betreffenden Betriebe auf einem guten Weg sind, ihre Bodenfruchtbarkeit zu erhalten oder zu verbessern.

Einige wenige Betriebe weisen jedoch auch negative Humusbilanzen aus. Diese Betriebe zeichnen sich allesamt durch einen intensiven Anbau stark humuszehrender Kulturen wie Kartoffeln und Gemüse aus, die einen sehr hohen Humusreproduktionsbedarf verursachen. Diese starke Humuszehrung wird auf den betreffenden Betrieben nur unzureichend durch die Zufuhr organischer Düngemittel ausgeglichen. Auch werden auf den Betrieben kaum Nebenprodukte wie Stroh und Zwischenfrüchte, die eine Humusreproduktionsleistung bewirken könnten, in die Böden eingearbeitet. Somit ist es sehr wahrscheinlich, dass die Betriebe langfristig zumindest keine Vergrößerung der Humusvorräte erzielen und damit die Bodenfruchtbarkeit nicht verbessert wird.

Ökobilanzen

Wichtigster Einflussfaktor auf die **Energiebilanzen** der innovativen Maßnahmen und der Referenzmethoden ist der Kraftstoffverbrauch. Dieser ist wiederum stark beeinflusst von den Transportstrecken und der eingesetzten Motorleistung. Transportstrecken spielen vor allem bei den Referenzmethoden eine Rolle, da die eingesetzten Substrate nicht auf den Betrieben anfallen, sondern dorthin transportiert werden müssen. Für die innovativen Maßnahmen wird kein Transport von außerhalb des Betriebes angesetzt (außer für externen Kompost). Durch kürzere Transportstrecken lässt sich der Primärenergiebedarf der Verfahren verringern. Die innovativen Verfahren sind daher vor allem dann ökologisch vorteilhaft, wenn die als Referenzverfahren angesetzten Dünger nicht in räumlicher Nähe verfügbar sind.

Bei den innovativen Maßnahmen hat vor allem die eingesetzte Motorleistung Einfluss auf den Primärenergiebedarf. Wird diese optimal gewählt, lässt sich der Kraftstoffverbrauch und damit der Primärenergiebedarf senken. Da in den Betrieben nicht für jeden Einsatz die im Hinblick auf den Kraftstoffverbrauch optimale Zugmaschine vorhanden ist, können diese auch nicht beliebig gewählt werden. Es muss auf die vorhandenen Maschinen zurückgegriffen werden. Dies gilt jedoch für die Innovationen sowie für die Referenzverfahren gleichermaßen.

In die **Treibhausgasbilanzen** fließen Kraftstoff- und Materialverbrauch sowie Emissionen bei der Kompostierung und bei der Ausbringung der Substrate ein. Emissionen die bei der Tierhaltung entstehen werden den Hauptprodukten zugeschrieben. Dadurch sind die Referenzsubstrate Gülle und Mist ohne Vorkette. Bei Hornmehl und Kompost werden nur die Emissionen, die durch Verarbeitung und Vertrieb entstehen angesetzt. Die Emissionen, die bei der Herstellung der Substrate für die Kompostierung (z.B. Gemüseabfälle) werden ebenfalls nicht zu den Komposten alloziert. Bei der Höhe der angesetzten Lachgasemissionen bei der Ausbringung der Substrate handelt es sich um eine Faustzahl (IPCC 2006). Da bis auf das Verfahren „Intensiver Zwischenfruchtanbau“ einheitlich mit einem Düngeäquivalent von 50 kg gerechnet wurde, besteht in Bezug auf Lachgasemissionen nach diesem Verfahren kein Unterschied zwischen den Innovationen und den jeweiligen Referenzverfahren. Allerdings können die Emissionen in der Praxis sehr stark schwanken.

Die **terrestrische Eutrophierung** von Landökosystemen wird verursacht durch Nährstoffeinträge, insbesondere Stickstoffverbindungen, in die Luft. Die Nährstoffeinträge stammen in der vorliegenden Studie vor allem aus dem Kraftstoffverbrauch und den Emissionen bei der Ausbringung der Substrate. Vor allem letztere haben einen großen Einfluss und spielen bei den meisten Referenzmethoden eine große Rolle. Bei den Referenzsubstraten handelt es sich um Nebenprodukte der Tierhaltung mit hohem Ammonium-N-Anteil (außer Hornmehl). Diese N-Quelle ist zwar kurzfristig verfügbar, bedingt aber auch hohe Emissionen und dadurch eine große terrestrische Eutrophierung. Alle innovativen Maßnahmen rufen im

Vergleich zum jeweiligen Referenzverfahren eine geringere terrestrische Eutrophierung hervor.

Fazit

Auf den vieharm oder viehlos wirtschaftenden Innovationsbetrieben hatten die innovativen Methoden aufgrund ihres meist geringen Umfangs oft nur geringen Einfluss auf die Nährstoff- und Humusbilanzen. Es konnten jedoch einige wiederkehrende Muster bei den Nährstoffflüssen der Betriebe festgestellt werden, die großen Einfluss auf die Nährstoff- und Humusbilanzen haben. Dazu gehört, dass die Mehrzahl der Betriebe dazu neigt, große Mengen an Nährstoffen durch den Export von Grünlandaufwuchs und Ackerfutterleguminosen zu verlieren. Aufgrund von hohen Stickstoffeinträge durch die Leguminosen sind die Stickstoffbilanzen trotzdem meist positiv oder zumindest ausgeglichen. Problematisch wird der Export der nährstoffreichen Erntegüter jedoch für Phosphor und Kalium. Hier sind die Bilanzen bei den meisten Betrieben leicht bis stark negativ, da der Export nur unzureichend durch importierte Düngemittel kompensiert wird. Um langfristig Mangelsituationen vorzubeugen, wird eine gesteigerte innerbetriebliche Nutzung der Ackerfutterleguminosen, beispielsweise in Form von Silage oder Cut and Carry, empfohlen. Dadurch gehen die darin enthaltenen Nährstoffe dem Betrieb nicht verloren. Gleichzeitig besteht die Möglichkeit einer innerbetrieblichen Umverteilung von Nährstoffen, um kritische Nährstoffbilanzen auf Schlagebene zu vermeiden. Der Import von Phosphor und Kalium in relevantem Umfang konnte in dieser Studie nur über den Import von Kompost, Kompostsubstraten und Mist geleistet werden. Es wird daher empfohlen, dass sich vieharm oder viehlos wirtschaftende Betriebe durch Schließung regionaler Stoffkreisläufe ausreichend mit Nährstoffimporten versorgen. Außerdem wird die Politik aufgefordert, Maßnahmen zur Steigerung der Verfügbarkeit und Qualität von Komposten zu ergreifen. Zusätzlich sollte verstärkt in Erwägung gezogen werden, weitere Nährstoffquellen für den Ökolandbau zu erschließen. Hier ist insbesondere an Produkte aus Klärschlamm zu denken. Auch hier ist die Politik gefordert.

Für die Bewertung der Ökobilanzen, vor allem in den Wirkungskategorien Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen ist der Kraftstoffverbrauch ausschlaggebend. Dieser ist abhängig von den Transportstrecken, Arbeitsaufwand und Motorenleistung. Da die innovativen Maßnahmen oft auch einen hohen Arbeitsaufwand mit sich bringen, haben diese meist auch einen höheren Kraftstoffbedarf. Die Referenzsubstrate sind dagegen „Abfall“-Produkte ohne Vorkette und daher mit geringen Energieaufwendungen belastet. Die relativen Nachteile der Innovationen gegenüber den Referenzdüngern Mist, Gülle und Hornmehl sinken jedoch, wenn die Dünger tierischen Ursprungs nicht in räumlicher Nähe verfügbar sind. Denn bei den Referenzsubstraten ist die Transportstrecke ausschlaggebend. Werden die Substrate über größere Strecken transportiert schneiden die innovativen Maßnahmen in der Bilanzierung besser ab als die Referenzszenarien. Durch den Einsatz optimaler Motorenleistung kann der Kraftstoffverbrauch der innovativen Maßnahmen verringert und damit die Ökobilanz verbessert werden. Bei der terrestrischen Eutrophierung schneiden die innovativen Maßnahmen deutlich besser ab als die Referenzverfahren. Die Höhe der Ammoniak-Emissionen ist in dieser Wirkungskategorie ausschlaggebend, diese sind abhängig von der Ammonium-N-Konzentration der Substrate.

3.2. Ergebnisse Zentrum Ökologischer Landbau, Universität Hohenheim, Stuttgart

M. Sc. Sabrina Francksen und Dr. Barbara Engler

3.2.1. Einleitung

Um die Nachhaltigkeit der Innovationen auf den Betrieben sicher zu stellen ist es notwendig eine ökonomische Bewertung dieser Produktionsverfahren durchzuführen. In einem ersten Teil wird gezielt der Frage nachgegangen in wie weit die Innovationen im Vergleich zu bereits etablierten, alternativen Produktionsverfahren einen positiven Beitrag zum Betriebsergebnis leisten. In einem zweiten Teil wird eine Studie durchgeführt, welche die ökonomische Rentabilität der innovativen Maßnahmen „Kleeagrastransfer“ und „Einsatz von Kompost“ noch detaillierter untersucht. Diese Aufgabenteile wurden von der Universität Hohenheim durchgeführt.

3.2.2. Material und Methoden

3.2.2.1. Datenerhebung und Datenverfügbarkeit

Mit einem persönlichen, telefonischen oder per E-Mail geführten Leitfadeninterview wurden die relevanten Betriebsdaten auf den neun Untersuchungsbetrieben erhoben (Anhang 1). Dabei lag der Schwerpunkt der Befragung auf der durchgeführten Innovation zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit. Weitere Produktionsverfahren, die ebenfalls auf den Betrieben durchgeführt werden, aber in keinem Zusammenhang mit der Innovation stehen, wurden zwar erhoben um ein Gesamtbild des Betriebs zu erhalten, in der weiteren ökonomischen Analyse jedoch nicht betrachtet.

Für jeden Betrieb wurde die durchgeführte Innovation zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit identifiziert und beschrieben. Bei den meisten Betrieben handelte es sich um eine Innovation, manche Betriebe führen auch zwei oder mehrere Innovationen durch. Bei der Datenerhebung war von besonderem Interesse, wie sich die variablen Kosten zusammensetzen, wie hoch der Arbeitszeitbedarf ist, welcher Erlös erzielt wird und ob zur Durchführung der Innovation Investitionen notwendig sind.

Die Nährstoffsalden der wichtigsten Nährstoffe Stickstoff (N), Phosphat (P_2O_5) und Kalium (K_2O) der jeweiligen Innovation gehen in Form des Ersatzwertes als Leistung in die Berechnung mit ein. Hierbei wurde also der ökonomische Wert der Nährstoffe in die Bewertung mit einbezogen. Waren Analysen vorhanden, werden diese Werte für die Höhe der Nährstoffsalden genutzt (z.B. Kompostanalyse Leibing, BGK 2017). Für den größten Teil der Verfahren sind die Nährstoffsalden nicht bekannt. Hier wird auf die Zusammenstellung der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU) zurückgegriffen (Bonney und Müller-Lindenlauf, 2018), die ihrerseits bereits eine Befragung auf den Untersuchungsbetrieben durchgeführt und fehlende Daten durch Standarddaten der Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV, 2017) und der LEL Schwäbisch Gmünd ergänzt hat (LEL Schwäbisch Gmünd 2018). Die Humusersatzwerte basieren auf Daten des Verbands Deutscher Landwirtschafts- und Forschungsanstalten (VDLUFA 2014). Um die berechneten Humus- und Nährstoffsalden monetär berücksichtigen zu können, werden Reinnährstoffkosten für N, P und K nach Lfl Bayern (2018) und die Kosten für Humus-C nach BGK (2013) genutzt. Die Reinnährstoffkosten werden vom Lfl Bayern nach aktuellen Handelspreisen für organische Düngemittel gewogen nach Einsatzhäufigkeit berechnet und waren 2018 wie folgt: 5,08 €/kg N, 1,22 €/kg P_2O_5 und 1,45 €/kg K_2O . Der Wert des

humusreproduktionswirksamen Kohlenstoffs (Humus-C) wird vom BGK in Abhängigkeit vom Marktpreis von Stroh (BGK, 2015) berechnet. Für die Berechnung des Humus-C im ökologischen Landbau wurde ein Preis von 130 €/t Stroh berücksichtigt (KTBL,2019). Für Strohpreise in dieser Höhe wird vom BGK nicht direkt ein entsprechender Humusersatzwert ausgewiesen. Eine Extrapolation der Werte ist jedoch möglich und ergibt einen Humusersatzwert von 0,67 €/ kg Humus-C.

Auch bei Betrieben mit guter Datenverfügbarkeit können die innovativen Verfahren aufgrund ihrer Komplexität nicht im Detail beschrieben werden. Für die landwirtschaftliche Betriebsführung ist z.B. eine detaillierte Dokumentation der benötigten Arbeitsstunden, Betriebsmittel oder Aufschlüsselung der Zinskosten nicht immer zweckmäßig. Um die Rentabilität einzelner Innovationen und deren Komponenten untersuchen zu können, ist eine möglichst genaue Aufteilung der Kostenkomponenten jedoch zielführend. Für diese Aufteilung werden die aufgenommenen betriebspezifischen Daten in das Online-Programm „Leistung-Kostenrechner“ des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) eingespeist, das kostenlos zu Planungszwecken zu Verfügung steht und im folgenden Abschnitt näher erläutert wird. Somit stammt ein großer Teil der Kosten und Leistungen aus den in dieser Webanwendung hinterlegten Angaben (KTBL 2019).

Für weitere Daten bezüglich Nährstoff- und Ökobilanzen sei auf die zugehörigen Datensätze und Berichte der Projektpartner verwiesen (Bonney und Müller-Lindenlauf, 2018).

3.2.2.2. Leistungs- und Kostenrechnung

Die für diese Analyse angewandte Leistungs- und Kostenrechnung ist eine Teilkostenrechnung. Es gehen somit nur Leistungen und Kosten in die Berechnungen mit ein, die der innovativen Maßnahme oder deren Alternative direkt zugeordnet werden können. Die Rentabilität kann durch den Deckungsbeitrag (DB) oder durch die direkt- und arbeits erledigungsfreie Leistung (DAL) ausgedrückt werden. Gemäß der Definition des Deckungsbeitrags, bei dem nur variable Kosten vom Erlös abgezogen werden, werden die Arbeitsstunden vom festangestellten Personal auf dem Betrieb nicht berücksichtigt. Die Lohnkosten für festangestellte Mitarbeiter, sowie die Arbeitsstunden des Betriebsleiters/der Betriebsleiterin sind fixe Kosten und werden nicht in den Deckungsbeitrag einberechnet. Die Summe aus fixen Lohnkosten und fixen Maschinenkosten ergeben die Arbeits- und Erledigungskosten. Werden diese vom Deckungsbeitrag abgezogen, ergibt dies die direkt- und arbeits erledigungskostenfreie Leistung.

Die Betrachtung des DB hat den Vorteil, dass die fixen Maschinenkosten nicht berücksichtigt werden. Die Maschinen sind in den meisten Fällen bereits auf den hier analysierten Betrieben vorhanden und für eine Bewertung der innovativen Maßnahme nicht relevant. Die Betrachtung des DAL hat den Vorteil, dass die Arbeitszeit des Betriebsleiters in Form eines Lohnkostenansatzes (20 €/h) berücksichtigt wird. Der durch die Innovation anfallende Arbeitsaufwand ist für eine Bewertung sehr wohl relevant. Im Vergleich werden folglich beide Kenngrößen – DB und DAL - betrachtet.

Produktionsverfahren (Innovation sowie Alternative), die kein marktfähiges Gut erzeugen, haben naturgemäß einen negativen DB und DAL. Dies gilt z.B. für den Anbau von Zwischenfrüchten. Unterscheiden sich Innovation und Alternative ausschließlich in der Vorbereitung des Bodens bis zur Aussaat des marktfähigen Gutes, werden der DB und die DAL des Zwischenprodukts zum Vergleich herangezogen.

In der Webanwendung Leistung-Kostenrechner des KTBL (2019) werden die jeweiligen Produktionsverfahren ausgewählt, angepasst und als Exceldatei heruntergeladen. Stehen die innovativen Verfahren nicht zur Auswahl, wird dasjenige Verfahren ausgewählt, das der Innovation am ähnlichsten ist. Die ausgegebene Exceldatei wird anschließend mit den vom Betriebsleiter verfügbaren Daten erneut angepasst. Dabei werden, wenn möglich, die voreingestellten Erträge, Saatgutkosten und Verkaufspreise sowie Arbeitsvorgänge mit den Angaben des Landwirts ersetzt. Die Summe der Leistungen, sowohl der Innovation als auch der gewählten Alternative, setzen sich, soweit vorhanden, aus dem Verkaufserlös des marktfähigen Produkts und den berechneten Ersatzwerten für die Düngerleistung zusammen. Als Direktkosten sind die direkt verbrauchten materiellen Aufwendungen zu verstehen (z.B. Saatgut). Zu den variablen Kosten werden die variablen Lohn- und Maschinenkosten, zuzüglich Zinsansatz für gebundenes Kapital gezählt. Um die innovative Maßnahme vergleichen zu können wird jedem Verfahren eine Alternative zugeordnet. Bei den Alternativen handelt es sich um bereits etablierte Produktionsverfahren im viehlosen/viehharmen Landbau. Bei der Identifikation der Alternativen wird der Frage nachgegangen: welches Anbausystem würde der Landwirt nutzen, wenn die von ihm durchgeführte Innovation nicht (mehr) zur Verfügung stünde? Dabei ist hier sowohl die Einschätzung der Landwirte relevant, als auch der am Projekt beteiligten Wissenschaftler und Berater. Aus den möglichen Alternativen wird die wahrscheinlichste ausgewählt. Die Förderung der Bodenfruchtbarkeit und eine damit einhergehende Ertragssteigerung ist nur langfristig messbar und kann daher in die Bewertungen nicht mit eingehen. Zur Verbesserung der Aussagekraft der berechneten ökonomischen Auswirkungen der Innovationen wird diese jeweils um nicht monetär bewertbare Aspekte ergänzt. Für jede Innovation wird die Übertragbarkeit auf andere Betriebe diskutiert.

3.2.2.3. Lineare Programmierung

Neben einer detaillierten Beschreibung der Arbeitsschritte und der ökonomischen Bewertung der Maßnahme wird durch die Anwendung einer Linearen Programmierung das Zusammenwirken mit anderen Produktionsverfahren des jeweiligen Betriebs untersucht. Der Vergleich der Leistungs- und Kostenrechnungen von Produktionsverfahren gibt erste Informationen über die wirtschaftliche Vorzüglichkeit. Durch die Lineare Programmierung werden die innovativen Maßnahmen in den bestehenden Betrieb und dessen Produktionsprogramm eingebettet. Die Gesamtbetrachtung der innovativen Maßnahmen und weiterer relevanter Produktionsverfahren ist von entscheidender Bedeutung für den wirtschaftlichen Erfolg des landwirtschaftlichen Betriebs. Wie jedes Produktionsverfahren verbraucht auch die innovative Maßnahme Kapazitäten (z.B. die verfügbare Arbeitskapazität) und nutzt Ressourcen (z.B. Nährstoffe), die die Realisierung und Ausdehnung aller Produktionsverfahren begrenzen. Vor allem die Auswirkungen der Innovation auf Nährstoff- und Humussalden sind im Rahmen einer nachhaltigen Bewirtschaftung von Relevanz. Dem landwirtschaftlichen Betrieb wird wie, jedem Unternehmen, das Ziel der Gewinnmaximierung unterstellt.

Mathematisch betrachtet handelt es sich bei der Linearen Programmierung um die Optimierung einer gewählten Zielfunktion, die durch Nebenbedingungen begrenzt ist. Bei Planung eines landwirtschaftlichen Betriebs kann die Zusammenstellung der Produktionsverfahren (z.B. die Festlegung der Anbau- und Düngeverfahren) unter Einhaltung von betriebsspezifischen Grenzen und Kapazitäten (z.B. verfügbare Ackerfläche, Humus- und Nährstoffbilanzen) auf ein bestimmtes Ziel (z.B. Gesamtdeckungsbeitrag) maximiert werden. Um das optimale Produktionsprogramm mittels Linearer Programmierung bei maximalem Gesamtdeckungsbeitrag zu berechnen, wird auf das Tabellenkalkulationsprogramm Excel

zurückgegriffen. Hier können in ein Tableau alle zur Auswahl stehenden Anbau- und Düngeverfahren mit dem entsprechenden Deckungsbeitrag sowie die relevanten Begrenzungen mit der entsprechenden Höhe eingetragen werden. Die Produktionsverfahren und die Begrenzungen werden verknüpft, indem der jeweilige Anspruch bzw. die Lieferung durch ein bestimmtes Verfahren an die Kapazität, in der jeweils gemeinsamen Zelle eingetragen wird. Durch ein mathematisches Verfahren, dem Simplex-Algorithmus, werden die Verfahren so zusammengestellt, dass die gewünschte Zielfunktion, der Gesamtdeckungsbeitrag, maximal wird.

Um anschließend weitere Hinweise über dieses optimale Produktionsprogramm zu erhalten, ist die Durchführung einer Sensitivitätsanalyse möglich. Der erste Teil des Sensitivitätsberichts enthält Informationen über die reduzierten Kosten. Hier handelt es sich um die Kosten die eingespart werden, wenn ein Verfahren nicht ausgeführt wird. Weiterhin werden die Spannen ausgewiesen in denen die Deckungsbeiträge der Produktionsverfahren unter sonst gleichbleibenden Bedingungen (*ceteris paribus*, c.p.) schwanken dürfen, ohne dass sich die Lösungsumfänge der Verfahren ändern. Informationen über die Nebenbedingungen weist der zweite Teil des Sensitivitätsberichts aus. Bei den Schattenpreisen handelt es sich um den jeweiligen innerbetrieblichen Wert, den eine Einheit einer jeweiligen Kapazität im optimalen Produktionsprogramm hat. Mit Hilfe der Linearen Programmierung können gleichzeitig

- alle Ansprüche der Produktionsverfahren an z.B. Arbeitszeit, Fläche
- die Lieferungen der Produktionsverfahren, z.B. Deckungsbeitrag
- die Stoffflüsse über Nährstoff- und Humusbilanz

betrachtet werden, um einen maximalen Gesamtdeckungsbeitrag (bzw. DB des Betriebszweigs) zu erzielen.

Diese Methode ermöglicht es, durch Szenarien die Auswirkungen von Preisänderungen oder einer größeren Auswahl an Produktionsverfahren zu untersuchen. Das Verfahren Lineare Programmierung wird bei der Planung landwirtschaftlicher Produktionsprogramme standardmäßig eingesetzt.

Die Lineare Programmierung ist wie jedes Modell eine vereinfachte Darstellung der Wirklichkeit. Vereinfachungen im Rahmen der Datenerhebung wurden bereits im vorherigen Kapitel beschrieben. Die wichtigsten Anpassungen, die aufgrund der Besonderheiten des gewählten Planungsinstruments gemacht wurden, werden im Folgenden beschrieben.

Die Nebenbedingungen der Nährstoffbilanzen werden auf N, P_2O_5 , K_2O begrenzt. Eine ausgeglichene Bilanz aller für das Pflanzenwachstum notwendigen Nährstoffe, ist mit den zur Auswahl gestellten Mehrnährstoffdüngern kaum möglich. Die Reduzierung auf die drei Kernnährstoffe ist für den Zweck dieser Studie ausreichend. Die P- und K-Bilanzen und die Problematik der fehlenden Übereinstimmung von Nährstoffbedarf und Nährstoffzufuhr werden in Kapitel 6 diskutiert.

3.2.3. Ergebnisse der Kosten- und Leistungsrechnungen

Die neun Partnerbetriebe des EIP-Projekts liegen alle in Baden-Württemberg und wirtschaften viehlos bzw. vieharm. Eine Beschreibung der teilnehmenden Betriebe findet sich bei Rieps und Zikeli (2018).

3.2.3.1. Betrieb Kiechle - Kompost I: Eigene Herstellung

Beschreibung der Innovation:

Auf diesem Betrieb wird seit fast 30 Jahren professionell Kompost für den Eigenbedarf und zum Verkauf hergestellt. Als Ausgangssubstrat dienen Pferde- und Rindermist, Gemüseputzabfälle, Grünschnitt, Heu oder Stroh und Traubentrester. Die Anteile der im Kompost genutzten Substrate variieren je nach Jahreszeit. So fallen von den insgesamt ca. 200 m³ Gemüseputzabfälle ca. 70 % im Sommer an. Zudem werden dem Kompost Präparate nach Rudolf Steiner zugeführt, denen in dieser Berechnung nur Materialkosten, jedoch keine Arbeitskosten o.ä. zugewiesen werden. Für den Rindermist, die Erde und den Traubentrester werden entweder der Kaufpreis oder die Transportkosten als Direktkosten veranschlagt. Der Kompost wird auf alle Kulturen des Betriebs ausgebracht.

Die Ausgangssubstrate werden zum Feldrand sowie zu einem befestigten Kompostplatz transportiert und als ca. 100m lange Mieten abgelegt. Insgesamt wird eine Menge von ca. 2.600 m³ pflanzlichem oder tierischem Material sowie Erde benötigt, welches mittels Kompostierung zu insgesamt ca. 1.300m³ fertigem Kompost verarbeitet wird. Eine Miete steht acht Wochen und wird intensiv nach der Methode „gelenkte Rotte“ nach Lübke kontrolliert und je nach Temperatur und Sauerstoffgehalt gewendet.

Für die Arbeitsvorgänge Aufsetzen und Wenden der Miete werden ein Lader,—ein Kompostwender und ein Traktor benötigt. Die Ausbringung erfolgt auf alle Kulturen im Betrieb und je nach Kultur mit einem Seiten- oder Miststreuer. Der Betriebsleiter rechnet mit 50 % Substanzverlust über die acht Wochen Reifezeit und hat bereits eine detaillierte Zusammenstellung der Kosten der einzelnen Arbeitsvorgänge, Material- und Maschinenkosten vorgenommen.

Der 2.000 m² große Kompostplatz wurde 1992 für ca. 10.000 DM gebaut und ist v.a. im Winter wegen der schlechten Befahrbarkeit der Felder wichtig. Der Platz ist ausreichend für zwei Mieten á 100 m Länge.

Es wird mit folgenden Mengen und Kosten für die Ausgangssubstrate gerechnet.

Tabelle 22: Herstellungskosten und Zusammensetzung für 11,33 m³ (Ausbringungsmenge je ha) des selbst hergestellten Komposts

Ausgangssubstrate	Anteil	Kosten
Pferdemist	60 %	0 €
Rindermist	10 %	6,78 €
Gemüseputzabfälle von Gärtnereien	7,70 %	0 €
Grünschnitthäcksel von Gemeinden	2,30 %	0 €
Heu od. Stroh	>1 %	0 €
Traubentrester	10 %	6,78 €
Erde	10 %	5,65 €
Demeter Präparate	<1 %	4 €
Gesamt	100 %	23,3 €

Quelle: eigene Datenerhebung nach Kiechle (2019)

Ergebnis

Verglichen werden

- Innovation (V1): Kompostherstellung und -ausbringung
- Alternative (V2): Zukauf und Ausbringung von Rindermist

Der betrachtete Betrieb ist auf die Nutzung von Kompost eingestellt und angepasst. Als weitere Maßnahme zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit wird Mulch auf alle Kulturen des Betriebs ausgebracht. Bei einer Gesamtmenge von 170 m³ Kompost/Jahr und 15ha Nutzfläche werden durchschnittlich 11,33 m³/ha ausgebracht. Die Ausbringungsmenge der Alternative wird über den Stickstoffgehalt berechnet. Stickstoff ist im ökologischen Landbau meist der ertragsbegrenzende Faktor. In V1 werden 20,37 kg N/ha in Form von 11,33 m³ Kompost/ha ausgebracht. In V2 wird dieselbe Menge Stickstoff in Form von 3,36 m³ Rindermist/ha ausgebracht (StoffBiV 2017).

Die Daten der Kosten- und Leistungsrechnung wurden vom Betriebsleiter übernommen. In der Kostenzusammenstellung des Betriebsleiters wird nicht zwischen variablen und fixen Maschinenkosten unterschieden, sodass die Übertragung ins hier genutzte Schema der KTBL nur ungenügend durchgeführt werden konnte. Die Maschinenkosten gehen als „gesamte Maschinenkosten“ nur in die DAL ein. Ein Vergleich kann folglich in diesem Fall nur auf Grundlage der DAL und nicht des DB erfolgen.

Im innovativen Verfahren wird insgesamt eine um 424 €/ha höhere Leistung in Form von Humus- und Nährstoffersatzwerten erbracht (siehe Tabelle 23). Die DAL der beiden Maßnahmen ist positiv. Die Herstellung und Ausbringung von Kompost ist also langfristig um 250 €/ha rentabler als der Zukauf von Rindermist.

Tabelle 23: Kompost: Kosten und Leistungen im Vergleich:

	Innovative Maßnahme	Alternative Maßnahme	Differenz	
Leistungen und Kosten je ha	V1	V2	V1-V2	
Menge in m³	11,33	3,36		
Summe Leistung	658	234	424	€/ha
Summe Direktkosten	26	10	16	€/ha
Direktkostenfreie Leistung	632	224	408	€/ha
variable Kosten	26	23	3	€/ha
Deckungsbeitrag	632	211	421	€/ha
Gesamte Maschinenkosten	125	14	110	€/ha
Fixe Lohnkosten	100	12	88	€/ha
Summe Direkt- und Arbeitserledigungskosten	251	50	201	€/ha
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	434	184	250	€/ha
Arbeitserledigungskosten	225	39,80	184,73	€/ha

Quelle: eigene Berechnungen nach Angaben der Betriebsleiter, KTBL (2019), LEL Schwäbisch Gmünd (2018), StoffBiV (2017) zitiert nach Bonney und Müller-Lindenlauf (2018), Lfl Bayern (2018), VDLUFA (2014) und BGK (2013)

Beurteilung/Diskussion

Die tatsächliche Anwendung der alternativen Maßnahme „Zukauf und Ausbringung von Rindermist“ ist eher unwahrscheinlich. Die Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit sind sehr unterschiedlich im Vergleich zum Komposteinsatz und können monetär nur schwierig bemessen werden. Zudem gibt es im Sonderkulturanbau wie im vorliegenden Fall einige Herausforderungen für eine Ausbringung von frischem Rindermist.

Rindermist besitzt zudem keinen einheitlichen Marktwert und wird regional unterschiedlich gehandelt. Bei der Berechnung der Ausgangssubstrate des Komposts wird vom Betriebsleiter ein Preis von 45 €/15 m³ Mist veranschlagt. Dieser Preis wurde auch für eine Ausweitung des Zukaufs unterstellt.

Auf dem Betrieb wurden in den letzten drei Jahrzehnten professionelle Strukturen für die Beschaffung der Ausgangssubstrate, die Herstellung und Ausbringung des Komposts und für den Verkauf eines Teils des Komposts aufgebaut. Die günstige Herstellung ist vor dem Hintergrund zu sehen, dass z.B. die Kosten des vor 30 Jahren gebauten Kompostplatzes nicht mehr in die Berechnung eingehen.

Folgende nicht-monetären Vorzüge der V1 (Kompostherstellung und -ausbringung) werden bei der Berechnung nicht oder nur unvollständig berücksichtigt und werden auch vom Betriebsleiter genannt (Kiechle 2019):

- Förderung einer günstigen Bodenstruktur
- Förderung des Bodenlebens
- Humusaufbau

Der Betriebsleiter führt den Obst- und Sonderkulturbetrieb erfolgreich und schätzt die Böden als sehr fruchtbar ein, was er auf die langfristige Kompostdüngung zurückführt.

Übertragbarkeit auf andere Betriebe

Die Rentabilität des innovativen Verfahrens der Kompostherstellung und -ausbringung ist in hohem Maße abhängig von der Verfügbarkeit von Ausgangssubstraten. Das Angebot ist regional unterschiedlich und auch die Kosten bzw. Erlöse für deren Abnahme können stark schwanken. Ist die Möglichkeit eines kostengünstigen Zukaufs von Substraten gegeben, kann das innovative Verfahren eine gute Möglichkeit zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit sein.

Technisch müssen Maschinen für die Kompostherstellung sowie für die Ausbringung vorhanden sein oder in solche investiert werden. Vor allem spezielle Kompostwender und bei Sonderkulturen passende Kompoststreuer gehören nicht zwingend zur Grundausstattung von Ackerbau- bzw. Sonderkulturbetrieben.

Die Maßnahme ist arbeitsaufwendig und es muss genügend Arbeitskapazität vorhanden sein.

Können diese Anforderungen erfüllt werden, stellt die Maßnahme eine rentable Möglichkeit zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit in vieharmen- und viehlosen Betrieben dar.

3.2.3.2. Betrieb Schmid – Tiefenlockerung & Zwischenfruchtanbau mit angepasster Bodenbearbeitung in Folgefrucht

Beschreibung der Innovation:

Auf dem Betrieb wird als innovative Maßnahme das System der Tiefenlockerung (pfluglose Bewirtschaftung) in Verbindung mit der „grünen Brücke“ angewandt. Die Fruchtfolge auf dem Betrieb enthält einen hohen Anteil von Luzerne und es wird Kompost hergestellt und ausgebracht. Bei diesem Betrieb ist es problematisch, die Innovation isoliert zu betrachten. Der Betriebsleiter legt großen Wert auf den Aspekt der ganzheitlichen Betrachtung der verschiedenen durchgeführten Maßnahmen (Schmid 2019). Daher wurde die Innovation zu einem „System Tiefenlockerung“ zusammengefasst und einer Alternative gegenübergestellt. Die ebenfalls auf diesem Betrieb angewandte Kompostherstellung und -ausbringung werden in diesem Bericht ökonomisch nicht bewertet.

Für die Anwendung der „grünen Brücke“ werden alle Flächen zwischen den Hauptfrüchten mit einer der jeweiligen Witterung angepassten Zwischenfrucht begrünt. Diese Mischung besteht immer aus 3-4 Nicht-Leguminosen, da die Fruchtfolge bereits 40 % Leguminosen v.a. durch den Luzerneanbau beinhaltet. Auch bei Winterungen wird in den 6-7 Wochen zwischen Ernte und Herbstaussaat eine Zwischenfrucht angebaut.

Anstelle des Pflügens erfolgt im Herbst vor der Aussaat der Zwischenfrucht die Tiefenlockerung. Hierfür wurde eine Hacke mit Gänsefußscharen zu einem Frontflachgrubber

umgebaut. So wird der Boden 30-50 cm tief gelockert aber nicht gewendet und Wurzelunkräuter werden geschnitten. Je nach Bodenzustand und wie oft bereits eine Tiefenlockerung durchgeführt wurde, werden 2-3 h/ha und Maschinenkosten von 50-55 €/h kalkuliert.

Im Frühjahr wird die Zwischenfrucht flach mit einer Bodenfräse (alternativ Stoppelhobel) umgebrochen. Hierfür wird eine spezielle Bodenfräse genutzt, deren Tiefe über Stützräder einstellbar ist und die zusammen mit einem möglichst leichten Schlepper nicht zu einer Rückverfestigung des Bodens führt.

Es folgt ein Scheinsaatbett, um Unkräuter keimen zu lassen. Diese werden im nächsten Arbeitsgang mit dem „Frontflachgrubber“ geschnitten. Gleichzeitig wird die folgende Kultur mit einer Sämaschine in Heckanbau in den Mulch gesät.

Für das gesamte System werden folgende spezielle Investitionen benötigt:

- Breitreifen mit Niederdruck, ein Satz: 5.000-6.000 €/3 Jahre
- spezielle Bodenfräse: keine Angaben verfügbar, vergleichbare Maschinen: 2.000-10.000 €
- drei verschiedene Fronthacken: jeweils 8.000-10.000 €

Das gesamte Konzept umfasst zusätzlich zu den hier untersuchten Maßnahmen der Tiefenlockerung in Verbindung mit dem Zwischenfruchtanbau und einer angepassten Bodenbearbeitung in der Nachfolgefrucht außerdem die Herstellung und Ausbringung von Kompost. Nach den bisherigen Erfahrungen ist das gesamte Konzept des Betriebes (Grüne Brücke, Tiefenlockerung und Komposterstellung und -ausbringung) sehr zeitaufwendig und zudem sehr betriebsspezifisch. Die Investition für das gesamte Konzept inklusive Investitionen für die Kompostherstellung und -ausbringung schätzt der Betriebsleiter auf 50.000-60.000 € (Schmid 2019).

Ergebnis

Verglichen werden:

Innovation (V1): System Tiefenlockerung in Verbindung mit Zwischenfrucht mit angepasster Bodenbearbeitung in Folgefrucht

Alternative (V2): Pflügen vor Zwischenfrucht und Standard-Bodenbearbeitung in Folgefrucht

Für diesen Vergleich wurde die Folgefrucht Mais und die Zwischenfrucht Buchweizen ausgewählt. Das Ergebnis kann jedoch auf andere Kulturen angepasst und übertragen werden.

Tabelle 24: Tiefenlockerung: Leistungen und Kosten im Vergleich

Leistungen und Kosten je ha Kultur	V1	V2	Differenz V1-V2	
Summe Leistung	362	362	0	€/ha
Summe Direktkosten	300	300	0	€/ha
Direktkostenfreie Leistung	62	62	0	€/ha
Summe variable Kosten	543	472	72	€/ha
Deckungsbeitrag	-182	-110	-72	€/ha
Fixe (bei V1 gesamte) Maschinenkosten	114	161	-46	€/ha
Fixe Lohnkosten	174	125	49	€/ha
Summe Direkt- und Arbeiterledigungskosten	831	757	75	€/ha
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	-470	-395	-75	€/ha
Arbeiterledigungskosten	531	457	75	€/ha

Quelle: eigene Berechnungen nach Angaben der Betriebsleiter, KTBL (2019), LEL Schwäbisch Gmünd (2018), StoffBiIV (2017) zitiert nach Bonney und Müller-Lindenlauf (2018), Lfl Bayern (2018), VDLUFA (2014) und BGK (2013)

Da bei beiden Varianten nur der Zwischenfruchtanbau und die jeweilige Bodenbearbeitung und Pflege betrachtet werden und nicht der Erlös der Folgefrucht, erzielen beide Varianten naturgemäß einen negativen Deckungsbeitrag. Die geringe Differenz von nur 72 €/ha zwischen den Deckungsbeiträgen beider Varianten zeigt, dass die Innovation wirtschaftlich gesehen der Standardmaßnahme nahezu gleichwertig, in dieser Betrachtung jedoch etwas weniger rentabler ist (Tabelle 24).

Die Differenz der Deckungsbeiträge (V1 und V2) wird durch die höheren Maschinenkosten in V1 verursacht. Die Maschinenkosten der V1 wurden nach Einschätzung des Betriebsleiters als gesamte Maschinenkosten übernommen und konnten nicht in fixe und variable Kosten aufgeteilt werden. Die höheren Lohnkosten der Innovation stehen höheren Maschinenkosten der Alternative gegenüber, sodass sich auch langfristig gesehen die DAL nur um 75 € unterscheiden.

Beurteilung / Diskussion

Da bei diesem Vergleich keine Nährstoffe oder große Mengen organisches Material zugeführt werden, werden diese bei der Kosten- und Leistungsrechnung im Allgemeinen nicht berücksichtigt. Nur die Humusmehrung durch den Zwischenfruchtanbau wird monetär einberechnet. Eine unterschiedliche Entwicklung der Nährstoffverfügbarkeit und -vorräte im Boden bei den beiden untersuchten Maßnahmen ist theoretisch zwar möglich, kann aber aufgrund fehlender Daten nicht durchgeführt werden.

Folgende nicht-monetären Vorzüge der V1 (System Tiefenlockerung) sind laut Schmidt und Christen (2010) bei der Bewertung zu berücksichtigen und werden auch vom Betriebsleiter (Schmid 2019) genannt:

- Erhaltung und Steigerung des Bodengefüges
- Humusaufbau
- Förderung des Bodenlebens
- Geringerer Treibstoffverbrauch

Als größte Herausforderungen der Innovation nennt der Betriebsleiter den höheren Arbeitsaufwand sowie die Ganzheitlichkeit des Systems, das aus vielen einzelnen Komponenten besteht (Grüne Brücke, Tiefenlockerung, Komposterstellung und -ausbringung). Im vorliegenden ökonomischen Vergleich der Innovation (V1) mit der Alternative (V2) konnten nicht alle Faktoren des auf dem Betrieb durchgeführten Systems berücksichtigt werden. So wurden die Kompostausbringung sowie der verstärkte Anbau von Luzerne nicht in die Analyse mit einbezogen, beides trägt aber positiv zum Gesamtergebnis auf die Bodenfruchtbarkeit bei.

Die größte Unsicherheit besteht in der Bewertung der notwendigen Investitionen. Der KTBL Leistung-Kostenrechner hält Daten für standardisierte Verfahren bereit. Das jeweilige Verfahren kann nicht exakt auf die auf diesem Betrieb genutzte Maschine und deren Anschaffungspreis angepasst werden. Damit sind Kostenfaktoren wie z.B. Anschaffungskosten, Abschreibung und Dieserverbrauch und Leistungsdaten wie Stundenleistung nicht genau zu erfassen.

Übertragbarkeit auf andere Betriebe

Da es sich bei dieser Maßnahme um ein ganzes System einzelner Verfahren handelt und diese speziell für diesen Betrieb erarbeitet wurden, ist die Übertragbarkeit auf andere Betriebe nicht ohne weiteres möglich. Technisch hat sich der Betrieb stark an das ausgewählte System angepasst und interessierte Landwirte müssten ebenfalls mit Investitionen rechnen. Für die notwendigen Anpassungen der Maschinen ist technisches Wissen und eine einschlägige Ausstattung nötig. Für die Anpassung des Systems an den jeweiligen Betrieb muss eine Umstellungsphase einkalkuliert werden. Bis das Verfahren auf die jeweiligen Gegebenheiten abgestimmt ist, kann es auf Schlägen mit erhöhtem Unkrautdruck in der ersten Zeit zu Ertragseinbußen kommen.

Für den erhöhten Arbeitsaufwand muss genügend Arbeitskapazität vorhanden sein.

Klimatisch ist der Anbau von Zwischenfrüchten immer an eine ausreichende Wasserversorgung gebunden um bei der Folgefrucht keine Ertragseinbußen durch Wasserknappheit zu bewirken.

3.2.3.3. Betrieb Köberle – Mulchen von Klee gras & Zwischenfruchtanbau mit angepasster Bodenbearbeitung

Beschreibung der Innovation:

Auf diesem Betrieb wurden zwei Maßnahmen als Innovation aufgenommen, die unabhängig voneinander durchgeführt und mit einer jeweiligen Alternative verglichen werden:

- Klee gras mulchen: Das Klee gras wird überjährlig angebaut und der Aufwuchs komplett gemulcht. Als Folgefrucht wird Winterweizen angebaut.

- Zwischenfrüchte anbauen (um unter anderem die fehlende Humuszufuhr aus Mist auszugleichen).

Der Anbau von Zwischenfrüchten erfolgt in unterschiedlichen Verfahren nach der Getreideernte mit erfolgter Stoppelbearbeitung (10 cm tiefes Grubbern) und vor dem Anbau eines Braugerste-Linsen-Gemenges. Für die Maßnahmen zum Zwischenfruchtanbau ergeben sich folgende Varianten:

- Verfahren 1: Pflügen (15 cm) und zwei Tage später Aussaat Zwischenfrucht (Schnellkeimermischung ohne Leguminosen) mit Frontpacker, Kreiselegge und Sämaschine.
- Verfahren 2: Grubbern und zwei Tage später Aussaat Zwischenfrucht (Schnellkeimermischung ohne Leguminosen) mit Frontpacker, Kreiselegge und Sämaschine.
Bei Verfahren 1 und 2 wird die Zwischenfrucht Ende Februar untergepflügt.
- Verfahren 3: Grubbern im Herbst, kein Zwischenfruchtanbau, unbedeckt über Winter und erneutes Grubbern im Februar

Ende März folgt bei allen Verfahren ein Arbeitsgang Striegeln um die vorhandenen Unkrautsamen zur Keimung zu bringen und sie zwei Wochen später bei einem erneuten Arbeitsgang Striegeln unterarbeiten zu können. Anschließend wird das Braugersten-Linsen-Gemenge ausgesät. Die Standardmischung besteht aus 60 % Braugerste und 40 % Linsen und wird mit 12,5 cm Abstand als Normalsaat ausgebracht. Aufgrund des steinigen Bodens muss einmal gewalzt werden. Ansonsten gibt es bis zur Ernte Anfang August keine Arbeitsvorgänge mehr.

Ergebnis

Der Landwirt sieht weder in der Ausbringung von Mist noch von Kompost eine wahrscheinliche Alternative zum Anbau einer Zwischenfrucht. Im Hinblick auf eine geplante Hofübernahme sollen keine tierischen Düngemittel ausgebracht werden. Der Betrieb könnte sich somit als „biozyklisch-vegan“ zertifizieren lassen.

Verglichen werden zwei Innovationsbausteine mit entsprechenden Alternativen:

- | | |
|------------|---|
| Baustein 1 | <ul style="list-style-type: none"> - Innovation (V1.1): Grubbern und Anbau einer Zwischenfrucht vor Braugerste-Linsen-Gemenge - Innovation (V1.2): Pflügen und Anbau einer Zwischenfrucht vor Braugerste-Linsen-Gemenge - Alternative (V2): Nur Grubbern, kein Zwischenfruchtanbau vor Braugerste-Linsen-Gemenge |
| Baustein 2 | <ul style="list-style-type: none"> - Innovation (V3): Klee gras mulchen vor Weizen - Alternative (V4): Klee gras verkaufen und Ertragseinbußen bei Weizen |

Da bei allen untersuchten Varianten nur der Zwischenfruchtanbau und die jeweilige Bodenbearbeitung und Pflege betrachtet werden und nicht der Erlös der Folgefrucht, wird naturgemäß ein negativer Deckungsbeitrag, bzw. direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung.

Beim Vergleich des ersten Bausteins der innovativen Maßnahme Zwischenfruchtanbau möchte der Betriebsleiter zusätzlich zum Effekt der Zwischenfrucht auch die Wirkung unterschiedlicher Bodenbearbeitung untersuchen. Es werden drei unterschiedliche Varianten

verglichen, wobei die Variante ohne Zwischenfruchtanbau als alternative Maßnahme festgelegt wird. Im Vergleich der drei Varianten wurde in der Innovation „Zwischenfrucht und Grubbern“ (V1.1) der höchste DB und die höchste DAL berechnet (DB: 178 €/ha, DAL: 61 €/ha, siehe Tabelle 25). Die höheren direkten Nährstoff- und Humusersatzwerte des Zwischenfruchtanbaus als Leistung können die zusätzlichen Kosten des Zwischenfruchtanbaus mehr als ausgleichen. Im Vergleich der beiden unterschiedlichen Verfahren zum Zwischenfruchtanbau miteinander (V1.1 und V1.2) erzielt die Variante „Grubbern und Anbau einer Zwischenfrucht“ (V1.1), v.a. aufgrund der geringeren Maschinenkosten, einen leicht höheren DB und eine höhere DAL als die Variante „Pflügen und Anbau einer Zwischenfrucht“ (V1.2).

Tabelle 25: Zwischenfrucht vor Braugerste-Linsen-Gemenge: Leistungen und Kosten im Vergleich

	Innovative Maßnahmen		Alternative Maßnahme	Differenzen		
	V1.1	V1.2	V2	V1.1-V2	V1.2-V2	
Leistungen und Kosten je ha Kultur						
Summe Leistung	330	330	0	330	330	€/ha
Summe Direktkosten	68	68	0	68	68	€/ha
Direktkostenfreie Leistung	262	262	0	262	262	€/ha
Summe variable Kosten	151	176	33	119	143	€/ha
Deckungsbeitrag	178	154	-33	211	187	€/ha
Fixe Maschinenkosten	66	83	21	45	62	€/ha
Fixe Lohnkosten	50	66	20	30	46	€/ha
Summe Direkt- und Arbeiterledigungskosten	268	325	74	194	250	€/ha
Direkt- und arbeiterledigungskostenfreie Leistung	61	5	-74	135	79	€/ha
Arbeiterledigungskosten	201	257	74	126	183	€/ha

Quelle: eigene Berechnungen nach Angaben der Betriebsleiter, KTBL (2019), LEL Schwäbisch Gmünd (2018), StoffBiIV (2017) zitiert nach Bonney und Müller-Lindenlauf (2018), Lfl Bayern (2018), VDLUFA (2014) und BGK (2013)

Im Vergleich der zweiten Innovation „Klee gras mulchen vor Weizen“ (V3) mit der alternativen Maßnahme „Klee gras verkaufen und Ertragseinbußen bei Weizen“ (V4) ist die Innovation rentabler als die Alternative (Differenz V3-V4 DB: 591 /ha, siehe Tabelle 5). Die Innovation „Klee gras mulchen vor Weizen“ ist dabei weniger kostenintensiv als die Alternative und erzielt vor allem durch die hohe Zufuhr an N und Humus-C eine hohe Leistung.

Tabelle 26: Klee gras mulchen: Leistungen und Kosten im Vergleich

	Innovative Maßnahme	Alternative Maßnahme	Differenz	
Leistungen und Kosten je ha Kultur	V3	V4	V3-V4	
Summe Leistung	1.913	1.496	416	€/ha
Summe Direktkosten	307	485	-178	€/ha
Direktkostenfreie Leistung	1.605	1.011	594	€/ha
Summe variable Kosten	502	677	-175	€/ha
Deckungsbeitrag	1.410	819	591	€/ha
Fixe Maschinenkosten	204	269	-65	€/ha
Fixe Lohnkosten	174	156	19	€/ha
Summe Direkt- und Arbeiterledigungskosten	880	1.102	-221	€/ha
Direkt- und arbeiterledigungskostenfrei e Leistung	1.032	395	637	€/ha
Arbeiterledigungskosten	573	794	-221	€/ha

Quelle: eigene Berechnungen nach Angaben der Betriebsleiter, KTBL (2019), LEL Schwäbisch Gmünd (2018), StoffBiV (2017) zitiert nach Bonney und Müller-Lindenlauf (2018), Lfl Bayern (2018), VDLUFA (2014) und BGK (2013)

Es wurde für das Klee gras ein Standardpreis von 4,1 €/dt Klee gras aufwuchs berechnet. Der Ertragsrückgang der durch den Verzicht auf das Mulchen des Klee gras aufwuchs entsteht, wird vom Betriebsleiter geschätzt und beträgt 10%. Der zusätzliche Erlös durch den Verkauf des Klee gras aufwuchs wiegt die Erlösminderung im Weizen nicht jedoch die Erlösminderung durch Abfuhr von Humus und Nährstoffen auf. Die Höhe der Ertragsminderung von 10% entspricht bei einem durchschnittlichen Weizenertrag von 41 dt etwa 4,1 dt á 43 €/dt. Auch bei Betrachtung der langfristigen Rentabilität und damit der Einbeziehung der fixen Lohn- und Maschinenkosten ist die Innovation mit einer höheren DAL rentabler als die Standardvariante.

Beurteilung/Diskussion

Folgende nicht-monetären Vorzüge der V1.1 und V1.2 (Zwischenfrucht in unterschiedlichem Anbauverfahren vor Braugerste-Linsen-Gemenge) sind laut Hubbard et al. (2013) bei der Bewertung zu berücksichtigen und werden auch vom Betriebsleiter genannt (Köberle 2019):

- Förderung des Bodenlebens durch konservierende Bodenbearbeitung
- Unkrautunterdrückung durch den Anbau von Zwischenfrüchten
- Potential der Zwischenfrucht als CO₂-Senke

Da eine Ertragssteigerung durch diese Vorzüge erst langfristig zu erwarten ist, konnte diese nicht als Leistung in die Berechnung mit eingehen.

Folgende nicht-monetären Vorzüge der V3 (Kleegras mulchen vor Weizen) werden bei der Berechnung nicht oder nur unvollständig berücksichtigt und werden auch vom Betriebsleiter genannt (Köberle 2019):

- Förderung des Bodenlebens, Bodenstruktur und Wasserspeicherkapazität durch Zufuhr organischer Masse (Scheffer und Schachtschabel 2002)
- Entzerrung von Arbeitsspitzen

Die Ertragsminderung von 10 % beim nachfolgenden Weizen wurde vom Betriebsleiter geschätzt. Die tatsächliche Höhe und die damit einhergehende veränderte Rentabilität sind schwierig zu beurteilen und können sich im Einzelfall auch ganz anders darstellen.

Als Verkaufspreis des Kleegrases wurde der Standardpreis von 4,1 €/dt angesetzt. Dieser Preis ist regional jedoch sehr unterschiedlich und kann besonders in viehschwachen Ackerbauregionen wesentlich geringer ausfallen. Dies hätte erhebliche Auswirkungen auf die Ergebnisse der Leistungs- und Kostenrechnung und die Rentabilität der Alternative könnte sich im Fall eines geringen Preises stark reduzieren.

Übertragbarkeit auf andere Betriebe

Bei den hier vorgestellten Innovationen fallen keine Investitionskosten an. Auf einem durchschnittlich ausgestatteten Ackerbaubetrieb sind die benötigten Maschinen für gewöhnlich vorhanden. Klimatisch ist der Anbau von Zwischenfrüchten immer an eine ausreichende Wasserversorgung gebunden um bei der Folgefrucht keine Ertragseinbußen durch Wasserknappheit zu bewirken.

Bei einem Verzicht auf den Pflug (Grubbern und Zwischenfrucht) erhöht sich möglicherweise der Unkrautdruck. Schläge mit geringerem Unkrautdruck sind deshalb von Vorteil. Außerdem ist mit einer gewissen Umstellungszeit zu rechnen, bis das System optimal auf den jeweiligen Standort angepasst wurde.

Um die Wirtschaftlichkeit der Verfahren zu erhöhen, ist die Zertifizierung als aus „biozyklisch veganer Landwirtschaft“ denkbar. Der Betriebsleiter sieht diese Möglichkeit als gegeben. Hier ist eine Vertriebsstruktur notwendig, die die Mehrzahlungsbereitschaft beim Verbraucher abschöpfen kann.

3.2.3.4. Betrieb Heiß - Kleegrastransfer

Beschreibung der Innovation

Als innovative Maßnahme wird Kleegras angebaut und der Aufwuchs als Frischmasse (Frühjahr) oder als Silage (Herbst) auf die Kulturen gegeben. Das Kleegras (Verhältnis Leguminosen zu Gras 70:30) wird auf etwa 12 ha überjähig angebaut und zu 100 % im Betrieb verwendet.

Für die innovative Maßnahme wird Kleegras als Untersaat mittels Schneckenkornstreuer in eine bereits gesäte Hafer- oder Dinkelkultur ausgebracht. Im darauffolgenden Jahr erfolgen vier Schnitte mit einem 160 PS starken Schlepper, einem 6,2 m breiten Mähwerk sowie das Wenden mit einem 140 PS starken Schlepper mit 8,8 m breitem Kreiselzettwender.

Der erste Schnitt wird Ende April durchgeführt und der Ertrag beträgt etwa 100 dt FM. Es folgt der Arbeitsvorgang Schwaden (140 PS, 6,2m) und die Bergung auf einen Ladewagen (200 PS Traktor, 30m³ Kurzschnittladewagen). Anschließend werden mit einem Frontlader (140 PS) drei Miststreuer (16t, Traktor 160 PS) beladen und der frische Kleegrasaufwuchs wird direkt

auf den nahe gelegenen Weizenschlägen ausgebracht. Hierfür werden zwei bis drei Arbeitskräfte (AK) benötigt. Für die Ausbringung werden insgesamt fünf bis sechs Stunden benötigt.

Der zweite Schnitt erfolgt Ende Mai oder Anfang Juni und wird siliert. Der Zeitpunkt richtet sich vor allem nach verfügbarer Arbeitskapazität, die in dieser Zeit bereits durch die Heuernte auf den Wiesen des Betriebs stark beansprucht wird. Nach der Mahd erfolgen wie beim ersten Schnitt die Arbeitsvorgänge Kreiseln und Schwaden, Ablage am Feldrand, Walzarbeiten und das Abdecken der Silage mit Holzhäcksel. Insgesamt werden für die Silageherstellung fünf bis sechs Arbeitskraftstunden benötigt. Im Herbst erfolgt die Ausbringung der Silage, wobei die gleichen Arbeitsvorgänge wie beim ersten Schnitt durchgeführt werden.

Der dritte und vierte Schnitt wird gemäht, gekreiselt und verbleibt auf dem Feld.

Als alternatives Produktionsverfahren wird die Nutzung des Kleeerasaufwuchses im Rahmen einer Futter-Mist-Kooperation im Tausch gegen Mist berechnet. Gegen Ende des Projekts wurde eine solche Kooperation mit einem Milchviehbetrieb tatsächlich eingegangen und die innovative Maßnahme vorerst nicht mehr durchgeführt. Der Betriebsleiter gibt den Aufwuchs des ersten und zweiten Schnitts von 12 ha Kleeeras ab und erhält die Festmistmenge von 50 Milchkühen aus sieben Monaten. Hier wird aus Mangel an Daten auf die Standardwerte von Milchkühen mit Milchleistung unter 6.000 kg/Jahr zurückgegriffen (StoffBilV 2017 zitiert nach Bonney und Müller-Lindenlauf, 2018). Entsprechend der Ausgestaltung der Kooperation wird eine Kleeerasmenge von 300t gegen eine Festmistmenge von 2.470 dt jährlich getauscht. Exakte Transportwege und Arbeitsvorgänge des Austausches selbst wurden nicht aufgenommen und gehen nicht in die Leistungs- und Kostenrechnung ein. Es wird unterstellt, dass sich die Transportkosten der Abgabe des Kleeeras und des Erhalts des Festmists ausgleichen. Als Leistungen der Alternative werden folglich nur die Ersatzwerte des Festmists für Humus und Nährstoffe berücksichtigt. Analog zur Ausbringmenge des Kleeerasaufwuchses wird von einer Ausbringung des erhaltenen Mists auf 12 ha ausgegangen. Dies entspricht einer Ausbringmenge von 207 dt/ha.

Ergebnis

Verglichen wird

- Innovation (V1): Kleeerastransfer
- Alternative (V2): Futter-Mist-Kooperation

Kurzfristig betrachtet ist die innovative Maßnahme V1 mit einem DB von 1.420 €/ha wirtschaftlich als rentabel zu beurteilen. Die Leistung in Form der monetären N, P, K- und Humusersatzwerte wiegt die variablen Kosten mehr als auf. Die nicht berücksichtigten monetären Vorteile der Innovation werden im Diskussionsteil näher beschrieben. Die Leistung in V2 setzt sich zusammen aus N, P, K- und Humusersatzwerte des Kleeerasanbaus und der Rindermistdüngung. Die gesamte Leistung in V2 ist mit 1.969 €/ha um 155 € höher als die Leistung der Innovation V1. Die variablen Kosten der Innovation V1 sind zudem etwas höher als in V2, sodass insgesamt ein um 178 €/ha geringerer Deckungsbeitrag berechnet wird. Die Alternative V2 ist kurzfristig betrachtet mit einem Deckungsbeitrag von 1.598 €/ha ebenfalls rentabel (Tabelle 27).

Betrachtet man die langfristigen fixen Kosten, die in der DB-Berechnung nicht mit eingehen, ist festzuhalten, dass V2 (Futter-Mist-Kooperation) etwas weniger arbeitsaufwendig ist als V1 (Kleeerastransfer). Langfristig betrachtet sind beide Maßnahmen ökonomisch rentabel, wobei auch hier die Rentabilität der Innovation der Rentabilität der Alternative unterliegt. Die

langfristigen Leistungen die monetär nicht bewertet werden konnten, werden ebenfalls im Diskussionsteil beschrieben.

Tabelle 27: Kleegrastransfer: Leistungen und Kosten im Vergleich

	Innovative Maßnahme	Alternative Maßnahme	Differenz	
Leistungen und Kosten je ha Kultur	V1	V2	V1-V2	
Summe Leistung	1.814	1.969	-155	€/ha
Summe Direktkosten	266	266	0	€/ha
Direktkostenfreie Leistung	1.548	1.703	-155	€/ha
Summe variable Kosten	394	371	23	€/ha
Deckungsbeitrag	1.420	1.598	-178	€/ha
Fixe Maschinenkosten	179	130	49	€/ha
Fixe Lohnkosten	112	90	22	€/ha
Summe Direkt- und Arbeitserledigungskosten	685	591	94	€/ha
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	1.129	1.378	-248	€/ha
Arbeitserledigungskosten	419	325	94	€/ha

Quelle: eigene Berechnungen nach Angaben der Betriebsleiter, KTBL (2019), LEL Schwäbisch Gmünd (2018), StoffBiV (2017) zitiert nach Bonney und Müller-Lindenlauf (2018), Lfl Bayern (2018), VDLUFA (2014) und BGK (2013)

Vor dem Hintergrund der Vielzahl geschätzter und unsicherer Daten, kann festgehalten werden, dass die ökonomischen Kennzahlen der Leistungs- und Kostenrechnung der beiden Maßnahmen sich auf einem ähnlichen Niveau befinden, wobei die Innovation tendenziell unterliegt.

Beurteilung/Diskussion

Vom Betriebsleiter wurde gegen Ende der Datenerhebung für dieses Projekt tatsächlich eine Futter-Mist-Kooperation eingegangen, wie sie hier als Alternative angesetzt wurde. Die ökonomische Überlegenheit wurde folglich bereits erkannt und umgesetzt. Der Betriebsleiter hebt die schwankende Verfügbarkeit dieser Möglichkeit hervor (Heiß 2019).

Der Betrieb ist mit leistungsstarken Maschinen ausgestattet, was möglicherweise die fixen Maschinenkosten etwas erhöht.

Folgende nicht-monetären Vorzüge sieht Alpers (2014) in der Ausbringung von Mulch auf ein Nehmerfeld. Sie konnten bei der Berechnung der Innovation (Kleegrastransfer) nicht oder nur unvollständig berücksichtigt werden:

- Förderung des Bodenlebens
- verbesserter Wärme- und Wasserhaushalt in der Krume

- Unkrautunterdrückung durch Ausbringung des Kleegrasaufwuchses
- kurzfristige N-Verfügbarkeit

Übertragbarkeit auf andere Betriebe

Auf dem Betrieb Heiß liegen die Kleegrasschläge nahe an den Weizenschlägen, was die arbeitsaufwendige und organisatorisch anspruchsvolle Aufgabe der Mahd mit gleichzeitig erfolgreicher Ausbringung erleichtert.

Technisch ist die Innovation mit betriebsüblichen Maschinen zu bewerkstelligen wobei eine Ausstattung wie im Betrieb Heiß mit mehreren leistungsstarken Schleppern und Zugang zu mehreren Ladewägen und Mist- bzw. Kompoststreuern von Vorteil ist. Eine ehemalige Güllegrube bzw. ein Fahrsilo sind zur Silierung nach dieser Methode nicht notwendig. Es werden zudem Holzhäcksel oder ähnliches Mulchmaterial als Abdeckung benötigt. Möglich wäre auch eine Abdeckung mit einer üblichen Silofolie oder eine Silierung in Ballen.

Klimatisch stellt der Anbau von Klee gras keine besonderen Ansprüche.

Für den durchschnittlichen Ackerbaubetrieb ist die Methode des Klee grastransfers relativ einfach zu übernehmen.

Ist eine Abnahme des Klee gras aufwuchses nicht oder nur zu einem geringen Verkaufspreis möglich und ist keine Möglichkeit einer Futter-Mist-Kooperation verfügbar, stellt die innovative Maßnahme eine gute Möglichkeit zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit dar.

3.2.3.5. Betrieb Leibing – Kompost II – Zukauf von Kompostwerk

Beschreibung der Innovation

Als innovative Maßnahme wird Kompost zugekauft und ausgebracht und gleichzeitig ein hoher Anteil Luzerne in der Fruchtfolge angebaut und verkauft.

Die fünfgliedrige Fruchtfolge beinhaltet zwei Jahre Luzerne, Winterweizen mit folgender Zwischenfrucht, Ackerbohnen-Linsen-Gemenge mit folgender Zwischenfrucht und Dinkel. Die Kulturen werden auf jeweils ca. 5 ha angebaut. Das Stroh verbleibt auf dem Acker und es wird nach allen Kulturen außer nach Ackerbohnen gepflügt.

Die Luzerne wird nach der Dinkelernte vom Betriebsleiter gesät. Alle weiteren Arbeitsschritte inklusive fünfmaligem Schnitt, Ernte und Verkauf werden von einem Lohnunternehmen durchgeführt. Der Verkaufserlös der Luzerne beträgt 500 €/ha und Jahr. Der Grünschnittkompost wird fertig für 11 €/t frei Feld über den Maschinenring gekauft. Innerhalb der folgenden Tage wird ein Kompoststreuer mit Breitstreuwerk (10 t, 10 m, Firma: Titan, Anschaffungswert: 15.800 €) mit einem Baggerlader beladen und der Kompost ausgebracht. Die Hauptmenge des Komposts (insgesamt 45 t/10 ha und Jahr) wird im Herbst vor der Aussaat des Winterweizens und des Dinkels ausgebracht und durch die anschließende Bodenbearbeitung untergearbeitet.

Die Zusammensetzung des Grünschnittkomposts schwankt. In der vorliegenden Berechnung wird mit den durchschnittlichen Nährstoff- und Humusersatzwerten aus dem RAL Prüfzeugnis 2017 gerechnet (BGK 2017).

Im Zuge der Umstellung auf biologische Landwirtschaft wurde auf dem Betrieb in eine Fronthacke und einen Heckstriegel investiert. Der Betrieb nutzt eine selbstentwickelte Hacke. Daher wird das Getreide in weiter Reihe gesät.

Ergebnis

Verglichen werden:

- Innovation (V1): Luzerneanbau, -verkauf und Kompostzukauf
- Alternative (V2): Luzerneanbau und Luzernetransfer

Bei der Alternative handelt es sich um ein Verfahren, das mit der Kultur Klee gras in einem weiteren Projektbetrieb durchgeführt wird. Da für diese Innovation keine allgemein gültigen Daten bzw. standardmäßig durchgeführte Verfahren vorliegen, wurde auf die Daten des Partner-Projektbetriebs zurückgegriffen.

In der vorliegenden Betrachtung ist die bereits durchgeführte Innovation kurz- als auch langfristig weniger rentabel als die Alternative (Differenz DB: 1.521 €/ha). Die bedeutend höhere Zufuhr an Nährstoffen und Humus-C durch Klee grastransfer-Verfahren (Alternative V2) gegenüber der V1 sind ausschlaggebend für den positiven Deckungsbeitrag. Obwohl bei der Alternative V2 kein direkter Erlös erwirtschaftet wird, wird durch die Berücksichtigung der Nährstoff- und Humusersatzleistungen ein Deckungsbeitrag von 1.887 €/ha berechnet (Tabelle 28).

Tabelle 28: Kompostdüngung: Leistungen und Kosten im Vergleich

Leistungen und Kosten je ha Kultur	V1	V2	Differenz V1-V2	
Summe Leistung	573	2.108	-1.535	€/ha
Summe Direktkosten	143	93	50	€/ha
Direktkostenfreie Leistung	430	2.015	-1.585	€/ha
Summe variable Kosten	208	221	-13	€/ha
Deckungsbeitrag	365	1.887	-1.521	€/ha
Fixe Maschinenkosten	43	179	-136	€/ha
Fixe Lohnkosten	62	112	-50	€/ha
Summe Direkt- und Arbeiterledigungskosten	312	512	-199	€/ha
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	261	1.596	-1.335	€/ha
Arbeiterledigungskosten	169	419	-249	€/ha

Quelle: eigene Berechnungen nach Angaben der Betriebsleiter, KTBL (2019), LEL Schwäbisch Gmünd (2018), StoffBiIV (2017) zitiert nach Bonney und Müller-Lindenlauf (2018), Lfl Bayern (2018), VDLUFA (2014) und BGK (2013)

Beurteilung/ Diskussion

Die Masse an zugeführtem organischem Material in V1 ist mit 4,5 t Kompost/ha viel geringer als in V2 mit insgesamt 25 t Luzerneaufwuchs als Frischmasse bzw. Silage. Umgerechnet in Trockenmasse stehen den 2,88 t Kompost insgesamt 6,5 t Luzerne gegenüber. Die Humus- und Nährstoffzufuhr durch den Kompost kann die Abfuhr der Nährstoffe und des Humus-C im Luzerneaufwuchs nicht aufwiegen. Es besteht theoretisch die Möglichkeit, durch einen

erhöhten Zukauf von Kompost ebenso viel Trockenmasse wie durch den Luzerneanbau zuzuführen.

Die langsame N-Verfügbarkeit des Komposts ist eine Herausforderung bei dessen Anwendung und das Risiko von v.a. kurzfristigen Ertragseinbußen muss berücksichtigt werden. Die nicht-monetären Vorzüge der Innovation (Luzerneanbau, -verkauf und Kompostzukauf) sind nach Einschätzung des Betriebsleiters außerdem zu sehen in (Leibing 2019):

- Höhere Humusreproduktionsleistung je t Frischmasse (VDLUFA 2014)
- Förderung der Bodengesundheit (Bruns et al. 2003)
- Förderung des Bodenlebens
- Entzerrung von Arbeitsspitzen

Übertragbarkeit auf andere Betriebe

Die Verfügbarkeit des günstigen Grünschnittkomposts und die Möglichkeit der Auslagerung eines Großteils des Luzerneanbaus an ein Lohnunternehmen, mit einem Erlös von 500 €/ha sind gute Voraussetzungen für das innovative Verfahren. Eine Erweiterung des Kompostzukaufs um auf die gleiche Menge an Trockenmasse zu kommen wie in der Alternative ist möglich und für den vorliegenden Betrieb kostengünstig zu realisieren. Die Verfügbarkeit eines Kompostwerkes in geringer Entfernung zum Betrieb ist von Bedeutung, um den Kostenpunkt des Transports gering zu halten. Von kritischer Bedeutung ist die Qualität des Komposts und der Verrottungsgrad. Die Möglichkeit der Auslagerung des Luzerneanbaus in Verbindung mit der gesicherten und wirtschaftlich vorteilhaften Abnahme des Aufwuchses ist unverzichtbar für die Rentabilität des Verfahrens. Technisch und klimatisch gibt es keine besonderen Anforderungen an die Durchführung der Innovation und die benötigten Maschinen sind im Maschinenpark eines durchschnittlichen Ackerbaubetriebs vorhanden.

Sind diese Voraussetzungen erfüllt, kann die innovative Maßnahme „Luzerneverkauf und Kompostzukauf“ eine rentable Möglichkeit der Förderung der Bodenfruchtbarkeit sein.

3.2.3.6. Betrieb Ruesch – Direktsaat in Roggenmulchmatte

Beschreibung der Innovation

Als innovative Maßnahme wird Soja in Direktsaat in eine Roggenmulchmatte gesät. Der Betrieb umfasst 8 ha Weinberge und 55 ha Ackerflächen. Seit 1997 werden Sojabohnen angebaut. Die innovative Maßnahme wird vom Landwirtschaftlichen Technologiezentrum (LTZ) Augustenberg begleitet, das die Maschine zur Direktsaat bereitstellt und die gleiche Maßnahme auf ihren nach Bioland-Richtlinien bewirtschafteten Flächen in Müllheim durchführt.

Der Winterroggen wird als Zwischenfrucht angebaut, Mitte Mai gewalzt und im selben Arbeitsgang werden die Sojabohnen ausgesät. Die Aussaat für Soja im Standardverfahren erfolgt meist vier Wochen früher. Für den kombinierten Arbeitsgang walzen-sähen wurde dem Betrieb eine Kombination aus bodenangetriebenen Messerwalze im Frontanbau und einer Direkt drillsaatmaschine (Semeato TDNG 300M) im Heckanbau, beide mit einer Arbeitsbreite von 3m, kostenfrei von der LTZ für die Dauer des Versuchs zu Verfügung gestellt. Die Aussaatstärke von Soja ist mit 60 - 65 keimfähigen Körner/m² etwas höher als für das herkömmliche Anbauverfahren empfohlen. Zum Zeitpunkt der Sojabohnen-Aussaat sollte der Roggen bereits in der Vollblüte stehen. Die Roggenpflanzen werden von der Messerwalze flach auf den Boden gedrückt und zugleich gequetscht um ein Wiederaufrichten zu verhindern.

Für eine gute Ablage der Sojabohnensaat wird die Mulchschicht durch die Säscharre der Semeato geschnitten.

Die Erträge der Sojabohnen der Jahre 2014-2018 lagen zwischen 20 -27 dt/ha. Als Winterroggen wurde erst Grünroggen verwendet dann aber auf Speiseroggen umgeschwenkt. Die Verwendung von Speiseroggen hat den Vorteil, dass der Aufwuchs im Falle einer aus Witterungsbedingungen nicht möglichen Sojaaussaat stehen gelassen und als Marktfrucht gedroschen werden könnte. Außerdem ist das Saatgut des Speiseroggens bis zu einem Drittel günstiger als das von Grünroggen. Als nachteilig erwies sich die geringere Biomasse des Speiseroggens, die wahrscheinlich zu einer geringeren Unkrautunterdrückung geführt hat. Für diese Innovation fielen bisher keine Investitionskosten an, da die Semeato TDNG vom LTZ gestellt wird. Alternativ zur hier genutzten Semeato TDNG besteht die Möglichkeit des Umbaus eines Maissägerätes mit Rollscharen. Jedoch merkt der Landwirt an, dass er das Verfahren nicht weiterführen würde, wenn ihm das Gerät Semeato TDNG nicht kostenfrei zur Verfügung stehen würde (Ruesch 2019). Ein Vorteil der hier vorgestellten Innovation liegt in der wegfallenden Unkrautbekämpfung und Bodenbearbeitung und dem Erosionsschutz v.a. bei Nässe.

Ergebnis

Verglichen werden:

- Innovation (V1): Sojadirektsaat in eine Roggenmulchmatte mit
- Alternative (V2): Soja nach Senf als Zwischenfrucht und anschließender regulärer Bodenbearbeitung.

Beide Varianten bestehen aus zwei Kulturen: einer Haupt- und einer Zwischenfrucht. Um die Deckungsbeiträge der Innovation und der Alternative bewerten zu können, werden jeweils beide Kulturen in die Berechnungen einbezogen. Der Anbau des Winterroggens (V1) ist u.a. aufgrund des teureren Saatguts kostenaufwendiger im Vergleich zum Senfanbau im Standardverfahren (V2). Bei der Sojadirektsaat (V1) fällt der Arbeitsgang der Unkrautbekämpfung weg, was zu einem Kostenvorteil führt. Da jedoch der Soja-Ertrag geringer ausfällt als im Standardverfahren, wird dieser Kostenvorteil aufgehoben.

Der Deckungsbeitrag (DB) je ha des innovativen Verfahrens (V1) Sojadirektsaat in Roggenmulchmatte ist um 239 €/ha niedriger als der DB der Alternative (V2) Soja nach Senf als Zwischenfrucht. Als Soja-Ertrag wurde jeweils der Durchschnitt der Jahre 2015-16 herangezogen. Bei der Innovation wurde ein niedrigerer Ertrag beobachtet (23,8 dt in V1 im Vergleich zu 27,5 dt in V2), zusätzlich entstehen höhere Kosten für das Saatgut. Kostenersparnisse können bei V1 durch die nicht stattfindende Bodenbearbeitung und weitere Pflegemaßnahmen erzielt werden (Tabelle 29).

Tabelle 29: Direktsaat in Roggenmulchmatte: Leistungen und Kosten im Vergleich

	Innovative Maßnahme	Alternative Maßnahme	Differenz	
Leistungen und Kosten je ha Kultur	V1	V2	V1 - V2	
Summe Leistung	2.525	2.857	-332	€/ha
Summe Direktkosten	527	372	155	€/ha
Direktkostenfreie Leistung	1.998	2.284	-287	€/ha
Summe variable Kosten	717	609	108	€/ha
Deckungsbeitrag	1.807	2.047	-239	€/ha
Fixe Maschinenkosten	260	329	-68	€/ha
Fixe Lohnkosten	142	298	-156	€/ha
Summe Direkt- und Arbeitserledigungskosten	1.120	1.236	-116	€/ha
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	1.405	1.420	-15	€/ha
Arbeitserledigungskosten	593	864	-271	€/ha

Quelle: eigene Berechnungen nach Angaben der Betriebsleiter, KTBL (2019), LEL Schwäbisch Gmünd (2018), StoffBiV (2017) zitiert nach Bonney und Müller-Lindenlauf (2018), Lfl Bayern (2018), VDLUFA (2014) und BGK (2013)

Die Innovation V1 (Sojadirektsaat in Roggenmulchmatte) weist einen positiven Deckungsbeitrag in Höhe von 1.807€/ha auf. Dieser liegt um 239 €/ha unter dem DB der Alternative V2 (Soja nach Senf als Zwischenfrucht). Ausschlaggebend ist hier der Minderertrag in V1 um 12 %. Betrachtet man die langfristige Rentabilität und bezieht sowohl fixe Maschinen- als auch Lohnkosten mit ein, verringert sich diese Differenz auf 15 €/ha. In V1 kann aufgrund der unkrautunterdrückenden Wirkung der Roggenmulchmatte auf Pflegemaßnahmen verzichtet werden, was sich durch geringere Fixkosten zeigt. In der Berechnung wurde mit einem Lohn von 20 €/h für den Betriebsleiter gerechnet.

Beurteilung/ Diskussion

Es ist bisher noch nicht möglich, die tatsächlichen Investitionskosten für das benötigte Gerät zur Durchführung der Innovation zu berechnen. Für das Walzen des Roggens kann eine gewöhnliche Messerwalze genutzt werden. Jedoch gibt es momentan noch wenige Hersteller für Direktsaatmaschinen für Soja. Die hier genutzte Semeato TDNG wurde aus Brasilien importiert und diese Investition als Referenz für interessierte Landwirte zu betrachten, scheint fraglich. Der Ertrag beider Varianten schwankt sehr stark und so ist eine allgemeine Aussage aufgrund der vorliegenden Daten kaum möglich.

Relevant für die Wirtschaftlichkeit sind die Wahl der Roggensorte und deren Aussaatstärke. In der vorliegenden Berechnung wurde eine relativ teure Speiseroggensorte für 1 €/kg genutzt und mit 150 kg Saatgut/ha dichter als üblich gesät (Ruesch 2018). Eine günstigere Roggensorte und eine geringere Aussaatstärke vermindern die Kosten der V1, bergen aber

das Risiko eines zu weiten Roggenbestands und damit einer zu geringen Unkrautunterdrückung. Wird Grünroggen gesät entfällt zudem die Möglichkeit, im Falle eines nicht möglichen Sojaanbaus den Roggen als Speiseroggen zu dreschen.

Der tatsächliche Roggenertrag wurde nicht erfasst. Laut Haak et al. (2018) lag der Ertrag in der Regel bei unter 8 t TM. In der vorliegenden Berechnung wurde dieses Optimum, das bei 35 % TM-Gehalt (LEL Schwäbisch Gmünd 2018, zitiert nach Bonney und Müller-Lindenlauf 2018) einem Frischmasseertrag von 22,86 t/ha entspricht jedoch unterstellt. Die Ertragshöhe ist für die Berechnung der Humusersatzleistung von Bedeutung.

Folgende nicht-monetären Vorzüge der durchgeführten Innovation (Sojadirektsaat in Roggenmulchmatte) nennen Nußbaumer et al. (2014) und werden auch vom Betriebsleiter hervorgehoben (Ruesch 2019):

- Erosionsschutz des Bodens
- Förderung des Bodenlebens
- Humusaufbau durch reduzierte Bodenbearbeitung
- Vereinfachte Ernte durch das Gleiten des Schneidwerks auf der Roggenmulchmatte.
- Entzerrung von Arbeitsspitzen

Die Entzerrung von Arbeitsspitzen wurde als wichtiger Vorteil genannt, da durch die Nutzung der Innovation auf mehrmalige Unkrautbekämpfung verzichtet werden kann. Die Maschinenkosten der Arbeitsvorgänge wurden berücksichtigt, nicht jedoch der Wert der Entzerrung der Arbeitsspitzen an sich.

Als nachteilig hat sich bei dieser Innovation die Unvorhersehbarkeit der erfolgreichen Durchführung erwiesen:

- Durch verspätete Ernte der Sojabohnen kann es durch das vermehrte Auftreten von Herbstnebeln dazu kommen, dass die Körner so spät im Jahr nicht mehr abtrocknen und die Qualität der Sojabohnen dadurch vermindert wird.
- Der Sojaertrag fällt in der Regel etwas geringer aus.
- Eventuell kann es zu Verunreinigungen des Saatguts kommen, wenn viele Unkräuter oder Roggenpflanzen durch den Sojabestand wachsen.

Übertragbarkeit auf andere Betriebe

Der Betriebsleiter hat jahrelange Erfahrung mit dem Anbau von Soja. Die klimatischen Verhältnisse und die Nähe zu einem Verarbeiter sind ideale Voraussetzungen für den Anbau von Soja.

Die Übertragbarkeit auf Ackerbaubetriebe, die bereits Soja anbauen, wird vor allem durch die wenig entwickelte Direktsaattechnik im Bereich Sojadirektsaat erschwert. Sojadirektsaatmaschinen sind kaum verfügbar, zudem ist die Mulchschicht des Roggens für die wenigen gängigen Modelle zu dick. Passende Direktsaatmaschinen sind in Deutschland noch teuer oder überhaupt nicht verfügbar und müssen daher oftmals kostenintensiv importiert werden. Der Umbau eines Maissägers erweist sich ebenfalls als eher schwierig, da das dafür notwendige Wissen und die technische Ausstattung auf dem Betrieb vorhanden sein müssen.

Die Etablierung der Zwischenfrucht kann problematisch werden. Ein dichter Aufwuchs kann nur bei ausreichender Wasserversorgung erreicht werden, sodass sich für diese Innovation eher Betriebe ohne ausgeprägte Frühjahrstrockenheit eignen.

Die Arbeitseinsparung und Entzerrung von Arbeitsspitzen wiegt in Betrieben mit knapper Arbeitskapazität mehr als in Betrieben, die mit hoher Anzahl an Arbeitskraftstunden kalkulieren können.

Die Übertragbarkeit auf Ackerbaubetriebe im Allgemeinen ist vom Klima des Betriebs abhängig. Geeignet für den Sojaanbau sind nur Regionen mit relativ hohen Wärmesummen und eher geringem Risiko von Herbstnebel, der die Trocknung der Körner erschweren würde. Für den Anbau des Roggens als Zwischenfrucht ist wie bei allen Zwischenfrüchten eine gute Wasserverfügbarkeit vor allem im Frühjahr eine Voraussetzung. Vor dem Anbau von Speise-Soja sollte die Vermarktung sichergestellt sein.

Die Sojadirektsaat in eine Roggenmulchmatte ist nur in klimatisch vergleichbaren Regionen möglich. In diesen Fällen kann die Maßnahme eine rentable und nachhaltige Lösung für die Förderung der Bodenfruchtbarkeit im viehlosen Öko-Betrieb sein.

3.2.3.7. Betrieb Wais – Winterleguminosen

Beschreibung der Innovation:

Die Innovation auf diesem Betrieb ist der Anbau von Leguminosen als Winterzwischenfrucht (WZF) vor Brokkoli. Es werden Ackerbohnen sowie Erbsen genutzt. In dieser Berechnung werden die Jahre 2015-2017 untersucht in denen ausschließlich Ackerbohnen angebaut wurden. Auf dem Betrieb werden 10 Mutterkühe plus Nachzucht sowie Pferde gehalten, das entspricht einer Viehbesatzdichte von ca. 0,6 GVE/ha.

Nach Getreide-, Strohernte und Stoppelbearbeitung wird leicht kompostierter Stallmist zur Flächenrotte appliziert. Vor der Aussaat der Winterackerbohnen Ende September wird ein Arbeitsgang zur Bodenbearbeitung (Unkrautbekämpfung) durchgeführt, z.B. durch einmaliges flaches Grubbern oder Eggen. Im Frühjahr wird der Aufwuchs mit einer Scheibenegge oder Fräse flach gemulcht und anschließend mit einem Tiefgrubber (15 cm) eingearbeitet. Da die fehlende Frostgare den Boden grober hinterlässt muss die anschließende Pflanzbettbereitung intensiver erfolgen als bei der Standardvariante mit Winterfurche. Um einen ausreichend feinkrümeligen Boden zu erhalten folgt zweimaliges Fräsen mit einer Beetfräse. Dann folgen die Pflanzung und Hornmehlgaben (Biofa Handelsdünger) von insgesamt ca. 120 kg N/ha. Der Pflegeaufwand im innovativen Verfahren fällt aufgrund der unkrautunterdrückenden Wirkung der Winterbegrünung entsprechend geringer aus.

Standardmäßig wird auf dem Betrieb zusätzlich das Verfahren „Brokkolianbau nach Sommerzwischenfrucht“ durchgeführt. Hier wird die Sommerzwischenfrucht (Sommerackerbohnen in einer Mischung mit Erbsen, Wicke, Buchweizen, Sonnenblume und Phacelia) ohne erneute vorherige Bodenbearbeitung zur Unkrautbekämpfung im Herbst des Vorjahres gesät. Anschließend folgen die Arbeitsvorgänge flaches Fräsen zur Flächenrotte und im Spätherbst das Pflügen, das die gewünschte Frostgare des Bodens ermöglicht, wodurch eine im Vergleich zur innovativen Maßnahme weniger intensive Pflanzbettbereitung erfolgt. Dann folgen die Pflanzung und Hornmehlgaben (Biofa Handelsdünger) von insgesamt ca. 150 kg N/ha. Dies entspricht 30kg N/ha mehr als im innovativen Verfahren.

Der Betriebsleiter bewertet die höhere N-Fixierung der WZF und den geringeren N-Verlust über Winter als positiv, unterstreicht jedoch die Notwendigkeit von genügend Niederschlag um Ertragseinbußen bei dem darauffolgenden Brokkolianbau zu verhindern (Wais 2019).

Bei dieser Innovation sind keine Investitionen notwendig. Auf die weiteren Kulturen des Betriebs hat die innovative Maßnahme keinen Einfluss. Arbeitsgänge in den Kulturen werden standardmäßig mit 100 PS bzw. bei Gemüsekulturen mit 85 PS Maschinen durchgeführt.

Ergebnis

Verglichen wird

- Innovation (V1): Leguminosen als Winterzwischenfrucht vor Brokkoli
- Alternative (V2): Sommerzwischenfrucht vor Brokkoli

Innerhalb der beiden Varianten wurden die Kosten und Leistungen des Zwischenfruchtanbaus sowie des Brokkolianbaus jeweils einzeln betrachtet und anschließend als gesamtes Verfahren bewertet.

Insgesamt weisen sowohl die Innovation als auch die Alternative einen positiven Deckungsbeitrag auf (DB V1: 7.573 €/ha; V2: 7.775 €/ha). Die Innovation ist sowohl kurz- als auch langfristig weniger rentabel als die Alternative (Tabelle 30). Die hohen Saatgutkosten der Winterackerbohnen sowie ein höherer Aufwand für die Pflanzbettbereitung aufgrund der fehlenden Frostgare in V1 werden durch die hohe Zufuhr an Nährstoffen und Humus-C, die geringeren Düngekosten und weniger Unkrautbekämpfung in der Folgefrucht nicht ausgeglichen. Die fixen Lohnkosten werden im DB nicht betrachtet sind jedoch um 470 €/ha höher als in der Standardvariante, da die Maßnahme sehr arbeitsintensiv ist. Dies führt zu einer deutlich höheren Differenz bei Betrachtung der DAL (739 €/ha zu Gunsten der Alternative V2) (Tabelle 30).

Tabelle 30: Leguminosen als Winterzwischenfrucht vor Brokkoli: Leistungen und Kosten im Vergleich

	Innovative Maßnahme	Alternative Maßnahme	Differenz	
Leistungen und Kosten je ha Kultur	V1	V2	V1 - V2	
Summe Leistung	16.274	16.480	-206	€/ha
Summe Direktkosten	6.214	6.305	-91	€/ha
Direktkostenfreie Leistung	10.060	10.175	-115	€/ha
Summe variable Kosten	8.700	8.704	-4	€/ha
Deckungsbeitrag	7.573	7.775	-202	€/ha
Fixe Maschinenkosten	1.063	996	68	€/ha
Fixe Lohnkosten	1.611	1.141	470	€/ha
Summe Direkt- und	11.374	10.841	534	€/ha
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie	4.899	5.639	-739	€/ha
Arbeitserledigungskosten	5.161	4.536	624	€/ha

Quelle: eigene Berechnungen nach Angaben der Betriebsleiter, KTBL (2019), LEL Schwäbisch Gmünd (2018), StoffBiIV (2017) zitiert nach Bonney und Müller-Lindenlauf (2018), Lfl Bayern (2018), VDLUFA (2014) und BGK (2013)

Beurteilung/Diskussion

Nicht alle Nährstoff- und Humusersatzwerte sind für die beiden untersuchten Varianten verfügbar und so konnte der Humusersatzwert des Saatguts der Winterackerbohnen sowie der Haarmehlpellets nicht berücksichtigt werden. Einige positive Auswirkungen der Winterbegrünung sind zudem erst langfristig erkennbar und schwer zu berechnen.

Die nicht-monetären Vorzüge von Winterzwischenfrüchten im Allgemeinen gelten auch für die durchgeführte Innovation (Leguminosen als Winterzwischenfrucht). Die folgenden positiven Auswirkungen (Hubbard et al. 2013) konnten nicht in die Berechnungen eingehen. Die Vorteilhaftigkeit wurde auch vom Betriebsleiter (Wais 2019) hervorgehoben:

- Erosionsschutz
- Stärkerer Humusaufbau
- Förderung des Bodenlebens
- Grundwasserschutz
- Entzerrung von Arbeitsspitzen

Die wirtschaftliche Unterlegenheit der Innovation mit Winterackerbohnen wurde vom Betriebsleiter selbst bereits erkannt und es wurde mit einem Umstieg auf Wintererbsen reagiert. Wintererbsen sind witterungsunempfindlicher als Ackerbohnen und haben im betrachteten Betrieb mit dichterem Bestand und mehr Biomasse abgeschnitten. Bei Berechnung der zuletzt auf dem Betrieb durchgeführten Wintererbsen ist die Rentabilität im Vergleich zur Ackerbohnen weitaus höher und vergleichbar mit der Rentabilität der Alternative.

Übertragbarkeit auf andere Betriebe

Voraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung der Maßnahme ist das Wissen um die Standorteigenschaften sowie um die Besonderheiten des Wintererbsen- bzw. Winterackerbohnenanbaus. Die Durchführung der Maßnahme bringt einige pflanzenbauliche Herausforderungen mit sich. Eine theoretische Auseinandersetzung mit den verschiedenen Komponenten im Voraus ist unbedingt erforderlich. Laut Betriebsleiter ist die Methode im Allgemeinen als eher schwierig und die Umsetzung als herausfordernd zu bewerten (Wais 2019). Ein regelmäßiges Monitoring des Winterleguminosenbestandes hilft die Entwicklung der Maßnahme bewerten und gegebenenfalls anpassen zu können.

Klimatisch sind vor allem eine gute Wasserversorgung der Winterleguminosen während Blüte und Ansatz der Hülsen wichtig und diese sollte wie bei allen Zwischenfrüchten auch für die nachfolgende Frucht gewährleistet sein. Investitionen zur Durchführung der Innovation müssen voraussichtlich kaum bzw. nicht getätigt werden, da die benötigten Maschinen zur Bodenbearbeitung, Aussaat und Mulchen auf den meisten Betrieben vorhanden sein dürften. Die Saatgutverfügbarkeit von Wintererbsen ist im Allgemeinen gut, die Saatgutverfügbarkeit von Ackerbohnen ist schwankend. Der monetäre Wert des Ackerbohnsaatguts aus Eigenherstellung konnte in diesem Betrieb aufgrund des schwankenden Anbauerfolgs nicht berechnet werden. Eine erfolgreiche Eigenproduktion des Ackerbohnsaatguts würde sich positiv auf die Leistungs- und Kostenrechnung auswirken, sodass die Innovation auf günstigen Standorten ökonomisch rentabel sein kann. Auf dem betrachteten Betrieb wird als Folgefrucht Brokkoli angebaut, es kann jedoch jede andere Folgefrucht gewählt werden, sofern die üblichen Anbaupausen beachtet werden. Der höhere Arbeitsaufwand kann nur mit genügend Arbeitsstundenkapazität bewerkstelligt werden. Die Übertragbarkeit auf andere ökologische Ackerbaubetriebe ist als eher schwierig zu bewerten. Sind die genannten Voraussetzungen gegeben, kann die Maßnahme erfolgreich zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit beitragen.

3.2.3.8. Betrieb Kränzler – Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment

Beschreibung der Innovation

Als innovative Maßnahme werden Zwischenfruchtbestände mittels Flächenrotte unter Einsatz von z.T. selbsthergestellten und z.T. erworbenen Fermenten sehr flach in den Boden eingearbeitet.

Ziel der Pflanzenstärkungsmittel ist es bei der Rotte u.a. durch die enthaltenen Milchsäurebakterien Fäulnis zu verhindern, das Bodenleben zu fördern, Nährstoffe zu konservieren und diese über einen längeren Zeitraum nach und nach wieder an den Boden abzugeben. Für das selbsthergestellte Pflanzenstärkungsmittel werden bestimmte Rohstoffe auf dem Betrieb fermentiert. Für das zugekaufte Pflanzenstärkungsmittel „Die Lösung: Herbst“ werden vom Hersteller Agroto GmbH nach eigenem Rezept bestimmte Rohstoffe fermentiert und in konzentrierter, flüssiger Form veräußert (Agroto GmbH 2019).

Es werden im Schnitt 80 l/ha des selbst hergestellten Ferments benötigt. Je nach Verfügbarkeit wird das Ferment zusätzlich zu den Acker-Kulturen und in das Güllelager ausgebracht. Für die Herstellung von 1.000 l Ferment werden folgende Rohstoffe verwendet (Tabelle 31):

Tabelle 31: Zusammenstellung der Kosten für die Herstellung von 1000l Ferment

Eingehende Substrate	Kosten
40 l Zuckerrohrmelasse	32 €
30 l EM (Effekt. Mikroorganismen)	48 €
1000 l Wasser (warm)	30 €
1 kg Salz	5 €
3 h AKh	60 €
20 m ² Raum	50 €
Kräuter	0 €
Gesamt	225€

Quelle: eigene Datenerhebung nach Angaben von Kränzler (2019)

Die Herstellung des Ferments erfolgt in alten Milchtanks. Die Rohstoffe werden zur Fermentation vermischt und luftdicht verschlossen. Ist der pH-Wert 3,8 oder niedriger, ist die Fermentation abgeschlossen und das Ferment bereit für die Ausbringung. Dem Rohstoff „Kräuter“ wurden keine Kosten zugewiesen, da der Bezug der Kräuter über eine Kooperation mit einem Hersteller für biodynamische Kräuterprodukte erfolgt. Dieser darf im Gegenzug auf den Wiesen des Betriebs andere Kräuter sammeln. Verglichen wird die Ausbringung des selbsthergestellten Ferments mit dem Handels-Ferment „die Lösung: Herbst“ (AGROTO GmbH 2019), das dem Betriebsleiter vom Hersteller kostenfrei zu Verfügung gestellt wird.

Ende Juli 2018 wurde nach Winterweizen auf einer Fläche von 1,2 ha 54 kg/ha Biodiversitätsgemenge „Camena“ (290 €/100kg) mit Traktor (240 PS) und Sämaschine (6 m) in 0,36 h/ha ausgesät und mit Traktor (100 PS) und Walze (6 m) in 0,61 h/ha gewalzt. Dieser Schlag wurde mittels Precision Farming Technik streifenweise bearbeitet, mit den Varianten:

- keine Ausbringung von Fermenten,
- Ausbringung des selbst hergestellten Ferments und

- Ausbringung des kostenlos zur Verfügung gestellten Ferments „die Lösung: Herbst“ (AGROTO GmbH).

Im November wurde der Aufwuchs mit einer Ackerfräse in Heckanbau (6 m, Anschaffungskosten 38.400 €) stark zerkleinert gefräst und mit Erde durchmischt. Im gleichen Arbeitsgang wurde das Ferment mit einer umgebauten Spritze (6 m, 4.500 €) im Frontanbau ausgebracht.

Ergebnis

Verglichen werden

- Innovation 1 (V 1.1): Zwischenfruchtanbau mit Flächenrotte und Ausbringung von Ferment aus Eigenherstellung
- Innovation 2 (V 1.2): Zwischenfruchtanbau mit Flächenrotte und Ausbringung von zugekauftem Ferment „Die Lösung: Herbst“
- Alternative (V2): Zwischenfruchtanbau mit Flächenrotte ohne Pflanzenstärkungsmittel

Da sich die Varianten nur in der Verwendung des Ferments unterscheiden, würden zum direkten Vergleich die Herstellungskosten bzw. die Kosten des Kaufpreises genügen. Um die Rentabilität des gesamten Verfahrens abschätzen zu können, und um die Vergleichbarkeit zwischen den Betrieben zu erleichtern, finden die wirtschaftlichen Faktoren des Zwischenfruchtanbaus selbst ebenfalls Berücksichtigung.

Das verwendete Pflanzenstärkungsmittel „Die Lösung: Herbst“ der AGROTO GmbH wurde kostenlos zu Verfügung gestellt, wird aber im Vergleich mit dem aktuellen Verkaufspreis von 178,5 €/10 l (AGROTO GmbH 2019) berechnet.

Der Deckungsbeitrag (DB) des Zwischenfruchtanbaus ohne Berücksichtigung der Folgekultur ist naturgemäß negativ und unterscheidet sich zwischen den Varianten nur durch die Kosten der Produktionsmittel (Tabelle 32). Die Ausbringung des Ferments wird in Kombination mit dem Arbeitsgang „Einfräsen“ durchgeführt. Dieser Arbeitsgang wird bereits beim Zwischenfruchtanbau berücksichtigt, daher fallen keine Maschinenkosten für die Ausbringung des Ferments an. Die Herstellung des Ferments ist arbeitsaufwendig.

Kurzfristig betrachtet sind die beiden Varianten der innovativen Maßnahme V1.1 und V1.2 mit einem DB von 106 €/ha bzw. 136 €/ha wirtschaftlich als rentabel zu beurteilen (Tabelle 32). Die Leistung in Form der monetären Humusersatzwerte wiegt die variablen Kosten mehr als auf. Die nicht berücksichtigten monetären Vorteile der Innovation werden im Diskussionsteil näher beschrieben. Die Leistung in V2 besteht ebenfalls nur aus Humusersatzwert der Gründüngung und ist gleich hoch wie in V1.1 und V1.2. Durch die Anwendung der Fermente selbst in V1.1 und V1.2 konnte keine monetäre Leistung, durch z.B. Nährstoffzufuhr, berücksichtigt werden. Die variablen Kosten der Varianten V1.1 und V1.2 sind etwas höher als in V2, sodass insgesamt ein um 13 €/ha bzw. 17 €/ha geringerer Deckungsbeitrag berechnet wird.

Betrachtet man die langfristigen fixen Kosten, die in der DB-Berechnung nicht mit eingehen, ist festzuhalten, dass V1.1 durch die Herstellung des Ferments etwas arbeitsaufwendiger ist als V1.2 (Zukauf des Ferments „Die Lösung“) und V2 (Keine Ausbringung von Ferment). Langfristig betrachtet sind beide Maßnahmen ökonomisch nicht rentabel, wobei auch hier die Rentabilität der Innovation der Rentabilität der Alternative unterliegt. Die langfristigen Leistungen, die monetär nicht bewertet werden konnten, werden ebenfalls im Diskussionsteil beschrieben.

Tabelle 32: Zwischenfruchtanbau mit Flächenrotte und Ausbringung von Ferment: Leistungen und Kosten im Vergleich

Leistungen und Kosten je ha Kultur/ Maßnahme	Innovative Maßnahme		Alternative Maßnahme	Differenz		
	V1.1	V1.2	V2	V1.1-V2	V1.2-V2	
Summe Leistung	319	319	319	0	0	€/ha
Summe Direktkosten	159	163	146	13	17	€/ha
Direktkostenfreie Leistung	160	156	173	-13	-17	€/ha
Summe variable Kosten	213	217	200	13	17	€/ha
Deckungsbeitrag	106	102	119	-13	-17	€/ha
Fixe Maschinenkosten	73	73	73	0	0	€/ha
Fixe Lohnkosten	46	46	41	5	5	€/ha
Summe Direkt- und Arbeiterledigungskosten	332	336	314	18	22	€/ha
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung	-13	-17	5	-18	-22	€/ha
Arbeiterledigungskosten	173	173	168	5	5	€/ha

Quelle: eigene Berechnungen nach Angaben der Betriebsleiter, KTBL (2019), LEL Schwäbisch Gmünd (2018), StoffBiV (2017) zitiert nach Bonney und Müller-Lindenlauf (2018), Lfl Bayern (2018), VDLUFA (2014) und BGK (2013)

Beurteilung/Diskussion

Die monetäre Bewertung der Herstellung des Ferments ist schwierig. Die Daten sind zum Teil geschätzt und eine genauere Dokumentation aller Kosten wäre sehr aufwendig. Der Betriebsleiter nutzt zur Vermischung und Behandlung des Ferments zwei alte Milchtanks in einem Raum der ebenfalls bereits vorhanden war. Außerdem wurde der Ab- und Aufbau des Fermenttanks auf den Schlepper nicht berücksichtigt. Ein höherer Ertrag in den Streifen, auf denen das Ferment ausgebracht wurde, konnte im Versuchszeitraum nicht beobachtet werden. Die Wirkung des selbsthergestellten Ferments sowie des Ferments „Die Lösung: Herbst“ auf die Zersetzung des Mulchmaterials wurde vom Betriebsleiter jedoch als sehr gut beschrieben. Beim selbst hergestellten Ferment wurde vom Betriebsleiter eine schnellere Verrottung des Mulchmaterials beobachtet. Eine damit verbundene stärkere Förderung des Bodenlebens und der Bodenstruktur bei der Maßnahme mit selbst hergestelltem Ferment könnte eine Ertragssteigerung der Folgekulturen bewirken, die zu Ungunsten der Innovation nicht in die Berechnung eingehen konnte. Der Betriebsleiter sieht bei langfristiger Betrachtung eine Ertragssteigerung durch die Ausbringung der Fermente im Vergleich zur Flächenrotte ohne Fermente als wahrscheinlich an.

Zu den möglichen nicht-monetären Vorzügen der Fermente existieren noch keine belastbaren Ergebnisse. Laut Betriebsleiter sind die Vorteile zu sehen in (Kränzler 2019):

- Förderung des Bodenlebens
- Veränderter Humusaufbau
- Geringerer N-Verlust nach Einfräsen
- Geringere N₂-Emissionen

Das in V 1.2 genutzte Produkt „Die Lösung: Herbst“ unterscheidet sich in seiner Zusammenstellung vom selbsthergestellten Ferment. „Die Lösung: Herbst“ besteht aus verschiedenen Kräutern, biologisch aktivem Kalk und Hornmistpräparat und wird ebenfalls fermentiert. Die genaue Rezeptur und Herstellungsweise ist nicht bekannt und eine eventuell höhere Ertragssteigerung kann nicht berücksichtigt werden. Da die Menge an Zuckerrohrmelasse je Hektar sehr gering ist, wurde deren Beitrag zu den Nährstoff- und Humussalden nicht berücksichtigt.

Übertragbarkeit auf andere Betriebe

Klimatisch ist der Anbau von Zwischenfrüchten immer an eine ausreichende Wasserversorgung gebunden um bei der Folgefrucht keine Ertragseinbußen durch Wasserknappheit zu bewirken.

Der betrachtete Betrieb ist technisch sehr breit aufgestellt und nutzt für die Durchführung des Versuchs u.a. Methoden des Precision Farming. Diese technische Ausstattung ist jedoch nicht zwingend notwendig und für die Ausbringung der Fermente sind die Maschinen, die standardmäßig auf einem durchschnittlichen Ackerbaubetrieb vorhanden sind, ausreichend.

Für die Herstellung des Ferments sind ein Raum, große, isolierte Behälter sowie geeignete Werkzeuge zur Durchmischung nötig. Ebenso muss genügend Arbeitskapazität, handwerkliches Geschick und Experimentierfreude vorhanden sein. Die Fermentation hat die Vermehrung gewünschter Mikroorganismen zum Ziel. Dies macht eine hygienische Arbeitsweise erforderlich. Sind diese Voraussetzungen erfüllt, ist die Maßnahme gut auf andere Betriebe übertragbar.

3.2.3.9. Betrieb Petrik – Leguminosendichtsaa

Beschreibung der Innovation:

Als innovative Maßnahmen werden abwechselnd Wintererbsen in Normalsaat und Ackerbohnen in Dichtsaa vor Kohl angebaut. Der Anbau von Winterleguminosen in Normalsaat wird bereits auf einem anderen Betrieb untersucht, sodass hier nur auf die Ackerbohrendichtsaa eingegangen wird.

Nach der Bodenbearbeitung mit einem Grubber (2,5 m Arbeitsbreite, ca. 2 ha/h Leistung) werden Mitte März 800 kg/ha Ackerbohnen (Sorte „Bioro“, 1,50 €/kg) mit Sämaschine (2,5 m Arbeitsbreite, ca. 1,5 ha/h Leistung) ausgesät. Vor der Pflanzung wird der Leguminosen-Aufwuchs gemulcht, zweimalig flach gegrubbert und das Pflanzbett. Für die Berechnungen wurden die durchschnittlichen Werte der beiden Varianten genutzt.

Für die Durchführung der Innovation mussten keine Investitionen getätigt werden.

Ergebnis

Verglichen wird

- Innovation (V1): Leguminosendichtsaa als Frühjahrswinterfrucht
- Alternative (V2): Erweiterte Düngung mit Handelsdünger

Für die wirtschaftliche Rentabilität des innovativen Verfahrens (V1) sind als Leistungen nur die Nährstoff- und Humusersatzwerte relevant, die direkt durch die Maßnahme entstehen. Dazu gehört die N-Fixierungsleistung der Leguminose und der N-Gehalt des Saatguts. Die N-Fixierungsleistung hängt von der Entwicklung des Bestands ab.

Der Betriebsleiter rechnet mit einer N-Zufuhr durch die Leguminosendichtsaat von durchschnittlich 32,5 kg N/ha. Die geschätzte N-Zufuhr setzt sich aus N-Fixierung und N-Gehalt des Saatguts zusammen. Dies entspricht einer Düngermenge des Handelsdüngers Bioagensaol mit 6% N um 514 kg/ha. Diese Mehrdüngung wird als Alternative zur innovativen Maßnahme berechnet. Die vom Betriebsleiter geschätzte N-Zufuhr durch Leguminosendichtsaat unterscheidet sich jedoch stark von den entsprechenden Standarddaten der Literatur. Aus Gründen der Einheitlichkeit werden in der Leistungs- und Kostenrechnung die Standarddaten des LEL Schwäbisch Gmünd (2018) und der StoffBilV (2017, zitiert nach Bonney und Müller-Lindenlauf 2018) zur N-Zufuhr genutzt. Die Einschätzung des Betriebsleiters dient allein als Grundlage für die Berechnung der Reduzierung des Düngemittels in V1. Hierdurch ergeben sich unterschiedliche N-Zufuhren durch die Durchführung der innovativen und der alternativen Maßnahme. Die durchschnittliche N-Zufuhr aus N-Fixierung und N-Gehalt des Saatguts der Ackerbohnen beträgt 95 kg N/ha. Hier ist anzumerken, dass nur Daten zur N-Zufuhr aus symbiotischer N-Fixierung für standardmäßigen Ackerbohnen in Normalsaat verfügbar sind und die veranschlagte Ertragshöhe von 250 dt/ha auf Schätzungen beruht. Für Dichtsaaten sind weder einheitliche Werte zu Durchschnittserträgen noch darauf basierende N-Fixierungsleistung des Bestandes verfügbar. Die N-Zufuhr durch das Saatgut wurde für die eingesetzten Mengen von 800 kg bei Ackerbohrendichtsaat berechnet.

Beide Maßnahmen, die Innovation und die Alternative, werden isoliert betrachtet, d.h. die Kosten und Leistungen der eigentlichen Hauptfrucht werden nicht berücksichtigt. Bei beiden Verfahren wurden die Nährstoff- und Humusersatzwerte den Kosten gegenübergestellt und so wird die Leistung der Leguminosendichtsaat in Form eines hohen N- und Humusersatzwertes deutlich.

Tabelle 33: Leguminosendichtsaat als Frühjahrswischenfrucht 2: Leistungen und Kosten im Vergleich

	Innovative Maßnahme	Alternative Maßnahme	Differenz	
Leistungen und Kosten je ha Kultur/ Maßnahme	V1	V2	V1-V2	
Summe Leistung	924,31	201	724	€/ha
Summe Direktkosten	967,20	430	537	€/ha
Direktkostenfreie Leistung	-42,89	-229	186	€/ha
Summe variable Kosten	1.064,33	433	631	€/ha
Deckungsbeitrag	-140,01	-232	92	€/ha
Fixe Maschinenkosten	70,47	4	67	€/ha
Fixe Lohnkosten	91,00	8	83	€/ha
Summe Direkt- und Arbeiterledigungskosten	1.225,80	445	781	€/ha
Direkt- und arbeiterledigungskostenfreie Leistung	-301,48	-244	-57	€/ha
Arbeiterledigungskosten	258,60	15	244	€/ha

Quelle: eigene Berechnungen nach Angaben der Betriebsleiter, KTBL (2019), LEL Schwäbisch Gmünd (2018), StoffBiIV (2017) zitiert nach Bonney und Müller-Lindenlauf (2018), Lfl Bayern (2018), VDLUFA (2014) und BGK (2013)

Die Leistung der Leguminosendichtsaat in Form von N, P, K- und Humusersatzwerten übersteigt die Leistung der erweiterten Düngung. Die variablen Kosten in V1 sind jedoch fast doppelt so hoch wie die variablen Kosten in V2. Da die höhere Leistung in V1 die höheren Kosten mehr als aufwiegt ist V1 mit einem um 92 €/ha höheren DB im Vergleich mit V2 als ökonomisch rentabel zu bewerten. Die fixen Maschinen- und Lohnkosten sind in V1 höher als in V2. Die DAL in V2 übersteigt die DAL in V1 um 57 €/ha. Vor dem Hintergrund einer Vielzahl geschätzter Daten ist diese Differenz zu vernachlässigen. Insgesamt sind beide Verfahren als gleich rentabel zu bewerten.

Beurteilung / Diskussion

Die durch Literatur verfügbaren Werte zu N-Zufuhr durch Leguminosendichtsaat sind sehr unterschiedlich. Laut Düngeverordnung (DüV) beträgt der Mindestabschlag für nicht-abfrierende Leguminosen die im Frühjahr eingearbeitet werden 40 kg N/ha (DüV 2017). Diese Angabe gilt jedoch für Leguminosen in Normsaat. Nach LEL Schwäbisch Gmünd 2018 (zitiert nach Bonney und Müller-Lindenlauf 2018) kann mit einer symbiontischen N-Fixierung von 50 kg N/t Kornertrag für Ackerbohnen gerechnet werden. In der StoffBiIV wird für Ackerbohnen als Ganzpflanze eine N-Fixierung von 3,8 kg/t FM veranschlagt. In dieser Berechnung wurde auf letztere zurückgegriffen. Da bei einer Dichtsaat bereits durch das Saatgut erhebliche Mengen an N zugeführt werden muss diese ergänzt werden. Es wird mit N-Gehalten des

Saatguts von 4,5 % bzw. 5 % gerechnet (LEL Schwäbisch Gmünd 2018 zitiert nach Bonney und Müller-Lindenlauf 2018). Vor allem zur genaueren Bestimmung der N-Fixierung bei Dichtsaat von Leguminosen bedarf es weiterer Forschung.

Es sind keine Daten für den Humusersatzwert des Saatguts verfügbar. Die Stickstofflieferung der Leguminosendichtsaat schwankt mit deren Entwicklung, welche wiederum von der Witterung und anderen Faktoren abhängt.

Die nicht-monetären Vorzüge von Zwischenfrüchten im Allgemeinen gelten auch für die durchgeführte Innovation. Die folgenden positiven Auswirkungen (Hubbard et al. 2013) konnten nicht in die Berechnungen eingehen. Die Vorteilhaftigkeit wurde auch vom Betriebsleiter (Petrik 2019) hervorgehoben:

- Besserer Humusaufbau
- Bessere Bodenstruktur zum Pflanztermin
- Förderung des Bodenlebens
- Bodenschutz durch Begrünung
- Grundwasserschutz
- Entzerrung von Arbeitsspitzen
- Weniger Nährstoffverluste

Die Düngewirkung des Handelsdüngemittels ist besser vorhersehbar als die der Innovation, da die tatsächliche N-Fixierung der Leguminosendichtsaat von der Bestandsentwicklung abhängt und damit witterungsbedingten Schwankungen unterliegt. Die nicht-monetären Vorzüge der V2 (Erweiterte Düngung mit Handelsdünger Bioagenasol), die vom Hersteller angegeben werden, sind wissenschaftlich bisher nicht belegt. Einen Ertragsrückgang im Kohl nach Leguminosendichtsaat hält der Betriebsleiter für sehr unwahrscheinlich. Es wurde eher eine Ertragssteigerung beobachtet.

Übertragbarkeit auf andere Betriebe

Voraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung der Maßnahme ist das Wissen um die Standorteigenschaften sowie um die Besonderheiten des Ackerbohnenanbaus. Die Durchführung der Maßnahme bringt einige pflanzenbauliche Herausforderungen mit sich. Eine theoretische Auseinandersetzung mit den verschiedenen Komponenten im Voraus ist unbedingt erforderlich. Ein regelmäßiges Monitoring des Leguminosenbestandes hilft die Entwicklung der Maßnahme bewerten und gegebenenfalls anpassen zu können.

Klimatisch ist vor allem eine gute Wasserversorgung der Leguminosen während Blüte und Ansatz der Hülsen wichtig. Eine gute Wasserversorgung sollte, wie bei allen Zwischenfrüchten, auch für die nachfolgende Frucht gewährleistet sein. Eine geeignete Saattiefe der Ackerbohnen trägt dazu bei, die Wasserversorgung zu sichern (min. 6 cm eher 8 cm).

Investitionen fallen kaum oder gar nicht an, da die benötigten Maschinen zur Bodenbearbeitung, Aussaat und Mulchen auf den meisten Betrieben vorhanden sein dürften. Die Saatgutverfügbarkeit von Ackerbohnen im Allgemeinen eher schwankend. Auf dem hier betrachteten Betrieb wird als Folgefrucht Kohl angebaut, es kann jedoch jede andere Pflanzkultur als Folgefrucht gewählt werden, sofern die üblichen Anbaupausen beachtet werden. Der höhere Arbeitsaufwand, den jede Zwischenfrucht mit sich bringt, kann nur mit genügend Kapazität eventuell in Form von Saisonarbeitskräften bewerkstelligt werden.

Die Übertragbarkeit auf andere ökologische Ackerbaubetriebe ist als eher schwierig zu bewerten. Sind die genannten Voraussetzungen gegeben, kann die Maßnahme erfolgreich zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit beitragen.

3.2.4. Ergebnisse der Linearen Programmierung

Mittels linearer Programmierung wird anhand der Innovationen eines Betriebes exemplarisch untersucht, ob die Durchführung der beiden innovativen Maßnahmen „Komposteinsatz“ und „Kleeegrastransfer“ wirtschaftlich rentabel und im jeweiligen Betrieb eingebettet, möglich sind. Dieser Teil des Projekts wurde im Rahmen einer eigenen Studie durchgeführt. Im Folgenden werden die Vorgehensweise sowie die Ergebnisse in verkürzter Form dargelegt. Eine ausführliche Beschreibung der Studie und zugehörige Tabellen und Berechnungen können in Francksen (2020) nachgelesen werden. Ausgewählte Tabellen befinden sich zudem in Anhang 7.2. Um die Rentabilität der gesamten Fruchtfolge zu berechnen, werden die Produktionsverfahren des Betriebs so zusammengestellt, dass bei Einhaltung der betriebsspezifischen Restriktionen (z.B. verfügbare Arbeitszeit, Flächen, Fruchtfolgerestriktionen, etc.), der Gesamtdeckungsbeitrag maximiert wird. Zusätzlich werden Informationen über die größten Herausforderungen ausgewiesen. In zwei weiteren Szenarien werden die alternative Standardmaßnahme der Rindermistdüngung sowie Optimierungsmöglichkeiten durch eine Zertifizierung als biozyklisch-veganer Betrieb untersucht. Jedes Szenario wird zudem in zwei Varianten bezüglich der Humusbegrenzungen durchgeführt.

3.2.4.1. Szenario 1 – Basisszenario

Szenario 1 stellt möglichst wirklichkeitsgetreu die aktuelle Situation des Betriebs dar. Dieses Szenario dient als Ausgangspunkt für die weiteren Szenarien. Für die Erstellung des optimalen Produktionsprogramms zur Maximierung des Gesamtdeckungsbeitrags werden alle relevanten Kulturen, die Düngeverfahren sowie die verfügbaren staatlichen Zahlungen abgebildet. Nebenbedingungen ergeben sich aus Fruchtfolgebegrenzungen, den Auflagen durch die Cross-Compliance, verfügbaren Arbeitskraftstunden und Humussalden sowie den Nährstoffsalden der Hauptnährstoffe N, P₂O₅ und K₂O und sind als verfügbare Kapazitäten zu verstehen, die dem gesamten Betrieb jährlich zu Verfügung stehen. Weitere Nährstoffe werden nicht betrachtet. Die Nährstoffbilanzen wurden als Gleichungen programmiert. Der Humussaldo richtet sich nach den VDLUFA Versorgungs-Klassen für Humus (Ebertseder et al., 2014) und erlaubt einen jährlichen Überschuss von bis zu 300 kg C_{org}/ha jedoch keinen negativen Saldo. Die Grünlandflächen werden hier nicht berücksichtigt. Die Humusmehrung auf Grünlandflächen kann nicht ohne weiteres auf die Ackerkulturen transferiert werden. Aufgrund der langjährigen Nutzung als Grünland kann zudem von einem Gleichgewicht zwischen humusmehrenden und -abbauenden Prozessen ausgegangen werden. Weitere Nebenbedingungen ergeben sich für die Mengen an Kleegrasaufwuchs, Kompost und Pferdemit. Diese Kapazitäten können nur in der Höhe genutzt werden, die in der Lösung des Produktionsprogramms durch die jeweils liefernde Kultur generiert werden. Es werden nur Kapazitäten betrachtet, die für die Pflanzenproduktion direkt relevant sind. Allgemeine Ressourcen wie Gebäude werden nicht berücksichtigt. Analog werden nur Verfahren berücksichtigt, die mit der Pflanzenproduktion des Betriebs in Verbindung stehen. Dies schließt u.a. Tätigkeiten zur Betriebsführung aus. Szenario 1 stellt das optimale Produktionsprogramm mit allen beschriebenen Restriktionen dar.

Die innovativen Maßnahmen „Kleeegrastransfer“ und „Komposteinsatz“ werden im Modell in zwei Teilverfahren aufgegliedert. Durch diese Aufteilung werden Besonderheiten der

Kompostherstellung berücksichtigt, mehr Erkenntnisse über die jeweiligen Auswirkungen gewonnen und Möglichkeiten für alternative Nutzung des Kleegrasaufwuchses gegeben. Die relevantesten Auswirkungen des Kleegrasanbaus sind dabei die Lieferungen und Ansprüche an die Nährstoff- und Humussalden sowie an die Kapazität „Kleegrasmenge“. Außerdem wird durch das Anbauverfahren die Mindestanforderung des Kleegrasanbaus sowie des Leguminosenanbaus insgesamt erfüllt. Die Etablierung einer Zwischenfrucht ist möglich. Das Teilverfahren „Kleegrastransfer“ beinhaltet die Aufwüchse der ersten beiden Schnitte, sowie die anschließende Silageherstellung des zweiten Schnitts.

Das Verfahren „Kompostherstellung“ erwirtschaftet durch den jährlichen Erlös von 12.000 € für die Abnahme des Grünschnitts bei gleichzeitig geringen Kosten einen hohen Deckungsbeitrag. Es wird Kompost geliefert und Arbeitskapazität beansprucht. Die anschließende Ausbringung des jeweiligen Düngemittels bewirkt Lieferungen an die Nährstoff- und Humussalden und beansprucht Arbeitszeit sowie die entsprechende Menge Klee gras oder Kompost.

In Szenario 1 wird unter Berücksichtigung aller Aktivitäten im Pflanzenbau auf dem Betrieb ein Gesamtdeckungsbeitrag von 36.805 € erwirtschaftet (vgl. Anhang 7.2, Tabelle 46). Es werden 24,8 ha bzw. 3,7 ha der verfügbaren Ackerfläche bzw. Grünlandfläche des Modellbetriebs genutzt. Die restlichen Flächen werden im errechneten Produktionsprogramm nicht genutzt und würden folglich brach liegen. Bei insgesamt 28,5 ha landwirtschaftlicher Fläche beträgt der durchschnittliche Deckungsbeitrag je Hektar 1.291 €.

Auf den Ackerflächen werden Klee gras, Weizen, Dinkel, Körnermais, Roggen und Erbsen angebaut. Mit einem Umfang von 5 ha wird die innovative Maßnahme „Kleegrastransfer“ nur bis zur Untergrenze von 20% der realisierten Fruchtfolge durchgeführt. Um den Prinzipien der ökologischen Fruchtfolgegestaltung gerecht zu werden wird ein Anteil von 20 % Klee gras an der Fruchtfolge als Mindestanteil im LP programmiert. Die Kultur „Klee gras“ wird folglich zu diesem Anteil in die Lösung gezwungen. Im optimalen Produktionsprogramm wird zwangsläufig 20 % Klee gras angebaut. Als Düngung wird die gesamte Menge Klee gras ausgebracht. Die zweite innovative Maßnahme „Kompostherstellung“ wird ebenfalls durchgeführt. Anschließend wird der hergestellte Kompost in vollem Umfang von 60 t ausgebracht. Die Ausbringungsmenge kann auf die gesamte Nutzfläche (Acker- und Grünlandflächen) ausgebracht werden. Durch die Lineare Programmierung können nur Ausbringungsmengen für den Gesamtbetrieb berechnet werden. Welche Flächen die Düngemittel erhalten sollen, wird nicht berechnet. Zusätzlich werden Pferdemist sowie Carbokalk ausgebracht. Die Fruchtfolgebegrenzungen für Weizen, Leguminosen und Getreide und die verfügbare Grünschnittkapazität werden vollständig ausgereizt. Ebenso werden die generierten Stroh mengen komplett gegen Pferdemist eingetauscht. Mittels Sensitivitätsanalyse (vgl. Anhang 7.2, Tabelle 47 und 49) können aus diesem Szenario weitere Hinweise über die Produktionsverfahren und begrenzenden Faktoren gewonnen werden.

Der erste Teil des Sensitivitätsberichts enthält Informationen über die reduzierten Kosten und die Spannen in denen die Deckungsbeiträge der Produktionsverfahren unter sonst gleichbleibenden Bedingungen (*ceteris paribus*, c.p.) schwanken dürfen, ohne dass sich die Lösungsumfänge der Verfahren ändern. Für das Verfahren „1 ha Weidel gras“ werden mit - 2.930 € die höchsten reduzierten Kosten angegeben. Dabei handelt es sich um den Geldbetrag, um den der Deckungsbeitrag dieses in der Lösung nicht realisierten Verfahrens steigen müsste, damit dieses Verfahren in die Lösung aufgenommen würde. Würde der Anbau z.B. durch eine entsprechend programmierte Nebenbedingung in das Produktionsprogramm gezwungen, würde der Gesamtdeckungsbeitrag demzufolge je ha realisiertem Weidel gras um

diesen Betrag sinken. Entsprechend müsste der Deckungsbeitrag der Kultur um diesen Wert steigen, um eine Aufnahme des Verfahrens in die Lösung zu erreichen. Eine Steigerung um diesen Betrag ist in dieser Ausgestaltung des Verfahrens nicht wahrscheinlich und die Lösung diesbezüglich als relativ stabil zu beurteilen.

Durch die Nährstoffansprüche von 168 kg N/ha, 56 kg P₂O₅/ha und 228 kg K₂O/ha (vgl. Anhang 7.2., Tabelle 48) sind zwangsläufig die als Gleichung programmierten Nährstoffsalden betroffen. Bei alleiniger Betrachtung des Lösungstableaus und des ersten Teils des Sensitivitätsberichts ist noch unklar ob und welche der Ansprüche Kosten darstellen. Je nachdem ob die Salden insgesamt über- oder unterbeansprucht werden, entstehen Kosten oder Leistungen durch die entsprechenden Ansprüche des Verfahrens. Die Kultur hat verhältnismäßig hohe Ansprüche an die Kapazität des Nährstoffs K₂O. Die in der Lösung nicht knappe Humusobergrenze deutet auf eine neutrale Bewertung der Lieferung von 200 kg Humus-C/ha diesbezüglich hin. Arbeitskraft ist in der Lösung ebenfalls kein knapper Faktor und geht deshalb nicht in die reduzierten Kosten mit ein. Der Anbau von Weidelgras würde bedeuten, dass die genannten Ansprüche über andere Verfahren ausgeglichen werden müssten. Analog können die anderen Verfahren analysiert werden.

Da beide innovativen Maßnahmen (Kleegrastransfer und Kompostherstellung) ausgeführt werden, werden im Sensitivitätsbericht keine reduzierten Kosten ausgewiesen. Vor allem die Ansprüche an Mindestanbau von Klee gras, an die maximal verfügbare Grünschnittmenge und an die Nährstoffbilanzen sind von Relevanz. Die Höhe der erlaubten Erhöhung bzw. Verringerung ist als hoch und die Lösung für die Verfahren als stabil zu bewerten. Die Grünlandnutzung lässt verfügbare Grünlandflächen ungenutzt. Als Leistung werden staatliche Zahlungen aktiviert. Zudem wird Heu geliefert, das in der Futter-Mist-Kooperation gegen Pferdemit getauscht wird. Dessen Ausbringung liefert wiederum entsprechende Einheiten an die Humus- und Nährstoffbilanzen. Die summierten Kosten für den Ausgleich der Nährstoffansprüche zusammen mit dem negativen Deckungsbeitrag einer Grünlandnutzung übersteigen ab einem Anbau von 3,7 ha deren Leistung.

Die Restriktionen, die durch die Lineare Programmierung berücksichtigt werden, werden vom Benutzer programmiert und können auch als verfügbare Kapazitäten verstanden werden. Die verfügbaren Kapazitäten werden bei Realisierung eines Produktionsverfahrens von diesem entweder beansprucht, nicht beeinflusst oder es werden Einheiten für die Kapazitäten geliefert. Unter der Bezeichnung „Endgültig Endwert“ werden die jeweiligen Ansprüche des optimalen Produktionsprogramms an die Kapazitäten ausgewiesen. Der Schattenpreis kann als innerbetrieblicher Wert einer Einheit der jeweiligen Kapazität verstanden werden. Die Ausweisung eines Schattenpreises deutet auf die Wirksamkeit der Begrenzung.

Die, absolut betrachtet, höchsten Schattenpreise werden mit 3.478 € bzw. 2.080 € je Fruchtfolgeanteil durch die Begrenzung von 20% Klee gras in der Fruchtfolge verursacht. Wäre der Anbau von Klee gras in Höhe von 0,1 Hektar weniger möglich, würde der Gesamtdeckungsbeitrag um ein Zehntel dieses Schattenpreises steigen. Bereits eine geringe Reduktion bewirkt eine Änderung des Schattenpreises, sodass dieser als relativ instabil bewertet werden kann. Der nächsthöhere Schattenpreis wird mit 1.459 €/t für die verfügbare Heumenge ausgewiesen. Die Nebenbedingung begrenzt die Pferdemitdüngung durch welche wiederum Leistung in Form von Humus- und Nährstoffzufuhr erfolgt. Bereits durch eine geringe Änderung der Kapazität würde eine Änderung des Schattenpreises erfolgen. Analog kann der Schattenpreis für die Kapazität „Strohmenge“ bewertet werden.

Die Kapazität „Ackerfläche genutzt (ha)“, die mit 864 € ebenfalls einen hohen Schattenpreis je Einheit aufweist, muss in Verbindung mit der Programmierung der Fruchtfolgeanteile bewertet

werden. Die genutzte Ackerfläche ist nicht direkt durch eine Mengenangabe begrenzt sondern wird im Tableau mit dem Verfahren „Fruchtfolgeaktivität“ verknüpft. Die zulässigen Erhöhungen bzw. Verringerungen sind bei Berücksichtigung der Bezugseinheit Hektar erneut als relativ niedrig und der Schattenpreis damit als eher instabil zu bewerten. Von der Nebenbedingung „Weizen max. 33% (ha)“ wird je Einheit der Kapazität der nächsthöhere Schattenpreis verursacht. Bei Erhöhung des Kontingents würde die weitere Einheit durch Weizenanbau in entsprechendem Umfang genutzt werden. Die Herstellung der Kapazitäten „Klee grasmenge“ sowie der „Kompostmenge“ geschieht durch die Teilverfahren der innovativen Maßnahmen „1 ha Klee gras“ und „60 t Kompost herstellen“. Die Kompostherstellung wird zudem durch die maximale Verfügbarkeit von 150 t Grünschnitt begrenzt.

Von besonderem Interesse sind hier erneut die Humus- und Nährstoffbilanzen. Die Ober- und Untergrenzungen erlauben einen Humussaldo zwischen 0 kg C_{org} und 300 kg C_{org}/ha . Es werden nur die Humusbilanzen der Ackerfläche berücksichtigt. Dies entspricht bei 75 ha Ackerfläche einem erlaubten Humusüberschuss von 22.500 kg C_{org} für den gesamten Betrieb. Weder die Untergrenze noch die Obergrenze besitzen einen Schattenpreis. Folglich würde durch das optimale Produktionsprogramm auch bei Vernachlässigung der Humusbilanzen weder ein Humusüberschuss noch ein -mangel entstehen. Eine zulässige Verringerung der Obergrenze von 21.520 kg C_{org} weist zudem auf eine hohe Stabilität des Schattenpreises hin. Ab einer Verringerung der Grenze um diesen Wert, wäre der jetzige Humussaldo nicht mehr möglich und die Begrenzung wirksam. Die Untergrenze hingegen kann mit einer möglichen Verringerung von nur 866 kg Humus-C als weniger stabil bewertet werden.

Die Nährstoffbilanzen wurden als Gleichung programmiert. Am positiven bzw. negativen Vorzeichen der Schattenpreise kann abgelesen werden, dass die Kapazität bei P_2O_5 und K_2O als Untergrenze bzw. bei N als Obergrenze wirkt. Bei einer Erweiterung einer der jeweiligen Kapazitäten würde also ein Produktionsprogramm ausgegeben, in dem jeweils mehr P_2O_5 und K_2O und weniger N beansprucht werden würde als jetzt. Dies würde ceteris paribus folglich jeweils zu einem negativen P_2O_5 - und K_2O -Saldo und einem positiven N-Saldo führen. Unter Berücksichtigung der Bezugseinheit Kilogramm sind die Schattenpreise als eher hoch zu bewerten. Dies deutet auf einen relativ starken Einfluss dieser Begrenzungen hin.

Kalium ist mit 73,7 €/kg K_2O für den höchsten Schattenpreis der Nährstoffbegrenzungen verantwortlich. Jedes weitere zu Verfügung gestellte Kilogramm des Nährstoffs würde genutzt werden und den Gesamtdeckungsbeitrag um diesen Betrag steigen lassen. In diesem Fall würde also eine negative Kaliumbilanz erlaubt werden. Der Schattenpreis würde sich erst ändern, wenn die Kapazität um 20,3 kg K_2O erhöht oder um 128 kg K_2O verringert würde. Eine Änderung um diese Werte würde langfristig ein Nährstoffgleichgewicht darstellen. Nach Parametrisierung würde bei einer Verfügbarkeit von 1.730 kg K_2O kein Schattenpreis mehr ausgewiesen. Bei einer Vernachlässigung der Kaliumsalden würde bei optimalem Produktionsprogramm folglich ein Mangel in dieser Höhe entstehen. Analog können die Nährstoffe N und P_2O_5 analysiert werden. Der innerbetriebliche Wert der Nährstoffe ist für eine Bewertung der innovativen Maßnahmen von großer Bedeutung. In Kapitel 5.2 werden die hier gefundenen Schattenpreise mit Ergebnissen anderer Methoden zur Ermittlung des monetären Wertes verglichen.

Die Terme der Nährstoffsalden wurden im Gegensatz zu den anderen Restriktionen als Gleichungen verknüpft. Die Bilanzen sollen also genau null ergeben. Hier ist die Hauptschwierigkeit des Szenario 1 zu sehen. Bei einem Produktionsprogramm, bei welchem die drei Hauptnährstoffe genau ausgeglichen sind, würde verfügbare Nutzfläche brachliegen.

Vor allem der Kaliumbedarf kann durch die zur Auswahl gestellten Verfahren nur ungenügend gedeckt werden.

3.2.4.2. Szenario 2 - Vergleich mit der Maßnahme „Rindermist düngen“

In Szenario 2 wird das Basisszenario um das Düngeverfahren „1 t Rindermist düngen“ erweitert. Die Zufuhr erfolgt im Rahmen einer Futter-Mist-Kooperation mit einem benachbarten Milchviehhalter. Es werden der Aufwuchs der ersten beiden Schnitte des Kleegrasanbaus im Tausch gegen Rindermist von 50 Milchkühen aus sieben Monaten abgegeben. Die Ausgestaltung erfolgt nach den Vorgaben des Betriebsleiters (Heiß, 2019). Es werden nur Kosten für die Ausbringung sowie Ansprüche an den Faktor „Kleegrasmenge“ verursacht. Damit konkurriert das Verfahren direkt mit dem Verfahren „Kleegrastransfer“. Aus dem Lösungsumfang sowie der Analyse der Nebenbedingungen kann damit untersucht werden, in wie weit das innovative Verfahren mit einem Standardverfahren viehhaltender Betriebe verglichen werden kann. Alle anderen Verfahren sowie die Nebenbedingungen bleiben unverändert. Der Gesamtdeckungsbeitrag beträgt 90.452 €. Dies entspricht einer Steigerung von 146 % gegenüber dem Gesamtdeckungsbeitrag im Basisszenario. Bei einer vollständigen Nutzung der 75 ha verfügbaren Ackerflächen sowie 5,5 ha der 33,4 ha verfügbaren Grünlandflächen entspricht dies einem durchschnittlichen Deckungsbeitrag von 1.124 €/ha (vgl. Anhang 7.2, Tabelle 49).

Auf den Ackerflächen werden Klee gras, Dinkel, Körnermais, Triticale und Sonnenblumen angebaut. Klee gras wird mit 18,8 ha in größerem Umfang als durch die Mindestanbaugrenze von 20% gefordert durchgeführt. Der Aufwuchs wird zum größeren Teil für die Futter-Rindermist-Kooperation und zu einem kleineren Teil für den „Kleegrastransfer“ genutzt. Das Verfahren Kompostherstellung wird ebenfalls durchgeführt, sowie der gesamte produzierte Kompost ausgebracht. Die Erweiterung der Düngeverfahren um die Möglichkeit der Rindermistdüngung verursacht folglich eine Erhöhung des Gesamtdeckungsbeitrags, eine Änderung der angebauten Kulturen sowie eine Erhöhung des Umfangs der Maßnahme „Kleegrastransfer“ im Vergleich zu Szenario 1.

Die höchsten reduzierten Kosten werden mit 1.481 €/ha vom Verfahren „1 ha Ackergras“ verursacht (vgl. Anhang 7.2, Tabelle 50). Eine Erhöhung des Deckungsbeitrags des Verfahrens um diesen Wert würde die Durchführung des Verfahrens im optimalen Produktionsprogramm möglich machen. Eine solche Steigerung ist als relativ unwahrscheinlich zu bewerten. Die Leistung des Verfahrens wird v.a. in Form von Heu für die Futter-Mist-Kooperation erbracht. Die Pferd mistdüngung wird in diesem Szenario größtenteils durch die Rindermistdüngung verdrängt und so entfällt der Beitrag des Ackergrasanbaus. Der Anbau hat zudem einen relativ hohen Anspruch an die Nährstoffe P_2O_5 und K_2O . Diese Kapazitäten begrenzen die Produktion in Szenario 1 bereits stark.

Die innovative Maßnahme „Kleegrastransfer“ wird in die Verfahren „Klee grasanbau“ und „Klee gras aufwuchs ausbringen“ aufgeteilt. Für die Teilverfahren selbst werden relativ hohe zulässige Grenzen aufgewiesen. Eine Änderung der Verfahren um die ausgewiesenen Werte kann als unwahrscheinlich und die Lösung diesbezüglich als stabil bewertet werden. Die innovative Maßnahme „Komposteinsatz“ wird durch die verfügbare Grünschnittmenge begrenzt und kann nicht erweitert werden. Die Grenze der zulässigen Erhöhung ist daher „unendlich“. Die zulässige Verringerung der Kompostherstellung selbst übersteigt den Deckungsbeitrag des Verfahrens. Folglich würde das Verfahren auch durchgeführt werden, wenn die günstigen Voraussetzungen der Ausgestaltung des Verfahrens nicht erfüllt werden würden. Der momentane Erlös von 12.000 €/Jahr für die Abnahme des Grünschnitts könnte

beispielsweise um 11.232 € sinken bis das Verfahren unrentabel würde. Bei der Ausbringung des hergestellten Komposts wäre eine Verringerung des Deckungsbeitrags des Verfahrens um bis zu 22,3 €/t möglich. Diese Änderung könnte beispielsweise durch eine Änderung der genutzten Maschinen oder Erhöhung der Lohnkosten erfolgen.

Die Restriktionen „Ackerfläche verfügbar“ und „Ackerfläche genutzt“ besitzen die höchsten Schattenpreise (vgl. Anhang 7.2, Tabelle 52). Die beiden Nebenbedingungen müssen in Verbindung gesehen werden. Die verfügbare Ackerfläche wird auf 75 ha begrenzt und wird durch das Verfahren „Fruchtfolgeaktivität“ genutzt. Das Verfahren „Fruchtfolgeaktivität“ liefert wiederum an die Restriktion „Ackerfläche genutzt“. Die Schattenpreise entsprechen dem jeweils entgangenen Beitrag zum Gesamtdeckungsbeitrag, der durch den Mangel an weiteren verfügbaren Flächen entsteht. Eine Erhöhung der Kapazitäten könnte durch Zukauf oder Pacht weiterer Flächen entstehen. Analog kann die Begrenzung der Grünlandflächen analysiert werden. Die Begrenzungen des Getreide- bzw. des Sonnenblumenanteils an der Fruchtfolge weisen ebenfalls Schattenpreise auf. Vor allem der Maximalanteil von 50% Getreide an der Fruchtfolge führt zu einer starken Einschränkung des Gesamtdeckungsbeitrags. Eine geringe Lockerung der Fruchtfolgerestriktion würde bereits zu einer Änderung des Schattenpreises führen. Diese Änderung müsste in Verbindung mit dem standortspezifischen Krankheits- und Schädlingsdruck abgewogen werden.

Von besonderem Interesse sind erneut die Humus- und Nährstoffbilanzen. Weder die Humusuntergrenze noch die Humusobergrenze besitzen einen Schattenpreis. Folglich würde durch das optimale Produktionsprogramm ceteris paribus auch bei Vernachlässigung der Humusbilanzen weder ein Humusüberschuss noch ein -mangel entstehen. Die zulässige Verringerung der Untergrenze ist höher als die zulässige Verringerung der Obergrenze. Daraus lässt sich schließen, dass bei Änderung der Grenzen um dieselbe Humusmenge, die Obergrenze schneller wirksam werden würde.

Die positiven Schattenpreise der N-, P_2O_5 - sowie der K_2O -Begrenzung weisen auf die Funktion als Untergrenze hin. Bei einer Lockerung der jeweiligen Grenze würde ceteris paribus also ein Produktionsprogramm ausgegeben, in dem jeweils mehr Nährstoffe beansprucht werden würden als jetzt. Dies würde gesamtbetrieblich jeweils zu einem negativen Saldo aller Nährstoffe führen. Unter Berücksichtigung der Bezugseinheit Kilogramm sind die Schattenpreise von N und P_2O_5 als eher hoch zu bewerten. Dies deutet auf einen relativ starken Einfluss dieser Begrenzungen. Stickstoff ist mit 3,9 €/kg N für den höchsten Schattenpreis der Nährstoffbegrenzungen verantwortlich. Jedes weitere zu Verfügung gestellte Kilogramm des Nährstoffs würde genutzt werden und den Gesamtdeckungsbeitrag um diesen Betrag steigen lassen. In diesem Fall würde also eine negative Stickstoffbilanz erlaubt werden. Der Schattenpreis würde sich erst ändern, wenn gesamtbetriebliche die Kapazität um 718 kg N erhöht werden würde. Analog können die Nährstoffe K_2O und P_2O_5 analysiert werden. Der innerbetriebliche Wert der Nährstoffe hat sich mit der Erweiterung der Rindermistdüngung stark gewandelt. Im Vergleich zum Basisszenario ist der Nährstoff K_2O nicht mehr der am meisten limitierende Faktor der Nährstoffbegrenzungen. Der Stickstoffbedarf ist hingegen in diesem Szenario am schwierigsten zu decken. P_2O_5 ist wie in Szenario 1 als knapper Nährstoff im optimalen Produktionsprogramm zu bewerten. Weitere knappe Kapazitäten sind die Heu- und Strohmenge sowie naturgemäß die staatlichen Zahlungen.

3.2.4.3. Szenario 3 – Optimierung durch biozyklisch-vegane Zertifizierung

Für eine Zertifizierung nach den biozyklisch-veganen Richtlinien muss jede Verbindung zur Nutztierhaltung getrennt werden (BNS 2019). Für Szenario 3 wurden Änderungen der zur Auswahl gestellten Kulturen und Düngemaßnahmen vorgenommen (vgl. Anhang 7.2, Tabelle 53). Die Belieferung der Pferdehalter mit Heu und Stroh und somit auch die Pferdemistdüngung werden ausgeschlossen. Folglich wird das in Szenario 1 eingetauschte Stroh des Dinkelverfahrens auf dem Feld belassen. Als alternative Nutzung der Wiesen- und Weidelgrasaufwüchse wird die Düngung der Frischmasse und Silage ähnlich der innovativen Maßnahme zur Auswahl gestellt. Hierfür werden ab der Ernte die Arbeitsvorgänge des Verfahrens „Kleegrastransfer“ übernommen. Im Dauergrünlandanbau wurden zwei Schnitte beibehalten und damit die zwei Mulchgänge ausgelassen, die beim innovativen Verfahren durchgeführt werden. Da keine Leguminosen angebaut werden, stellt diese Möglichkeit in Bezug auf die Nährstoffversorgung der gesamten Fruchtfolge lediglich eine Verlagerung der Nährstoffe dar. In Bezug auf die Humusversorgung kann jedoch der Saldo gesamtbetrieblich gesteigert werden, da der Anbau selbst beider Kulturen als humusmehrend oder neutral berechnet wurde.

Der Sonnenblumen-, Erbsen-, Hafer-, Körnermais- und Triticaleanbau wird ausgeschlossen bzw. angepasst. Die Aufwüchse werden teilweise zum Zweck der Futtermittelherstellung verkauft. Die alternative Nutzung als Speiseerbsen und -hafer ist möglich. Für den Speisehaferanbau sind aufgrund des geringen Anbauumfangs keine Daten zum Standardverfahren verfügbar. Es werden deshalb dieselben Arbeitsvorgänge wie beim Futterhaferanbau sowie die Eignung der Sorte zur Haferflockenherstellung unterstellt. Die Umstellung des Körnermaisbaus zu Zuckermais ist eine denkbare Alternative und wird nach Angaben des Betriebsleiters in Zukunft auch angestrebt (Heiß, 2019). Aufgrund mangelnder Verfügbarkeit von Daten zu den Kosten und Leistungen, speziell für den ökologischen Zuckermaisanbau, konnte dieses Verfahren jedoch nicht berücksichtigt werden. Als Alternative zum Körnermais und um der im viehlosen Anbau meist knappen Stickstoffzufuhr zu begegnen, wird das Verfahren Sojaanbau zur Auswahl gestellt. Sojaprodukte haben zudem speziell für vegane Konsumenten eine große Bedeutung. Eine weitere Anpassung betrifft den Sonnenblumenanbau. Hier kann der bei der Ölproduktion entstandene Presskuchen nicht zum Zweck der Futtermittelproduktion verkauft werden. Alternativ kann der Presskuchen von der Ölmühle zurückerhalten und gedüngt oder zu Sonnenblumenprotein für die menschliche Ernährung weiterverarbeitet werden. Die Unsicherheiten bezüglich des Veräußerungspreises und der Vermarktung sind bei der Nutzung als Düngemittel geringer. Im Folgenden soll diese Möglichkeit in Betracht gezogen werden. Zu diesem Zweck wird der Erlös des Sonnenblumenanbaus um den Handelspreis des Presskuchens (Hübner, 2017) verringert. Der Presskuchen wird dem Betrieb rückgeführt und steht wie die weiteren organischen Düngemittel zur Ausbringung zu Verfügung. Einheitliche Angaben zum Nährstoffgehalt sind nicht verfügbar. Deibert und Lizotte (1982) finden folgende Werte 3,6 % N, 1,10 % P und 1,62 % K. Mbewe (2015) erhält 3,6 % N, 0,94 % P und 0,64 % K. Da die Technik zur Ölgewinnung sich stark entwickelt hat, wird mit den aktuelleren Werten kalkuliert. Daten zur Humusreproduktionsleistung sind nicht direkt verfügbar, werden aber über den C_{org} - und TM-Gehalt und den für Bioabfall ausgewiesenen Koeffizienten (Ebertseder et al., 2014) nach der VDLUFA-Methode berechnet. Als Alternative zum Triticaleanbau wird Braugerste zugefügt. Die Steigerung der relativen Bedeutung von kaliumbedürftigen Kulturen im Produktionsprogramm sowie der Verzicht auf das Verfahren „1 t Pferdemist düngen“ würde den bereits in Szenario 1 festgestellten Kaliummangel verstärken. Als weitere Optimierungsmöglichkeit wird dem Produktionsprogramm deshalb der Zukauf des

Zweinährstoffdüngers Kali-Magnesia zur Auswahl gestellt. Diese Option sieht der Betriebsleiter bei Kaliummangel als möglich an (Heiß 2019).

Für die Untersuchung des optimalen Produktionsprogramms im Fall einer biozyklisch-veganen Zertifizierung wird nach Kilian und Hamm (2019) eine Mehrzahlungsbereitschaft von 66,67% unterstellt. In der Studie wurden vegane Konsumenten befragt, wie viel mehr sie für Salat und Kartoffeln aus biozyklisch-veganem Anbau bezahlen würden. Die genannte Mehrzahlungsbereitschaft wurde nur bei Konsumenten erreicht, welche Kenntnis von der standardmäßigen Verbindung der Tierhaltung zu pflanzlichen Produkten besitzen. Es wird also eine Situation unterstellt bei der die Strukturen und Absatzwege des Betriebs dieses Vorwissen aufweisen und entsprechend honorieren. Eine Befragung die explizit die Mehrzahlungsbereitschaft für die im untersuchten Ackerbaubetrieb hergestellten Produkte untersucht, ist im Rahmen dieser Studie nicht erfolgt. Da einschlägige Daten für eine mögliche Steigerung des Verkaufspreises auch anderweitig nicht verfügbar sind, wird die Mehrzahlungsbereitschaft aus der Untersuchung von Kilian und Hamm (2019) auf dieses Szenario übertragen. Die Mehrzahlungsbereitschaft wurde einzeln für die Produkte Salat und Kartoffeln ermittelt. Bei Ermittlung der Mehrzahlungsbereitschaft für Kartoffeln wurde die natürliche Schädlingsabwehr im biozyklisch-veganen Landbau hervorgehoben, was bedeutet, dass Kartoffelkäfer nicht oder erst bei sehr hoher Schaddichte bekämpft werden. Beim Produkt Salat wurde auf die im Biolandbau standardmäßig durchgeführte Düngung mit dem tierischen Düngemittel Hornmehl hingewiesen (Kilian & Hamm 2019) und auf die Unterlassung der tierischen Düngung im biozyklisch-veganen Landbau. In dieser Arbeit liegt der Schwerpunkt auf den Maßnahmen zur pflanzlichen Düngung, sodass auf die ermittelte Mehrzahlungsbereitschaft des letzteren Produkts zurückgegriffen wird. Die ermittelte Wertsteigerung des Salats durch Unterlassung der Hornmehldüngung wird also auf die Unterlassung der Düngung tierischer Exkremente und allgemeiner Trennung aller Verbindungen zur Nutztierhaltung auf den Verkaufspreis aller hergestellten Produkte im untersuchten Betrieb extrapoliert. Die innovativen Maßnahmen sind per Se mit den Richtlinien des Biozyklisch-Veganen Anbaus konform und werden explizit als Möglichkeit zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit genannt (BNS 2019).

Der Gesamtdeckungsbeitrag des Szenario 3 beträgt 163.508 €. Bei einer vollständigen Nutzung der verfügbaren Ackerflächen sowie der verfügbaren Grünlandflächen entspricht dies einem durchschnittlichen Deckungsbeitrag von 1.506 €/ha. Die realisierten Verfahren des optimalen Produktionsprogramms sowie der jeweilige Deckungsbeitrag sind wie folgt (vgl. Anhang 7.2, Tabelle 54). Auf den Ackerflächen werden Klee gras, Weizen, Dinkel, Roggen, Soja sowie Zwischenfrüchte angebaut. Klee gras wird nur bis zur vorgegebenen Untergrenze angebaut. Anschließend wird jedoch nur 177 t des produzierten Klee gras aufwuchses gedüngt, sodass eine Restkapazität von 198 t entsteht. Die Kosten für den Ausgleich der Humus- und Nährstofflieferungen sind höher als die Leistung, die durch die Klee grasdüngung entstehen würde. Da Stickstoff in diesem Produktionsprogramm tendenziell eher im Überschuss vorhanden ist, ist der Ausgleich der Stickstoffzufuhr mit Kosten verbunden. Bei der folgenden Analyse des Sensitivitätsberichts, zweiter Teil wird näher auf diesen Umstand eingegangen. Der produzierte Grünland aufwuchs wird vollständig gedüngt. Die innovative Maßnahme „Komposteinsatz“ wird in vollem Umfang durchgeführt. Zusätzlich wird auf die Handelsdüngemittel Carbokalk sowie Kali-Magnesia zurückgegriffen.

Weitere Informationen über die reduzierten Kosten der nicht realisierten Verfahren weist der Sensitivitätsbericht aus (vgl. Anhang 7.2, Tabelle 55 und 56).

Die absolut betrachtet höchsten reduzierten Kosten werden erneut für das Verfahren „1 ha Ackergras (Weidel)“ ausgewiesen. Der Aufwuchs wird als Frischmasse und Silage zur Düngung zu Verfügung gestellt. Die daraus entstehenden Leistungen aus Stickstoff- und Humuszufuhr reichen nicht aus um die Kosten der Nährstoff-Ansprüche auszugleichen. Die Arbeitsstunden sind ebenfalls relativ hoch. Aufgrund der ausreichend zu Verfügung stehenden Arbeitskapazität ist dieser Anspruch nicht relevant für die Entstehung der reduzierten Kosten. Hohe reduzierte Kosten werden in absteigender Reihenfolge ebenfalls für den Anbau von Hafer, Sonnenblumen, Braugerste und Erbsen ausgewiesen. Weitere Informationen über die Nebenbedingungen weist der zweite Teil des Sensitivitätsberichts aus.

Die Restriktionen „Ackerfläche verfügbar“ und „Ackerfläche genutzt“ besitzen erneut hohe Schattenpreise und übersteigen die Schattenpreise der Restriktionen in Szenario 2. Die Schattenpreise entsprechen dem jeweils entgangenen Beitrag zum Gesamtdeckungsbeitrag. Dieser entgangene Betrag entsteht durch den Mangel an weiteren verfügbaren Flächen. Analog hat sich der Schattenpreis für die Begrenzung der Grünlandfläche entwickelt. Für den Mindestanbau von Klee gras wird ebenfalls ein hoher Schattenpreis ausgewiesen. Die Reduzierung des Mindestanbaus um einen Hektar würde eine Erhöhung des Gesamtdeckungsbeitrags um 1.646 € bedeuten. Allerdings gilt dieser Preis nur innerhalb sehr niedriger Grenzen, sodass bereits eine geringe Änderung der Kapazität den ausgewiesenen Preis ändern würde. Die Menge des Düngemittels „Sonnenblumenpresskuchen“ wird durch die Bereitstellung des Verfahrens „1 ha Sonnenblumen“ begrenzt. Dieses Verfahren wird in diesem Szenario nicht durchgeführt. Würde die Verfügbarkeit ceteris paribus um 1 t Sonnenblumenpresskuchen steigen, würde dies eine Steigerung des Gesamtdeckungsbeitrags um 5,3 € bedeuten. Von den Fruchtfolgerestriktionen wirken zudem die Begrenzungen des Dinkel-, Soja- sowie des Getreideanteils beschränkend. Die Nährstoffbilanzen wurden erneut als Gleichungen programmiert. Der Schattenpreis des Stickstoffs ist negativ. Eine Vernachlässigung der Stickstoffsalden würde folglich zu einem Stickstoffüberschuss führen. Die Nährstoffe P_2O_5 und K_2O besitzen positive Schattenpreise und sind folglich knappe Ressourcen. Im Gegensatz zu den beiden vorangegangenen Szenarien besitzt P_2O_5 den höchsten Schattenpreis. Wäre 1 kg P_2O_5 mehr verfügbar bzw. eine P_2O_5 -Unterversorgung in dieser Höhe erlaubt, würde der Gesamtdeckungsbeitrag um 2,5 € steigen. Dieser Preis gilt auch bei einer relativ starken Änderung der Kapazität und ist damit als relativ stabil zu bewerten.

3.2.4.4. Szenario 4 – Vernachlässigung der Nährstoff- und Humusbilanzen

In Szenario 4 wird untersucht, welche Auswirkungen eine Vernachlässigung der Humus- und Nährstoffbegrenzungen auf die Ausgestaltung des Produktionsprogramms und den Gesamtdeckungsbeitrag hat. Diese Situation kann aufgrund der grundlegenden Bedeutung von Nährstoffen und Humus auf die Ertragsleistung der Kulturen als nicht realistisch bewertet werden. Eine kurzfristige ökonomische Planung verursacht jedoch zumindest teilweise eine suboptimale Produktion und die Simulation einer vollständigen Vernachlässigung der Nährstoff- und Humusversorgung auf dem untersuchten Betrieb gibt Aufschluss über das entsprechende Produktionsprogramm. Hierfür wurde erneut das Basisszenario, also die aktuelle und möglichst wirklichkeitsgetreue Situation auf dem Betrieb dargestellt. Einzig die Humus- und Nährstoffsalden werden in diesem Szenario nicht mehr als begrenzende Nebenbedingungen beachtet. Die Lösung der linearen Optimierung für Szenario 4 durchgeführten Verfahren sowie der jeweilige Deckungsbeitrag des jeweiligen Verfahrens sind wie folgt (vgl. Anhang 7.2, Tabelle 57).

In Szenario 4 wird ein Gesamtdeckungsbeitrag von 103.194 € erwirtschaftet. Die verfügbaren Acker- und Grünlandfläche des Modellbetriebs werden vollständig genutzt. Der durchschnittliche Deckungsbeitrag je Hektar beträgt 950 €.

Auf den Ackerflächen werden Klee gras, Dinkel, Körnermais, Roggen, Sonnenblumen und Erbsen angebaut. Mit einem Umfang von 15 ha wird die innovative Maßnahme „Klee grastransfer“ nur bis zur Untergrenze von 20% der realisierten Fruchtfolge durchgeführt. Die zweite innovative Maßnahme „Kompostherstellung“ wird ebenfalls durchgeführt. Anschließend werden jedoch weder der produzierte Klee grasaufwuchs noch der hergestellte Kompost ausgebracht. Die anderen zur Auswahl gestellten Verfahren zur Ausbringung von Düngemitteln (Pferdemist und Carbokalk) werden ebenfalls nicht durchgeführt. Die Ausbringung des Düngemittels bedeutet einen monetären Aufwand und die Leistung in Form von Nährstoff- und Humuszufuhr hat bei Vernachlässigung der jeweiligen Begrenzungen keine Relevanz.

Die Fruchtfolgebegrenzungen für Leguminosen, Sonnenblumen, Dinkel und Getreide und die verfügbare Kapazität der Umverteilungsprämien werden vollständig ausgereizt. Mittels Sensitivitätsanalyse können aus diesem Szenario weitere Hinweise über die Produktionsverfahren und begrenzenden Faktoren gewonnen werden.

Die höchsten reduzierten Kosten werden mit 820 €/ha für den Anbau von Ackergras ausgewiesen. Hier wird der Aufwuchs im Rahmen einer Futter-Mist-Kooperation mit benachbarten Pferdehaltern gegen Pferdemist eingetauscht. Es würde folglich wieder nur Leistung in Form von Nährstoffen und Humus erbracht, die bei Vernachlässigung der jeweiligen Begrenzung für die Berechnung des optimalen Produktionsprogramms nicht von Relevanz ist. Die hohen reduzierten Kosten für den Anbau von Wintertricalen (622 €/ha) und Hafer (568 €/ha) erklären sich durch die Fruchtfolgebegrenzung für Getreide. Der maximale Anteil Getreide an der Fruchtfolge beträgt 50% und wird bereits vollständig durch die Kulturen Dinkel und Roggen beansprucht, die einen höheren Deckungsbeitrag erwirtschaften als der Anbau von Wintertricalen, Hafer und Weizen. Bei den verbleibenden nicht realisierten Verfahren handelt es sich um Düngungsverfahren (Zwischenfrucht als Gründüngung inbegriffen), bei denen die reduzierten Kosten dem jeweiligen verfahrenseigenen Deckungsbeitrag entsprechen.

Weitere Informationen über die Verfahren und Nebenbedingungen weist der Sensitivitätsbericht aus (vgl. Anhang 7.2, Tabelle 58 und 59).

Die Restriktionen „Ackerfläche verfügbar“ und „Ackerfläche genutzt“ besitzen erneut hohe Schattenpreise. Von den Fruchtfolgerestriktionen wirken zudem die Begrenzungen des Getreide-, Sonnenblumen-, Leguminosen- sowie des Dinkelanteils beschränkend. Für den Mindestanbau von Klee gras wird ebenfalls ein Schattenpreis ausgewiesen. Die Reduzierung des Mindestanbaus um einen Hektar würde eine Erhöhung des Gesamtdeckungsbeitrags um 367 € bedeuten. Allerdings gilt dieser Preis nur innerhalb sehr niedriger Grenzen, sodass bereits eine geringe Änderung der Kapazität den ausgewiesenen Preis ändern würde.

3.2.5. Diskussion der Ergebnisse der Kosten- und Leistungsrechnung

Eine ökonomische Bewertung der innovativen Maßnahmen wird durch folgende Punkte erschwert:

- Durch den kurzen Untersuchungszeitraum konnten keine langfristigen Verbesserungen der Bodenfruchtbarkeit in die Analyse eingehen. Diese durch die Innovation erzeugte Leistung konnte monetär nicht bewertet werden.
- Viele der zu erwartenden positiven Effekte der durchgeführten Innovationen lassen sich monetär nicht oder nur schwer bewerten. Dies gilt beispielsweise für: Förderung des Bodenlebens durch konservierende Bodenbearbeitung, Unkrautunterdrückung durch den Anbau von Zwischenfrüchten, Potential der Zwischenfrucht als CO₂-Senke, Förderung des Bodenlebens, Bodenstruktur und Wasserspeicherkapazität durch Zufuhr organischer Masse, Entzerrung von Arbeitsspitzen. Diese Leistungen sind in die Berechnungen nicht eingegangen und verzerren somit das Ergebnis zu Ungunsten der Innovationen.
- Die Datenverfügbarkeit war sehr lückenhaft. Um die Berechnungen dennoch durchzuführen wurde auf Schätzungen und Standardwerte aus der Literatur zurückgegriffen. Dadurch konnten betriebsspezifische Eigenheiten der untersuchten Innovationen nicht berücksichtigt werden.
- Die wirtschaftliche Überlegenheit der Alternativen gegenüber den Innovationen reichen von einer Deckungsbeitragsdifferenz von 17 €/ha (Betrieb Kränzler) bis zu 1.521 €/ha (Betrieb Leibing). Eine Deckungsbeitragsdifferenz von 17 €/ha ist in Anbetracht des hohen Anteils an geschätzten Daten zu vernachlässigen. Die Deckungsbeitragsdifferenz von 1.521 €/ha wird bei Vergleich mit einer Alternative erzielt, die in einem anderen Betrieb bereits selbst als Innovation durchgeführt wird (Vgl. Betrieb Heiß).
- die zum Vergleich herangezogenen alternativen Maßnahmen sind in der Praxis auf den Testbetrieben schwierig durchführbar

Vor diesem Hintergrund kann eine Bewertung in Form einer generellen Tendenz gemacht werden: Bei sechs der zehn untersuchten Innovationen hat sich herausgestellt, dass die Rentabilität der Innovationen der jeweils definierten Alternative gegenüber kurz- sowohl langfristig unterlegen ist. Dies betrifft die Innovationen: Tiefenlockerung & Zwischenfruchtanbau mit angepasster Bodenbearbeitung in Folgefrucht, Kleeagrastransfer, Kompost II: Zukauf von Kompostwerk, Direktsaat in Roggenmulchmatte, Leguminosendichtsart I, Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment.

Im Gegensatz dazu ist die kurz- und langfristige Rentabilität bei vier Innovationen gegenüber der definierten Alternative als vorteilhafter einzuschätzen. Dies betrifft die Innovationen: Mulchen von Klee gras, Zwischenfruchtanbau mit angepasster Bodenbearbeitung und Kompost I: Eigene Herstellung. Die Differenzen zwischen dem errechneten Deckungsbeitrag (DB) und der Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAB) der Innovation und dem DB bzw. DAL der Alternative sind teilweise sehr gering. So ist das innovative Verfahren „Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment“ der Alternative „Zwischenfruchtanbau ohne Ferment“ mit einem um 17 €/ha niedrigerem DB wirtschaftlich fast gleichzusetzen.

Hervorzuheben ist die im Allgemeinen und bei allen Betrieben mögliche Verzerrung der Rentabilität der Innovation durch die Wahl der Alternative. Für eine Bewertung ist ein Vergleich

der Innovation mit einer möglichen Alternative zweckmäßig. Die Wahl der jeweiligen Alternative wurde mit den Betriebsleitern und den weiteren Projektteilnehmern abgesprochen. In einigen Fällen wurde die alternative Maßnahme auf dem Betrieb bereits durchgeführt und so konnten die Daten übernommen werden. Beim Großteil der Betriebe wurde jedoch eine Alternative berechnet, für die keine Daten verfügbar waren. Die Ausgestaltung erfolgte auf Basis von Standarddaten der KTBL (2019). Die Wahrscheinlichkeit der tatsächlichen Durchführung der Alternative ist in einigen Fällen fraglich. Ist die Rentabilität der Alternative zusätzlich relativ hoch wird durch einen Vergleich die Bewertung zu Ungunsten der Innovation verzerrt.

Die innovativen Maßnahmen werden von den Betriebsleitern selbst nach den ersten Jahren als durchweg positiv für die Förderung der Bodenfruchtbarkeit eingeschätzt. Vor allem die Nährstoff- und Humuszufuhr und eine Schonung bzw. Förderung des Bodenlebens und Bodengefüges wurden als Ziele der Maßnahme genannt. Die Ergebnisse der Analyse der ökonomischen Rentabilität stimmen mit den Einschätzungen der Landwirte gut überein. Potenzielle Mehrkosten sind den meisten Betriebsleitern bewusst und werden mit den positiven Auswirkungen auf den Boden und die Kulturen abgewägt. Die tatsächliche Bewertung des Mehraufwands ist abhängig von den Kapazitäten der Betriebe. So wiegt eine Einsparung an Arbeitsstunden oder Entzerrung von Arbeitsspitzen bei einem Betrieb mit eher knapper Arbeitsstundenkapazität schwerer als in einem Betrieb mit ausreichend und kostengünstig verfügbaren Arbeitskräften.

Die fehlenden Daten zur potenziellen Ertragssteigerung durch die innovativen Maßnahmen führen zu erheblichen Planungsunsicherheiten für die Landwirte und es bedarf weiterer Forschung um diese Lücke zu schließen.

3.2.6. Diskussion der Ergebnisse der Linearen Programmierung

Die bereits in der Diskussion zur Kosten- und Leistungsrechnung aufgeführten Unsicherheiten bezüglich der genutzten Daten gelten im ähnlichen Umfang auch für die Daten der durchgeführten Studie zur Rentabilität der Maßnahmen „Klee-grastransfer“ und „Komposteinsatz“. Durch die Nutzung des Planungsinstruments Lineare Programmierung ergeben sich weitere Unsicherheiten, die im Folgenden ausgeführt werden. Vor dem Hintergrund dieser Punkte kann anschließend eine ökonomische Bewertung der Rentabilität der beiden innovativen Maßnahmen erfolgen.

Ein Unsicherheitsfaktor betrifft die Vereinfachungen der Produktionsverfahren und der Restriktionen, die im Zuge der Programmierung des Modells gemacht wurden. Vereinfachungen bedeuten immer eine Reduzierung des Erkenntnisgewinns und müssen in der Bewertung des Ergebnisses berücksichtigt werden. Besonders relevante Vereinfachungen werden in Szenario 3 durchgeführt. Die Erhöhung der Rentabilität der innovativen Maßnahmen basiert auf der Erhöhung der Erlöse aller Kulturen. Hier wird eine Mehrpreisbereitschaft von 66,67 % nach einer Studie von Kilian und Hamm (2019) kalkuliert. Die Unterstellung, dass die Angaben der befragten Personen zu ihrer Mehrzahlungsbereitschaft mit dem tatsächlichen Kaufverhalten übereinstimmen, ist fraglich. Eine Studie die Vergleiche von Angaben und tatsächlichem Kaufverhalten zieht, gibt Unstimmigkeiten von ca. 30% an (Plaßmann & Hamm 2007) . Die Mehrzahlungsbereitschaft von 66,67% wurde außerdem auf alle Kulturen extrapoliert. Bei Ackerbaukulturen ist allerdings eine geringere Mehrzahlungsbereitschaft als bei Gemüsekulturen denkbar. Es wird unterstellt, dass der anteilige Mehrerlös auch als Leistung beim Landwirt ankommt. Ob eine direkte Übertragung auf die Erlöspreise des Landwirts realistisch ist, ist fraglich. Da der Betriebsleiter jedoch allein den Aufwand, den eine Zertifizierung mit sich bringt, trägt, wäre eine vollständige Abschöpfung der

Mehrzahlungsbereitschaft durch ihn gerechtfertigt. Dies bedeutet, dass der Erlösanteil des Betriebsleiters auf dem Weg der Wertschöpfungskette nicht verringert wird oder die Produkte direkt vermarktet werden. Zusätzlich wird der Mehraufwand, der bei einem Umstieg von Futterproduktion auf Speiseproduktion entsteht nicht berücksichtigt. Hierzu gehören beispielsweise Informationskosten über die Anpassung der Arbeitsvorgänge, Beschaffungskosten von passendem Saatgut sowie Saisonarbeitskräften, Investitionskosten in Bewässerungstechnik im Speiseerbsenanbau und eventuelle Kosten bei der Etablierung von Absatzstrukturen. Auch die Erweiterung durch den Sojaanbau kann zu hohen Investitionen in neue Maschinen führen, die nicht berücksichtigt wurden. Die Zertifizierungskosten bestehen aus jährlichem Mitgliedsbeitrag von min. 100 € im „Förderkreis biozyklisch-veganer Anbau e.v.“, Kosten der Kontrolle selbst sowie eventueller Beratung. Die Dauer der Kontrolle ist u.a. abhängig von verschiedenen Faktoren wie Dokumentationsaufwand, Entfernung zur Kontrollstelle und Größe des Betriebs (Bonzheim 2019). In diesem Szenario wird die Aufgabe der Putenmast unterstellt. Nach erfolgreicher Zertifizierung kann der Betrieb seine Produkte mit dem in Abbildung 1 dargestellten Logo kennzeichnen. Die Biozyklisch-Veganen Richtlinien sind Teil der „IFOAM Family of Standards“ (2019) und es kann ebenfalls das Logo in Abbildung 25 genutzt werden.



Abbildung 24: Logo Biozyklisch-Veganer Anbau
Quelle: Förderkreis Biozyklisch-Veganer Anbau, 2019



Abbildung 25: Logo IFOAM Family of Standards
Quelle: IFOAM – Organics international e.v., 2019

Die Nutzung dieser beiden Logos ist im deutschen Handel noch relativ selten und es kann von einer geringen Kenntnis auch unter potenziell interessierten Kunden ausgegangen werden. Eine Erhöhung der Rentabilität der innovativen Maßnahmen setzt folglich eine Verbreitung des Wissens sowohl über standardmäßige landwirtschaftliche Düngeverfahren als auch über die Alternativen, die zum Beispiel mit einer Biozyklisch-Veganen Bewirtschaftung möglich sind, voraus. Der gemeinnützige Verein „Förderkreis Biozyklisch-Veganer Anbau e.V.“ (2019) verfolgt dieses Ziel und es konnte im vergangenen Jahr ein steigendes Interesse an der Zertifizierung festgestellt werden (Eisenbach 2019).

Die innovativen Maßnahmen erbringen zudem eine Vielzahl von Leistungen für die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, die aufgrund fehlender verfügbarer Daten monetär nicht bewertet werden konnten, deren positive Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit und damit der Ertragsleistung jedoch wahrscheinlich sind. Vorteile des „Kleegrastransfers“, die nicht monetär bewertet werden können, sind die Verbesserung des Wasser- und Wärmehaushalts sowie der Unkrautunterdrückung durch Mulchauflage, die Förderung des Bodenlebens und die Verbesserung der Bodenstruktur (Alpers 2014). Vorteile des Komposteinsatzes, die nicht monetär bewertet werden können, sind die phytosanitäre Wirkung von Kompost, die Förderung des Bodenlebens (Jørgensen, 2018) und die Verbesserung der Bodenstruktur (Müller et al. 2009).

Die berechneten Modelle stellen zudem die Situation zum Zeitpunkt der Datenerhebung dar. Die landwirtschaftliche Produktion ist abhängig von der Rohstoffzufuhr und der Abnahme der hergestellten Produkte. Dadurch sind die Voraussetzungen der Produktion ständigem Wandel unterworfen. Im untersuchten Betrieb wurde kurz vor Beendigung der Studie eine Futter-Mist-Kooperation mit einem benachbarten Milchviehhalter eingerichtet, wie sie in Szenario 2 als alternative Maßnahme berechnet wurde. Der Betriebsleiter hebt jedoch die unetwaige Verfügbarkeit dieser Möglichkeit hervor. Bei einem Vergleich der innovativen Maßnahmen mit einer Alternative muss immer auch berücksichtigt werden, welche alternativen Möglichkeiten dem Betrieb tatsächlich zur Verfügung stehen.

Vor dem Hintergrund dieser Einschränkungen können durch das Modell jedoch Tendenzen und wirtschaftliche Herausforderungen der Durchführung der innovativen Maßnahmen festgestellt werden.

Um die Rentabilität der Verfahren „Kleegrastransfer“ und „Komposteinsatz“ bewerten zu können, wird zunächst der Beitrag der beiden Maßnahmen zum optimalen Produktionsprogramm der vier Szenarien im Vergleich untersucht. Hierbei werden die wichtigsten Herausforderungen hervorgehoben, welche die Rentabilität der Maßnahmen verringern. Die Bewertung des Ergebnisses kann nur vor dem Hintergrund branchenüblicher Werte sinnvoll interpretiert werden. Ausschlaggebend für eine nachhaltige Bewirtschaftung ist zudem die Erfüllung pflanzenbaulicher Grundsätze. Hier können die im vorangegangenen Kapitel erläuterten, ungenügend berücksichtigten Leistungen der innovativen Maßnahme einfließen. Anschließend werden folglich die Wirtschaftlichkeit sowie die pflanzenbauliche Eignung des gesamten Produktionsprogramms der jeweiligen Szenarien beurteilt.

In Abbildung 27 ist der Umfang der innovativen Maßnahmen der Szenarien 1-4 dargestellt.

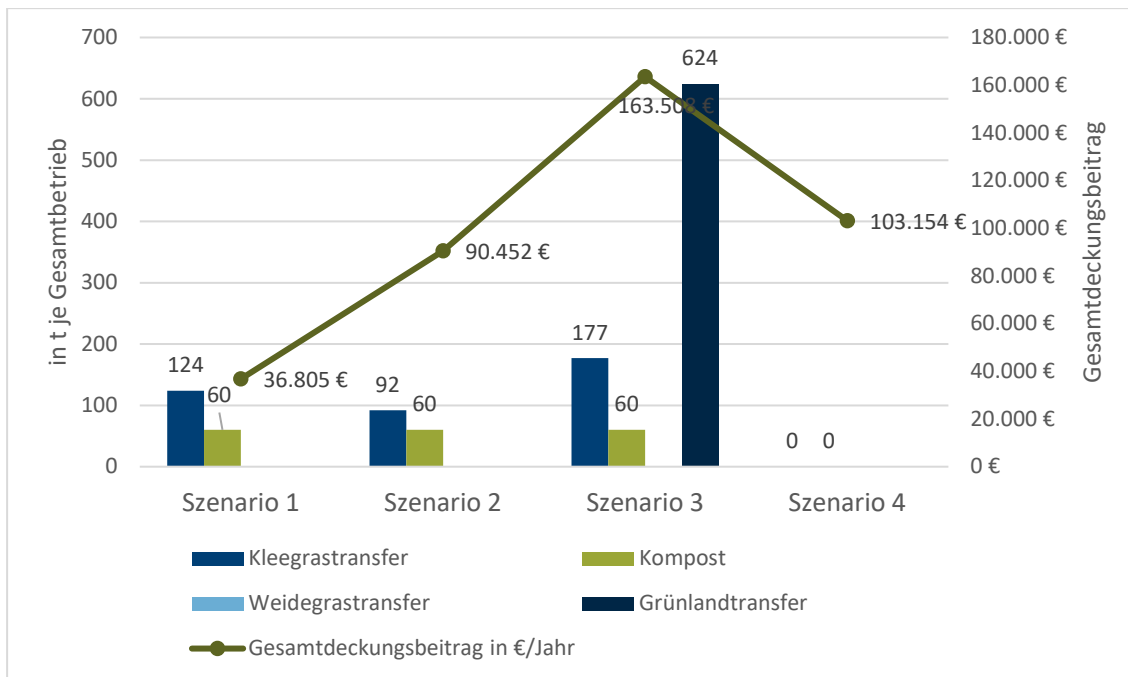


Abbildung 26: Umfang der innovativen Maßnahmen und Deckungsbeiträge der Szenarien 1-4

Quelle: Eigene Darstellung auf der Basis der im Text genannten Quellen (vgl. Kapitel 2)

Die innovativen Maßnahmen „Klee- und Grünlandtransfer“ und „Komposteinsatz“ werden in allen Szenarien durchgeführt. Der Umfang der Maßnahme „Komposteinsatz“ wird jeweils von der maximal verfügbaren Grünschnittmenge begrenzt. Für die Maßnahme „Klee- und Grünlandtransfer“ kann in Szenario 1 die Versorgung mit Kalium als größte Herausforderung gesehen werden. Die Kaliumzufuhr erfolgt durch die mengenmäßig begrenzten organischen Düngemittel Kompost und Pferdemist. Die Pferdemistdüngung setzt den Anbau von Dinkel und Weidelgras oder Grünland voraus. Diese Kulturen sind selbst relativ kaliumbedürftig und die durch Pferdemist zugeführten Nährstoffe reichen nicht aus, um den Kaliumbedarf der Kulturen zu decken. Der obligatorische Anbau von mindestens 20% Klee an der Fruchtfolge verringert die Rentabilität zudem. Eine Metastudie zur Lage der Bodenfruchtbarkeit in ökologischen Betrieben stellt einen durchschnittlichen Kaliumsaldo von -14 kg/ha und Jahr fest (Kolbe 2015). Durch Nachlieferung aus dem Bodenvorrat kann dieser negative Wert jedoch meist ausgeglichen werden, sodass es nicht zu einem Kaliummangel der Kulturen kommt (Kolbe 2010). Bodenvorräte sind jedoch endlich und zudem abhängig vom Ausgangsgestein und der Mineralisierungsrate des jeweiligen Bodens. Im vorliegenden Betrieb wurde weder bei Bodenuntersuchungen noch im Pflanzenbestand ein Mangel an Kalium festgestellt, sodass von einer ausreichenden Nachlieferung ausgegangen werden kann. Der Betrieb wurde zudem bis vor einigen Jahren mit Nutztierhaltung betrieben, sodass eine Anreicherung in dieser Zeit möglich ist. Eine langfristige Fortführung der Düngerverfahren, wie sie im Basisszenario modelliert wurden, kann den Bodenvorrat jedoch auf Dauer erschöpfen. Die Teilung des Verfahrens hat zur Folge, dass die Ausbringung des Klee- und Grünlandaufwuchses mindestens einen innerbetrieblichen Wert in Höhe des negativen Deckungsbeitrages des Verfahrens aufweisen muss, damit das Teilverfahren in der Lösung durchgeführt wird. Die Kompostdüngung ist unter anderem aufgrund des hohen Erlöses ökonomisch bereits sehr vorteilhaft. Der innerbetriebliche Wert kann jedoch auch nach Abzug des Erlöses als hoch und die Maßnahme damit als rentabel bewertet werden. Eine Ausweitung der Kompostierung kann demnach als weitere Möglichkeit zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit in Betracht gezogen werden.

In Szenario 2 wird der Kleegrasaufwuchs zum größten Teil durch die zur Auswahl gestellte Futter-Mist-Kooperation in Anspruch genommen. Der Tausch des Aufwuchses gegen Rindermist ist für den Betrieb wirtschaftlich vorzüglicher als die Ausbringung als Dünger. Im direkten Vergleich mit dieser zweckgleichen Standardmaßnahme unterliegt die innovative Maßnahme folglich. Dieses Ergebnis stimmt mit den Entwicklungen auf dem untersuchten Betrieb überein. Gegen Ende des Untersuchungszeitraums wurde vom Betriebsleiter eine Futter-Mist-Kooperation mit einem Milchviehbetrieb eingegangen. Die ökonomische Vorzüglichkeit der Standardmaßnahme wurde ebenfalls vom Betriebsleiter angegeben (Heiß 2019).. Die Rentabilität der Futter-Mist-Kooperation ist jedoch stark von der Verfügbarkeit und Ausgestaltung dieser Maßnahme abhängig. Eine größere Entfernung zwischen den Betrieben oder ein geringeres Tauschverhältnis können zu einer Umkehr dieser Vorzüglichkeit führen.

In Szenario 3 haben die Erhöhung der Verkaufserlöse sowie die Verfügbarkeit eines Zweinährstoffdüngers zu einer Steigerung des Gesamtdeckungsbeitrags geführt. Infolgedessen erhöhte sich auch die Rentabilität der innovativen Maßnahmen, sodass die Transferdüngung sogar auf den Aufwuchs der Grünlandflächen ausgeweitet wurde. Die Kongruenz von Nährstoffzufuhr und -bedarf wurde hauptsächlich durch den Zukauf des Zweinährstoffdüngers Kali-Magnesia naturgemäß verbessert.

In Szenario 4 wird aufgrund der Vernachlässigung der Nährstoffbilanzen kein Dünger ausgebracht und die innovativen Maßnahmen folglich nicht ausgeführt.

Die berechneten Schattenpreise der Nährstoffe können als jeweiliger innerbetrieblicher Wert begriffen werden und ihre Entwicklung gibt Aufschluss über die größten Herausforderungen des jeweiligen Szenarios. Ein direkter Vergleich der Schattenpreise, wie in Abbildung 4 dargestellt, zeigt die Entwicklungen im Überblick. Zusätzlich können die Werte in Bezug auf die monetär bewerteten Nährstoffersatzwerte auf Basis der Kosten mineralischer Düngung der BGK (2017) eingeschätzt werden. In Szenario 1 zeigt sich das starke Ungleichgewicht der Nährstoffe. Der Nährstoff Kalium hat einen extrem hohen innerbetrieblichen Wert, wohingegen der Nährstoff Stickstoff stark im Überschuss vorhanden ist. Durch die Möglichkeit der Rindermistdüngung in Szenario 2 gleichen sich die Schattenpreise einander an. Auch durch die Anpassungen im Rahmen der biozyklisch-veganen Zertifizierung und die Erweiterung durch die Möglichkeit der Düngung mit Kali-Magnesia wird das Ungleichgewicht verringert. Die monetären Ersatzwerte auf der Basis der Landhandelspreise sind naturgemäß positiv und haben eine vergleichsweise geringe Höhe.

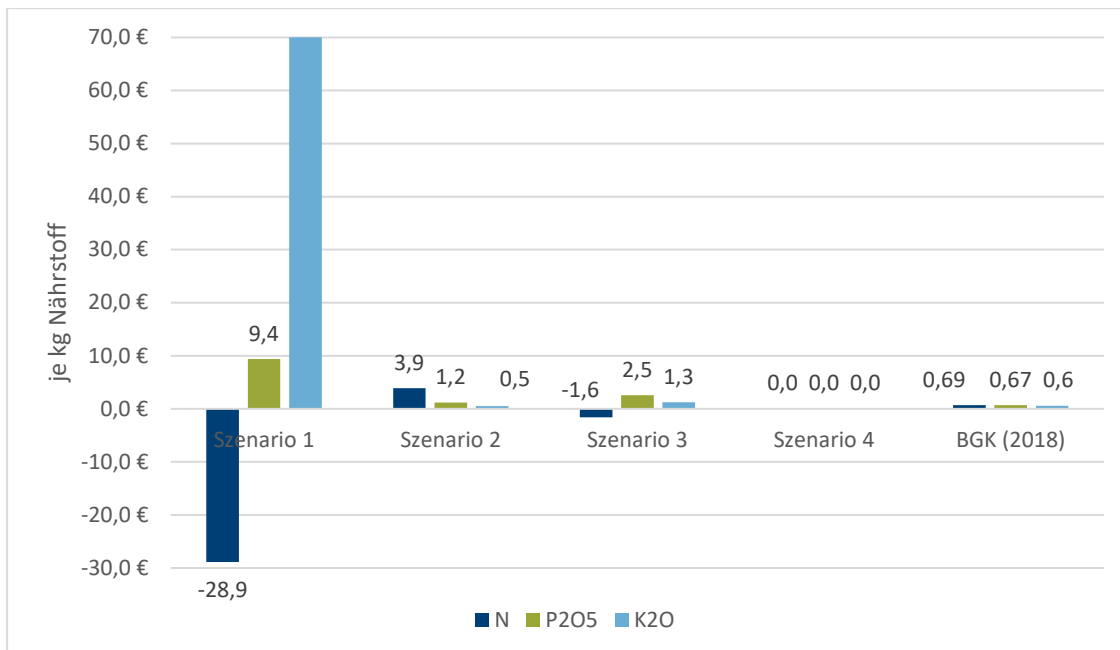


Abbildung 27: Monetäre Bewertung der Nährstoffe in den Szenarien 1-4 und nach Landhandelspreisen.

Quelle: Eigene Darstellung auf der Basis der im Text genannten Quellen

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass mit dem Gesamtdeckungsbeitrag nur die kurzfristige Rentabilität bewertet werden kann. Im Deckungsbeitrag der Verfahren sind weder die fixen Maschinenkosten noch die fixen Lohnkosten berücksichtigt. In der Bewertung der Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Betriebe wird jedoch üblicherweise die Kenngröße „Gewinn plus Personalaufwand je Arbeitskraft“ genutzt. Die Umrechnung des Gesamtdeckungsbeitrags in diese Kenngröße ist nicht ohne weitere Datenerhebungen über die vorhandenen Maschinen und getätigten Investitionen des Betriebsleiters möglich. Zusätzlich müssten alle Tätigkeiten, die im Rahmen der Betriebsführung notwendig sind, in die Berechnung aufgenommen werden. Eine einheitliche Ausweisung durchschnittlicher Deckungsbeiträge vergleichbarer Ackerbaubetriebe in Deutschland ist nicht verfügbar. Alternativ kann ein Vergleich der Fruchtfolge durchgeführt werden. Bei den jeweiligen Deckungsbeiträgen handelt es sich um Durchschnittswerte. Folglich kann davon ausgegangen werden, dass mit einer im Ökolandbau üblichen Fruchtfolge ein branchenüblicher Deckungsbeitrag erreicht wird. Gleichzeitig kann überprüft werden, ob die Grundsätze der Fruchtfolgegestaltung im Ökolandbau eingehalten werden. Aufgrund der starken Nährstoffungleichgewichte konnte in Szenario 1 nicht die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche genutzt werden. Das durch die Lineare Optimierung ermittelte optimale Produktionsprogramm ist somit in der Realität nicht durchführbar. Ein Haferanbau im Umfang von 0,1 ha ist zu vernachlässigen und somit besteht die Fruchtfolge nur aus zwei Hauptfrüchten. Damit werden die Grundsätze der Fruchtfolgegestaltung nicht eingehalten. In Szenario 2, 3 und 4 wird die gesamte Ackerfläche genutzt. Folglich kann die Überprüfung der Fruchtfolge, wie in Tabelle 34 dargestellt, Erkenntnisse über die Rentabilität und pflanzenbauliche Eignung der errechneten Produktionsprogramme bringen.

Tabelle 34: Fruchtfolge Szenario 2, 3 und 4

Szenario 2			Szenario 3			Szenario 4		
Kultur	in ha	Fruchtfolgeanteil	Kultur	in ha	Fruchtfolgeanteil	Kultur	in ha	Fruchtfolgeanteil
Gesamt	75	100%	Gesamt	75	100%	Gesamt	75	100%
Klee gras	18,8	25%	Klee gras	15	20,0%	Klee gras	15	20%
Dinkel	3,7	5%	Weizen	12,5	16,7%	Dinkel	25	33,3%
Mais	8	10,7%	Dinkel	25	33,3%	Mais	8	10,7%
Triticale	33,8	45,1%	Roggen	7,5	10,0%	Roggen	12,5	16,7%
Sonnenblumen	10,7	14,3%	Soja	15	20,0%	Sonnenblumen	10,7	14,3%
						Erbsen	3,7	5%

Quelle: Eigene Berechnung auf der Basis der im Text genannten Quellen

Die fünfgliedrige Fruchtfolge in Szenario 2 beinhaltet 50% Getreide, 25% Hackfrüchte und 25% Leguminosen. Bei exakter Durchführung der Fruchtfolge stehen den fünf Hauptfruchtkulturen jeweils 15 ha der verfügbaren Ackerfläche von 75 ha zu Verfügung. In der Realität ist aufgrund von standortspezifischen Voraussetzungen selten eine derart gleich große Aufteilung möglich. Die Ausgestaltung der Anbauflächen bestimmt häufig den tatsächlichen Anteil der Kultur. Eine Abweichung, wie sie in der berechneten Fruchtfolge erreicht wird, kann als vernachlässigbar bewertet werden. Möglich wäre zudem die Zusammenfassung der Hackfrüchte als jeweils ein Fruchtfolgefeld. Ein Wechsel von Winter- und Sommerkulturen ist mit den berechneten Fruchtfolgeanteilen nur teilweise möglich. Hinzu kommen 15 ha durch das überjährige Klee gras. Der Unkrautdruck kann durch den Wechsel von Winterung und Sommerung, den Wechsel von Getreide und Hackfrüchten und die Durchführung einer teilweisen Grünbrache im Klee grasanbau gemindert werden. Zwischenfrüchte werden im optimalen Produktionsprogramm nicht angebaut. Außer der Humuszufuhr konnten bodenfruchtbarkeitsfördernde Leistungen der Zwischenfrucht monetär nicht in die Modellierung eingehen. Ein obligatorischer Anbau ist möglich, würde jedoch den Gesamtdeckungsbeitrag im Modell verringern. Damit werden die Fruchtfolgegrundsätze des ökologischen Landbaus nach Freyer (2003) zum größten Teil eingehalten.

Eine vollständige Übertragung der hier untersuchten Ergebnisse auf andere landwirtschaftliche Betriebe ist aufgrund der Vielfalt zwischen und Komplexität innerhalb der Betriebe nicht möglich. Die Beschreibung der wichtigsten Voraussetzungen für eine erfolgreiche Durchführung kann aber die Planung, Umsetzung und Anpassung unterstützen. Die Bodenbearbeitung vor Klee grasaussaat und die Aussaat selbst werden wie im ökologischen Landbau üblich durchgeführt. Die klimatischen und technischen Voraussetzungen sind auf einem durchschnittlichen Betrieb verfügbar. Die Mahd und Ausbringung des ersten Schnitts werden parallel durchgeführt, woraus sich höhere Ansprüche an Organisation und technische Ausstattung ergeben. Eine geringe Entfernung zwischen Klee grasschlägen als Geber- und den Weizenschlägen als Nehmerfeld ist bezüglich Kosteneinsparungen besonders bedeutsam. Neben Treibstoff und Maschinenkosten sind bei umfassenderer Betrachtung vor allem die Lohnkosten ausschlaggebend für die Höhe der Kosten. Zusätzlich ist eine kurzfristig hohe Arbeitskapazität nötig. Analog verhält es sich bei der Verarbeitung des Aufwuchses als Silage. Die Silierung setzt zudem einen Silierplatz voraus, welcher sich im untersuchten Betrieb am Feldrand befindet. Die Bedeckung der Silage wurde im untersuchten Betrieb durch Häckselgut bewerkstelligt, das kostenlos zu Verfügung

steht. Ein Abschluss des Kleeerasaufwuchses durch organisches Material birgt gegenüber der Abdeckung durch Kunststoffolie ein höheres Risiko einer ungenügenden Abdichtung und anschließend unvollständigen Silierung. Wird eine andere Art der Abdeckung gewählt, müssen eventuell höhere Kosten kalkuliert werden. Bei der Bedeckung durch organische Masse muss bei zu trockener Witterung eine Möglichkeit vorhanden sein, das Silagegut zu wässern.

Bei der Kompostherstellung und -ausbringung hat die Verfügbarkeit von günstigen Ausgangssubstraten in geringer Entfernung zum Betrieb die größte Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme. Die Preisobergrenze der Substrate hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. Steigen die zusätzlichen Kosten durch Transport, Analyse, Arbeitsvorgänge der Kompostierung selbst und der anschließenden Ausbringung, müssen die Ausgangssubstrate (z.B. Grünschnitt) günstiger sein, damit der Komposteinsatz ökonomisch rentabel bleibt. Steigen die erwarteten Humus- und Nährstoffersatzwerte im fertigen Kompost, ist die Rentabilität auch bei einem höheren Preis des Substrates noch möglich. Im untersuchten Betrieb wird die Abnahme des Grünschnitts durch den Betriebsleiter von der Gemeinde vergütet. Eine nur kostenfreie Übernahme des Grünschnitts anderer Gemeinden ohne Erlös wäre möglich, wird aber vom Betriebsleiter als nicht rentabel bewertet. Neben den beschriebenen monetären Kosten muss die Auslastung der nötigen Maschinen berücksichtigt werden. Im untersuchten Betrieb wird die Erweiterung der Kompostierung durch die knappe Verfügbarkeit von Anhängern begrenzt, die bei Abnahme von Grünschnitt in anderen Gemeinden dauerhaft am Häckselplatz belassen werden müssten. Für Betriebe mit weniger stark ausgelastetem Maschinenpark kann eine solche Kooperation rentabel sein. Ein befestigter Platz ist für eine möglichst verlustarme Kompostierung von Vorteil. Hier kann auf bereits vorhandene Strukturen, wie im untersuchten Betrieb, zurückgegriffen werden. Bei Kompostierung am Feldrand muss mit höherem Nährstoffverlust gerechnet werden und folglich mit geringeren Nährstoffersatzleistungen. Für eine erfolgreiche Hygienisierung muss das Wissen um die gesetzlichen und fachlichen Faktoren vorhanden sein, sowie Arbeitskapazität für Dokumentationsaufgaben.

Ein wirtschaftlich rentables Produktionsprogramm, das fast allein auf den innovativen Maßnahmen „Kleeerstransfer“ und „Komposteinsatz“ beruht, ist nach den Ergebnissen des Bewertungsinstrumentes der linearen Programmierung und einer strengen Begrenzung der Nährstoffe nicht möglich. Im Basisszenario wird der niedrigste Gesamtdeckungsbeitrag der vier Szenarien ausgewiesen. Dies zeigt das Optimierungspotential der untersuchten Anpassungen. Insgesamt ist die Übertragbarkeit der innovativen Maßnahmen als gut zu bewerten.

3.2.7. Zusammenfassung

Die vieharme, bzw. viehlose Bewirtschaftung ökologischer Betriebe stellt die Betriebsleiter/innen vor Herausforderungen. In dem Projekt BRAVÖ „Mit betrieblichen Innovationen Bodenfruchtbarkeit und Nachhaltigkeit auf vieharmen und viehlosen Betrieben steigern“ werden die von den Partner-Betrieben durchgeführten Innovationen zum Erhalt oder Steigerung der Bodenfruchtbarkeit einer breiteren (Fach-)Öffentlichkeit zugänglich gemacht und wissenschaftlich begleitet. In diesem Bericht wird die ökonomische Bewertung der durchgeführten Innovationen vorgestellt.

Die Innovationen auf den neun Partner-Betrieben sind sehr vielfältig. Folgende Verfahren wurden analysiert:

- Kompost I: Eigene Herstellung
- Tiefenlockerung & Zwischenfruchtanbau mit angepasster Bodenbearbeitung in Folgefrucht
- Mulchen von Klee gras & Zwischenfruchtanbau mit angepasster Bodenbearbeitung
- Klee grastransfer
- Kompost II: Zukauf von Kompostwerk
- Direktsaat in Roggenmulchmatte
- Winterleguminosen
- Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment
- Leguminosendichsaat

In einem ersten Schritt wurden die Daten auf Ebene der Produktionsverfahren auf den Betrieben erhoben und aufbereitet. Dabei lag der Schwerpunkt der Datenerhebung auf den durchgeführten Innovationen. Weitere auf dem Betrieb vorhandene Produktionsverfahren, die in keinen Zusammenhang mit der Innovation stehen, wurden zwar erhoben um ein Gesamtbild des Betriebs zu erhalten, in der weiteren ökonomischen Analyse jedoch nicht betrachtet.

Für jede durchgeführte Innovation wurde gemeinsam mit den Betriebsleitern und Betriebsleiterinnen der Partnerbetriebe und den Projektpartnern und Projektpartnerinnen aus Wissenschaft und Beratung ein alternatives Verfahren definiert. Dieses alternative Verfahren wurde mit der Fragestellung ausgewählt: welches Verfahren würde der Betrieb durchführen, falls ihm die Innovation nicht (mehr) zur Verfügung steht.

Mit Hilfe des Leistung-Kostenrechners des KTBL (2019) wurden die jeweiligen Produktionsverfahren ausgewählt, angepasst und in einer Excel-Datei weiterbearbeitet. Wann immer möglich wurden betriebsspezifische Daten in die Analyse aufgenommen. War das nicht möglich, wurden Standardwerte des KTBLs ergänzt. Die aufbereiteten Daten wurden von den Betriebsleitern und Betriebsleiterinnen überprüft und gegebenenfalls korrigiert.

Als Leistung wurde bei der Erzeugung marktfähiger Güter der Produkterlös berücksichtigt. Ebenso wurden die in den Boden eingebrachten Nährstoffe mit einem monetären Ersatzwert bewertet und als Leistung in die Berechnungen aufgenommen.

Als Ergebnis bleibt fest zu halten, dass sechs der zehn durchgeführten Innovationen gegenüber der gewählten Alternative wirtschaftlich unterlegen sind. Dies zeigt sich durch einen jeweils höheren Deckungsbeitrag der Alternative. Jedoch muss dieses Ergebnis mit Einschränkungen interpretiert werden:

- Vielzahl nicht-monetär bewertbare Leistungen der Innovation
- Hoher Anteil geschätzter Daten
- kurzer Untersuchungszeitraum und damit Unsicherheit einiger Daten (z.B. starke Schwankungen in Erträgen, Auswirkungen auf Ertragshöhe erst langfristig messbar)
- die zum Vergleich herangezogenen alternativen Maßnahmen sind in der Praxis auf den Testbetrieben schwierig durchführbar

Insgesamt gesehen können die analysierten Innovationen für viehlos, bzw. vieharm wirtschaftende Betriebe eine interessante Möglichkeit sein, die Bodenfruchtbarkeit zu erhöhen, bzw. zu erhalten. Viele der untersuchten Innovationen können ohne hohe Investitionskosten mit auf dem Betrieb vorhandenen Maschinen durchgeführt werden (Klee grastransfer, Klee gras mulchen vor Weizen, Zwischenfruchtanbau, Winterleguminosen,

Leguminosendichtsaat). Andere Innovationen wiederum (Tiefenlockerung, Kompostherstellung und -ausbringung, Sojadirektsaat) sind als System zu sehen und greifen tiefer in die Betriebsorganisation ein.

Die innovativen Maßnahmen werden von den Betriebsleitern selbst nach den ersten Jahren als durchweg positiv für die Förderung der Bodenfruchtbarkeit eingeschätzt. Vor allem die Nährstoff- und Humuszufuhr und eine Schonung bzw. Förderung des Bodenlebens und Bodengefüges wurden als Ziele der Maßnahme genannt. Die tendenzielle ökonomische Rentabilität stimmt mit den Einschätzungen der Landwirte gut überein. Potenzielle Mehrkosten sind den meisten Betriebsleitern bewusst und werden mit den positiven Auswirkungen ab gewägt.

Die ökonomische Rentabilität der innovativen Maßnahmen „Klee-grastransfer“ und „Komposteinsatz“ wurde außerdem in einer Studie mittels Linearer Programmierung noch ausführlicher untersucht. Hierfür wurde die optimale Zusammenstellung aller im Betrieb realisierten Produktionsverfahren in vier Szenarien errechnet.

Im Basisszenario wird der Betrieb möglichst wirklichkeitsgetreu dargestellt. Der Gesamtdeckungsbeitrag von 36.805 € und die unvollständige Ausnutzung der Flächen lassen auf eine geringe kurzfristige Rentabilität der Verfahren in dieser Betrachtung schließen. Die Maßnahme „Komposteinsatz“ wird in vollem Umfang und selbst bei einer starken Verringerung des Deckungsbeitrags durchgeführt. Folglich kann der innerbetriebliche Wert der Kompostzufuhr in Szenario 1 als hoch bewertet werden. Die Maßnahme „Klee-grastransfer“ wird zudem nur in einem geringen Umfang durchgeführt. Es werden nur 5 ha Klee-gras angebaut und die hergestellte Menge von 124 t Klee-gras aufwuchs wird anschließend ausgebracht. Als größtes Hindernis erweist sich eine mangelnde Kongruenz zwischen Nährstoffzufuhr und Nährstoffbedarf der Verfahren. Insbesondere der Kaliumbedarf kann durch die zur Auswahl gestellten Düngeverfahren nicht gedeckt werden.

In Szenario 2 wird das Basisszenario um die Möglichkeit der Düngung mit Rindermist im Rahmen einer Futter-Mist-Kooperation erweitert. Damit wird eine im Ökolandbau übliche Standardmaßnahme zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit zur Auswahl gestellt. Durch die Ansprüche an die hergestellte Klee-grasmenge steht die Maßnahme zudem in direkter Konkurrenz zur innovativen Maßnahme „Klee-grastransfer“. In Bezug auf die Rentabilität zeigt sich eine Überlegenheit des Produktionssystems mit Rindermistdüngung. Der Gesamtdeckungsbeitrag steigt im Vergleich zum Szenario 1 um 146% auf 90.452 € und es werden 314 t Rindermist ausgebracht. Das innovative Verfahren „Klee-grastransfer“ wird in geringerem Umfang durchgeführt, als im Basisszenario. Der Aufwuchs wird zum größten Teil gegen Rindermist getauscht. Die Rentabilität dieser innovativen Maßnahme sinkt folglich bei Verfügbarkeit von Rindermist. Durch die Möglichkeit der Rindermistdüngung wird die Kongruenz zwischen der Nährstoffzufuhr und dem Nährstoffbedarf verbessert. Dies spiegelt sich auch in einer Veränderung der innerbetrieblichen Bewertung der Nährstoffe wieder. Die Maßnahme „Komposteinsatz“ wird erneut in vollem Umfang durchgeführt. Der innerbetriebliche Wert der Kompostzufuhr ist, im Vergleich zu Szenario 2, wesentlich geringer.

Szenario 3 stellt die Möglichkeit dar, im Rahmen einer biozyklisch-veganen Zertifizierung die Rentabilität der Innovationen zu erhöhen. Die untersuchten innovativen Maßnahmen sind per se mit den Richtlinien des Biozyklisch-veganen Anbaus (BNS 2019) kongruent und eine mögliche Mehrzahlungsbereitschaft von Konsumenten aufgrund des Siegels kann dieses Potenzial ausschöpfen. Voraussetzung ist eine vollständige Trennung jeder Verbindung zur Nutztierhaltung. Um diesem Kriterium zu entsprechen mussten mehrere Verfahren angepasst werden. Für den Weidelgras- und Grünlandaufwuchs wurde analog zum innovativen Verfahren

„Kleeegrastransfer“ die Möglichkeit der Nutzung als Dünger zugefügt. Um die Bedarfsdeckung der Nährstoffe zu optimieren, wurden die Düngeverfahren zudem um den Zweinährstoffdünger Kali-Magnesia erweitert. Der Gesamtdeckungsbeitrag steigt im Vergleich zum Szenario 1 um 344% auf 163.508 €. Die Maßnahme „Komposteinsatz“ wird erneut in vollem Umfang durchgeführt. Im Vergleich zu Szenario 1 kann der innerbetriebliche Wert der Kompostzufuhr erneut als wesentlich geringer bewertet werden. Die Maßnahme „Kleeegrastransfer“ wird durch die Variante mit Grünlandaufwuchs verdrängt. Diese Möglichkeit wird als Variante der innovativen Maßnahme begriffen, sodass eine Steigerung der Rentabilität des innovativen Verfahrens „Kleeegrastransfer“ festzustellen ist. Durch die Erhöhung der Erlöse und die Erweiterung der Düngeverfahren konnte die Rentabilität in dieser Betrachtung gesteigert werden.

In Szenario 4 wurde untersucht, welche Auswirkungen eine vollständige Vernachlässigung der Nährstoff- und Humusbilanzen auf das optimale Produktionsprogramm und den Gesamtdeckungsbeitrag hat. Im Vergleich zum Basisszenario steigt der Gesamtdeckungsbeitrag um 180% auf 103.194 €. Die zu Verfügung stehende Fläche wird vollständig ausgenutzt und eine sechsgliedrige Fruchtfolge wird ausgewiesen, die aufgrund der relativ streng gewählten Fruchtfolgebegrenzungen, den Grundsätzen der ökologischen Fruchtfolgegestaltung noch entspricht. Die Nährstoff- und Humusbilanzen sind jedoch stark negativ, sodass dieses optimale Produktionsprogramm als nicht realisierbar bewertet werden kann.

Die Ergebnisse des Modells müssen vor dem Hintergrund einiger Einschränkungen interpretiert werden. Die genutzten Daten sind mit Unsicherheiten behaftet. Zu den relevantesten Faktoren gehören Verzerrung durch Schätzung, Unstimmigkeiten durch unterschiedliche Quellen, Vereinfachung der Daten aufgrund der Wahl des Bewertungsinstruments und Bildung von Mittelwerten über einen kurzen Zeitraum. Die praktische Übertragbarkeit ist im Allgemeinen gut. Benötigte technische und klimatische Voraussetzungen sind auf einem durchschnittlichen Ackerbaubetrieb gewöhnlich vorhanden.

Ein ökonomisch rentables Produktionsprogramm mit den innovativen Maßnahmen „Kleeegrastransfer“ und „Komposteinsatz“ allein konnte in dieser Betrachtung nicht berechnet werden. Eine Erweiterung der Düngeverfahren kann die Rentabilität erheblich steigern. Bei ceteris paribus ähnlichen Voraussetzungen können die innovativen Maßnahmen eine rentable Möglichkeit zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit in viehlosen Ökobetrieben sein. Für eine korrekte Berechnung der Leistung der Verfahren sind jedoch komplexere Nährstoffbilanzierungsmethoden nötig. Die Zertifizierung nach den Biozyklisch-Veganen Richtlinien kann möglicherweise die Rentabilität der Maßnahmen verbessern. Für eine endgültige Bewertung ist hierzu jedoch noch Forschung zur Mehrpreisbereitschaft, tatsächlichem Kaufverhalten und zu den Marktpotenzialen nötig. Im Zuge einer weiterhin steigenden Bedeutung der veganen Lebensweise kann sich die aktuelle Tendenz einer zunehmend spezialisierten Landwirtschaft als Chance erweisen.

3.3. Ergebnisse Exaktversuch Kleinhohenheim

Zentrum für Ökologischen Landbau, Universität HohenheimHohenheim

Dr Sabine Zikeli, M. Sc. Sadia Sana und M. Sc. Sabrina Francksen

3.3.1. Einleitung

Im Zuge der allgemeinen Intensivierung und Spezialisierung im Ökologischen Landbau wächst der Anteil viehlos oder vieharm wirtschaftenden Betriebe. In ökologisch wirtschaftenden Gemischtbetrieben, vor allem solchen mit Wiederkäuerhaltung, steht der innerbetriebliche Nährstoffkreislauf im Zentrum aller Maßnahmen zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit: Es werden standardmäßig Gemenge aus Futterleguminosen (Kleearten und Luzerne) und Gräsern zur Futterproduktion angebaut und Festmist und Gülle werden als Düngemittel auf Acker- und Grünlandflächen rückgeführt. Diese Düngergaben wirkt sich positiv auf Humus- und Nährstoffbilanzen aus. Dabei ist die Höhe der Humusreproduktion sowie die Nährstoffrückführung von unterschiedlichen Faktoren wie z.B. der Trockenmasse pro ausgebrachte Einheit und der Herkunft und Behandlung des Ausgangsmaterials (Tierart, Lagerung usw.) abhängig. Die Humusreproduktion von Futterbaugemengen ist, vor allem durch die hohe unterirdische Biomasse, so hoch wie bei keiner anderen Kultur (Stumm 2015). Außerdem ist die symbiotische N-Fixierung durch Leguminosen die wichtigste N-Quelle im Ökolandbau (Stein-Bachinger et al. 2004) und übersteigt die Fixierungsleistung von grobkörnigen Leguminosen deutlich (Kolbe et al. 2006; Castell et al. 2016). Weitere Leistungen der Futterbaugemenge bestehen aus der beikrautunterdrückenden Wirkung vor allem bei über- und mehrjährigem Anbau (Böhm 2014), der Mobilisierung und Freisetzung von Phosphor (Gerke und Meyer 1995) sowie der guten Eignung als Nahrungspflanzen für Bestäuberinsekten (Woodcock et al. 2014; Rundlöf et al. 2014). Bei Betrieben mit Tierhaltung, insbesondere bei der Haltung von Monogastriern, erfolgen meist auch größere Nährstoffinputs über Zukauffutter, die dem Betrieb weitere Nährstoffe zuführen.

Im Gegensatz zum viehhaltenden Betrieb existiert auf viehlosen und vieharmen Betrieben jedoch keine oder nur eine sehr begrenzte direkte Nutzung des Kleegrasaufwuchses, da dieser nicht direkt als Futter verwendet werden kann. Den Kosten für den Anbau von feinsamigen Leguminosen steht folglich keine direkte Leistung in monetärer Form gegenüber.

Eine alternative Nutzungsmöglichkeit für viehlose oder vieharme Betriebe ist der Tausch des Kleegrases gegen Mist im Rahmen einer Futter-Mist-Kooperation mit einem viehhaltenden Betrieb oder der Zukauf von Mist. In typischen Ackerbauregionen befinden sich jedoch wenige viehhaltende Betriebe. Ökologisch wirtschaftende viehhaltende Betriebe nutzen ihren Mist zudem in der Regel selbst. Wenn möglich und soweit im Rahmen der rechtlichen Regelungen und der Standards der Öko-Anbauverbände zulässig, wird in der Praxis häufig auf Mist von konventionellen Betrieben, die sich in der Nähe befinden, zurückgegriffen. Die Bodenfruchtbarkeit über Nährstoffe zu sichern, welche aus einem Anbausystem stammen, das den ökologischen Prinzipien widerspricht, wird jedoch vor allem von den Anbauverbänden zunehmend kritisch gesehen.

Daher wird der Anbau von Futterleguminosengemengen auf viehlosen oder vieharmen Betrieben meist reduziert (z.B. einjähriger statt über- oder mehrjährigem Anbau) oder ganz eingestellt (Loges und Taube 2007).

Durch diese Veränderung der Fruchtfolgegestaltung (weniger mehrjährige Kleegräser, mehr Marktfrüchte und Körnerleguminosen) sowie der fehlenden Verfügbarkeit von tierischen Düngemitteln wird ein Rückgang der Bodenfruchtbarkeit auf viehlosen und vieharmen

Betrieben vermutet. Vor allem eine ausreichende Humus- und Stickstoffzufuhr ist ohne Klee-grasanbau in einer ökologischen Ackerbaufruchtfolge kaum zu erreichen. Im Rahmen eines Dauerversuchs zum Vergleich verschiedener ökologischer Anbausysteme auf dem Versuchsbetrieb Gladbacherhof der Universität Gießen wurde für die viehlose Variante ohne Klee-grasbrache ein Rückgang des ursprünglichen Kohlenstoffgehalts im Boden um 8% und eine um 18% geringere Ausnutzung des im System vorhandenen Stickstoffs (N) gegenüber der Variante mit Viehhaltung dokumentiert (Schulz 2012).

Zwar ermöglicht die EU-Ökoverordnung (EU 2008) sowie die Richtlinien der deutschen Öko-Verbände den Zukauf von externen Grunddüngern wie Kompost (z.B. aus Bioabfall aus der „Braunen Tonne“ oder Grünschnitt), allerdings stellt dies für Ackerbaubetriebe in der Praxis meist keine ökonomisch rentable Alternative dar. Allein durch Zwischenfrüchte oder grobkörnige Leguminosen kann der fehlende Biomasse-Input zur Humusreproduktion jedoch kaum sichergestellt werden (Schulz 2012). Eine weitere Herausforderung der viehlosen Wirtschaftsweise besteht in einem erschwerten Beikrautmanagement (Schmidt 2004). Die beikrautunterdrückende Wirkung des Klee-grases kann nur bei ausreichender Standzeit gewährleistet werden und basiert auf mehreren Faktoren, die nur im Rahmen einer Kulturdauer von mindestens zwei Jahren zum Tragen kommen: Der dichte, konkurrenzstarke Bewuchs reduziert die Keimung von Unkräutern, die wiederholte Mahd des Aufwuchses schwächt vor allem schnittsensible Unkräuter (z.B. die Ackerkratzdistel *Cirsium arvense*) und durch die intensive Durchwurzelung des Bodens werden mehrjährige Wurzelunkräuter bekämpft (Schulz 2012; Böhm et al. 2014).

Wird Klee-gras auf viehlosen bzw. vieharmen Betrieben dennoch angebaut, verändert sich in der Regel das Management der Kultur: Der Aufwuchs wird, aufgrund der fehlenden direkten Verwendung häufig nicht mehr abgefahren sondern gemulcht (Loges und Taube 2007). Die Mineralisierung des Mulchs führt zu einem erhöhten Bodenvorrat an mineralischem N (N_{min}) und folglich zu einem höheren Verlustrisiko des sowohl für die Ertragsbildung und damit für die Wirtschaftlichkeit des Betriebes als auch für die Umwelt relevanten N (Stinner 2011). Im Vergleich von gemulchtem und schnittgenutztem Klee-grasanbau werden bei Ersterem höhere NH_4^+ sowie N_2O -Emissionen (Laber 2007; Helmert et al. 2003; Stumm und Köpke 2017) und eine höhere Nitratauswaschung (Dreyman et al. 2005) festgestellt. Dies trifft jedoch nicht auf alle Standorte und Managementverfahren zu. So finden Brozyna et al. (2013) in einem On-Farm Versuch zu unterschiedlichen Anbaumethoden von Klee-gras und Zwischenfrüchten und den jeweiligen Auswirkungen auf die N-Dynamik keine signifikanten Lachgasemissionen beim Anbau mit Mulchnutzung im Vergleich zum Anbau mit Abfuhr des Aufwuchses. Ursache hierfür sind vor allem Unterschiede in der Denitrifikation, welche die Entstehung von NH_4^+ sowie N_2O beeinflusst. Bei Mulchnutzung werden während des Sommers (Möller und Stinner 2009) und während feuchter Witterungsperioden (Larsson et al. 1998) höhere gasförmige Verluste festgestellt. Stumm und Köpke (2016) fanden vor allem nach Starkniederschlägen hohe N_2O -Emissionen. Als generelles Risiko für eine erhöhte Denitrifikation und damit einhergehenden höheren N_2O -Emissionen wird die gleichzeitige Verfügbarkeit von leicht umsetzbarem Kohlenstoff und Stickstoff gesehen (Hansen et al. 2019), wie sie häufig bei gemulchten Klee-grasschnittgut aufgrund des engen C/N-Verhältnis vorliegt.

Der erhöhte N_{min} -Gehalt im Boden führt insgesamt zu einer geringeren N-Fixierleistung der Leguminosen (Schmidt 1997; Heuwinkel und Loges 2004). Die für die Fixierung verantwortlichen Knöllchenbakterien greifen bei entsprechendem Angebot eher auf mineralisch im Boden vorliegenden N zurück statt N energieaufwendig aus der Luft zu fixieren. Im Gemenge mit Gräsern führt eine Erhöhung des N-Angebots außerdem zu einer Bestandsveränderung hin zu höheren Grasanteilen (Kolbe et al. 2006). Mulchen kann jedoch

auch Vorteile haben, wie beispielsweise eine gesteigerte Beikrautunterdrückung oder eine geringere Verdunstung aufgrund der Mulchauflage (Schulz 2012).

Die Ausbringung von Mist, Gülle und Jauche, wie auf für Gemischtbetriebe im Ökolandbau typisch, bringt mehrere Vorteile mit sich: Der symbiotisch fixierte Stickstoff sowie andere, bereits im System vorhandene Nährstoffe werden vom Tier aufgenommen und zum Teil wieder ausgeschieden und verbleiben somit auf dem Betrieb. Da diese organischen Dünger lagerfähig sind und dadurch bedarfsgerecht ausgebracht werden können, ist die zeitlich angepasste Düngung nach Bedarf der Kulturen gewährleistet, soweit dies bei organischen Düngern, die Nährstoffe zeitversetzt bereitstellen, möglich ist. Auf solche mobilen Dünger aus der Tierhaltung kann jedoch im viehlosen und vieharmen Betrieb nicht zurückgegriffen werden.

Eine weitere Herausforderung bezüglich der Bodenfruchtbarkeit im viehlosen Betrieb betrifft die Versorgung mit den Nährstoffen Phosphor (P) und Kalium (K). Zur P-Versorgung wurde im Rahmen dieses Projekts eine Literaturstudie erstellt, in welcher der Status Quo, die Lösungsansätze und die Herausforderungen der P-Versorgung im Ökologischen Landbau diskutiert werden (vgl. Kapitel 2.1 des Abschlussbericht 3 dieses Projekts).

Aufgrund der oben aufgeführten Bedeutung des Kleegrasanbau für Bodenfruchtbarkeit und Beikrautmanagement, ist die Frage nach einer alternativen Verwertung des Aufwuchses im viehlosen bzw. vieharmen Betrieb von zentraler Bedeutung. Um die Nachteile der Mulchnutzung zu umgehen kann der Aufwuchs abgefahren und in verarbeiteter Form als Düngemittel genutzt werden. Hierbei stehen folgende Optionen zur Verfügung: a) Nutzung des Aufwuchses in einer Futter-Mist-Kooperation mit einem viehhaltenden Nachbarbetrieb und Rückführung des tierischen Düngers, b) Vergärung des Aufwuchses in einer Biogasanlage und Rückführung der Gärreste und c) Abfuhr des Aufwuchses und innerbetriebliche Nutzung als Transfermulch (mobiler Dünger) in Form von Cut-and-Carry (Ausbringung des Frischmaterials direkt nach der Mahd), als Silage oder Heu.

Letzteres kann vor allem für jene viehlosen Betriebe eine rentable Möglichkeit sein, für die weder ein viehhaltender Betrieb noch eine Biogasanlage in geringer Entfernung verfügbar ist. Die benötigten technischen Voraussetzungen für die Herstellung, Ausbringung und Einarbeitung von Transfermulch sind auf einem durchschnittlichen Ackerbaubetrieb standardmäßig vorhanden, sodass keine oder kaum Investitionen getätigt werden müssen. Lediglich für die Silagebereitung muss ggfs. auf externe Technik (z.B. Maschinenring, Lohnunternehmen) zurückgegriffen werden. Die Arbeitsschritte bei der Herstellung von Transfermulch sind identisch wie bei Nutzung des Aufwuchses als Futter, sodass auch hier geringe Transaktionskosten für die Aneignung neuen Wissens entstehen. Die Ausbringung und Einarbeitung werden ähnlich wie bei anderen organischen Düngern durchgeführt, jedoch könnte je nach Kultur, Investitionen in passende Technik nötig werden.

Neuere Studien zur Düngewirkung des Kleegrasaufwuchses als Transfermulch weisen auf das Potenzial der alternativen Düngemaßnahme für viehlose Betriebe hin. Diese Untersuchungen befassen sich vor allem mit der Auswirkung der unterschiedlich aufbereiteten, kleegrasbasierten Düngemitteln (frisch, siliert, getrocknet / ggfs. pelletiert und/oder kompostiert) auf verschiedene ökonomische, pflanzenbauliche und ökologische Faktoren.

In einem Vorversuch wurden vom Projektnehmer bereits der Düngewert und die Stickstofftransfereffizienz von unterschiedlichen, auf Klee gras basierenden Düngemitteln (frisch, siliert, kompostiert und nach Vergärung in einer Biogasanlage) untersucht. Dabei wurden eine signifikante Düngewirkung sowie signifikante Unterschiede zwischen den Aufbereitungsarten des Klee gras aufwuchses beobachtet (Benke et al. 2017). Um einen

Vergleich zwischen unterschiedlichen Düngemitteln mit unterschiedlicher Behandlung (Lagerung, Silierung, Ausbringungstechnik) und den dadurch bedingten Nährstoffverlusten (z.B. NH_3 -Verluste bei Gülleausbringung, N-Verluste während der Kompostierung) zu ermöglichen, wurde die sogenannte Nährstofftransfereffizienz berechnet. Diese bezieht sich auf die Menge an Nährstoffen aus dem Ausgangssubstrat die tatsächlich für die Aufnahme in die Pflanze bereit steht. Von den auf Klee gras basierenden Düngemitteln bewirkte der Klee gras aufwuchs in Form von frischem und siliertem Aufwuchs sowie Biogasgärrest auf Basis von Klee gras, Schweingülle, Schweinemist und Mais, hohe bis mittlere langfristige Stickstofftransfereffizienzen von 70%, 60% und 56% sowie eine signifikante Ertragssteigerung gegenüber der ungedüngten Kontrolle (Benke et al. 2017). Die Stickstofftransfereffizienz war höher als bei den Varianten mit den im ökologischen Landbau sehr häufig genutzten Düngemitteln Kompost (6%), Rindermist (22%) und Rindergülle (48%) und nur wenig geringer als bei der Variante mit Mineraldünger (85%). Vor allem die geringen Verluste bei der Herstellung, Aufbereitung und Ausbringung des Klee gras aufwuchses sind vorteilhaft. Eine hohe kurzfristige N-Transfereffizienz korrelierte ebenfalls negativ mit der Höhe der N-Verluste, wurde jedoch auch in hohem Maße von der chemischen Form des vorhandenen Stickstoffs (v.a. vom NH_4^+ zu N_t Verhältnis) beeinflusst. Im Versuch führte der relativ NH_4^+ -reiche Gärrest zu einem höheren Ertrag im ersten Schnitt als frisches oder siliertes Klee gras, das beides geringere NH_4^+ -Gehalte aufwies. Im dritten Schnitt hingegen zeigten frisches und siliertes Klee gras höhere Erträge, sodass von einer langsameren Mineralisierung von frischem und siliertem Klee gras ausgegangen werden kann. Auch hinsichtlich der P-Düngewirkung ergaben sich signifikante Unterschiede, bei einer Düngung mit frischem Klee gras aufwuchs wurde sogar eine P-Nutzungseffizienz von über 100% festgestellt. Es wurde demnach zusätzlich zum gedüngten P als Folge der Düngung weiteres P aus dem Bodenvorrat mobilisiert.

Die Erkenntnisse des Gefäßversuchs von Benke et al. (2017) deuten auf eine hohe Eignung von klee grasbasierten Düngemitteln vor allem in frischer und siliertem Form, die bereits in Feldversuchen bestätigt werden konnten.

Um die Übertragbarkeit der Ergebnisse des Gefäßversuches von Benke et al. 2017 auf das Freiland zu testen, wurde im Rahmen des EIP-Projekts BRAVÖ „Mit betrieblichen Innovationen Bodenfruchtbarkeit und Nachhaltigkeit auf vieharmen und viehlosen Betrieben steigern“ ein Exaktversuch auf der Versuchsstation Kleinhohenheim der Universität Hohenheim durchgeführt.

Ziel dieser Arbeit war es, die Auswirkungen von klee grasbasierten Düngemitteln (Klee grassilage, Klee gras pellets, frisch geschnittenes und ausgebrachtes Klee gras (Cut-and-Carry) sowie nach Vergärung in einer Biogasanlage) auf den Ertrag von Kartoffeln sowie auf die N-Dynamik im Boden zu untersuchen und mit zwei Kontrollvarianten (kompostierter Rindermist (praxisüblicher Dünger) und Horngries) zu vergleichen. Um die langfristigen Auswirkungen der Düngung auf die Folgekultur zu prüfen, wurden die Datenerhebungen im zweiten Versuchsjahr in der Folgekultur Sommerweizen weitergeführt.

3.3.2. Material und Methoden

3.3.2.1. Versuchsstandort

Der Exaktversuch wurde in den Jahren 2018 und 2019 auf der ökologisch bewirtschafteten Versuchsstation Kleinhohenheim der Universität Hohenheim (Stuttgart, Südwestdeutschland) (48° 74' N, 9° 19' E und 435 ü. M.) durchgeführt. Kleinhohenheim wird seit 1994 nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus bewirtschaftet. Der Betrieb ist nach der EU-Öko-Verordnung (EG 834/2007) und nach den Standards der großen deutschen Öko-Anbauverbände Naturland e.V., Demeter e.V. und Bioland e.V. zertifiziert. Die langjährige mittlere jährliche Niederschlagsmenge beträgt ca. 700 mm; die langjährige mittlere Jahresdurchschnittstemperatur 8,8 °C. Der Gesamtniederschlag in der Wachstumsphase (April bis September) betrug 2018 226 mm und 2019 352 mm. Der Bodentyp der Versuchsfelder ist eine Parabraunerde mit einer lehmigen Textur.

3.3.2.2. Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Der zweijährige Versuch wurde als Row-Column-Design mit vier Wiederholungen und sieben Behandlungen und einer ungedüngten Kontrolle angelegt. Das erste Anbaujahr mit Kartoffeln wurde in den Jahren 2018 und 2019 auf zwei unterschiedlichen Flächen der Versuchsstation durchgeführt. Die eingesetzten Düngemittel waren Kleeegrassilage, Kleeegraspellets, Biogasgärrest auf der Basis von Klee gras und Schweinegülle, frisches Klee gras (Cut-and-Carry, CUT), kompostierter Rindermist und Horngries. Um Unterschiede in der Mineralisierung zwischen Frühjahrs- und Herbstausbringung zu erfassen, wurden bereits im Herbst 2017 bzw. im Herbst 2018 Kleeegrassilage (SIL-H) sowie kompostierter Rindermist (KM-H) ausgebracht, im Frühjahr vor dem Legen der Kartoffeln erfolgte die Ausbringung von Kleeegrassilage (SIL-F), Kleeegraspellets (PEL), Biogasgärrest (BG) aus Klee gras und Schweinegülle sowie Horngries (HOG). Die Einarbeitung erfolgte vor dem Legen der Kartoffeln mit einer Rotorfräse. Das frische Klee gras (CUT) wurde nach dem Legen der Kartoffeln auf die Dämme ausgebracht und ebenfalls eingearbeitet.

Die Zielgröße der N-Zufuhr war 100 kg ha⁻¹ für alle Düngemittel. Der Gesamt-N-Gehalt der Düngemittel wurde vor der Düngemittelanwendung durch eine Kjeldahl-Analyse bestimmt.

Die Größe einer einzelnen Parzelle betrug 11 m × 4,5 m, wobei jede Parzelle 6 Kartoffelreihen umfasste. Der Abstand betrug zwischen den Reihen 75 cm und zwischen den Pflanzen in der Reihe 30 cm.

Als Kartoffelsorte (*Solanum tuberosum* L.) wurde ‚Ditta‘ (festkochend, mittelfrüh) eingesetzt, die ca. 95-110 Tage bis zur Abreife benötigt.



Abbildung 28: Ausbringung von Düngemitteln im Frühjahr

Als Vorkultur wurde auf der Fläche KH1 des Anbaujahrs 2018 Dinkel und auf der Fläche TS2 des Anbaujahrs 2019 Hafer angebaut. Die Kulturführung erfolgte betriebsüblich nach der gängigen landwirtschaftlichen Praxis (Tabelle 35). Die Beikrautregulierung wurde mit Sternradhacken im April und Mai durchgeführt. Die Düngemittel wurden per Hand ausgebracht (Abb. 1). Nach dem Auflaufen der Kultur wurde wöchentlich die Pflanzenentwicklung (BBCH) dokumentiert und das Auftreten von Pflanzenkrankheiten (v.a. Kraut- und Knollenfäule *Phytophthora infestans*) und Schädlingen (v.a. Kartoffelkäfer, *Leptinotarsa decemlineata*)

kontrolliert. Zur Bekämpfung des Kartoffelkäfers wurde im Juni in beiden Jahren jeweils zwei Behandlungen mit NeemAzal T/S, (1,5 bzw. 2,5 l ha⁻¹) durchgeführt.

Tabelle 35: Durchgeführte Maßnahmen und Probenahmen in Kartoffeln für die Versuchsjahre (2018 und 2019)

Maßnahme	Versuchsjahr 2018		Versuchsjahr 2019	
	2017	2018	2018	2019
Düngung				
Düngung Herbst (SIL-H, KM-H)	24. Okt.		18. Okt.	
Düngung Frühjahr (SIL-F, PEL, BG, HOG)		5. Apr.		28. März
CUT Ausbringung		29. Mai		17. Mai
Versuchsdurchführung				
Pflügen (Meißelpflug)	28. Sept.		19. Dez.	
Bodenbearbeitung (Kreiselegge)		4. Apr.		
Einarbeitung Dünger mit Meißelpflug		5. Apr.		
mit Grubber				28. März
Bodenbearbeitung (Kreiselegge)		16. Apr.		12. April
Kartoffel legen		16. Apr.		15. Apr.
Striegeln		25. Apr.		3. Mai
Häufeln		26. Apr.		8. Mai
Hacken (Sternradhacke)		26. Apr.		8. Mai
Hacken (Sternradhacke)		9. Mai		3. Mai
Hacken (Sternradhacke)		19. Mai		2. Juni
Kontrolle von <i>L. decemlineata</i> (NeemAzal-T/S, 1,5 l ha ⁻¹)		4. Jun.		19. Jun.
Zwischenernte		11. Jun.		18. Jun.
Kontrolle von <i>L. decemlineata</i> (NeemAzal-T/S, 2,5 l ha ⁻¹)		17. Jun.		27. Jun.
Endernte		5. Sep.		5. Sep.

SIL-H = Silage Herbst; KM-H = kompostierter Rindermist Herbst; SIL-F = Kleegrassilage Frühling; PEL = Kleegraspellets; BG = Biogasgärrest basierend auf Kleegras und Schweinegülle; HOG = Horngries; CUT = "Cut and Carry" mit frischem Kleegrasaufwuchs



Abbildung 29: Kartoffelbestand am 09.06.2018



Abbildung 30: Kartoffelbestand am 11.06.2018



Abbildung 31: Blühende Kartoffelpflanzen am 20.06.2018

Nach Ernte der Kartoffeln wurde im Folgejahr Sommerweizen (Sorte Mistral) mit 450 Körner m² ausgesät und die Pflanzenentwicklung bonitiert.

Tabelle 36: Durchgeführte Maßnahmen in Sommerweizen (2019 und 2020)

Maßnahme	Versuchsjahr 2018/2019		Versuchsjahr 2019/2020	
		2019		2020
Aussaat 450 Körner m ²		25. März		20. März
Striegeln				28. April und 18. Mai
Triebzählung		14. Mai		20. Mai
SPAD Messungen		31. Mai und 28. Jun.		03. Jun.
Messung	der	5. Jul.		23. Jul.
Pflanzenhöhe				
Ährenzählung		6. Jul.		23. Jul.
Ernte		1. Aug.		6. Aug.

3.3.2.3. Ertragsfassung und Probenaufbereitung der Pflanzenproben

Kartoffeln

Zwischenernte

Um die Pflanzenentwicklung und die Pflanzenbiomasse zur Knollenbildung zu bewerten, wurde in beiden Versuchsjahren im Juni eine Zwischenernte durchgeführt. Für diese wurden jeweils zehn Pflanzen zufällig aus einer Reihe pro Parzelle ausgewählt, die Ernte

erfolgte manuell. Das Pflanzenmaterial wurde in Knollen-, Wurzel- und oberirdische Biomasse getrennt, für alle Fraktionen wurde pro Parzelle aus den 10 Pflanzen jeweils eine Mischprobe erstellt.

Endernte

Für die Endernte (Abb. 6) wurden die Kartoffelknollen der drei mittleren Reihen jeder Parzelle entnommen. Nach Bestimmung der gesamten Frischmasse wurde der marktfähige und nicht marktfähige Ertrag der Kartoffeln durch Größeneinstufung der Knollen mit Hilfe eines Siebes bewertet. Knollen die kleiner als 3,5 cm und größer als 11 cm waren, wurden als nicht marktfähig eingestuft, die Knollengröße von 9 bis 11 cm galt als marktfähig. Um den jeweiligen Anteil unbeschädigter, fauler, grüner und mit Drahtwürmern infizierter Kartoffeln pro Parzelle zu bewerten, wurden zusätzlich ca. 1,5 kg zufällig ausgewählte Knollen jeder Parzelle nach diesen Eigenschaften sortiert (Abb. 7).



Abbildung 32: Endernte am 05.09.2018



Abbildung 33: Aussortieren der Knollen um den Anteil beschädigter, fauler, grüner und mit Drahtwürmern infizierter Kartoffeln zu bestimmen.

Sommerweizen

Für die Ernte wurden Anfang August jeweils 2 m² pro Parzelle manuell geerntet. Anschließend wurde die Frischmasse bestimmt, das Erntegut wurde gedroschen und die Gewichte von Stroh und Korn wurden getrennt bestimmt. Danach wurden Korn und Stroh eine Woche lang bei 40°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

3.3.2.4. Bodenprobenahme (Mineralischer Bodenstickstoff (N_{min}) und Grundanalysen)

N_{min}

Die erste N_{min}-Beprobung im Anbaujahr der Kartoffeln erfolgte im März in drei Tiefen (0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm) (Abb. 1). Um die Menge an N zu bestimmen, die für die Knollenbildung verfügbar war, wurde eine zweite N_{min}-Probenahme nach der Ausbringung der Düngemittel im Frühjahr etwa einen Monat nach dem Legen der Kartoffeln die Tiefen 0-30 cm und 30-60 cm, dem Hauptwurzelraum der Kartoffeln, durchgeführt. Um das N-Auswaschungspotential abzuschätzen, wurde die dritte N_{min}-Probenahme nach Kulturende im Herbst für drei Bodentiefen (0-30 cm, 30-60 und 60-90 cm) durchgeführt.

Vor der Aussaat des Sommerweizens im März wurden von jeder Parzelle sechs Bodenproben in drei Tiefen (0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm) zur N_{min}-Analyse entnommen.

Für jede Tiefe wurden bei allen Beprobungen die sechs Proben pro Parzelle mit einem Bohrstock gezogen und zu einer Mischprobe vereinigt. Die Proben wurden gekühlt und anschließend bis zur Analyse bei einer Temperatur von -18 ° C im Gefrierschrank gelagert.

Tabelle 37: Durchgeführte Maßnahmen und Probenahmen in Kartoffeln für die Versuchsjahre 2018 und 2019 und in Sommerweizen für die Versuchsjahre 2019 und 2020

Maßnahme	Kartoffeln		Sommerweizen	
	2018	2019	2019	2020
Bodenprobennahme				
1. Bodenprobennahme	16. März	26. März	25. März	19. März
2. Bodenprobennahme	25. Mai	7. Jun.		
3. Bodenprobennahme	17. Okt.	18. Okt.		

Grundanalysen

Für die Analyse der pflanzenverfügbaren Nährstoffe (Phosphor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg), organischer Kohlenstoff (C_{org}), Gesamtstickstoff (N_t)) wurde parzellengenau ein Aliquot der im Frühjahr vor dem Legen der Kartoffeln zur Bestimmung von N_{min} gezogenen Mischprobe aus der Tiefe 0-30 cm luftgetrocknet, auf 2 mm gesiebt und bis zur Analyse bei Zimmertemperatur gelagert.



Abbildung 34: erste Bodenprobennahme am 16.03.2018

3.3.2.5. Laboranalysen

Düngemittel

Die Frischmasse der Düngemittel wurde durch Wiegen erfasst, anschließend wurden die Proben ca. drei Tage lang gefriergetrocknet (Gefrier Trocknung Christ ALPHA 1-4) und dann zur Ermittlung der Trockenmasse rückgewogen. Dann wurden die Proben mit einer Rotormühle (FRITSCHTM Pulverisette 14) gemahlen. Zur Bestimmung der Makronährstoffe erfolgte ein Aufschluss mit HNO_3 und H_2O_2 in einem mikrowellenbeheizten Druckaufschlusssystem (Ultra Clave Fa. MLS Leutkirch) (VDLUFA 2011). Die Makronährstoffe P, K, Mg und Ca in den Extrakten wurden durch ICP-OES (induktiv gekoppelte optische Plasma-Emissionsspektrometrie, Varian Vista Pro) bestimmt (VDLUFA 2007). C_t und N_t wurden im gemahlene Pflanzenmaterial durch Verbrennung (Variomax CNS Elementaranalysesysteme GmbH) bestimmt (VDLUFA 2000). Der Gehalt an Gesamt-N wurde vor der Ausbringung mittels Kjeldahl-Analyse bestimmt.

Boden

N_{\min} ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^{2-}$) wurde mit 0,025 M CaCl_2 extrahiert (VDLUFA 1991) und die Bestimmung von $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$ wurde mit einem Durchflussanalysator (FIA 5012 TECTATOR) durchgeführt. Der Boden-pH wurde mit einem pH-Meter (METTLER TOLEDO) in 0,01 M CaCl_2 gemessen (VDLUFA 1991). Für die Bestimmung des pflanzenverfügbaren P und K wurde die Calciumlactat-Methode (CAL) genutzt (VDLUFA 1991). P wurde mit dem Durchflussanalysator (FIA 5012 TECTATOR) und K mit dem Flammenphotometer (ELEX 6361 Eppendorf) bestimmt. Magnesium wurde mit 0,025 M CaCl_2 extrahiert (VDLUFA 1991) und mit einem Atomabsorptionsspektrometer (VARIAN, 220FS) bestimmt. Der Gehalt von C_t und N_t im Boden wurden durch Verbrennung (Vario EL-CUBE Elementaranalysesysteme GmbH) bestimmt. Anschließend wurde bei 500 °C für 5 h der organische Anteil verbrannt und der verbleibende anorganische Kohlenstoff (C_{anorg}) gemessen (varioMACROcube). Durch Berechnung der Differenz zwischen C_{anorg} und C_t wurde C_{org} bestimmt.

Pflanzen

Für die Bestimmung von C, N und S in den Wurzeln, der oberirdischen Biomasse und der Kartoffelknollen (Zwischenernte und Endernte) wurde nach der Ernte die Frischmasse bestimmt. Im Anschluss wurden die Wurzeln und die oberirdische Biomasse mit einem Cutter, die Knollen mit dem Thermomix zerkleinert. Das Pflanzenmaterial wurde danach eine Woche lang im Ofen bei 40 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Für die folgenden C/N-Analysen wurden die getrockneten Knollen mit einer Rotormühle (FRITSCHTM Pulverisette 14) und die getrocknete oberirdische Biomasse und die Wurzeln mit einer Schneidmühle (Retsch SM 200) gemahlen. Anschließend wurden die Gehalte durch Verbrennung bestimmt (Variomax CNS Elementaranalysesysteme GmbH) (VDLUFA 2000).

Korn und Stroh des Sommerweizens wurden ebenfalls bei 40°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Die getrockneten Körner wurden mit einer Rotormühle (FRITSCHTM Pulverisette 14), das Stroh mit einer Schneidmühle (Retsch Mühle SM 200) gemahlen. Der Gehalt an C, N und S wurden mittels Verbrennung (Variomax CNS Elementaranalysesysteme GmbH) bestimmt (VDLUFA 2000).

Stickstoffnutzungseffizienz (SNE)

Der Transfer von Stickstoff aus den Düngemitteln in die Pflanze wurde durch die SNE beschrieben. Die in Prozent angegebene SNE wird berechnet indem von der Stickstoffmenge, die von der Kartoffelpflanze (Knolle, oberirdische Biomasse und Wurzel) bei der jeweiligen

Behandlung aufgenommen wurde, jene Stickstoffmenge abgezogen wird, welche von den ungedüngten Kartoffelpflanzen der Kontrolle aufgenommen wurde und durch die Menge an Stickstoff dividiert wird, die durch den Dünger insgesamt ausgebracht wird.

$$\text{SNE\%} = \% \left(N_{\text{AufnahmeDünger}} - N_{\text{Aufnahme 0-Kontrolle}} \right) / N_{\text{Dünger}}$$

wobei

$N_{\text{AufnahmeDünger}}$ = N-Aufnahme durch die Pflanze mit Behandlung

$N_{\text{Aufnahme 0-Kontrolle}}$ = N-Aufnahme durch die Pflanze ohne die Behandlung (Kontrolle) und

$N_{\text{Dünger}}$ = Menge an N, die durch das Düngemittel ausgebracht wird.

3.3.3. Ergebnisse

3.3.3.1. Nährstoffgehalte der Düngemittel

Unter allen klee-grasbasierten Düngemitteln wies der PEL mit 1,99 % den höchsten Gesamtgehalt an Stickstoff in der Frischmasse auf, gefolgt von SIL-F, SIL-H und CUT. Die tierischen Düngemittel Horngries und kompostierter Rindermist lagen dabei mit jeweils am oberen bzw. unteren Ende der ermittelten Werte. Der niedrigste N-Gehalt wurde mit 0,52% für BG ermittelt. Diese Ergebnisse sind in allererster Linie von den Trockenmassegehalten der Ausgangssubstrate abhängig. Wie zu erwarten war, wiesen die Biogasgärreste mit 1,86% die höchsten Gehalte an NH₄-N auf, gefolgt von PEL.

Tabelle 38: N-Werte der Kjeldahl-Analyse aller Düngemittel gemittelt über beide Versuchsjahre 2018/2019

Düngemittel	Ges. N in		Ges. N in
	FS (g/kg)	NH ₄ in FS %	FS %
KM-H	6,2	0,08	0,62
SIL-H	12,2	0,22	1,22
BG	5,18	1,86	0,52
CUT*	6,81	0,08	0,68
PEL	19,9	1,39	1,99
SIL-F	13,17	1,20	1,32
HOG	139,0	12,04	13,9

SIL-H = Silage Herbst; KM-H = kompostierter Rindermist Herbst; SIL-F = Klee-grassilage Frühling; PEL = Klee-graspellets; BG = Biogasgärrest basierend auf Klee-gras und Schweinegülle; HOG = Horngries; CUT = "Cut and Carry" mit frischem Klee-grasaufwuchs. *Werte für CUT nur einjährig für 2018

3.3.3.2. Bodengehalt P, K, und Mg

Der Gehalt an pflanzenverfügbarem P, K und Mg war für alle Proben in der Gehaltsklasse C, (Tabelle 5), sodass davon ausgegangen werden kann, dass Ertragsunterschiede zwischen den Behandlungen nicht auf Unterschiede in der Versorgung der Pflanzen mit diesen Nährstoffen zurückzuführen sind.

Tabelle 39: Durchschnittlicher Gehalt an pflanzenverfügbaren Nährstoffen P, K und Mg in Bodenproben gezogen vor der Ausbringung der Düngemittel im Frühjahr

Zeitpunkt	P_{CAL} (mg kg⁻¹ Boden)	K_{CAL} (mg kg⁻¹ Boden)	Mg (mg kg⁻¹ Boden)
2018			
Vor Düngung	60	150	140
2019			
Vor Düngung	90	130	180

P_{CAL} = Mit CAL-Methode extrahierbarer Phosphor; K_{CAL} = Mit CAL-Methode extrahierbares Kalium

3.3.3.3. N- Dynamik im Boden

Bei der ersten N_{min}-Beprobung im Frühjahr 2018 betrug die Gehalte der im Herbst gedüngten Felder 50,6 kg ha⁻¹ (KM-H) und 59 kg ha⁻¹ (SIL-H), sowie 2019 54 kg ha⁻¹ (SIL-H) und 57,6 kg ha⁻¹ (KM-H) (Abb. 9a). Sie wiesen damit etwas erhöhte Gehalte im Vergleich zum Status der Parzellen ohne Düngemaßnahmen auf. Im Versuchsjahr 2019 zeigten sich ebenfalls höhere N_{min}-Werte auf den Flächen mit Herbstausbringung der Düngemittel, allerdings wies im Frühjahr 2019 auch die ungedüngte Kontrolle vergleichsweise hohe N_{min}-Gehalte auf (Abb. 9f).

Die N_{min}-Werte in den obersten 60 cm zur Zeit der Blüte/Beginn Knollenbildung waren 2018 deutlich höher als 2019, wobei die gedüngte Kontrollvariante Horngries gefolgt von Biogasgärrest die höchsten Werte aufwies. Die N-Mineralisierung in der Variante Klee-graspellets erreichte ein ähnliches Niveau wie die ungedüngte Kontrolle.

Nach der Ernte war der N_{min}-Gehalt im Jahr 2019 höher als 2018. In beiden Jahren gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den behandelten und unbehandelten Parzellen. Im Jahr 2018 betrug niedrigste mittlere N_{min}-Gehalt 41,5 kg ha⁻¹ (KON), der höchste 68,8 kg ha⁻¹ (HOG). Im Jahr 2019 lagen die Werte zwischen 75,7 kg ha⁻¹ (SIL-H) und 84,9 kg ha⁻¹ (HOG).

In allen Jahren verlief die N-Mineralisierung der beiden im Herbst ausgebrachten Düngemittel Silage kompostierter Rindermist ähnlich (Abb.9a-f).

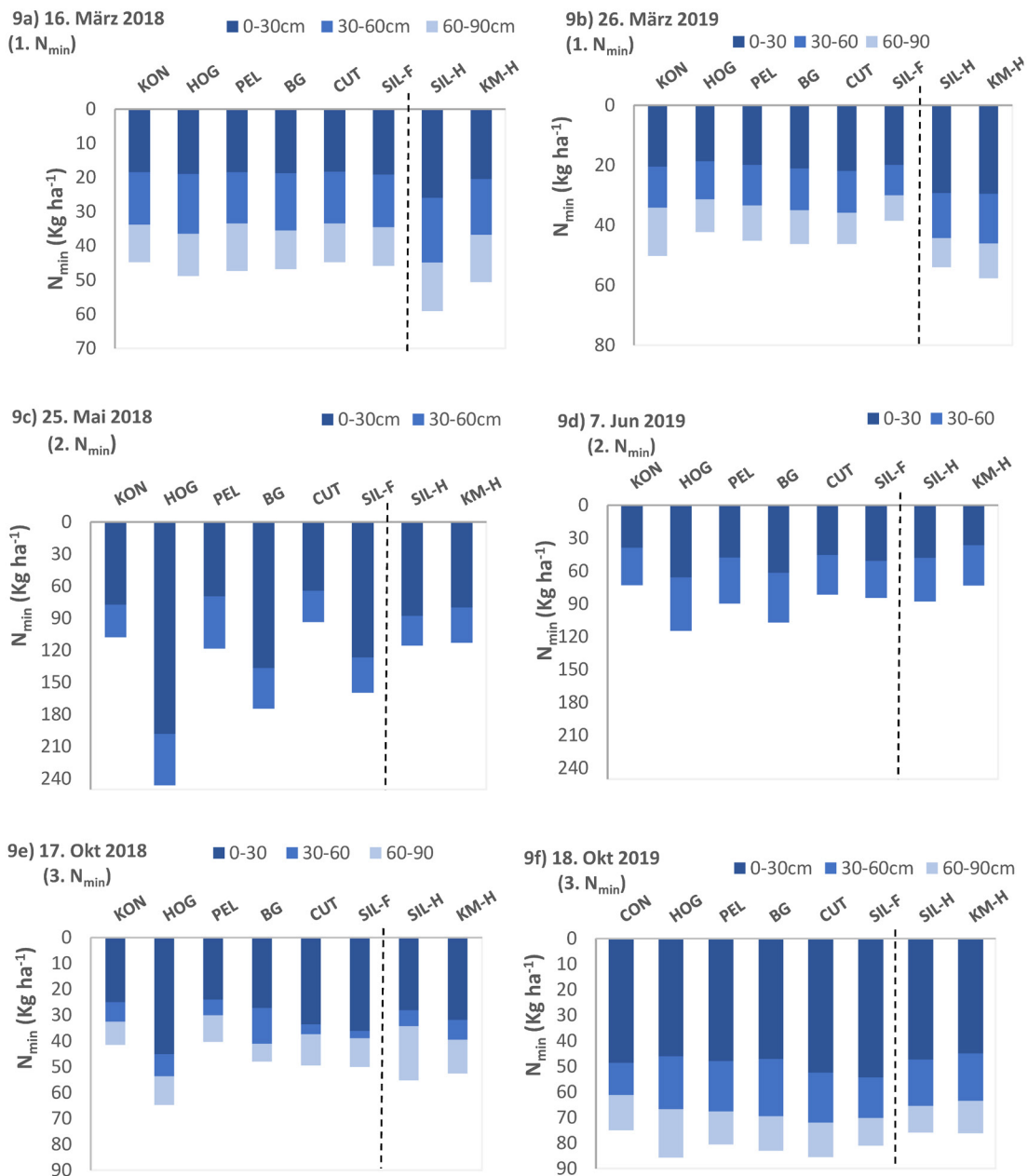


Abbildung 35 a-f: Vergleich der Bodengehalte an mineralischem Stickstoff ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) (N_{\min} kg ha^{-1}) im Kartoffelanbau mit unterschiedlichen Zeitpunkten in den Jahren 2018 und 2019. 1. N_{\min} 2018 = 16. Mär 2018, 2. N_{\min} 2018 = 25. Mai und 3. N_{\min} 2018 = 17. Okt.; 1. N_{\min} 2019 = 26. Mär, 2. N_{\min} 2019 = 7. Juni, 3. N_{\min} 2019 = 18. Okt. mit zwei (0-30 und 30-60cm) und drei Tiefen (0-30, 30-60 und 60-90cm). Rechte Seite der gepunkteten Linien zeigt Düngemittel (KM-H und SIL-H), welche im Herbst angewendet wurden. SIL-H = Silage Herbst; KM-H = kompostierter Rindermist Herbst; SIL-F = Kleegrassilage Frühling; PEL = Kleegraspellets; BG = Biogassärrest basierend auf Kleegras und Schweinegülle; HOG = Horngries; CUT = "Cut and Carry" mit frischem Kleegrasaufwuchs.

3.3.3.4. Stickstoffmineralisierung Sommerweizen

Bei der N_{\min} -Beprobung im Sommerweizen im Frühjahr 2019 betragen die Gehalte der im Herbst 2017 gedüngten Felder $66,4 \text{ kg ha}^{-1}$ (KM-H) und $69,9 \text{ kg ha}^{-1}$ (SIL-H). Im Versuchsjahr 2020 betragen die Gehalte der im Herbst 2018 gedüngten Böden $66,5 \text{ kg ha}^{-1}$ (SIL-H) und $60,8 \text{ kg ha}^{-1}$ (KM-H) (Abb. 10).

Die N_{\min} -Werte waren 2019 und 2020 vergleichbar, wobei 2019 die mit SIL-F gedüngte Behandlung gefolgt von HOG die höchsten Werte aufwies. Die N-Mineralisierung in den Varianten BG und KM-H erreichte 2019 und 2020 ein ähnliches Niveau wie die ungedüngte Kontrolle.

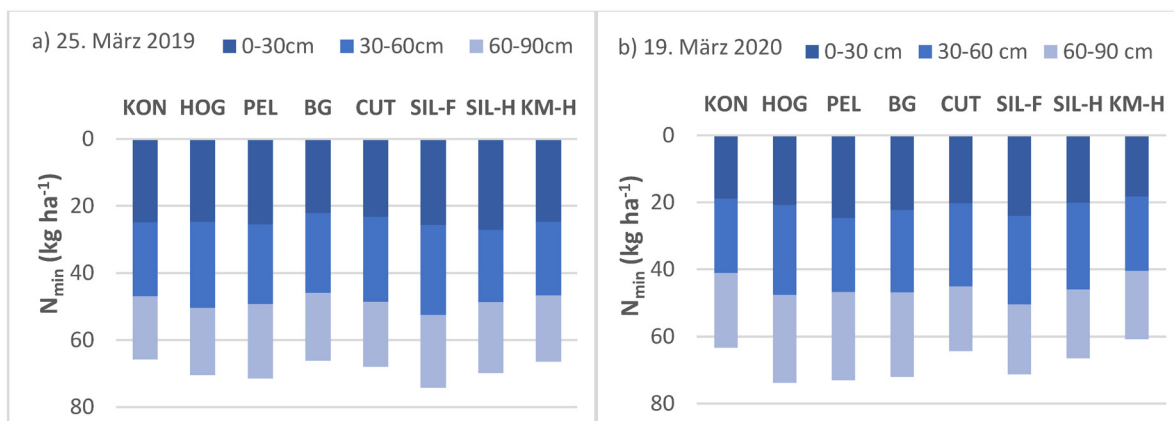


Abbildung 36 a, b: Vergleich der Bodengehalte an mineralischem Stickstoff ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) ($N_{\min} \text{ kg ha}^{-1}$) im Sommerweizenanbau 2019 und 2020 in der Bodentiefe 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm in Abhängigkeit von der Düngebehandlung). SIL-H = Silage Herbst; KM-H = kompostierter Rindermist Herbst; SIL-F = Kleegrassilage Frühling; PEL = Kleegraspellets; BG = Biogasgärrest basierend auf Klee gras und Schweinegülle; HOG = Horngries; CUT = "Cut and Carry" mit frischem Kleegrassaufwuchs.

3.3.3.5. Ertragswirkung der Düngemittel auf die Hauptfrucht Kartoffeln

Biomasse zur Zwischenernte

Der oberirdische Aufwuchs aller mit klee grasbasierten Düngemitteln gedüngten Varianten unterschieden sich im Jahr 2018 ebenso wie der Aufwuchs der Düngevariante mit kompostiertem Rindermist nicht signifikant von der Kontrolle; lediglich die Varianten Biogasgärrest ($15,0 \text{ t ha}^{-1}$), Silage bei Herbstausb bringung ($14,7 \text{ t ha}^{-1}$) und Horngries ($16,9 \text{ t ha}^{-1}$) zeigten höhere Aufwüchse. Im 2. Versuchsjahr zeigten sowohl Cut-and-Carry als auch Silage mit Frühjahrsausbringung mit $8,7 \text{ t ha}^{-1}$ und $8,2 \text{ t ha}^{-1}$ signifikant niedrigere Biomasseerträge als alle anderen Düngemittel und ähnelten damit der ungedüngten Kontrolle.

Tabelle 40: Vergleich der Zwischenernte in Abhängigkeit von den eingesetzten Düngemitteln (unterschiedliche Kleinbuchstaben zeigen statistisch signifikante Unterschiede)

Behandlung	Jahr 2018		Jahr 2019	
	Gesamtbiomasse* (t ha ⁻¹)			
KON	12.0	cde	9.1	gh
HOG	16.9	a	12.4	cd
PEL	13.6	bc	10.4	fg
BG	15.0	b	11.9	def
CUT	12.1	cd	8.7	h
SIL-S	12.4	cd	8.2	h
SIL-H	14.7	b	9.3	gh
KM-H	13.1	cd	10.5	efg

*Gesamtbiomasse=Oberirdische Biomasse + Knollen + Wurzeln, SIL-H = Silage Herbst; KM-H = kompostierter Rindermist Herbst; SIL-F = Kleegrassilage Frühling; PEL = Kleegraspellets; BG = Biogasgärrest basierend auf Klee gras und Schweinegülle; HOG = Horngries; CUT = "Cut and Carry" mit frischem Klee gras aufwuchs.

Die Stickstoffnutzungseffizienz (SNE) war im Jahr 2018 und 2019 bei der Kontrollvariante HOG mit 35,2% bzw. 21% am höchsten. Von den klee grasbasierten Düngemitteln schnitt BG mit 14,5% bzw. 9,3% am besten ab. Die SNE von CUT 2019 und 2020 sowie von SIL-F in 2020 war negativ, sodass hier durch die Zufuhr der Biomasse mehr N festgelegt als aufgenommen wurde.

Tabelle 41: C/N Verhältnis der Kartoffelknollen und der oberirdischen Biomasse sowie die Stickstoffnutzungseffizienz (SNE) in den Jahren 2018 und 2019.

Behandlung	Jahr 2018			Jahr 2019		
	C:N (Knolle)	C:N (Biomasse)	SNE %	C:N (Knolle)	C:N (Biomasse)	SNE %
KON	26.2	10.4	-	27.3	11.1	-
HOG	21.8	7.7	35.2	23.8	9.1	21
PEL	25.3	9.1	10.2	26.1	11.1	3.7
BG	24.9	8.6	14.5	26.7	10.9	9.3
CUT	26	10.4	-1	24.5	10.6	-1.1
SIL-F	24.6	8.7	3.8	27.1	11	-4.3
SIL-H	25.5	9.5	12.1	25.9	10	3.1
KM-H	26.2	10.1	3.8	26	11.1	5.8

SIL-H = Silage Herbst; KM-H = kompostierter Rindermist Herbst; SIL-F = Klee grassilage Frühling; PEL = Klee graspellets; BG = Biogasgärrest basierend auf Klee gras und Schweinegülle; HOG = Horngries; CUT = "Cut and Carry" mit frischem Klee gras aufwuchs; SNE = Stickstoffnutzungseffizienz.

Trockenmassegehalt der oberirdischen Biomasse der Zwischenernte

Der Trockenmassegehalt (TM) war bei BG signifikant am höchsten (1.804 kg ha⁻¹ 2018), alle anderen Behandlungen unterschieden sich jedoch nicht signifikant voneinander. Der TM-Gehalt der oberirdischen Biomasse lag im Jahr 2018 zwischen 1.804 kg ha⁻¹ (HOG) bis 1.316 kg ha⁻¹ (SIL-F). Im Jahr 2019 wurden zwischen 1.523 kg ha⁻¹ (HOG) bis 1.070 kg ha⁻¹ (SIL-F) erreicht.

Gesamtertrag der Kartoffeln

Im ersten Versuchsjahr wurden mit den betriebsinternen Klee gras-Düngern ähnliche Erträge erzielt wie mit der praxisüblichen Düngung mit Mistkompost, und zwar unabhängig davon, ob sie bereits im Vorjahr eingesetzt wurden oder erst im Jahr des Anbaus. Generell entsprach das Ertragsniveau in beiden Versuchsjahren örtlichen Kartoffelerträgen. Im Folgejahr führten

sowohl die Cut and Carry-Variante als auch die im Frühjahr ausgebrachte Silage zu signifikant niedrigeren Erträgen als die Mistkompost-Variante.

Der gesamte Frischmasseertrag (in t ha⁻¹) unterschied sich in den meisten Behandlungen zwischen den beiden Versuchsjahren (2018 und 2019) signifikant (Pr > F = 0,0056). 2019 war der Ertrag signifikant höher.

In den gedüngten Parzellen lag der Gesamtertrag der Kartoffeln im Versuchsjahr 2018 zwischen 31 t ha⁻¹ (CUT) und 34,8 t ha⁻¹ (BG). 2018 waren alle Düngevarianten signifikant von der ungedüngten Kontrolle verschieden. Unter allen Klee-gras-basierten Düngern wies BG die höchsten Erträge auf (signifikant für p < 0,05). Im Jahr 2019 wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen klee-gras-basierten Düngevarianten und der Kontrolle festgestellt, einzig der Ertrag nach der Düngung mit PEL (37,9 t ha⁻¹) war signifikant höher als in der ungedüngten Kontrolle (33,9 t ha⁻¹). Der Gesamtertrag der mit SIL-F gedüngten Parzellen entsprach 2020 dem der ungedüngten Parzellen und unterschied sich signifikant von PEL.

Gesamtertrag Kartoffeln

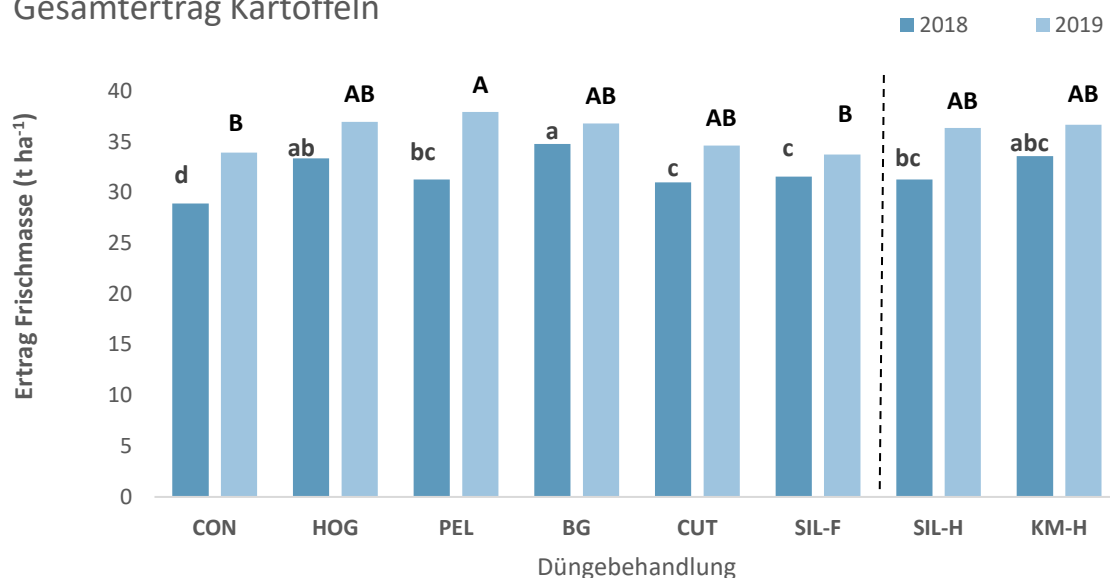


Abbildung 37: Frischmasseertrag der Kartoffelknollen (in t ha⁻¹) im Vergleich der zwei Versuchsjahre 2018 und 2019. Die verschiedenen Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede im Mittelwert für jede Düngebehandlung. SIL-H = Silage Herbst; KM-H = kompostierter Rindermist Herbst; SIL-F = Klee-grassilage Frühling; PEL = Klee-graspellets; BG = Biogasgärrest basierend auf Klee-gras und Schweinegülle; HOG = Horngries; CUT = "Cut and Carry" mit frischem Klee-gras-aufwuchs.

Marktfähiger Ertrag

Der marktfähige Anteil der Kartoffelknollen wurde nach den Größenstufen <3.5cm und >11cm klassifiziert. Im ersten Jahr (2018) lag der marktfähige Ertrag zwischen 25 t ha⁻¹ (KON) und 30,4 t ha⁻¹ (BG), im Jahr 2019 zwischen 25,8 t ha⁻¹ (SIL-F) und 29,1 t ha⁻¹ (PEL) und damit im Rahmen der Praxisbetriebe der Umgebung.

Die Düngevarianten unterschieden sich in den beiden Versuchsjahren nicht wesentlich voneinander (Abb. 15).

Die beiden im Herbst eingesetzten Düngemittel Silage und kompostierter Rindermist unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Die Düngevarianten CUT und SIL-F zeigten

in der Tendenz niedrigere marktfähige Erträge als alle anderen Düngevarianten, allerdings war dieser Unterschied nicht statistisch signifikant.

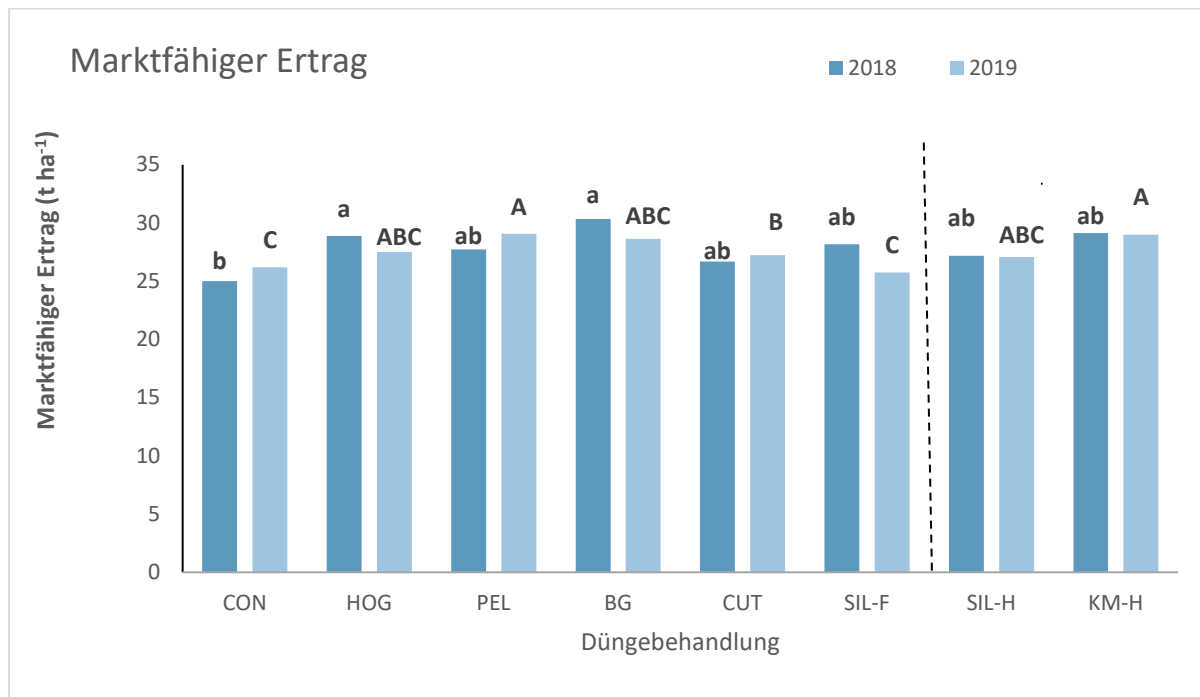


Abbildung 38: Die marktfähigen Erträge (t ha⁻¹) der Kartoffelknollen in den Größen < 3,5 und >11cm wurden als marktfähige Erträge standardisiert. Die verschiedenen Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede im Mittelwert für jede Behandlung in beiden Jahren. SIL-H = Silage Herbst; KM-H = kompostierter Rindermist Herbst; SIL-F = Kleegrassilage Frühling; PEL = Kleegrasspellets; BG = Biogasgärrest basierend auf Klee gras und Schweinegülle; HOG = Horngries; CUT = "Cut and Carry" mit frischem Klee grasaufwuchs.

Im Jahr 2018 trat aufgrund der vorherrschenden Trockenheit ein starker Befall mit Drahtwürmern (*Agriotes spec.*) auf. Zum Teil waren mehr als 50% der geernteten Kartoffeln befallen. Im Abgleich mit der örtlichen Beratung wurden die befallenen Kartoffeln dennoch als marktfähig deklariert. Der geringste Befall wurde bei der Behandlung CUT (45%), der höchste Befall bei PEL (59%) gemessen. Der Schaden war in KON (50%) niedriger als bei den Behandlungen SIL-F (58%), KM-H (56%), BG (52%) und HOG (51%). Im Jahr 2019 war der Schaden sehr gering.

3.3.3.6. Ertragswirkung der Düngemittel auf die Folgefrucht Sommerweizen

Gesamtertrag

In der Folgefrucht Sommerweizen waren die Erträge im Jahr 2019 insgesamt geringer als 2020 und zeigen damit dasselbe Muster wie der Frischmasseertrag der Kartoffeln. In 2019 erzielte die Behandlung mit SIL-F (33,1 dt ha⁻¹) gefolgt von PEL (30,3 dt ha⁻¹) die höchsten Erträge, in 2020 die Behandlung mit PEL (34,9 dt ha⁻¹) gefolgt von CUT (34,2 dt ha⁻¹), allerdings ergab sich nur ein signifikanter Unterschied zwischen den Jahren, nicht innerhalb eines Jahres.

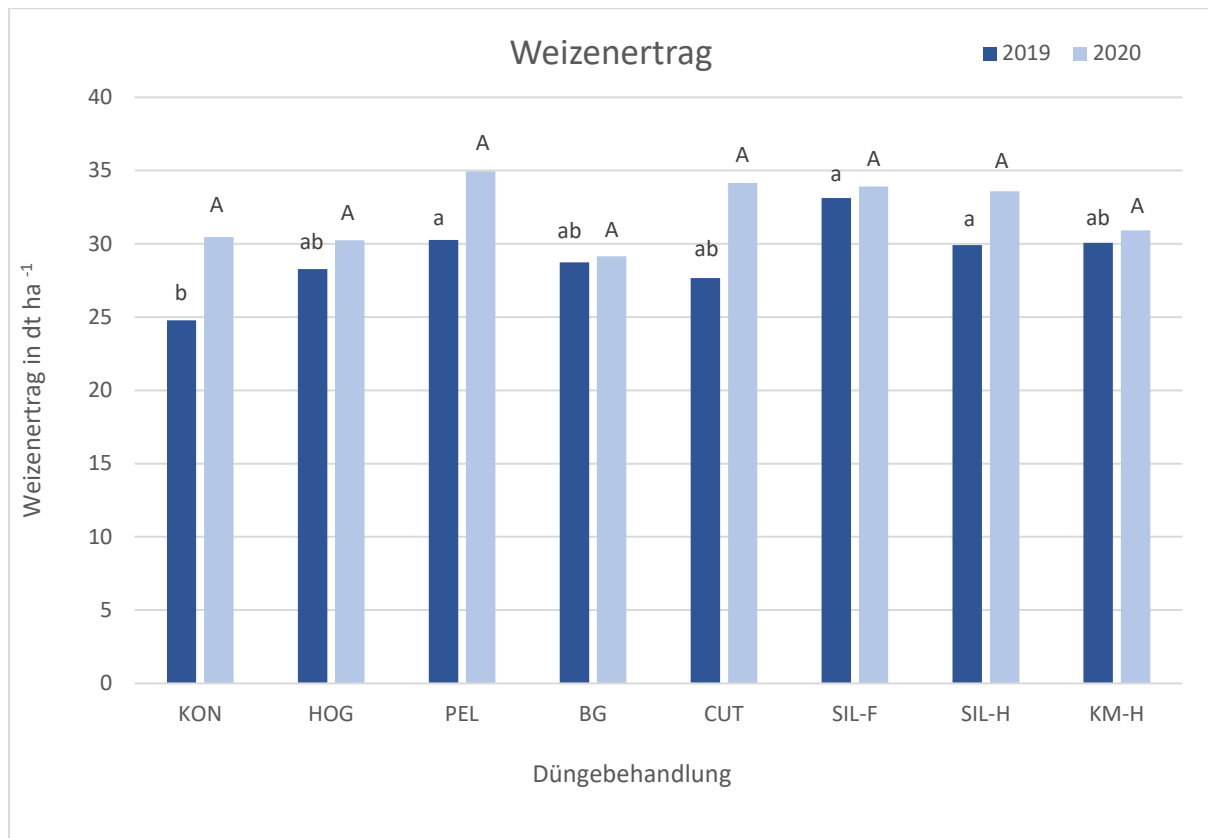


Abbildung 39 Sommerweizenertrag (2019 und 2020) in Abhängigkeit von der Düngung im Folgejahr nach Kartoffelanbau (2018 und 2019) (unterschiedliche Buchstaben zeigen statistisch signifikante Unterschiede). SIL-H = Silage Herbst; KM-H = kompostierter Rindermist Herbst; SIL-F = Kleegrassilage Frühling; PEL = Kleegraspellets; BG = Biogasgärrest basierend auf Kleegras und Schweinegülle; HOG = Horngries; CUT = “Cut and Carry” mit frischem Kleegrasaufwuchs.

3.3.4. Diskussion

Die Gehalte an Ammonium-N und Nitrat-N sowie an weiteren Nährstoffen wie P, K und Mg lagen in den Kleegras-basierten Düngemitteln im Rahmen der in der Literatur angegebenen Werte, soweit für diese Dünger Angaben verfügbar sind (Möller und Schultheiß, 2014). Bedingt durch die hohen Anteile an Ammonium-N in den Biogasgärresten liegt die N-Verfügbarkeit dieser Dünger im Jahr der Ausbringung bei ca. 50–60 %, bei Kleegrasprodukten wie Pellets oder Kleegrassilage liegt diese bei ca. 25–50 % und übersteigt die von Rindermist (10–20 %) um ein Vielfaches (Möller und Schultheiß 2014; Benke et al. 2017). In diesem Versuch zeigte dementsprechend die Variante, die mit Biogasgärresten gedüngt wurde, in beiden Versuchsjahren die höchsten N_{\min} -Gehalte zur Blüte/Knollenbildung und die höchsten marktfähigen Erträge, allerdings waren diese nicht signifikant von den anderen Düngemitteln verschieden. Dass trotz signifikanter Unterschiede in der NH_4^+ -Konzentration keine signifikanten Unterschiede in den Erträgen gefunden wurde, kann auf N-Verluste hinweisen. Für das Jahr 2018 muss außerdem in Betracht gezogen werden, dass aufgrund der Trockenheit in diesem Versuchsjahr u.U. Wasser früher ertragslimitierend wirkte als die Verfügbarkeit von N. Zwar zeigt sich in den N_{\min} -Gehalten (2. Probenahmezeitpunkt) in beiden Versuchsjahren, dass in der Variante BG in der Wachstumsphase der Kartoffel mehr N_{\min} im Boden vorhanden war, allerdings konnte dies nicht in einen Mehrertrag an Gesamtfrischmasse bzw. marktfähigen Ertrag umgewandelt werden. Rindermist wird erst zeitverzögert wirksam, weshalb in der Praxis häufig eine Ausbringung im Herbst erfolgt. Im Versuch führte die Kleegrassilage bei einer Herbstausbringung zu einem ähnlichen Muster in der N-Mineralisierung und zu ähnliche Erträge wie die traditionelle Mistgabe im Herbst.

Andere Studien kommen zu ähnlichen Ergebnissen: Stumm (2015) stellte nach Düngung mit kleegrasbasierten Düngemitteln gegenüber der ungedüngten Kontrollvariante einen tendenziell höheren Kornertrag im darauffolgenden Winterraps fest. Die Stickstoffaufnahme war in der Kleegrasvariante signifikant höher als in der Kontrollvariante und so wurden auf dem eher nährstoffarmen Boden des Versuchsfelds z.B. nach Düngung mit frischem Kleegrasaufwuchs 130 kg N ha^{-1} durch die Pflanzen aufgenommen und damit 50 kg mehr als in der ungedüngten Kontrolle. Bei Düngung von Blumenkohl mit Kleegrassilage wurde ebenfalls ein Anteil von 70% verkaufsfähiger Köpfe und damit eine signifikante Steigerung im Vergleich zur ungedüngten Variante mit weniger als 30 % verkaufsfähiger Köpfe erreicht. Toleikiené (2020) stellte auf lehmigem Boden nach der Düngung mit frischem Rotklee im Sommerweizen einen Kornertrag von 24 dt TM ha^{-1} im Vergleich zu 19 dt TM ha^{-1} in der Kontrollvariante fest. Im zweiten Versuchsjahr wurde in der mit Silage gedüngten Variante mit 23 dt TM ha^{-1} der höchste Kornertrag gemessen.

Im vorliegenden Versuch zeigten dagegen die Varianten mit Cut-and-Carry sowie mit einer Silageausbringung im Frühjahr die niedrigsten Erträge und geringe N_{min} -Gehalte zur Blüte/Knollenbildung. Möglicherweise stand durch den Umsatz des frischen Kleegrases bzw. der Silage im Boden weniger N für die Kultur zur Verfügung. Die negativen SNEs für CUT (beide Versuchsjahre) und SIL-F (2019) unterstützen diese Annahme. Offensichtlich wird bei der Düngung mit Frischmaterial N festgelegt, so dass dieses der Kultur nicht zur Verfügung steht. Gutser et al. (2005) weisen jedoch darauf hin, dass in diesem Fall jedoch die Erhöhung der langfristigen N-Effizienz berücksichtigt werden muss. Dabei spielt vor allem der Gehalt an Trockensubstanz der ausgebrachten Silage mit hohem C/N-Verhältnis eine Rolle (Stumm 2015). Sorensen und Grevsen (2015) untersuchten den Aufwuchs unterschiedlicher Leguminosen unter anderem auf ihren C- und N-Gehalt und stellen für frischen Kleegrasaufwuchs die höchste N-Akkumulierung bei den jüngsten Entwicklungsstadium mit höchster Schnitthäufigkeit fest. Eine Optimierung der Herstellung der kleegrasbasierten Düngemittel muss folglich sowohl den Zeitpunkt der Ausbringung als auch die Eigenschaften des Ausgangsmaterial betreffen. In der vorliegenden Studie zeigte die Kleegrassilage, welche im Frühjahr ausgebracht wurde, das höchste C/N-Verhältnis aller Düngemittel, sodass eine erhöhte Stickstoffimmobilisierung sehr wahrscheinlich ist. Hier zeigt sich eine Schwierigkeit der Kleegras-basierten Düngemittel, nämlich die Heterogenität des Ausgangsmaterials: Das C/N-Verhältnis des Ausgangsmaterials hängt stark vom Schnittzeitpunkt des Kleegrases und seiner Zusammensetzung ab. Unter Praxisbedingungen kann nicht immer sichergestellt werden, dass Kleegrasbestände zum optimalen Zeitpunkt geschnitten werden, um ein möglichst niedriges C/N-Verhältnis im Ausgangsmaterial des Düngemittels zu gewährleisten. Daher müssen andere Maßnahmen ergriffen werden, das Risiko einer N-Immobilisierung zu verringern. Eine wichtige Rolle spielt dabei der Zeitpunkt der Ausbringung des Düngemittels: Bei der im Herbst ausgebrachten Silage trat dieser Effekt in keinem der beiden Versuchsjahre auf. Ursache hierfür ist eine verringerte Aktivität der Bodenorganismen in der kälteren Jahreszeit und folglich eine langsamere Freisetzung des zugeführten N. Aus pflanzenbaulicher Sicht wird daher empfohlen, die Kleegrassilage im Spätherbst auszubringen. Eine Ausbringung im Herbst könnte allerdings zu einer Verlagerung von N in tiefere Bodenschichten führen, was zu Beginn der Vegetationsperiode in einem der beiden Versuchsjahre festgestellt werden konnte.

Leider erlaubt die aktuell gültige Regelung der Düngeverordnung (DüV 2020) keine Ausbringung im Herbst, da kleegrasbasierte Düngemittel mit ca. 3 % N in der Trockenmasse als „Düngemittel mit einem wesentlichen Gehalt an N“ klassifiziert werden und damit in der Ausbringung der Sperrfrist von der Ernte der Hauptkultur bis zum 31. Januar des Folgejahres unterliegen. Lediglich zu Zwischenfrüchten, die vor dem 15. September gesät werden, können

ca. 60 kg Gesamt-N in Form von Kleeegrassilage ausgebracht werden. Hier gilt es, die aktuell gültigen Regelungen in den unterschiedlichen Bundesländern zu beachten.

Die Erträge der Nachfrucht Sommerweizen zeigten im Versuchsjahr 2019 keine signifikanten Unterschiede und lagen zwischen 28 und 33 dt ha⁻¹. Im Versuchsjahr 2020 lagen die Erträge zwischen 29 und 35 dt ha⁻¹. In der Düngewirkung auf die Nachfrüchte scheinen sich die geprüften Düngemittel nicht zu unterscheiden.

Die N_{min}-Gehalte der Frühjahrsbeprobung zum Sommerweizen zeigten keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Düngemitteln, dies spiegelte sich auch in den Erträgen der Nachfrucht wieder, die ebenfalls keine statistisch signifikanten Unterschiede aufwiesen. Allerdings wurde ein leichter Trend zu etwas höheren Erträgen für die Kleegas-basierten Düngemittel sichtbar, die im Ausbringungsjahr zur N-Immobilisierung führten. Inwieweit N-Verluste, die über den Winter auftraten, zu einer Angleichung der N_{min}-Gehalte geführt haben, ist aufgrund des Versuchsdesigns nicht festzustellen. Der Einsatz einer Winterkultur (z.B. Winterweizen) würde hier ggfs. eindeutige Ergebnisse liefern.

Langfristig gesehen spielt die N-Effizienz, d.h. die langfristige N-Verfügbarkeit im Ausbringungsjahr und in den Folgejahren abzüglich der N-Verluste eine große Rolle. Ist die N-Effizienz niedrig, verliert das System N, entweder über Auswaschung oder in Form von Gas – beides nicht erwünschte Umweltwirkungen von Düngemitteln (Grundwasser und Klimaschutz). Die N-Effizienz von Klee grasprodukten liegt mit ca. 70 % zwischen der von Rindermist (ca. 60 %) und flüssigen Biogasgärresten (80 %). Zum Vergleich: Bioabfallkomposte aus Grünschnitt oder Komposte aus Haushaltsabfällen weisen lediglich eine N-Effizienz von 20 bis 40 % auf (Möller und Schultheiß 2014). Klee grasbasierte Düngemittel sind also gut geeignet, die N-Effizienz im Betriebskreislauf zu steigern, sofern gasförmige N-Verluste in der gesamten Kette von der Ernte bis zur Einarbeitung nach der Ausbringung minimiert werden. Außerdem enthalten diese Düngemittel ähnlich viel P und K wie Rindermist (ca. 0,5 % P und ca. 3 % K in der Trockenmasse). Allerdings verteilt eine Klee grasdüngung bei beiden Nährstoffen lediglich zwischen dem Geber- und dem Nehmerfeld innerhalb des Betriebs um, so dass langfristig eine Zufuhr von Nährstoffen über betriebsfremde Düngemittel (z. B. Komposte oder Gärreste aus Haushaltsabfällen) eingeplant werden sollte, um die durch das Erntegut bedingten Verluste dieser Nährstoffe zu kompensieren. Die im vorliegenden Versuch höchsten P-Werte wurden für Biogasgärrest auf der Basis von Klee gras und Schweinegülle ermittelt, wobei die P-Zufuhr vor allem auf letzteres zurückzuführen ist. Mit diesem Düngemittel wurden also zusätzliche Nährstoffe eingebracht, was bei den Klee gras-basierten, aus dem eigenen Betrieb stammenden Düngemitteln nicht der Fall ist. Die stellt für eine langfristig nachhaltige Versorgung von ökologisch wirtschaftenden Ackerbaubetrieben ein Problem dar, wie von Reimer et al. (2020) festgestellt wurde, die basierend auf Hoftorbilanzen zeigen konnten, dass die Versorgung mit P und K negativ mit der Höhe des Leguminosenanbaus korreliert. Um die P- und K-Lücke zu füllen, sind also weiterhin externe Düngemittel notwendig.

3.3.5. Fazit

Klee grasbasierte Düngemittel sind eine geeignete Alternative zur N-Versorgung für vieharme und viehlose Betriebe, da sie ähnlich ertragswirksam sind wie Mistkomposte, aber durch geringere Verluste während der Aufbereitung eine etwas höhere N-Effizienz haben und zugleich durch die Abfuhr der Biomasse auf dem Geberfeld die N-Fixierung erhöht wird und damit innerbetrieblich mehr N zur Verfügung steht. Allerdings ist zu beachten, dass die Anwendung von Cut-and-Carry zeitlich begrenzt ist, da das Material im Ackerbau nicht oder nur sehr eingeschränkt in den Pflanzenbestand des Nehmerfeldes ausgebracht werden kann. Das Silieren oder Vergären des Klee grasses eröffnet hier mehrere Möglichkeiten des Einsatzes

von mobilen Transferdüngern, ist jedoch mit einem größeren Arbeitsaufwand verbunden. Der Einsatz von zugekauften Klee gras-Pellets ist für ökologisch wirtschaftende Ackerbaubetriebe nicht rentabel, da die Kosten für diese Düngemittel aktuell zu hoch sind. Außerdem ist zur Trocknung und Aufarbeitung des Ausgangsmaterials ein erheblicher Energieaufwand nötig, so dass dieses Düngemittel nur dann die Kriterien eines nachhaltig produzierten Düngers erfüllt, wenn an dieser Stelle erneuerbare Energien eingesetzt werden. Die Nutzung von klee gras-basierten Biogasgärresten ist ebenfalls als eine vielversprechende Alternative zu tierischen Düngemitteln, allerdings wird dieser Dünger nur für die wenigsten Öko-Ackerbaubetriebe zur Verfügung stehen, da rein pflanzenbasierte Biogasanlagen im ökologischen Landbau kaum genutzt werden. An dieser Stelle werden Betriebe langfristig vermutlich eher auf die Nutzung von Reststoffen aus urbanen Räumen (organische Haushaltsabfälle aus der „Braunen Tonne“) zurückgreifen, die zudem auch durch Nährstoffimporte in der Lage sind, die P und K-Lücke zu schließen.

Da aktuell die pflanzenbaulich sinnvolle Ausbringung von Klee grassilage als Düngemittel im Herbst durch die Düngeverordnung nicht möglich ist, sollten weitere Studien zu optimalen Ausbringzeitpunkten und C/N-Verhältnissen der Düngemittel im Frühjahr erfolgen, um das Risiko einer N-Immobilisierung durch Klee gras-basierte Düngemittel zu verringern.

4. Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

4.1. Ergebnisse der OG in Bezug auf

4.1.1. ...die Zusammenarbeit

Dank der guten Zusammenarbeit innerhalb der OPG gestaltete sich der Ablauf äußerst angenehm. Die Kommunikation innerhalb der OPG fand auf unterschiedlichen Wegen statt. In zwei Kick-off Treffen wurde der Rahmen des Projektes vorgestellt und die Aufgaben der einzelnen Akteure festgelegt.

Auf Feldtagen, zu denen auch immer die Interessierte Öffentlichkeit eingeladen wurde, informierten die Innovationsbetriebe die anderen Mitglieder der OPG über ihre Innovationen. Begleitet wurden die Feldtage immer von der Beratung und einem wissenschaftlichen Beitrag über Ergebnisse aus dem Projekt, oder es wurden externe Referenten eingeladen.

Des Weiteren gab es Workshops nur für die OPG Mitglieder auf denen Ergebnisse vorgestellt und diskutiert wurden. Diese Workshops wurden während der Pandemie Online durchgeführt, dies hatte den Vorteil, dass die Anzahl der teilnehmenden Betriebsleiter höher war als in manchen physischen Treffen.

Der Berater Dr Uli Hampl hat die Praxisbetriebe ein bis zweimal im Jahr besucht und diente so als Vermittler zwischen Betriebsleitern, Koordination und Wissenschaft. Die Wissenschaftlerinnen und Studenten besuchten die Betriebe zur Datenerhebung, somit stand auch die Wissenschaft im direkten Austausch mit den Betrieben.

Des Weiteren gab es Fachgruppentreffen für die Wissenschaftlerinnen und Fachgruppentreffen für die Praxis.

In Newslettern wurden alle über den aktuellen Stand und weitere Schritte informiert.

4.1.2 der besondere Mehrwert des Formates einer OG für die Durchführung des Projekts?

Die Zusammenarbeit von Praxis, Beratung und Forschung in diesem Projekt auf Augenhöhe, war für alle Projektpartner spannend und lehrreich. Die Landwirte als Innovatoren hatten einen sehr hohen Stellenwert in der OPG. Durch die Treffen innerhalb der OPG entstand ein intensiver Erfahrungsaustausch und eine Wissensverbreitung zwischen den einzelnen Akteuren.

4.1.3. ...auf eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projekts.

Eine über das Projekt hinausgehende Zusammenarbeit in dieser Konstellation ist nicht vorgesehen. Es ist davon auszugehen, dass sich einige Partner für die Beantwortung weiterer Fragen die im Verlaufe des Projektes entstanden sind in Zukunft wieder zusammenfinden werden.

4.2. Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Die Vernetzung von vieharm oder viehlos wirtschaftender Öko-Betriebe untereinander und mit Beratungs- und Forschungseinrichtungen wurde verbessert.

Nachhaltigkeitsanalysen von vieharm oder viehlos wirtschaftender Öko-Betriebe liegen vor. Sie sind geeignet, die Nachhaltigkeit dieser Betriebstypen in Baden-Württemberg einzuschätzen und bieten eine Grundlage für weitere Arbeiten.

Auf den untersuchten Innovationsbetrieben hatten die Innovationen zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit oft nur geringen Einfluss auf die Nährstoff- und Humusbilanzen. In Bezug auf die Nährstoffbilanzen ist festzuhalten, dass nur Betriebe mit Kompostzukauf positive Hoftorbilanzen für P und K aufwiesen. Auf die Schließung regionaler Stoffkreisläufe sollte in Zukunft ein besonderes Augenmerk gelegt werden, um eine langfristige Nährstoffverarmung durch den Verkauf des Erntegutes zu vermeiden. Insbesondere durch den Verkauf von Ackerfutterleguminosen- und Grünlandaufwuchs gehen Betrieben erhebliche, oft unterschätzte Nährstofffrachten verloren. Klee-grastransfer bietet gerade in vieharmen Regionen eine vielversprechende Möglichkeit, Nährstoffe im Betrieb zu halten.

4.2.1. (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse

Das Projekt hatte nicht zum Ziel, wirtschaftlich verwertbare Ergebnisse zu generieren. Sondern die Ergebnisse durch Feldtage, Workshops oder der Wintertagung zum Ökologischen Landbau in Baden-Württemberg breit zu streuen und mit allen Stakeholdern zu diskutieren.

Es wurde eine Broschüre erstellt die zum Download unter www.bravö.de zur Verfügung steht. Des Weiteren gelangten die Ergebnisse direkt beim Landwirt und bei der Wissenschaft, um die Innovationen zu verbessern oder mit einander zu verknüpfen. Es hat sich bestätigt, wie wichtig die Einbindung der Praxis in die Forschung ist.

4.2.2. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Mist und Komposte eignen sich sehr gut, um Stoffkreisläufe regional zu schließen. Komposte können durch eine Kombination an eigenen und zugekauften Substraten auf dem eigenen Betrieb hergestellt oder fertig zugekauft werden. Wo tierische Reststoffe (Mist) nicht vorhanden sind, müssen pflanzliche Kompostsubstrate erschlossen werden. Dies sind insbesondere Bioabfall und Grünschnitt. Die Kompostverfügbarkeit und Kompostqualität ist jedoch in vielen Regionen noch unzureichend. Hier besteht eher Handlungsbedarf durch die Politik als durch die Wissenschaft.

Im Projekt konnten keine Untersuchungen des Bodenmikrobioms sowie der Makrofauna durchgeführt werden, so dass der Zusammenhang zwischen Verfügbarkeit des organisch gebundenen P und der biologischen Aktivität des Bodens nicht erfasst werden konnte. Diese Frage spielt jedoch im ökologischen Landbau eine große Rolle, da eine Vielzahl von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Förderung des Bodenlebens abzielt. Zur Beantwortung dieser Frage sind weitere Forschungsarbeiten notwendig.

5. Kommunikations- und Disseminationskonzept

Die Ergebnisse sind auf verschiedene Weise kommuniziert und verbreitet worden. Feldtage und Workshops dienten zum Austausch innerhalb der OPG Bravö und zum Austausch mit externen Interessierten. Besonders das Format der Feldtage wurde von den Praktikern genutzt um sich auszutauschen und über die Innovationen zu diskutieren.

Auf der Wintertagung zum Ökologischen Landbau in Baden-Württemberg wurden die Ergebnisse unter anderem von den Landwirten der breiten Öffentlichkeit vorgestellt und diskutiert.

Öffentliche Feldtage und Workshops:

25. Oktober 2017, von 10.00 – 16.00 Uhr bei Manfred Kränzler, Schönberghof, 72348 Rosenfeld-Isingen, Feldtag zum Thema „Flächenrotte von Gründüngung“

29. November 2017, von 10.00 – 16.00 Uhr bei Klaus Wais, Hof am Eichenhain, 70619 Stuttgart-Riedenberg, Feldtag zum Thema "Gründüngung und Leguminosen-Dichtsaat"

15. Mai 2018, 14:00–17:00 Uhr Feldtag von der OPG BRAVÖ zusammen mit dem LTZ Augustenberg und Biolandhof Petrik, Karlsruhe-Grötzingen/ Pfinztal, Baden-Württemberg Alternative Düngemittel im Ökologischen Gemüseanbau und Bodenfruchtbarkeit

06. Juni 2018 von ca. 10:00 – 15:00 Uhr in der Universität Hohenheim Erfahrungsaustausch mit dem EU Projekt Biofactor (Prof. Günter Neumann, Dr. Weinmann, Herr Schäfer)

02. August 2018, auf dem BRAVÖ-Demobetrieb Weingut Ruesch Sojaanbau – Boden und Nachhaltigkeit, in Zusammenarbeit mit dem Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ)

21. September 2018, Fachtag Technik der Bodenbearbeitung am Hofgut Holland, Ochsenhausen in Zusammenarbeit mit dem Bodenfruchtbarkeitsfond

02. Oktober 2018, 10.00 Uhr – 16.00 Uhr BRAVÖ Feldtag Mit humusaufbauende Maßnahmen den Boden resilienter gegen Extremwetterereignisse machen, Demobetrieb Friedrich Wenz, 77743 Neuried-Ichenheim

30. November 2018, 10.00 Uhr – 16.00 Uhr BRAVÖ Fachtag „Humusbilanzen im Ökolandbau Ort: Mellifera e.V., Fischermühle 7, 72348 Rosenfeld

04. Oktober 2019, 10:00 Uhr – 16:00 Uhr Manfred & Bettina Schmid GbR Hofweg 4 73463 Westhausen Dem Bodenleben den Tisch decken – mit Gründüngung, Bodenpflege ohne Pflug und Kompost

09. Oktober 2019, 10:00 Uhr – 16:00 Uhr Ergebnis-Workshop BRAVÖ Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen

06. November 2019, 10:00 Uhr – 16:00 Uhr Einsatz von Klee gras in vieharmen Ökobetrieben zur Sicherung des Stickstoffbedarfs und der Bodenfruchtbarkeit im Ackerbau, 88499 Riedlingen-Zwiefaltendorf

12. März 2020, Schloss Hohenheim, Aula, 11. Wintertagung Ökologischer Landbau Baden-Württemberg: Den Boden füttern – Welche Düngestrategien brauchen wir im viehlosen Ökolandbau?

Vernetzung

05.-08. September 2018: Evolving Agriculture and Food – Opening up Biodynamic Research, Internationale Tagung in Dornach, Schweiz, Postervorstellung

04. Oktober 2018: Landwirtschaftliche Hauptfest Canstadt Stuttgart. Posterbeitrag

14. bis 15. März 2019: Dritter bundesweiter EIP Workshop in Arnstadt. Posterbeitrag

12. September 2019: Praxiserfahrungen, Innovationen und Herausforderungen der nachhaltigen Bodennutzung, Vortrag Ökomodell-Region SÜD Dr Uli Hampl

21. November 2019: NutriNet (Kompetenz- und Praxisforschungsnetzwerk zur Weiterentwicklung des Nährstoffmanagements im ökologischen Landbau) Runder Tisch, Kurzvorstellung des Projektes in 34131 Kassel

Veröffentlichungen im Projekt

Oltmanns, M.; Zikeli, S.; Engler, B.; Müller-Lindenlauf, M.; Hampl, U. (2019): Bodenfruchtbarkeit und Nachhaltigkeit steigern. Lebendige Erde, Januar 2019, S. 30-31.

Zikeli, S.; Sana, S.; Gruber, S. und Möller, K. (2021): Stickstoffversorgung mit klee-grasbasierten Düngemitteln? Vieharm bzw. viehlos? Erste Ergebnisse aus einem Projekt. Lebendige Erde, Januar 2021, 2021 (1), S. 40-43.

Villwock, D.; Müller-Lindenlauf, M. (2020): Den Boden füttern. BWagrar 39 , 2020, S. 2-3.

Francksen, S.; Müller-Lindenlauf, M.; Zikeli, S. (2021): Viehlose Innovationen. LUMBRICO 10/2021, S.20-27, in press.

Weitere Veröffentlichungen sind geplant, insbesondere zum Exaktversuch in Kleinhohenheim. Der Versuch ist Gegenstand einer Dissertation.

Auf der Webseite www.bravö.de gibt es eine Broschüre zum Download mit den wichtigsten Ergebnissen der ökologischen und der ökonomischen Bewertung.

6. Literaturverzeichnis

- AGROTO GmbH (2019): Die Lösung. <https://dieloesung.bio/produkt/die-loesung-herbst/> (abgerufen am 30.07.2019)
- Alpers, G. (2014): Düngen und Mulchen mit Grünmasse, 15.03.2014, S. 33-34.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL, 2018): Basisdaten für die Umsetzung der Düngeverordnung, für die Beratung und Planung, zur Berechnung des Düngebedarfs, des Nährstoffvergleichs, der 170 kg Grenze Ngesamt, des Lagerraums für organische Dünger, der Stoffstrombilanz. Stand Juli 2018.
- Benke, Anna Pia; Rieps, Ann-Marleen; Wollmann, Iris; Petrova, Ioana; Zikeli, Sabine; Möller, Kurt (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.
- BGK e.V. (2013): Humus- und Düngewert von Kompost und Gärprodukten - https://www.kompost.de/fileadmin/user_upload/Dateien/Themen_Positionen/5_3_3_Thema_Humus-_und_Duengewert_2013.pdf (abgerufen am 10.03.2020)
- BGK e.V. (2017): RAL-Gütesicherung Kompost Chargenuntersuchung. Prüfzeugnis Fertigkompost (mittelkörnig). RAL-GZ 251 Prüfzeugnis PZ-Nr: 5084-150916-1. - Kompostanalyse Leibing
- BLE (2019): Biozyklisch-veganer Anbau - eine Option für Ökobetriebe? *Ökolandbau.de - Das Informationsportal*. <https://www.oekolandbau.de/landwirtschaft/pflanze/grundlagen-pflanzenbau/biozyklisch-veganer-anbau/> (abgerufen am 25.7.2019)
- BNS, Biocyclic Network Services Ltd. (2019): Biozyklisch-Vegane Richtlinien. https://biozyklisch-vegan.org/fileadmin/user_upload/Biozyklisch-Vegane_Richtlinien_1.03_rev_151_-_2019-06-03_-_dt.pdf (abgerufen am 10.10. 2019).
- Böhm, Herwart (2014): Unkrautregulierung durch Fruchtfolge und alternative Managementverfahren. In: *Julius-Kühn-Archiv* 443. Online verfügbar unter <https://orgprints.org/27880/>.
- Böhm, Herwart; Paulsen, Hans Marten; Fischer, Jenny; Moos, Jan Hendrik; Rahmann, Gerold (2014): Sammendrag af indlæg Plantekongres 2014 14. - 15. januar i Herning Kongrescenter. In: *Sammendrag af indlæg Plantekongres 2014*. Online verfügbar unter <https://orgprints.org/id/eprint/27885/>.
- Bonney, M. und Müller-Lindenlauf, M. (2018): Arbeitspapier - *Nürtingen_FragebogenEIP_BRAVÖ_2018_10_08*. Nürtingen.
- Bonzheim, A. (2019): Befragung. Genthiner Straße 48 10785 Berlin.
- Brock C., Hoyer U., Leithold G., Hülsbergen K.-J. (2012): The humus balance model (HU-MOD): a simple tool for the assessment of management change impact on soil organic matter levels in arable soils. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 92, 239-254.
- Brozyna, Michal A.; Petersen, Søren O.; Chirinda, Ngonidzashe; Olesen, Jørgen 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.
- Bruns, C., Schüler, C., und Waldow, F., (2003): Einsatz suppressiver Grünabfallkomposte zur Kulturstabilisierung gegenüber bodenbürtigen Schaderregern im ökologischen Gartenbau. In Freyer, B. (Hrsg.): *Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau: Ökologischer Landbau der Zukunft*. Inst. f organischen Landbau, Universität f. Bodenkultur, Wien, S. 539ff
- Castell, Adelheid; Eckl, Thomas; Schmidt, Martin; Beck, Robert; Heiles, Eberhard; Salzeder, Georg; Urbatzka, Peer (2016): Fruchtfolgen im ökologischen Landbau: Pflanzenbaulicher Systemvergleich. Zwischenbericht über die Jahre 2005 - 2013 (Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft). Online verfügbar unter https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/fruchtfolgen-oekologischer-landbau_pflanzenbaulicher-systemvergleich_lfl-schriftenreihe.pdf, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Cropp, J.-H. (2016): Quetschwalze statt Herbizid - Biodirektsaat von Soja und Körnermais in den USA. *LOP*, 8, S.32-37.

- Cuhls C., Mähl B., Clemens J. (2015): Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen. UBA Texte 39/2015.
- Deibert, E.J., and Lizotte, D. (1982): Soil Applications of Sunflower Meal As Potential Fertilizer Sources. https://library.ndsu.edu/ir/bitstream/handle/10365/4665/farm_39_06_05.pdf?sequence=1 (abgerufen am 10.10. 2019).
- Dreymann, Sonja; Loges, Ralf; Taube, Friedhelm; Heß, J.; Rahmann, G. (2005): Schnittgutabfuhr oder Gründüngung? Auswirkung der Klee gras-Nutzung auf Nitrat im Sickerwasser und Folgefrüchte. In: Ende der Nische, Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Online verfügbar unter <https://orprints.org/id/eprint/3700/>.
- Düngeverordnung (2017): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen - Düngerverordnung (DüV) vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 28. April 2020(BGBl. I S. 846) geändert worden ist.
- DÜV - Düngerverordnung vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305), Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngerverordnung - DüV)
- Ebertseder, T., Engels, C., Heyn., J, Hülsbergen, K-J., Isermann, K., Kolbe, ... Zimmer, J. (2014): Standpunkt Humusbilanzierung. Eine Methode Zur Analyse Und Bewertung Der Humusversorgung von Ackerland. Speyer. <http://www.vdlufa.de> (abgerufen am 10.10. 2019).
- Eisenbach, J. (2019): Befragung. Raphael Santi 58 (Nefeli 11), 6052 Larnaka, Zypern, Griechenland
- Flessa H., Greff J.M., Dittert K., Ruser R., Osterburg B., Poddey E., Wulf S., Pacholski A.S. (2014): Minderung von Stickstoff-Emissionen aus der Landwirtschaft: Empfehlungen für die Praxis und aktuelle Fragen an die Wissenschaft. Berlin: Senat der Bundesforschungsinstitute des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft, 63 p, ForschungThemenheft 1/2014.
- Förderkreis Biozyklisch-Veganer Anbau e.V. (2019): Gütesiegel - aus biozyklisch-veganem Anbau. <https://biozyklisch-vegan.org/1/guetesiegel> (abgerufen am 10.10. 2019).
- Francksen, S. (2020): Rentabilitätsanalyse zweier innovativer Maßnahmen zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit im viehlosen ökologischen Landbau. nicht veröffentlichte Studie. Stuttgart-Hohenheim
- Francksen, Sabrina; Zikeli, Sabine (2021): Phosphor im Ökologischen Ackerbau - Status Quo, Lösungsansätze und Herausforderungen. Teilbericht des EIP Projekts BRAVÖ - Mit betrieblichen Innovationen Bodenfruchtbarkeit und Nachhaltigkeit auf vieharmen und viehlosen Öko-Betrieben steigern. Universität Hohenheim.
- Freyer, B. (2003): Fruchtfolgen Konventionell - Integriert - Biologisch. Stuttgart-Hohenheim: Eugen Ulmer GmbH.
- Gerke, Jörg; Meyer, Ute (1995): Phosphate acquisition by red clover and black mustard on a humic podzol. In: Journal of Plant Nutrition 18 (11), S. 2409-2429. DOI: 10.1080/01904169509365074.
- Gutser, R.; Ebertseder, Th.; Weber, A.; Schraml, M.; Schmidhalter, U. (2005): Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. In: J. Plant Nutr. Soil Sci. 168 (4), S. 439-446. DOI: 10.1002/jpln.200520510.
- Haak, A., Nußbaumer, H. und Recknagel, J., (2018): Praxistests zur Sojadirektsaat im Ökolandbau am südlichen Oberrhein Bericht zu den Anbaujahren 2014 - 2017. https://ltz.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde_DE/1816954_1933290_1921233_5014658_4689642_5899909?QUERYSTRING=direktsaat (abgerufen am 18.12.2019)
- Hansen, Sissel; Berland Frøseth, Randi; Stenberg, Maria; Stalenga, Jaros?aw; Olesen, Jørgen E.; Krauss, Maike et al. (2019): Reviews and syntheses: Review of causes and sources of N2O emissions and NO3 leaching from organic arable crop rotations. In: Biogeosciences 16 (14), S. 2795-2819. DOI: 10.5194/bg-16-2795-2019.
- Heiß, T. (2019): persönliches und schriftliches Interview zu Betriebsdaten und Innovationen. Dezember 2018 bis Oktober 2019. Siegelbach 8, 74219 Möckmühl.
- Helmert, Martin; Heuwinkel, Hauke; Pommer, Günther; Gutser, Reinhold; Schmidhalter, Urs (2003): N-Flüsse in gemulchtem und geschnittenem Klee gras: Warum Klee gras-Brache im Ökologischen

Landbau (OL) die Erträge der Fruchtfolge nicht erhöht. Online verfügbar unter <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1304999/file.pdf>.

Heuwinkel, Hauke; Loges, Ralf (2004): Mulchen oder Schnittnutzung von Klee gras - Auswirkung der Bewirtschaftung von Klee grasbeständen auf den N-Haushalt von Fruchtfolgen. In: Harald Schmidt (Hg.): Viehloser Öko-Ackerbau Beiträge, Beispiele, Kommentare. 1. Aufl. Berlin: Köster (Wissenschaftliche Schriftenreihe Ökologischer Landbau, 2), S. 21-25.

Hubbard, R.K., Strickland, T.C., und Phatak, S., (2013): Effects of cover crop systems on soil physical properties and carbon/nitrogen relationships in the coastal plain of southeastern USA. *Soil & Tillage Research* 126, 276-283.

Hübner, A. (2017): Presskuchen - Lein, Hanf, Walnuss, Mandel, Aprikosen, Sonnenblumen,... - Ölmühle 37° - Naturbelassene Speiseöle. <http://oelmuehle37.de/produkt/presskuchen-tiernahrung/> (abgerufen am 10.10. 2019).

IFOAM - Organics International e.V. (2019): The IFOAM OGS Logos | IFOAM. <https://www.ifoam.bio/en/ifoam-ogs-logos> (abgerufen am 10.10. 2019).

IPCC (2006): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. p. 11.11.

Jörgensen, R. (2018): Nährstoffmanagement Und Humuswirtschaft." In *Ökologische Landwirtschaft*, ed. A. Bürkert M. Wachendorf. Stuttgart: Eugen Ulmer, S. 52-68. <https://www.utb-studi-e-book.de/Viewer2.0/pdfviewer/index/viewer?isbn=9783838548630&access=61dc0f5cae474638a2d8534513a38f4e&code=da0b307e6e14cf38f571ed3e36158fe4&q=&lang=de&key=&page=&label=A&prodl d=2234&hash=35fe55c3b3aa998e8a460ff7687a6239&token=35fe55c> (abgerufen am 10.10. 2019).

Kiechle, B. (2019): persönliches und schriftliches Interview zu Betriebsdaten und Innovationen. Dezember 2018 bis Oktober 2019. Schäferstraße 1, 79772 Schallstadt.

Kilian, D, and U Hamm. (2019): Öko-Lebensmittel Aus Veganem Anbau: Wahrnehmung Und Mehrzahlungsbereitschaft Veganer Konsumenten." In *Innovatives Denken Für Eine Nachhaltige Land- Und Ernährungswirtschaft?: Beiträge Zur 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau.*, Kassel: Mühlrath, D., Albrecht, J., Finckh, M., Hamm, U., Heß, J., Knierim, U. und Möller, D. http://orgprints.org/36148/1/Beitrag_221_final_a.pdf (abgerufen am 10.10. 2019).

Köberle, A. (2019): persönliches und schriftliches Interview zu Betriebsdaten und Innovationen. Dezember 2018 bis Oktober 2019. Ziegelhüttenweg 7, 89611 Obermarchtal.

Kolbe, H. (2010): Phosphor Und Kalium Im Ökologischen Landbau - Aktuelle Probleme, Herausforderungen, Düngungsstrategien. http://orgprints.org/19354/1/P_K_Oeko10.pdf (abgerufen am 10.10. 2019).

Kolbe, H. (2015). Wie Ist Es Um Die Bodenfruchtbarkeit Im Ökolandbau Bestellt: Nährstoffversorgung Und Humusstatus? http://orgprints.org/29539/1/Bodenfruchtbarkeit_Öko_BAD-VLK15.pdf#? (abgerufen am 10.10. 2019).

Kolbe, Hartmut; Schuster, Martina; Hänsel, Martin; Schließer, Ingeborg; Pöhlitz, Birgit; Steffen, Edwin; Pommer, Rene (2006): Feldfutterbau und Gründüngung im Ökologischen Landbau - Informationen für Praxis und Beratung. Online verfügbar unter <https://orgprints.org/id/eprint/15102/1/Feldfutter.pdf>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.

Kränzler, M. (2019): persönliches und schriftliches Interview zu Betriebsdaten und Innovationen. Dezember 2018 bis Oktober 2019. Schönberg 1, 72348 Rosenfeld-Isingen.

KTBL (2019): Webanwendung Leistungs-Kostenrechner <https://www.ktbl.de/webanwendungen/leistungs-kostenrechnung-pflanzenbau/> (Zugriff Januar bis September 2019)

Laber, Hermann (2007): Abschätzung der N-Freisetzung aus unterschiedlich bewirtschafteten Klee-, Klee gras- und Luzernebeständen im Verlauf nachfolgender Weißkohlkulturen und im zweiten Jahr nach Umbruch (Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft). Online verfügbar unter <https://orgprints.org/id/eprint/13105/>.

Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume (LEL; 2016): Stammdaten aus dem Excel-Programm „Nährstoffvergleich, Feld-Stall-Vergleich“ in der Version 6.1 L vom 01.04.2016.

Larsson, Lisbeth; Ferm, Martin; Kasimir-Klemedtsson, Asa; Klemedtsson, Leif (1998): Ammonia and nitrous oxide emissions from grass and alfalfa mulches. In: *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51 (1), S. 41-46. DOI: 10.1023/A:1009799126377.

Leibing, D. (2019): persönliches und schriftliches Interview zu Betriebsdaten und Innovationen. Dezember 2018 bis Oktober 2019. Lange Str. 24, 89177 Ballendorf.

Leithold G., Brock C., Hoyer U., Hülsbergen K.-J. (2007): Anpassung der Humusbilanzierung an die Bedingungen des ökologischen Landbaus. In: KTBL (Hrsg.): *Bewertung ökologischer Betriebssysteme*. KTBL, Darmstadt: 24-50.

LEL Schwäbisch Gmünd (2018): Infodienst - LEL Schwäbisch Gmünd - Downloads. https://lel.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lel/Abteilung_2/Oekonomik_der_Betriebszweige/Pflanzenaufbau/D%3%BCngung_N%3%A4hrstoffe/extern/Downloads/Duengebedarf.xlsx?attachment=true (abgerufen am 22. Oktober 2019).

Lfl Bayern Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2020): Reinnährstoffkosten 2018 ökologisch - persönlicher Austausch per Telefon- und E-Mail mit Schätzl, R.

Loges, Ralf; Taube, Friedhelm (2007): Stickstoffflüsse im ökologischen Futterbaubetrieb. In: KTBL (Hg.): *Bewertung ökologischer Betriebssysteme*. Bodenfruchtbarkeit, Stoffkreisläufe, Biodiversität ; Beiträge zum KTBL-Fachgespräch "Systembewertung im ökologischen Landbau" vom 14. bis 15. April 2005 in Freising. Darmstadt: KTBL (KTBL-Schrift, 458), 84_94.

Mbewe, E. (2015): The efficacy of sunflower seed cake as an organic fertilizer. Reykjavik. <http://www.unulrt.is/static/fellows/document/mbewe2015.pdf> (abgerufen am 10.10. 2019).

Möller, Kurt; Schultheiß, Ute (Hg.) (2014): *Organische Handelsdüngemittel im ökologischen Landbau*. Charakterisierung und Empfehlungen für die Praxis. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Darmstadt: KTBL (KTBL-Schrift, 499).

Möller, Kurt; Stinner, Walter (2009): Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides). In: *European Journal of Agronomy* 30 (1), S. 1-16. DOI: 10.1016/j.eja.2008.06.003.

Müller, T., Sharif, R., Breuer, J., and Schulz. (2009): Einfluss Der Biokompostdüngung Auf Die Aggregatgrößenverteilung in Einem Luvisol." <http://eprints.dbges.de/134/> (abgerufen am 10.10. 2019).

Nußbaumer, H., Zeller, S. und Recknagel, J., (2014): Direktsaat von Sojabohnen im Ökolandbau. Tastversuche zur Direktsaat von Sojabohnen in Winterroggen und Wintergerste am Standort Müllheim, Berichtsjahre 2012-2014. <https://www.sojafoerderring.de/wp-content/uploads/2013/12/%C3%96kolandbau-DS-Soja-BB14-01-Bericht-2014-Stand-15-09-01.pdf> (abgerufen am 18.12.2019)

Petrik (2019): persönliches und schriftliches Interview zu Betriebsdaten und Innovationen. Dezember 2018 bis Oktober 2019. Am Heulenberg 1, 76327 Pfinztal-Berghausen.

Platzmann, S., and U. Hamm. (2007): Kaufbarriere Preis? - Analyse von Zahlungsbereitschaft Und Kaufverhalten Bei Öko-Lebensmitteln." http://orgprints.org/15745/1/15745-06OE119-uni_kassel-hamm-2009-kaufbarriere_preis.pdf. (abgerufen am 10.10. 2019).

Reimer, Marie; Hartmann, Tobias Edward; Oelofse, Myles; Magid, Jakob; Bünemann, Else K.; Möller, Kurt (2020): Reliance on Biological Nitrogen Fixation Depletes Soil Phosphorus and Potassium Reserves. In: *Nutr Cycl Agroecosyst* 118 (3), S. 273-291. DOI: 10.1007/s10705-020-10101-w.

Rieps, A.-M. und Zikeli, S. (2018): Wissenschaftliche Bewertung der von den Projektpartnern durchgeführten Maßnahmen zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit. Interner und unveröffentlichter Bericht im Projekt BRAVÖ.

Ruesch (2019): persönliches und schriftliches Interview zu Betriebsdaten und Innovationen. Dezember 2018 bis Oktober 2019. Gebirgstr. 18, 79462 Buggingen.

Rundlöf, Maj; Persson, Anna S.; Smith, Henrik G.; Bommarco, Riccardo (2014): Late-season mass-flowering red clover increases bumble bee queen and male densities. In: *Biological Conservation* 172, S. 138-145. DOI: 10.1016/j.biocon.2014.02.027.

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG, 2011): *Detaillierter GV-Schlüssel*.

- Scheffer, F. und Schachtschabel, P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. Spektrum, Heidelberg.
- Schmid, H. (2004): Viehloser Ackerbau im ökologischen Landbau - Evaluierung des derzeitigen Erkenntnisstandes anhand von Betriebsbeispielen und Expertenbefragungen. Projektbericht. <http://orgprints.org/5020/1/5020-02OE458-uni-giessen-2003-viehloser-ackerbau.pdf> (abgerufen am 5.6.2019)
- Schmid, M. (2019): persönliches und schriftliches Interview zu Betriebsdaten und Innovationen. Dezember 2018 bis Oktober 2019. Hofweg 4, 73463 Westhausen.
- Schmidt, H. und Christen, C. (2010): Literaturübersicht zu Auswirkungen reduzierter Bodenbearbeitung. In: Schmidt, H. (Hrsg.): Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Verlag Dr. Köster Berlin, 203-226.
- Schmidt, Harald (1997): Viehlose Fruchtfolge im Ökologischen Landbau - Auswirkungen systemeigener und systemfremder Stickstoffquellen auf Prozesse im Boden und die Entwicklung der Feldfrüchte. Online verfügbar unter <https://orgprints.org/id/eprint/3716/>.
- Schmidt, Harald (Hg.) (2004): Viehloser Ackerbau im ökologischen Landbau - Evaluierung des derzeitigen Erkenntnisstandes anhand von Betriebsbeispielen und Expertenbefragungen. Justus-Liebig-Universität Giessen.
- Schulz, Franz (2012): Vergleich ökologischer Betriebssysteme mit und ohne Viehhaltung bei unterschiedlicher Intensität der Grundbodenbearbeitung. Effekte auf Flächenproduktivität, Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit. Zugl.: Gießen, Univ., Diss., 2012. 1. Aufl. Berlin: Köster (Giessener Schriften zum ökologischen Landbau, Bd. 5).
- Sorensen, J. N.; Grevsen, K. (2015): Strategies for cut-and-carry green manure production. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1137.6.
- Stein-Bachinger, Karin; Bachinger, Johann; Schmitt, Liliane (Hg.) (2004): Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau - Ein Handbuch für Beratung und Praxis mit Anwendungs-CD. Unter Mitarbeit von Karin Stein-Bachinger, Johann Bachinger und Liliane Schmitt: KTBL (KTBL-Schrift 423). Online verfügbar unter <https://orgprints.org/id/eprint/5152/>.
- Stinner, Paul Walter (2011): Auswirkungen der Biogaserzeugung in einem ökologischen Marktfruchtbetrieb auf Ertragsbildung und Umweltparameter. Zugl.: Gießen, Univ., Diss., 2010. 1. Aufl. Berlin: Köster (Giessener Schriften zum ökologischen Landbau, 4).
- StoffBilV (2017) - Stoffstrombilanzverordnung vom 14. Dezember 2017 (BGBl. I S. 3942; 2018 I S. 360), Verordnung über den Umgang mit Nährstoffen im Betrieb und betriebliche Stoffstrombilanzen (Stoffstrombilanzverordnung - StoffBilV)
- Stumm, Christoph (2015): Klee grasnutzung im viehlosen Acker- und Gemüsebau. Landwirtschaftskammer NRW (Versuchsbericht 2015). Online verfügbar unter https://www.oekolandbau.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/Forschung/Ergebnisse/nach_Jahren/2015/19_FF_KG_Transfer_15.pdf, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Stumm, Christoph; Köpke, Ulrich (2016): Ertragswirkung und Klimarelevanz alternativer Nutzungsformen von Futterleguminosen im viehlosen Acker- und Gemüsebau. In: H. Kage, K. Sieling, L. Francke-Weltmann und Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V. (Hg.): 59. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V. : Klimawandel und Qualität, Kurzfassungen der Vorträge und Poster ; 27. bis 29. September 2016, Gießen. 27. bis 29. September 2016, Gießen. Göttingen: Liddy Halm.
- Stumm, Christoph; Köpke, Ulrich (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, Freising-Weißenstephan, 7. bis 10 März 2017. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau; Wissenschaftszentrum Weißenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt; Hochschule Weißenstephan-Triesdorf; Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz; Stiftung Ökologie & Landbau; Dr. Hans-Joachim Köster. 1. Auflage. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Toleikienė, Monika; Arlauskienė, Aušra; Šarūnaitė, Lina; Šidlauskaitė, Gintarė; Kadžiulienė, Žydrė (2020): The effect of plant-based organic fertilisers on the yield and nitrogen utilization of spring cereals in the organic cropping system. In: Zemdirbyste-Agriculture 107 (1), S. 17-24. DOI: 10.13080/z-a.2020.107.003.

VDLUFA (2000): 3.5.2.7 Bestimmung von Gesamt-Stickstoff: Verbrennungsmethode. In: VDLUFA (Hg.): VDLUFA-Methodenbuch Band II.1.

VDLUFA (2007): 8.10 Bestimmung von Mikronährstoffen in Düngemittlextrakten, ICP-OES Methode. In: VDLUFA (Hg.): VDLUFA Methodenbuch Band II.1 Düngemittel - 3. Ergänzungslieferung 2007 zu Band II.1.

VDLUFA (2011): 2.1.3 Mikrowellenbeheizter Druckaufschluss. In: VDLUFA (Hg.): Band VII Umweltanalytik. Unter Mitarbeit von Enno Janßen. 4., neubearb. und erw. Aufl. Darmstadt: VDLUFA-Verl. (Methodenbuch, Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Hrsg. von Rolf Bassler ; Bd. 7).

VDLUFA (2014): Humusbilanzierung. Standpunkt des VDLUFA.
<http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/11-Humusbilanzierung.pdf>, (Abruf 27.07.2019).

VDLUFA (Hg.) (1991): Band I Die Untersuchung von Böden. 4. Aufl.

Wais, K. (2019): persönliches und schriftliches Interview zu Betriebsdaten und Innovationen. Dezember 2018 bis Oktober 2019. Eichenparkstraße 2, 70619 Stuttgart.

Woodcock, B. A.; Savage, J.; Bullock, J. M.; Nowakowski, M.; Orr, R.; Tallowin, J.R.B.; Pywell, R. F. (2014): Enhancing floral resources for pollinators in productive agricultural grasslands. In: Biological Conservation 171, S. 44-51. DOI: 10.1016/j.biocon.2014.01.023.

7. Anhang

7.1. Anhang zu Kapitel 3.1.

Tabelle 42: Berechnete Transportstrecken der Referenzsubstrate. Falls nicht anders angegeben erfolgte der Transport mit dem Traktor.

	V1	V2	V3	V4
Rindermist	1 km	15 km	30 km	-
Rindergülle	15 km	30 km	-	-
Hornmehl	2 km	15 km	30 km	-
Gärreste	15 km	-	-	-
Geflügelmist	1 km	15 km	30 km	600 km (40 Tonner)

Tabelle 43: Berechnete Varianten in der Ausbringungstechnik der Referenzsubstrate.

	Typische NH ₃ -Emissionen (NH ₃ typ)	Minimale NH ₃ -Emissionen (NH ₃ min)	Maximale NH ₃ -Emissionen (NH ₃ max)
Rindermist	Einarbeitung mit Kreiselegge in 4 h	Einarbeitung mit Kreiselegge sofort	ohne Einarbeitung
Rindergülle	Schleppschauch ohne Einarbeitung	Injektionsgrubber	Breitverteiler
Hornmehl	Einarbeitung mit Kreiselegge	-	ohne Einarbeitung
Gärreste	ohne Einarbeitung	Einarbeitung mit Kreiselegge	ohne Einarbeitung
Geflügelmist	Einarbeitung mit Kreiselegge in 4 h	Einarbeitung mit Kreiselegge sofort	ohne Einarbeitung

Tabelle 44: Berechnete Kombinationen der Varianten für Referenzverfahren

Rindermist	V1 NH ₃ typ, V1 NH ₃ min, V1 NH ₃ max, V2 NH ₃ typ, V3 NH ₃ typ
Rindergülle	V1 NH ₃ typ, V1 NH ₃ min, V1 NH ₃ max, V2 NH ₃ typ
Hornmehl	V1 NH ₃ typ, V1 NH ₃ min, V1 NH ₃ max, V2 NH ₃ typ, V3 NH ₃ typ
Gärreste	V1 NH ₃ typ, V1 NH ₃ min, V1 NH ₃ max
Geflügelmist	V1 NH ₃ typ, V1 NH ₃ min, V1 NH ₃ max, V2 NH ₃ typ, V3 NH ₃ typ, V4 NH ₃ typ

7.2. Anhang zu Kapitel 3.2.

Anhang 1: Leitfadeninterview

Die Fragen wurden an den jeweiligen Betrieb und die jeweilige Maßnahme angepasst.

Welche Arbeitsvorgänge gibt es beim Anbau (inklusive AKh, Maschinen, Hilfsmittel)?

Welche Arbeitsvorgänge gibt es bei der Ausbringung (inklusive AKh, Maschinen, Hilfsmittel)?

Welche Maschinen werden genutzt?

Waren Investitionen nötig? Wenn ja welche und in welcher Höhe?

Welche weiteren Kosten gibt es?

Wie hoch ist der Stundenlohn?

Welche Arbeitsspitzen gibt es?

Anhang 2: Tabellen zur Linearen Programmierung
A3.1 Szenario 1

Tabelle 45: Ansprüche und Lieferungen der innovativen Maßnahmen „Kleegrastransfer“ und „Komposteinsatz“

		Kleegrass		Kompost	
		Anbau 1 ha	Transfer 1 t	Herstellung 60 t	Ausbringung 1 t
Deckungsbeitrag	(€)	-341	-2,12	9.894	-1,6
Ackerfläche genutzt	(ha)	1	0	0	0
Klee min. 20%	(ha)	-1	0	0	0
Klee max. 33%	(ha)	1	0	0	0
Kleegrasmenge	(t)	-25	1	0	0
Leguminosen min. 25%	(ha)	-1	0	0	0
Zwischenfrucht	(ha)	-1	0	0	0
Kompostmenge	(t)	0	0	-60	1
Grünschnittmenge	(t)	0	0	150	0
Arbeitskapazität	(Akh)	3,42	0,11	68,6	0,07
Aktivierungsfläche ZA	(ha)	-1	0	0	0
FAKT Ökoprämie	(ha)	-1	0	0	0
Ökokontrollnachweis	(ha)	-1	0	0	0
Humus-C min. Saldo	(kg)	-834	-19	0	-58
Humus-C max. Saldo	(kg)	834	19	0	58
Stickstoff N	(kg)	-22	-5,8	0	-4,6
Phosphor P ₂ O ₅	(kg)	35	-1,4	0	-1,9
Kalium K ₂ O	(kg)	155	-6,2	0	-7,5

t = 1000 kg; ha = 10.000 m²; ZA = Zahlungsanspruch; FAKT = Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl; C = Kohlenstoff

Quelle: eigene Darstellung auf der Basis der im Text genannten Quellen (vgl. Kapitel 2)

Tabelle 46: Optimales Produktionsprogramm in Szenario 1

Verfahren	Lösungsumfang in jeweils angegebener Einheit	DB in € je angegebener Einheit
1 ha Klee gras (70:30)	5,0	-341,2
1 ha Weizen, 14% RP, Korn	8,3	914,3
1 ha Dinkel (m.Spelz), Korn+ Stroh	2,5	1002,7
1 ha Körnermais, 10% RP, Korn	6,2	441,9
1 ha Roggen, 11% RP, Korn	1,6	996,7
1 ha Erbsen, 26% RP, Korn	1,2	28,0
1 ha Grünland, 65 dt TM, Futter-Mist-Koop.	3,7	-167,2
1 t Klee gras aufwuchs düngen	124,0	-2,1
60 t Kompost herstellen	1,0	9894,1
1 t Kompost düngen	60,0	-1,6
1 t Pferdemist düngen	53,6	-1,6
1 t Carbokalk düngen	24,8	-30,0
1 ZA + Greening + Umvert.premie 50 €/ha	28,5	308,3
1 ha Öko-Prämie (FAKT)	28,5	230,0
1 ha Öko-Kontrollnachweis (FAKT)	10,0	60,0

t = 1000 kg; ha = 10.000 m²; ZA = Zahlungsanspruch; FAKT = Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl

Quelle: eigene Berechnung auf der Basis der im Text genannten Quellen

Tabelle 47: Szenario 1, Sensitivitätsanalyse, erster Teil

Name	Endgültig	Reduziert	Ziel	Zulässig	Zulässig
	Endwert	Kosten	Koeffizient	Erhöhen	Verringern
1 ha Fruchtfolgeaktivität	24,8	0,0	0,0	3735	791
1 ha Klee gras (70:30)	5,0	0,0	-341,2	16361	3955
1 ha Weizen, 14% RP, Korn	8,3	0,0	914,3	11204	404
1 ha Dinkel (m.Spelz), Korn+ Stroh	2,5	0,0	1002,7	2104	5287
1 ha Körnermais, 10% RP, Korn	6,2	0,0	441,9	374	843
1 ha Wintertriticale, 13% RP, Korn	0,0	-435,8	374,9	436	1E+30
1 ha Roggen, 11% RP, Korn	1,6	0,0	996,7	618	326
1 ha Hafer, 11% RP, Korn	0,0	-448,6	428,5	449	1E+30
1 ha Sonnenblumen, 20% RP, Korn	0,0	-2557,8	678,7	2558	1E+30
1 ha Erbsen, 26% RP, Korn	1,2	0,0	28,0	2302	2907
1 ha Acker gras (Weidel)	0,0	-2930,4	-378,5	2930	1E+30
1 ha Zwischenfrucht, ohne Leguminosen	0,0	-90,5	-90,5	91	1E+30
1 ha Grünland, 65 dt TM, Futter-Mist-Koop.	3,7	0,0	-167,2	1429	2587
1 t Klee gras aufwuchs düngen	124,0	0,0	-2,1	654	128
60 t Kompost herstellen	1,0	0,0	9894,1	2,31E+18	36205
1 t Kompost düngen	60,0	0,0	-1,6	2,21E+16	439
1 t Pferdemit düngen	53,6	0,0	-1,6	99	249
1 t Carbokalk düngen	24,8	0,0	-30,0	1E+30	519
1 ZA+ Greening + Umvert.prämie 50 €/ha	28,5	0,0	308,3	1170	20
1 ZA + Greening + Umvert.prämie 30 €/ha	0,0	-20,4	287,9	20	1E+30
1 ZA +Greening	0,0	-50,9	257,4	51	1E+30
1 ha Öko-Prämie (FAKT)	28,5	0,0	230,0	1170	230
1 ha Öko-Kontrollnachweis (FAKT)	10,0	0,0	60,0	1E+30	60

t = 1000 kg; ha = 10.000 m²; ZA = Zahlungsanspruch; FAKT = Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl, 1E+30 = unendlich

Quelle: Eigene Berechnung auf der Basis der im Text genannten Quellen

Tabelle 48: Ansprüche und Lieferungen des Verfahrens „1 ha Ackergrasanbau“

Faktor	Einheit des Faktors	1 ha Weidelgras
DB	(€)	-378
Ackerfläche genutzt	(ha)	1
Heumenge	(t)	-7
Arbeitskapazität	(h)	4,5
Aktivierungsfläche ZA	(ha)	-1
FAKT Ökoprämie	(ha)	-1
Öko-Kontrollnachweis	(ha)	-1
Humus C min. Saldo	(kg)	-200
Humus C max. Saldo	(kg)	200
Stickstoff N	(kg)	168
Phosphor P₂O₅	(kg)	56
Kalium K₂O	(kg)	228

t = 1000 kg; ha = 10.000 m²; ZA = Zahlungsanspruch; FAKT = Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl

Quelle: eigene Berechnung auf der Basis der im Text genannten Quellen

Tabelle 49: Szenario 1, Sensitivitätsanalyse, zweiter Teil

Name	Endgültig	Schatten	Nebenbedingung	Zulässig	Zulässig	
	Endwert	Preis	Rechte Seite	Erhöhen	Verringern	
Stickstoff N -	0,0	-28,9		0	97,3	75
Phosphor P2O5 -	0,0	9,4		0	301,0	389
Kalium K2O -	0,0	73,7		0	20,3	128
Ackerfläche verfügbar -	24,8	0,0		75	1E+30	50
Ackerfläche genutzt -	0,0	863,8		0	0,7	5
Grünlandflächen verfügbar -	3,7	0,0		33,6	1E+30	30
Klee min. 20% -	0,0	3478,8		0	0,3	1
Klee max. 33% -	-3,3	0,0		0	1E+30	3
Weizen max. 33% -	0,0	486,2		0	2,0	7
Dinkel max. 33% -	-5,7	0,0		0	1E+30	6
Körnermais max. 50% -	-6,2	0,0		0	1E+30	6
Triticale max. 33% -	-8,3	0,0		0	1E+30	8
Roggen max. 33% -	-6,7	0,0		0	1E+30	7
Hafer max. 25% -	-6,2	0,0		0	1E+30	6
Sonnenblumen max. 14% -	-3,5	0,0		0	1E+30	4
Erbsen max. 20% -	-3,7	0,0		0	1E+30	4
Leguminosen min. 25% -	0,0	2080,5		0	0,5	2
Getreide max. 50% -	0,0	380,0		0	5,6	1
Zwischenfrucht max. -	-24,8	0,0		0	1E+30	25
Kleegrasmenge (FM) -	0,0	300,4		0	4,2	44
Kompostmenge (FM) -	0,0	438,5		0	3,1	39
Grünschnittmenge (FM) -	150,0	241,4		150	7,8	97
Pferdemistmenge (FM) -	53,6	0,0		300	1E+30	246
Heumenge (FM) -	0,0	1459,1		0	1,0	12
Strohmenge (FM) -	0,0	794,9		0	1,8	5
Arbeitskapazität -	249,5	0,0		2640	1E+30	2390
ZA verfügbar -	28,5	0,0		108,6	1E+30	80
Umverteilungspr. 1.-30. ha -	28,5	0,0		30	1E+30	1
Umverteilungspr. 31.-46. ha -	0,0	0,0		16	1E+30	16
Aktivierungsfläche der ZA -	0,0	308,3		0	1,5	29
FAKT Ökoprämie -	0,0	230,0		0	1E+30	29
FAKT Öko-Kontrollnachweis -	-18,5	0,0		0	1E+30	19
Öko-Kontrollnachweis max. -	10,0	60,0		10	18,5	10

Humus C min. Saldo (0 kg/ha)	-865,8	0,0	0	1E+30	866
Humus C max. Saldo (+300 kg/ha) -	980,4	0,0	22500	1E+30	21520
Stickstoff max. aus Dünger (nach Bioland) -	1326,4	0,0	12163,2	1E+30	10837

t = 1000 kg; ha = 10.000 m²; ZA = Zahlungsanspruch; FAKT = Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl, 1E+30 = 30 = unendlich
Quelle: Eigene Berechnung auf der Basis der im Text genannten Quellen

A3.2 Szenario 2

Tabelle 50: Optimales Produktionsprogramm in Szenario 2

Verfahren	Lösungsumfang in angegebener Einheit	Deckungsbeitrag in €/Einheit
1 ha Fruchtfolgeaktivität	75,0	0,0
1 ha Klee gras (70:30)	18,8	-341,2
1 ha Dinkel (m.Spelz), Korn+ Stroh	3,7	1002,7
1 ha Körnermais, 10% RP, Korn	8,0	441,9
1 ha Wintertriticale, 13% RP, Korn	33,8	996,7
1 ha Sonnenblumen, 20% RP, Korn	10,7	678,7
1 ha Grünland, 65 dt TM, Futter-Mist-Koop.	5,48	-167,2
1 t Klee gras aufwuchs düngen	92,2	-2,1
60 t Kompostherstellung	1,0	9894,1
1 t Kompost düngen	60,0	-1,6
1 t Pferdemist düngen	79,1	-1,59
1 t Carbokalk düngen	42,5	-30,0
1 t Rindermist düngen	313,8	-1,6
1 ZA + Greening + Umvert.prämie 50 €/ha	30,0	308,3
1 ZA + Greening + Umvert.prämie 30 €/ha	16,0	287,9
1 ZA + Greening	34,5	257,4
1 ha Öko-Prämie (FAKT)	80,5	230,0
1 ha Öko-Kontrollnachweis (FAKT)	10,0	60,0

t = 1000 kg; ha = 10.000 m²; ZA = Zahlungsanspruch; FAKT = Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl
Quelle: Eigene Berechnung auf der Basis der im Text genannten Quellen

Tabelle 51: Szenario 2, Sensitivitätsanalyse, erster Teil

Name	Endwert	Reduzierte	Ziel-	Zulässige	Zulässige
		Kosten	koeffizient	Erhöhung	Verringerung
1 ha Fruchtfolgeakt. AF	75	0	0	1E+30	1021,4
1 ha Klee gras (70:30)	18,75	0	-341,2	13,3	217,4
1 ha Weizen, 14% RP, Korn	0	-166,9	914,3	166,9	1E+30
1 ha Dinkel (m.Spelz), Korn+ Stroh	3,7	0	1002,7	8,5	174,0
1 ha Körnermais, 10% RP, Korn	8,0	0	441,9	19,2	13,3
1 ha Wintertriticale, 13% RP, Korn	33,8	0	996,7	174,0	8,5
1 ha Roggen, 11% RP, Korn	0	-678,8	374,9	678,8	1E+30
1 ha Hafer, 11% RP, Korn	0	-520,0	428,5	520,0	1E+30
1 ha Sonnenblumen, 20% RP, Korn	10,7	0	678,7	2,2E+15	19,2
1 ha Erbsen, 26& RP, Korn	0	-217,4	25,7	217,4	1E+30
1 ha Acker gras (Weidel)	0	-1480,6	-378,5	1480,6	1E+30
1 ha Zwischenfrucht, ohne Leguminosen	0	-90,5	-90,5	90,5	1E+30
1 ha Grünland, 65 dt TM, Futter-Mist-Koop.	5,5	0,0	-167,2	5,8	118,1
1 t Klee gras aufwuchs düngen	92,2	0,0	-2,1	2,1	8,5
60 t Kompost herstellen	1	0,0	9894,1	6,1E+15	11232,1
1 t Kompost düngen	60	0,0	-1,6	1,6E+14	22,3
1 t Pferd mist düngen	79,1	-5,4	-1,6	0,4	8,2
1 t Carbokalk düngen	42,5	0,0	-30	92,0	3,7
1 t Rindermist düngen	313,8	0,0	-1,6	0,7	2,6
1 ZA + Greening + Umverteilungsprämie 50 Euro/ha	30	0,0	308,3	1E+30	50,9
1 ZA + Greening + Umverteilungsprämie 30 Euro/ha	16	0,0	287,9	1E+30	30,5
1 ZA + Greening	34,5	0,0	257,4	5,8	118,1
1 ha Öko-Prämie (FAKT)	80,5	0,0	230	5,8	118,1
1 ha Öko-Kontrollnachweis (FAKT)	10	0,0	60	1E+30	60

t = 1000 kg; ha = 10.000 m²; ZA = Zahlungsanspruch; FAKT = Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl, 1E+30 = unendlich

Quelle: Eigene Berechnung auf der Basis der im Text genannten Quellen

Tabelle 52: Szenario 2, Sensitivitätsanalyse, zweiter Teil

Name	Endgültig	Schatten	Nebenbedingung	Zulässig	Zulässig
	Endwert	Preis	Rechte Seite	Erhöhen	Verringern
Stickstoff N -	3,7E-11	3,9	0	717,8	486,5
Phosphor P2O5 -	4,2E-11	1,2	0	624,1	2871,3
Kalium K2O -	1,8E-10	0,5	0	1414,8	346,2
Ackerfläche verfügbar -	75	1021,4	75	28,2	34,5
Ackerfläche genutzt -	1,2E-12	758,9	0	3,0	8,0
Grünlandflächen verfügbar -	5,5	0	33,6	1E+30	28,1
Klee min. 20% -	-3,8	0	0	1E+30	3,7
Klee max. 33% -	-6,2	0	0	1E+30	6,2
Weizen max. 33% -	-25,0	0	0	1E+30	25
Dinkel max. 33% -	-21,3	0	0	1E+30	21,3
Körnermais max. 50% -	-29,5	0	0	1E+30	29,5
Triticale max. 33% -	0	0	0	1E+30	0
Roggen max. 33% -	0	0	0	1E+30	0
Hafer max. 25% -	-18,8	0	0	1E+30	18,8
Sonnenblumen max. 14% -	2,0E-13	19,2	0	7,4	9,8
Erbsen max. 20% -	-15	0	0	1E+30	15
Leguminosen min. 25% -	-5,8E-13	13,3	0	1,0	5,2
Getreide max. 50% -	1,8E-12	526,3	0	8,0	9,0
Zwischenfrucht max. -	-75	0	0	1E+30	75
Kleegrasmenge (FM) -	-6,0E-12	25,1	0	153,1	47,2
Kompostmenge (FM) -	-3,7E-11	22,3	0	164,0	39,6
Grünschnittmenge (FM) -	150	74,9	150	410,0	98,9
Pferdemistmenge -	79,1	0	300	1E+30	220,9
Heumenge -	-9,9E-14	47,2	0	42,6	15,2
Strohmenge -	1,8E-14	24,7	0	28,1	31,7
Arbeitskapazität -	502,5	0	2640	1E+30	2137,5
ZA verfügbar -	80,5	0	108,6	1E+30	28,1
Umverteilungspr. 1.-30. ha -	30	50,9	30	34,5	30
Umverteilungspr. 31.-46. ha -	16	30,5	16	34,5	16
Aktivierungsfläche der ZA -	1,7E-12	257,4	0	28,1	34,5
FAKT Ökopremie -	1,7E-12	230	0	1E+30	80,5

FAKT Öko-Kontrollnachweis -	-70,5	0	0	1E+30	70,5
Öko-Kontrollnachweis max. -	10	60	10	70,47	10,0
Humus C min. Saldo (0 kg/ha)	-3561,8	0	0	1E+30	3561,8
Humus C max. Saldo (+300 kg/ha) -	3561,8	0	22500,0	1E+30	18938,2
Stickstoff max. aus Dünger (nach Bioland) -	3068,7	0	12163,2	1E+30	9094,5

t = 1000 kg; ha = 10.000 m²; ZA = Zahlungsanspruch; FAKT = Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl, 1E+30 = unendlich

Quelle: Eigene Berechnung auf der Basis der im Text genannten Quellen

A3.3 Szenario 3

Tabelle 53: Anpassung der Produktionsverfahren in Szenario 3 im Vergleich zu Szenario 1

Verfahren in Szenario 1		Alternatives Verfahren in Szenario 3	
Dinkel	Strohbergung für Futter-Mist-Kooperation	Dinkel	Stroh verbleibt auf dem Feld
Körnermais	Verkauf zum Zweck der Futtermittelherstellung	Soja	Speisesoja
Triticale	Verkauf zum Zweck der Futtermittelherstellung	Gerste	Braugerste
Hafer	Verkauf zum Zweck der Futtermittelherstellung	Hafer	Speisehafer
Sonnenblume	Presskuchen für Futtermittelherstellung	Sonnenblume	Presskuchen als Düngemittel
Erbsen	Futtermittelherstellung	Erbsen	Speiseerbsen
Weidelgras	Heu für Futter-Mist-Kooperation	Weidelgras	Aufwuchs als Transfer- oder Kompostdüngung
Grünland	Heu für Futter-Mist-Kooperation	Grünland	Aufwuchs als Transfer- oder Kompostdüngung
Düngung	Kleegras, Kompost, Pferdemit, Carbokalk	Düngung	Kleegras, Kompost, Weidelgras, Grünlandaufwuchs, Carbokalk, Kali-Magnesia

Quelle: Eigene Darstellung nach Angaben des Betriebsleiters (Heiß, 2019)

Tabelle 54: Optimales Produktionsprogramm Szenario 3

Verfahren	Lösungsumfang in jeweils angegebener Einheit	DB in € je angegebener Einheit
1 ha Klee gras (70:30)	15	-341,2
1 ha Weizen, 14% RP, Korn	12,5	1778,6
1 ha Dinkel (m.Spelz), Korn+Stroh	25	1983,6
1 ha Roggen, 11% RP, Korn	7,5	996,7
1 ha Soja, Korn	15	2254,6
1 ha Zwischenfrucht	37,5	-90,5
1 ha Grünland, 65 dt TM, Futter-Mist-Koop.	33,6	-36,0
1 t Klee gras aufwuchs düngen	176,9	-2,1
60 t Kompost herstellen	1	9894,1
1 t Kompost düngen	60	-1,6
1 t Carbokalk düngen	128,2	-30,0
1 t Grünland aufwuchs düngen	624	-2,1
1 kg Kali-Magnesia düngen	8103,8	-0,4
1 ZA + Greening + Umvert.prämie 50 €/ha	30	308,3
1 ZA + Greening + Umvert.prämie 30 €/ha	16	287,9
1 ZA + Greening	62,6	257,4
1 ha Öko-Prämie (FAKT)	108,6	230
1 ha Öko-Kontrollnachweis (FAKT)	10	60

t = 1000 kg; ha = 10.000 m²; ZA = Zahlungsanspruch; FAKT = Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl, 1E+30 = unendlich

Quelle: Eigene Berechnung auf der Basis der im Text genannten Quellen

Tabelle 55: Szenario 3, Sensitivitätsanalyse, erster Teil

Name	Endwert	Reduzierte Kosten	Zielkoeffizient	Zulässige Erhöhung	Zulässige Verringerung
1 ha Fruchtfolgeaktivität	75,0	0,0	0,0	1,0E+30	1567
1 ha Klee gras (70:30)	15,0	0,0	-341,2	1646	7835
1 ha Weizen, 14% RP, Korn	12,5	0,0	1778,6	173	417
1 ha Dinkel (m.Spelz), Korn+Stroh	25,0	0,0	1983,6	5,E+18	173
1 ha Roggen, 11% RP, Korn	7,5	0,0	996,7	813	118
1 ha Braugerste, 11% RP, Korn	0,0	-417,3	1700,2	417	1,00E+30
1 ha Hafer, 11% RP, Korn	0,0	-885,6	918,5	886	1,00E+30
1 ha Sonnenblumen, 20% RP, Korn	0,0	-540,1	1314,0	540	1,00E+30
1 ha Speiseerbsen, Korn	0,0	-117,8	941,8	118	1,00E+30
1 ha Ackergras (Weidel)	0,0	-1190,9	-169,0	1191	1,00E+30
1 ha Soja, Korn	15,0	0,0	2254,6	1,0E+30	1094
1 ha Zwischenfrucht	0,0	-90,5	-90,5	91	1,00E+30
1 ha Grünland, 65 dt TM, Futter-Mist-Koop.	33,6	0,0	-36,0	3,1E+15	154
1 t Klee gras aufwuchs düngen	176,9	0,0	-2,1	1	10
60 t Kompost herstellen	1,0	0,0	9894,1	1,0E+30	10224
1 t Kompost düngen	60,0	0,0	-1,6	1,0E+30	6
1 t Carbokalk düngen	128,2	0,0	-30,0	5	604
1 t Weidelgras düngen	0,0	0,0	-2,1	65	2
1 t Grünland aufwuchs düng.	624,0	0,0	-2,1	2,3E+14	6
1 t Sonnenblumenpresskuchen düngen	0,0	0,0	-1,6	354	5
1 kg Kali-Magnesia düngen	8103,8	0,0	-0,4	0	0
1 ZA + Greening + Umverteilungsprämie 50 Euro/ha	30,0	0,0	308,3	1,0E+30	51
1 ZA + Greening + Umverteilungsprämie 30 Euro/ha	16,0	0,0	287,9	1,0E+30	31
1 ZA + Greening	62,6	0,0	257,4	31	257
1 ha Öko-Prämie (FAKT)	108,6	0,0	230,0	7,7E+15	154
1 ha Öko-Kontrollnachweis	10,0	0,0	60,0	1,0E+30	60

t = 1000 kg; ha = 10.000 m²; ZA = Zahlungsanspruch; FAKT = Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl, 1E+30 = unendlich

Quelle: Eigene Berechnung auf der Basis der im Text genannten Quellen

Tabelle 56: Szenario 3, Sensitivitätsanalyse, zweiter Teil

Name	Endwert	Schattenpreis	Nebenbed. Rechte S.	Zulässige Erhöhung	Zulässige Verringerung
Stickstoff N -	0,0	-1,6	0,0	964	1079
Phosphor P2O5 -	0,0	2,5	0,0	1686	3857
Kalium K2O -	0,0	1,3	0,0	2431	486552
Ackerfläche verfügbar -	75,0	1567,0	75,0	268	0
Ackerfläche genutzt -	0,0	1213,2	0,0	17	0
Grünlandflächen verfügbar -	33,6	154,5	33,6	18	0
Klee min. 20% -	0,0	1645,8	0,0	5	7
Klee max. 33% -	-10,0	0,0	0,0	1,0E+30	10
Weizen max. 33% -	-12,5	0,0	0,0	1,0E+30	13
Dinkel max. 33% -	0,0	173,0	0,0	12	13
Roggen max. 33% -	-17,5	0,0	0,0	1,0E+30	17
Gerste max. 33% -	-25,0	0,0	0,0	1,0E+30	25
Hafer max. 25% -	-18,8	0,0	0,0	1,0E+30	19
Sonnenblumen max. 14% -	-10,7	0,0	0,0	1,0E+30	11
Erbsen max. 20% -	-15,0	0,0	0,0	1,0E+30	15
Soja max. 20% -	0,0	1094,1	0,0	8	11
Leguminosen min. 25% -	-11,3	0,0	0,0	1,0E+30	11
Getreide max. 50% -	0,0	812,9	0,0	8	12
Zwischenfrucht -	-75,0	0,0	0,0	1,0E+30	75
Kleegrasmenge (FM) -	-198,1	0,0	0,0	1,0E+30	198
Weidelgrasmenge (FM) -	0,0	2,5	0,0	219	0
Grasmenge (FM) -	0,0	6,3	0,0	162	181
Kompostmenge (FM) -	0,0	5,5	0,0	147	60
Sonnenblumenpresskuchen	0,0	5,3	0,0	31	0
Grünschnittmenge (FM) -	150,0	68,2	150,0	368	150
Arbeitskapazität -	670,6	0,0	2640,0	1,0E+30	1969
ZA verfügbar -	108,6	257,4	108,6	0	63
Umverteilungspr. 1.-30. ha -	30,0	50,9	30,0	63	30
Umverteilungspr. 31.-46. ha -	16,0	30,5	16,0	63	16
Aktivierungsfläche der ZA -	0,0	0,0	0,0	1,0E+30	0
FAKT Ökoprämie	0,0	230,0	0,0	1,0E+30	109
FAKT Öko-Kontrollnachweis	-98,6	0,0	0,0	1,0E+30	99
Öko-Kontrollnachweis max.	10,0	60,0	10,0	99	10
Humus C min. Saldo	-16087	0,0	0,0	1,0E+30	16087
Humus C max. Saldo	16082,4	0,0	22500,0	1,0E+30	6418

t = 1000 kg; ha = 10.000 m²; ZA = Zahlungsanspruch; FAKT = Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl, 1E+30 = unendlich

Quelle: Eigene Berechnung auf der Basis der im Text genannten Quellen

A3.4 Szenario 4

Tabelle 57: Optimales Produktionsprogramm in Szenario 4

Verfahren	Lösungsumfang in jeweils angegebener Einheit	DB in € je angegebener Einheit
1 ha Klee gras (70:30)	15	-341,2
1 ha Dinkel (m.Spelz), Korn+ Stroh	25	1002,7
1 ha Körnermais, 10% RP, Korn	8	441,9
1 ha Roggen, 11% RP, Korn	12,5	996,7
1 ha Sonnenblumen, 20% RP, Korn	10,7	678,75
1 ha Erbsen, 26% RP, Korn	3,75	25,69
1 ha Grünland, 65 dt TM, Futter-Mist-Koop.	33,6	-167,2
60 t Kompost herstellen	1	9894,1
1 ZA + Greening + Umvert.prämie 50 €/ha	30	308,3
1 ZA + Greening + Umvert.prämie 30 €/ha	16	287,94
1 ZA + Greening	62,6	257,42
1 ha Öko-Prämie (FAKT)	108,6	230,0
1 ha Öko-Kontrollnachweis (FAKT)	10	60,0

t = 1000 kg; ha = 10.000 m²; ZA = Zahlungsanspruch; FAKT = Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl

Quelle: eigene Berechnung auf Basis der im Text genannten Quellen

Tabelle 58: Szenario 4, Sensitivitätsanalyse, erster Teil

Name	Endwert	Reduzierte Kosten	Zielkoeffizient	Zulässige Erhöhung	Zulässige Verringerung
1 ha Fruchtfolgeakt. AF	75	0	0	1E+30	807,7
1 ha Klee gras (70:30)	15	0	-341,2	366,9	4038,6
1 ha Weizen, 14% RP, Korn	0	-82,5	914,3	82,5	1E+30
1 ha Dinkel (m.Spelz), Korn+ Stroh	25	0	1002,7	1E+30	6,0
1 ha Körnermais, 10% RP, Korn	8,0	0	441,9	236,9	416,2
1 ha Wintertriticale, 13% RP, Korn	0	-621,8	374,9	621,8	1E+30
1 ha Roggen, 11% RP, Korn	12,5	0	996,7	6,0	82,5
1 ha Hafer, 11% RP, Korn	0	-568,3	428,5	568,3	1E+30
1 ha Sonnenblumen, 20% RP, Korn	10,7	0	678,7	1E+30	236,9
1 ha Erbsen, 26% RP, Korn	3,75	0	25,7	416,2	366,9
1 ha Acker gras (Weidel)	0	-820,4	-378,5	820,4	1E+30
1 ha Zwischenfrucht	0	-90,5	-90,5	90,5	1E+30
1 ha Grünland, 65 dt TM, Futter-Mist-Koop.	33,6	0	-167,2	1E+30	62,82
1 t Klee gras aufwuchs düngen	0	-2,1	-2,1	2,1	1E+30
60 t Kompost herstellen	1	0	9894,1	1E+30	9894,1
1 t Kompost düngen	0	-1,6	-1,6	1,6	1E+30
1 t Pferd mist düngen	0	-1,6	-1,6	1,6	1E+30
1 t Carbokalk düngen	0	-30	-30	30	1E+30
1 ZA + Greening + Umverteilungsprämie 50 €/ha	30	0	308,3	1E+30	50,87
1 ZA + Greening + Umverteilungsprämie 30 €/ha	16	0	287,9	1E+30	30,52
1 ZA + Greening	62,6	0	257,4	30,52	257,42
1 ha Öko-Prämie (FAKT)	108,6	0	230	1E+30	62,82
1 ha Öko-Kontrollnachweis (FAKT)	10	0	60	1E+30	60

t = 1000 kg; ha = 10.000 m²; ZA = Zahlungsanspruch; FAKT = Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl, 1E+30 = unendlich

Quelle: Eigene Berechnung auf der Basis der im Text genannten Quellen

Tabelle 59: Szenario 4, Sensitivitätsanalyse, zweiter Teil

Name	End wert	Reduzierte Kosten	Ziel- koeffizient	Zulässige Erhöhung	Zulässige Verringerung
Ackerfläche verfügbar -	75	807,7	75	387,4	2,1E-14
Ackerfläche genutzt -	5,3E-15	671,9	0	29,5	2,1E-14
Grünlandflächen verfügbar -	33,6	62,8	33,6	342,0	2,1E-14
Klee min. 20% -	1,8E-15	366,9	0	11,3	3,8
Klee max. 33% -	-10	0	0	1E+30	10
Weizen max. 33% -	-25	0	0	1E+30	25
Dinkel max. 33% -	0	6,0	0	12,5	12,5
Körnermais max. 50% -	-29,5	0	0	1E+30	29,5
Triticale max. 33% -	-25	0	0	1E+30	25
Roggen max. 33% -	-12,5	0	0	1E+30	12,5
Hafer max. 25% -	-18,75	0	0	1E+30	18,8
Sonnenblumen max. 14% -	1,8E-15	236,9	0	8,0	10,7
Erbsen max. 20% -	-11,25	0	0	1E+30	11,3
Leguminosen min. 25% -	1,8E-15	416,2	0	3,75	8,0
Getreide max. 33% -	1,8E-15	554,9	0	8,0	12,5
Zwischenfrucht max. -	-75	0	0	1E+30	75
Kleegrasmenge (FM) -	-375	0	0	1E+30	375
Kompostmenge (FM) -	-60	0	0	1E+30	60
Grünschnittmenge (FM) 150		66,0	150	4354,9	150
Pferdemistmenge (FM) -	0	0	300	1E+30	300
Heumenge (FM) -	-218,4	0	0	1E+30	218,4
Strohmenge (FM) -	-117	0	0	1E+30	117
Arbeitskapazität -	649,5	0	2640	1E+30	1990,5
ZA verfügbar -	108,6	257,4	108,6	2,1E-14	62,6
Umverteilungspr. 1.-30. ha -	30	50,9	30	62,6	30
Umverteilungspr. 31.-46. ha -	16	30,5	16	62,6	16
Aktivierungsfläche der ZA -	0	0	0	1E+30	2,1E-14
FAKT Ökoprämie -	2,8E-14	230	0	1E+30	108,6
FAKT Öko-Kontrollnachweis -	-98,6	0	0	1E+30	98,6
Öko-Kontrollnachweis max. -	10	60	10	98,6	10

t = 1000 kg; ha = 10.000 m²; ZA = Zahlungsanspruch; FAKT = Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl, 1E+30 = unendlich

Quelle: Eigene Berechnung auf der Basis der im Text genannten Quellen