

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre

Fachgebiet Produktionstheorie und Ressourcenökonomik
im Agrarbereich

Rentabilitätsanalyse zweier innovativer Maßnahmen zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit im viehlosen ökologischen Landbau

Masterarbeit

im Studiengang

Agrarwissenschaften - Pflanzenproduktionssysteme

vorgelegt von

Sabrina Francksen

Matr.-Nr.: 525378

Stuttgart-Hohenheim, den 28.10.2019

Erstprüfer/in: Prof. Dr. Christian Lippert

Zweitprüfer/in: Dr. Sabine Zikeli

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis	II
Abkürzungsverzeichnis	III
1 Einleitung	1
2 Stand der Forschung	3
2.1 Bedeutung und Herausforderungen der viehlosen Landwirtschaft	3
2.2 Komposteinsatz	7
2.3 Kleegrastransfer.....	12
3 Material und Methoden	17
3.1 Datenerhebung.....	17
3.1.1 Auswahl des Betriebs im Rahmen des Projekts BRAVÖ	17
3.1.2 Standort und Produktionsverfahren	18
3.1.3 Nährstoff- und Humusbilanzierung	21
3.2 Verwendete betriebswirtschaftliche Bewertungsmethoden	22
3.2.1 KTBL Web-Anwendungen und Teilkostenrechnung.....	22
3.2.2 Lineare Programmierung.....	23
4 Ergebnisse	26
4.1 Szenario 1 – Basisszenario	26
4.2 Szenario 2 – Vergleich mit der Maßnahme „Rindermist düngen“	36
4.3 Szenario 3 – Optimierung durch biozyklisch-vegane Zertifizierung	43
5 Diskussion.....	52
5.1 Aussagekraft des Modells.....	52
5.2 Bewertung und Optimierung der Rentabilität der innovativen Maßnahmen	56
6 Zusammenfassung und Ausblick	64
Literaturverzeichnis	67
Anhang.....	73
Eidesstattliche Erklärung*.....	80

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Logo Biozyklisch-Veganer Anbau	55
Abbildung 2: Logo.....	55
Abbildung 3: Umfang der innovativen Maßnahmen und Deckungsbeiträge der Szenarien 1-3.....	57
Abbildung 4: Monetäre Bewertung der Nährstoffe in den Szenarien 1-3 und nach Landhandelspreisen.....	60

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Rechtliche Rahmenbedingung für die Stickstoffdüngung aus Grüngutkompost.....	9
Tabelle 2: Arbeitsvorgänge der Maßnahme „Klee-grastransfer“ und genutzte Maschinen	14
Tabelle 3: Ansprüche und Lieferungen der innovativen Maßnahmen „Klee-grastransfer“ und „Komposteinsatz“	27
Tabelle 4: Optimales Produktionsprogramm in Szenario 1	30
Tabelle 5: Szenario 1, Sensitivitätsanalyse, erster Teil	31
Tabelle 6: Ansprüche und Lieferungen des Verfahrens „1 ha Ackergrasanbau“	32
Tabelle 7: Szenario 1, Sensitivitätsanalyse, zweiter Teil.....	33
Tabelle 8: Optimales Produktionsprogramm in Szenario 2.....	37
Tabelle 9: Szenario 2, Sensitivitätsanalyse, erster Teil	39
Tabelle 10: Szenario 2, Sensitivitätsanalyse, zweiter Teil.....	40
Tabelle 11: Anpassung der Produktionsverfahren in Szenario 3 im Vergleich zu Szenario 1.....	43
Tabelle 12: Optimales Produktionsprogramm Szenario 3	46
Tabelle 13: Szenario 3, Sensitivitätsanalyse, erster Teil	48
Tabelle 14: Szenario 3, Sensitivitätsanalyse, zweiter Teil.....	49
Tabelle 15: Fruchtfolge Szenario 2 und 3.....	61

Abkürzungsverzeichnis

BGK – Bundesgütegemeinschaft Kompost

BioAbfV - Bioabfallverordnung

BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

BNS – Biocyclic-Vegan Network

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

EIP – European Innovation Partnership

DirektZahlDurchfG - Direktzahlungsdurchführungsgesetz

DüV – Düngeverordnung

DüngG – Düngegesetz

K₂O – Kaliumoxid

N – Stickstoff

P₂O₅ – Phosphorpentoxid

StoffBilV – Stoffstrombilanzverordnung

VwV FAKT - Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz zum Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl

1 Einleitung

Die Spezialisierung in der Landwirtschaft, führt auch in Ökobetrieben vermehrt zu einer Abkopplung von Nutztierhaltung und Pflanzenproduktion. Die bisher vorherrschende Praxis der Kreislaufwirtschaft beinhaltet, Futterpflanzen für Nutztiere anzubauen und deren Exkremate als Grundlage der Bodenfruchtbarkeit zu nutzen. In viehlosen und vieharmen Ökobetrieben kann der Leguminosenaufwuchs nicht direkt als Tierfutter verwertet werden und tierische Exkremate stehen nicht als mobiler Dünger zu Verfügung. Als Folge wird häufig der Leguminosenanbau insgesamt verringert sowie eine Mulchbewirtschaftung der verbleibenden Leguminosen durchgeführt. Mögliche negative Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit sind ein Rückgang der Stickstoffzufuhr, Humusakkumulation und Unkrautunterdrückung. Lösungen für diese Herausforderungen kommen oft aus der landwirtschaftlichen Praxis selbst und müssen u.a. dort auf ihre Auswirkungen wissenschaftlich untersucht werden. Zu den innovativen Methoden zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit gehören die Maßnahmen „Komposteinsatz“ sowie „Klee-grastransfer“. Die Kompostierung hat eine jahrtausendealte Tradition und ist auch im Ökolandbau als Maßnahme zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit bekannt. Als Teil einer vieharmen Bewirtschaftungsweise die Methode der Kompostierung nach Definition der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD, 2005) die Kriterien einer Innovation. Das Verfahren „Klee-grastransfer“ wird erst in den letzten Jahren verstärkt untersucht und findet auch unter Bezeichnungen wie Cut & Carry und Klee-grasdüngung vereinzelt bereits Einzug in die Praxis. Der Übertrag des Klee-grasaufwuchses von einem Geber- auf ein Nehmerfeld stellt eine potenziell wirtschaftlich rentablere Alternative zum Verkauf als Futter dar. Durch die noch geringe Anwendung in der Praxis ist auch diese Maßnahme eine Innovation im Sinne einer Erneuerung und Verbesserung des Produktionsverfahrens Klee-grasanbau speziell in viehlosen und vieharmen Ökobetrieben dar (OECD, 2005). Hohe Kosten und eine unsichere Leistung in Form von tatsächlicher Steigerung der Bodenfruchtbarkeit erschweren möglicherweise noch eine Ausweitung der Praxis. Eine genaue Beschreibung der einzelnen Verfahrensschritte ist noch nicht verfügbar. Vorhanden Informationen zu den einzelnen Arbeitsvorgängen und damit der Kosten sind meist nur schwierig auf andere Standorte übertragbar. Des Weiteren können mögliche positive Wirkungen auf die Förderung der Bodenfruchtbarkeit aufgrund der lückenhaften Datenlage noch nicht in Relation zu den Kosten gesetzt werden.

Ziel dieser Arbeit ist die Beantwortung der Frage, ob die durchgeführten innovativen Maßnahmen ökonomisch rentabel sind. Ein weiteres Ziel ist die Bewertung der

innovativen Maßnahmen in Bezug auf die alternative Standardmaßnahme der Rindermistdüngung sowie auf eine mögliche Optimierung durch eine biozyklisch-vegane Zertifizierung.

Als Modellbetrieb dient ein vieharter Ökobetrieb, der beide innovativen Maßnahmen durchführt und im Rahmen des EIP-Projekts „BRAVÖ“ bereits wissenschaftlich von der Universität Hohenheim begleitet wird. Für die Beschreibung der beiden innovativen Maßnahmen „Kleeagrastransfer“ und Kompostierung wurden Befragungen des Betriebsleiters durchgeführt. Hierfür konnten bereits durch das Projekt vorhandene Strukturen genutzt werden. Zusammen mit betriebswirtschaftlichen und pflanzenbaulichen Standarddaten aktueller Literatur wurden Leistungs- und Kostenrechnungen für alle Produktionsverfahren des Betriebs erstellt. Mit einem betriebswirtschaftlichen Planungsinstrument, der linearen Programmierung, wurden die Verfahren im Anschluss im gesamtbetrieblichen Kontext eingebettet und verschiedene Szenarien erstellt. Eine anschließende kritische Auswertung der Ergebnisse diskutiert die Maßnahmen selbst. Hier werden die durch die gewählte Methodik entstandenen Einschränkungen berücksichtigt sowie die allgemeine Übertragbarkeit der Ergebnisse untersucht. Die Ergebnisse können Landwirten und Beratern zu Planungszwecken und Wissenschaftlern als Ausgangspunkt für weitere Forschung dienen. Damit können die Erkenntnisse dieser Arbeit einen Beitrag zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit in viehlosen und vieharmen Ökobetrieben leisten.

2 Stand der Forschung

Die Situation der viehlosen Landwirtschaft und die Lösungsansätze an die damit verbundenen Herausforderungen haben sich in den letzten Jahrzehnten stark gewandelt. Das Verständnis dieser Entwicklung und den Folgen auf die Bodenfruchtbarkeit ist die Grundlage für die Bewertung der Lösungsansätze. In einem Überblick über die untersuchten Maßnahmen „Kleeagrastransfer“ und Kompostierung sollen Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit verdeutlicht werden.

2.1 Bedeutung und Herausforderungen der viehlosen Landwirtschaft

Als viehlos und vieharm gelten landwirtschaftliche Betriebe nach Schmidt (2004) mit einem Viehbesatz unter 0,2 GV/ha und ohne bedeutsame Kooperationen mit viehhaltenden Betrieben. Um aktuelle Herausforderungen und Lösungsansätze der viehlosen und vieharmen Landwirtschaft besser einordnen zu können, ist ein Überblick über die Geschichte der viehlosen Landwirtschaft zielführend. Zudem kann ein Blick auf die Durchführung der hier untersuchten Methoden in der Vergangenheit Informationen über mögliche Optimierungsmöglichkeiten geben.

Als Ausgangspunkt der heutigen ökologischen Landwirtschaft gelten weithin zwei Landbausysteme, die als Antwort auf die fortschreitende landwirtschaftliche Intensivierung und ihrer negativen Auswirkungen auf Mensch, Tier und Land in den 1920er Jahren aufkamen.

Die biologisch-dynamische Landwirtschaft die auf dem von Anthroposoph Rudolf Steiner gehaltenen landwirtschaftlichen Kurs (1924) gründet ist noch heute präsent und in Form des Anbauverbands „demeter“ werden jährlich wachsende Marktanteile erzielt (Demeter e.V., 2018a). Hier ist vor allem die Einbeziehung von Wiederkäuern in den Betriebsorganismus ein wichtiger Grundsatz, sodass systembedingt eine geringe Anzahl viehloser Betrieb zu erwarten ist. Neben dieser Strömung sind das etwa zeitgleiche Aufkommen der Lebensreformbewegung und deren Grundsätze des „Natürlichen Landbaus“ besonders im Hinblick auf eine viehlose Bewirtschaftung im Ökolandbau relevant. Im Einklang mit den Maximen der vegetarischen Ernährung und naturnahen Lebensweise wurde von den Befürwortern eine vieharme oder viehlose Landwirtschaft praktiziert. Maßnahmen um den fehlenden Stallmist auszugleichen wurden auf der Grundlage der Erkenntnisse der „Landwirtschaftlichen Bakteriologie“ (Löhnis, 1925) praktisch erprobt. Als fruchtbarkeitsfördernd gilt eine konservative Bodenbearbeitung, ständige Bodenbedeckung, die Düngung organischer Abfälle sowie Gründüngung und Komposteinsatz. Damit werden hier bereits Varianten der in dieser Arbeit untersuchten innovativen Maßnahmen durchgeführt. Auch bekannte Öko-Pioniere gehören zu den

Vertretern dieser Bewirtschaftungsweise. Mina Hofstetter, betrieb ab 1915 auf ihrem Hof eine viehlose ökologische Landwirtschaft (Winistörfer, 2003). Adolf Hoops forschte auf seinem Hof in der Lüneburger Heide ab den 50er Jahren ebenfalls mit rein pflanzlichen Düngern und propagierte diese (BNS, 2019b). Beide führten die hier untersuchten Maßnahmen in ähnlicher Weise bereits im Rahmen ihrer viehlosen Ökobetriebe durch. Eine Verbreitung dieses Bewirtschaftungssystem im Sinne der frühen Pioniere fand nicht statt, sodass heute keine institutionalisierte Form einer viehlosen und vieharmen Landwirtschaft besteht. Die aus der Lebensreformbewegung entstandene Reformhaus eG fühlt sich den „Idealen der Lebensreformer bis heute aktiv verbunden“ (Plum, 2019), verbietet jedoch grundsätzlich nur den Verkauf von Produkten die Stoffe von toten Tieren enthalten (Reformhaus eG, 2019). Der große Anteil von Demeter-Produkten an der Produktpalette zeigt zudem die Verflechtung beider Landbausysteme trotz Abweichungen der Grundprinzipien bezüglich der Nutzung von Tieren. Nur die Produkte selbst sind somit ovo-lakto-vegetarisch oder vegan. Die Richtlinien stellen keine Ansprüche an eine Entkopplung der Nutztierhaltung bei der Lebensmittelproduktion selbst. Somit kann nicht zwangsläufig auf einen hohen Anteil viehloser Betriebe in der Primärproduktion geschlossen werden.

Unter der Beeinflussung dieser beider Strömungen und der Schweizer Heimatbewegung entstand mit dem organisch-biologischen Landbau um Müller-Rusch in den 50er Jahren ein weiteres Landbausystem, welches die Nutztierhaltung als Teil eines geschlossenen Kreislaufs als notwendige Voraussetzung für Bodenfruchtbarkeit im landwirtschaftlichen Betrieb erachtet. Eine ausreichende Zufuhr organischer Substanz ist nach Mitbegründer Rusch in viehlosen Betrieben nur begrenzt umsetzbar und auf den Zukauf von organischem Dünger angewiesen (1968). Der Anteil innerhalb der größten deutschen Anbauverbände schwankt und wird vom Idealbild und den jeweiligen Richtlinien beeinflusst. Bioland verpflichtet in seinen Richtlinien seine 7.744 Mitglieder (Bioland e.V., 2019a) nicht direkt zur Haltung von Tieren, wohl aber dazu die Stickstoffversorgung soweit wie möglich über den Anbau von Leguminosen zu sichern (Bioland e.V., 2019b). Naturland gibt seinen 3.700 Mitgliedern einen Leguminosenanteil von mindestens 1/5 der Fruchtfolge vor (Naturland e.V., 2019). Für die 1.600 Mitglieder des Demeter-Verbandes ist die Tierhaltung als Bestandteil des Betriebs fest verankert und Ausnahmen werden nur für Sonderkulturen, Gartenbau- und Forschungsbetriebe zugelassen (Demeter e.V., 2018a). Als Gründe für die viehlosen Betriebsführung stellte Schmidt (2004) im Rahmen einer Beraterumfrage den hohen Arbeitsaufwand, fehlendes Interesse an der Tierhaltung sowie eine bereits vor Umstellung zum Ökolandbau viehlose Bewirtschaftung fest.

Neben diesen meist wirtschaftlichen Gründen für die viehlose Bewirtschaftung können auch ethische Gründe von Bedeutung sein. Im Zuge der voranschreitenden Verbreitung

des Veganismus wurde in verschiedenen europäischen Ländern das System der bio-veganen Landwirtschaft entwickelt und hatte in Deutschland die Gründung des Anbauverbands „biozyklisch-vegane Landwirtschaft“ im Jahr 2017 zur Folge (BNS, 2019a). Dadurch ist es Landwirten erstmalig möglich sich zertifizieren zu lassen und dadurch eventuelle Vorteile wie eine Mehrzahlungsbereitschaft der Kunden abzuschöpfen. Die Mitgliederzahl ist noch sehr gering, jedoch weisen Schmutz und Foresi auf ein wachsendes Interesse der Landwirte an bio-veganer Bewirtschaftung in Europa hin (2017). Durch das Verbot der Nutztierhaltung sowie der Nutzung tierischer Düngemittel, das aus der Verbandszugehörigkeit resultiert, kann direkt auf eine Viehlosigkeit des Betriebs geschlossen werden. Potenziale ergeben sich aus einer möglichen Mehrzahlungsbereitschaft. Zudem wird in den biozyklisch-veganen Richtlinien ein Schwerpunkt auf die Anwendung alternativer Maßnahmen zur Sicherung der Bodenfruchtbarkeit gelegt, die auch die in dieser Arbeit untersuchten Maßnahmen, Kompostierung und Kleetransfer, einschließen. Erkenntnisse der bereits zertifizierten Betriebe können folglich bei einer anschließenden Bewertung der hier untersuchten Maßnahmen miteinfließen.

Viehlose Betriebe haben gewöhnlich keine direkte Verwendung für den Aufwuchs der im Bio-Landbau wichtigen Futterleguminosen und können als mobiles Düngemittel nicht auf tierischen Wirtschaftsdünger zurückgreifen. Zu kurzfristig geplante Anpassungen auf diese veränderte Situation können zu einer Verringerung der Bodenfruchtbarkeit führen. Eine Betrachtung der Ergebnisse mehrjähriger Feldversuche gibt Aufschluss über diese Auswirkungen. Eine anschließende genauere Aufschlüsselung der einzelnen Faktoren ist für eine Untersuchung möglicher Lösungsansätze wesentlich.

Studien mit mehrjährigen Feldversuchen weisen auf eine abnehmende Bodenfruchtbarkeit in der viehlos bewirtschafteten Variante hin. So stellt Schulz (2012) im Rahmen des 2-faktorieller Feldversuchs auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof den Rückgang mehrerer für die Bodenfruchtbarkeit bedeutsamer Parameter fest. Für die Variante viehlose Bewirtschaftung ohne Rotationsbrache, also ohne Anbau von Klee gras wurde ein Rückgang der ursprünglichen Humusmasse von 8%, einen um 26% geringeren Biomassertrag sowie eine um 22% geringere N-Ausnutzung gegenüber der Variante mit Viehhaltung festgestellt (Schulz, 2012). Die N-Ausnutzung des wichtigen und im Biolandbau regelmäßig knappen Pflanzennährstoffs Stickstoff (Ruhe, Loges, & Taube, 2003) ist auch im Hinblick auf seine umweltschädigende Wirkung von Bedeutung. Neben der Herausforderung der ausreichenden und entwicklungsgerechten Stickstoffzufuhr wurde von Schmidt (2004) mittels Beraterumfrage und anschließender Evaluierung durch Experten außerdem der Unkrautdruck durch Wurzelunkräuter als bedeutendes Problem festgestellt.

Die Ursache für diese Schwierigkeiten ist in einem veränderten Leguminosenanbau und einem Mangel an mobilen Düngemitteln zu finden. Der fehlende direkte Nutzen des Aufwuchses führt zu einem Rückgang von beispielsweise zweijährigem zu einjährigem Klee- oder Luzernegras. Für den Mindestanteil an der Fruchtfolge liegen verschiedene Empfehlungen vor. Laut Kolbe (2008a) sollte der Leguminosenanbau als Hauptfrucht zwischen 25% und 35% der Fruchtfolge betragen, wobei Körnerleguminosen bezüglich der Vorfruchtwirkung den feinkörnigen Leguminosen nachstehen (Castell et al., 2016). Positive Auswirkungen von Feinleguminosen wie Klee gras auf Bodenstruktur, Humusakkumulation, Unkrautdruck und Nährstoffbilanz gelten auch in der viehlosen Landwirtschaft als schwierig zu ersetzen (Schulz, Brock, & Leithold, 2013). Der Anbau wird deshalb nicht gänzlich eingestellt, sondern meist auf eine ein- oder überjährige Vegetationsperiode begrenzt. Als weitere Anpassung wird der Aufwuchs meist gemulcht (Schmidt, 2004). Die Bodenfruchtbarkeit wird folglich von mehreren Faktoren beeinflusst, die zum Teil miteinander in Beziehung stehen. Die relevantesten Anpassungen einer viehlosen und vieharmen Bewirtschaftung soll im Folgenden aufgeschlüsselt werden.

Der erste Faktor, Reduzierung der Anbaudauer, führt naturgemäß zu einer geringeren Ausbildung von Wurzelbiomasse sowie einer kürzeren Bodenruhe. Beides kann die Förderung einer günstigen Bodenstruktur sowie die unkrautunterdrückende Wirkung im Vergleich zu zwei- oder mehrjährigem Klee grasanbau vermindern (Freyer, 2003, S. 77). Vor allem die erfolgreiche Abnahme von Wurzelunkräutern wie krausem Ampfer oder Ackerkratzdistel (Böhm et al., 2003) ist für den ökologischen Landbau relevant. Nach Stein-Bachinger et al. kann bei Klee gras mit einer Wurzelbiomasse in Höhe von 80% des Ertrags gerechnet werden (2004). Dies führt zu einer deutlichen Auflockerung des Bodens, einer höheren Humuszufuhr aus der Wurzelmasse und damit zu einer Erhöhung des Humusanteils im Boden. Diese wichtigen Komponenten der Bodenfruchtbarkeit befürworten eine Ausweitung des Klee grasanbaus auf zweijährige Standzeit im Laufe einer Fruchtfolge.

Eine geringere Humusreproduktionsleistung durch die im viehlosen Ökolandbau übliche Reduzierung des Leguminosenanbaus wird auch in unterschiedlichen Methoden der Humusbilanzierung berücksichtigt. Nach der VDLUFA Methode wird für Klee gras eine Humusreproduktionsleistung je nach Ertrag und Aussaatzeitpunkt im Ansaatjahr bis zu 500 kg Corg und im Hauptnutzungsjahr bis zu 800 kg Corg jährlich ausgewiesen (Ebertseder et al., 2014). Abhängig von der spezifischen Zusammensetzung der Bodenmikroorganismen geht eine Besiedelung der Leguminosenwurzeln durch Knöllchenbakterien anfangs eher langsam von statten (Höflich, Liste, & Köhn, 1996) sodass eine verhältnismäßig stärkere Stickstofffixierungsleistung älterer

Leguminosenbestände die geringere Stickstoffzufuhr durch symbiotische Stickstofffixierung bei geringerer Standzeit zusätzlich verschärfen kann.

Neben den Nachteilen der kürzeren Anbaudauer bringt auch der Verbleib des Aufwuchses als Mulch anstelle der Abfuhr eine Reihe von Herausforderungen mit sich. Durch Mineralisierung des Stickstoffs aus dem gemulchten Aufwuchs ist mit einer Erhöhung des N_{min}-Gehalt des Bodens während der Standzeit der Leguminosen zu rechnen (Schmidt, 1997). Die Nutzung von Stickstoff aus dem Bodenvorrat wird von den Knöllchenbakterien der energieaufwendigen Stickstofffixierung aus der Luft vorgezogen und führt zu einer insgesamt verminderten Stickstofffixierung der Leguminosen bei Mulchbewirtschaftung (Heuwinkel & Loges, 2004).

Der schnellen Umsetzung des Aufwuchses nach dem Mulchen steht dennoch ein bedeutend geringerer Stickstoffbedarf des Klee grasbestands gegenüber. Schmidt (1997) führt den in Feldversuchen gemessene N_{min}-Anstieg auf eine insgesamt positive Nettomineralisation zurück. Auch Heuwinkel et al. (2004) stellten bei einem Feldversuch nach Umbruch eines gemulchten Bestands höhere N-Zufuhren als nach Umbruch von Klee gras mit Schnittnutzung fest. Folgende höhere N_{min}-Werte wie sie während und nach gemulchtem Klee gras festgestellt wurden, können zu einem höheren Risiko von gasförmigen und flüssigen Stickstoffverlusten sowohl während als auch nach der Standzeit führen (Heuwinkel & Loges, 2004; Stinner, 2011). Besonders zu Zeitpunkten an denen die Witterung eine schnelle Mineralisierung fördert und gleichzeitig der Nährstoffbedarf der Folgefrucht gering ist (Spiegel et al., 2014). Andere Studien finden keine signifikante Erhöhung der Lachgasemissionen (Brozyna, Petersen, Chirinda, & Olesen, 2013). Die Nutzung des erhöhten Bodenstickstoffs durch die folgende Kultur ist für die zentrale Bedeutung der Leguminosen im ökologischen Landbau mitverantwortlich. Die Stickstoffwirkung ist jedoch auf das jeweilige Feld begrenzt und der Nährstoff kann bei einer Mulchbewirtschaftung nicht als mobiler Dünger auf andere Kulturen ausgebracht werden. Die Bedeckung des Bestands durch die Mulchschicht kann zudem zu einem Wachstumsnachteil des Kleeanteils führen, da der Mulchteppich für die breitblättrigen Leguminosen eine physikalische Behinderung darstellt (Heuwinkel & Loges, 2004). Als möglichen Vorteil der Mulchnutzung nennt Schulz (2012) eine Reduzierung der Verdunstung durch die Mulchschicht, die bei niederschlagsarmer Witterung den Trockenstress des Bestands verringert und zu höherem Ertrag gegenüber dem schnittnutzten Bestand führen kann.

2.2 Komposteinsatz

Voraussetzungen und Ziele des Komposteinsatzes unterscheiden sich von Betrieb zu Betrieb und so existieren vielerlei unterschiedliche Methoden. Bestenfalls wird vom

Betriebsleiter die Methode gewählt, die für den jeweiligen Standort und für die eigenen Präferenzen optimal geeignet ist. Technische Ausstattung, verfügbare Arbeitszeit, Einsatzmöglichkeiten und vor allem die Verfügbarkeit der Ausgangssubstrate sind entscheidend. Das Verständnis dieser Komponenten sowie den möglichen Arbeitsvorgänge und daraus resultierenden Auswirkungen ist die Grundlage einer wirtschaftlich effektiven „Komposteinsatz“. Um das Verfahren optimieren zu können müssen die unterschiedlichen Arten der Ausgestaltung bekannt sein. Eine Übersicht über die möglichen alternativen Maßnahmen zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit gibt zudem Aufschluss über weitere Optimierungsmöglichkeiten des Betriebs.

Mit der Humustheorie von Aristoteles ca. 350 v. Chr. (Schubert, 2017, S.13) erhält die gängige Praxis der Kompostierung einen theoretische Grundlage. Der Aufbau von Humus durch Zufuhr organischer Masse gilt für die nächsten Zweitausend Jahre als einzige Möglichkeit die Erträge zu steigern und bedingt einen hohen Stellenwert der Methode der Kompostierung. Mit dem Aufkommen der Mineralstofftheorie durch Carl Sprengel und Justus von Liebig (Liebig, 1840; Sprengel, 1839) und dem Durchbruch des Haber-Bosch-Verfahrens verdrängen synthetische Stickstoff-Dünger zunehmend organische Düngemittel wie den Kompost. Im Zuge der weiteren Mechanisierung verlieren Humusaufbau und anderen bodenfruchtbarkeitsfördernde Maßnahmen innerhalb der sich wandelnden Landwirtschaft allgemein an Bedeutung (Rynk et al., 1992). Durch parallel entstehende Strömungen, welche diesen Entwicklungen kritisch gegenüberstehen und alternative Bewirtschaftungssysteme erschaffen, erfährt die Kompostierung erneut einen Aufschwung als unersetzliche bodenfruchtbarkeitsfördernde Maßnahme (Steiner, 1924) und Grundlage einer nachhaltigen Pflanzenproduktion (Könemann, 1939).

Heute ist in Deutschland die Landwirtschaft mit einem Verbrauch von 58,4% im Jahr 2018 der größte Abnehmer der RAL-gütesichertem Kompost (BGK e.V., 2019b). Kompost wird dabei definiert als ein organisches Düngemittel, das durch die aerobe, anaerobe oder teilweise aerobe Zersetzung von pflanzlichen, tierischen, menschlichen oder industriellen Abfällen entsteht (FAO, 2006). Zulassung, Vertrieb und Anwendung von Kompost wird in Deutschland hauptsächlich durch Bioabfallverordnung (BioAbfV), Düngegesetz (DüngG), Düngemittelverordnung (DüngMV) und Düngeverordnung (DüngV) geregelt. Vor dem Hintergrund aktuell auftretender neuartiger Kompostierungsmethoden sind Kenntnisse über die rechtlichen Rahmenbedingungen notwendig um Grenzen möglicher kostensparender Anpassungen der Kompostherstellung bewerten zu können.

Im hier untersuchten Betrieb wird aus pflanzlichen Abfällen Kompost hergestellt. Diese Ausgangssubstrate sind im ausschlaggebenden Verzeichnis gelistet (BGK e.V., 2018). Die betreffenden Stoffe sind von der Pflicht zur Hygienisierung nach §3 BioAbfV

ausgenommen. Die Anforderungen der RAL-Gütesicherung schließen jedoch die aerobe Hygienisierung mit ein. Hierzu gehört eine Prozessprüfung gemäß §3 BioAbfV Absatz 4 Satz 1 Nummer 1 bei Inbetriebnahme der Anlage. Mittels eingebrachter Testorganismen wird festgestellt ob durch den Prozess der Kompostierung seuchen- und phytosanitär relevante Risiken ausgeschlossen werden können. Die Vorgaben zur Prozessführung sind nach Anhang 2 Nummer 2.2.2 BioAbfV

- thermophile Bedingungen über mehrere Wochen
- hohe Aktivität der Mikroorganismen
- günstigen Feuchte- und Nährstoffverhältnissen
- optimale Struktur und Luftführung
- Wassergehalt mindestens 40 %
- pH-Wert von etwa 7
- Temperatur von mindestens 55 °C über einen möglichst zusammenhängenden Zeitraum von 2 Wochen oder
- von 60 °C über 6 Tage oder
- von 65 °C über 3 Tage

Der Verlauf der Kompostierung muss mittels Prozessüberwachung nachgewiesen werden. Die Arbeitsschritte für die Kontrolle des Prozesses stellen einen Aufwand in Form von Lohnkosten dar und sind für die wirtschaftliche Bewertung des Verfahrens relevant. Die Kosten der Produktzertifizierung selbst durch die BGK setzten sich aus Mitgliedsbeitrag und den Analysekosten zusammen (BGK e.V., 2019a).

Wirtschaftliche Bewertungen und Optimierungsmöglichkeiten müssen immer auch innerhalb des rechtlichen Rahmens gesehen werden. Mit der Änderung der Düngeverordnung im Jahr 2017 wird der Einsatz von Kompost in der Landwirtschaft strenger als zuvor geregelt. Die neuen Regelungen bestehen aus drei Säulen und werden in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Rechtliche Rahmenbedingung für die Stickstoffdüngung aus Grüngutkompost

Düngebedarfsermittlung		Nährstoffvergleich	Obergrenze
Schlagbezogen		Betriebsbezogen	Betriebsbezogen
Ausbringungsjahr	5% des Nges	10 % des Nges	
1. Folgejahr	4% des Nges	10 % des Nges	

2. Folgejahr	3% des Nges	10 % des Nges	
3. Folgejahr	3% des Nges		
N-Bilanz gesamt	0 kg N	< 50 kg N/ha	< 170 kg/ha

ha= 10.000 m², N=Stickstoff, Nges=Gesamtstickstoff

Quelle: BMEL, 2017, Düngeverordnung

Im Rahmen der Berechnung des schlagbezogenen Düngemittelbedarfs werden der anzurechnende verfügbare Stickstoff für die Kompostarten Grüngutkompost und sonstige Komposte, zu denen u.a. Biokompost zählt, bestimmt. Bei der untersuchten innovativen Maßnahme handelt es sich um Grüngutkompost. Für das Jahr der Ausbringung müssen mindestens 5% des gesamten nach Analyse ausgewiesenen Stickstoffs (Nges) als N-Zufuhr veranschlagt werden. Bei Ausweisung eines höheren Anteils an verfügbarem Stickstoff durch das Analyseergebnis, ist dieser ermittelte Wert anzuwenden. In den nachfolgenden drei Jahren werden 4%, 3% und 3% des Nges berechnet. Zusätzlich können 10% Aufbringungsverluste abgezogen werden. Für den betriebsbezogenen Nährstoffvergleich werden ebenfalls 10% im Anwendungsjahr, sowie im ersten und zweiten Folgejahr jeweils 10% des Nges angerechnet und einmalig Ausbringungsverluste von 10%. Hier gilt ein erlaubter durchschnittlicher Überschuss von bis zu 50 kg N/ha. Als Bewertungsgrundlage für betriebsbezogene Bilanzen gilt im Allgemeinen die landwirtschaftlich genutzte Fläche des Betriebs. Die zulässige durchschnittliche Aufbringungsobergrenze von 170kg N/ha betrifft alle Düngemittel. Bei Kompostdüngung darf die ausgebrachte Stickstoffmenge auf drei Jahre aufgeteilt werden, was eine maximale Stickstoffmenge von 510 kg N/ha durch Kompost ergibt. Es können keine Aufbringungsverluste abgezogen werden. Die unterschiedliche Berechnung hat u.a. zur Folge, dass die durchschnittliche Kompostmenge je Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche niedriger sein kann als einzelne schlagbezogene Ausbringungsmengen. Somit ist die Möglichkeit gegeben, die Kompostgaben nach Nährstoffbedarf der Kulturen aufzuteilen. Phosphor wird in der Düngebedarfsermittlung sowie im Nährstoffvergleich zu 100% angerechnet und kann auf drei Jahre aufgeteilt werden.

Die untersuchte Maßnahme wird auf einem Betrieb durchgeführt, der nach der EG-Ökoverordnung sowie nach den Richtlinien des Anbauverbands Bioland bewirtschaftet wird. Somit müssen strengere Grenzen für Gehalte an Schwermetallen, Fremdstoffen, Krankheitserregern und keimfähigen Samen sowie für die Auswahl der Ausgangssubstrate eingehalten werden (Bioland e.V., 2019b). Auch die maximal

zulässige Gesamtstickstoffmenge der ausgebrachten Düngemittel ist mit 112kg N/ha und Jahr niedriger (Bioland e.V., 2019b). Kompostarten unterscheiden sich je nach Prozessführung. Die Leistung des hier untersuchten Bio-Komposts, die über die reine Nährstoffzufuhr hinausgeht, ist schwierig zu bewerten und wird im folgenden Kapitel diskutiert.

Die Regelungen für die Bewertung des Stickstoffs aus Kompost tragen der speziellen Stickstoffdynamik dieses organischen Düngemittels Rechnung. Aufgrund des meist weiten C:N-Verhältnisses wird durch die aerobe Zersetzung des Ausgangssubstrates durch Bakterien und Pilze nur ein kleiner Teil des gesamten Stickstoffs zu löslichem Stickstoff umgewandelt und ist damit direkt pflanzenverfügbar (Khan, Mack, Castillo, Kaiser, & Joergensen, 2016). Ein Großteil des Stickstoffs wird von lebenden Organismen aufgenommen oder dient dem Aufbau von Nähr- und Dauerhumus. In den folgenden Jahren wird ein Teil des verbauten Stickstoffs mineralisiert und muss deshalb der Stickstoffzufuhr anteilig angerechnet werden. Neben Stickstoff enthält ein durchschnittlicher Kompost relevante Mengen an den Hauptnährstoffen Phosphor und Kalium sowie an allen Nebennährstoffen. Die Verfügbarkeit von Nährstoffen ist Voraussetzung von Pflanzenwachstum. Eine optimale Pflanzenernährung ist ein wichtiger Faktor der Ertragsbildung. Die Nährstoffzufuhr durch Kompost stellt somit eine Leistung dar und muss in einer ökonomischen Bewertung der Methode möglichst realistisch abgebildet werden.

Durch Kompost kann zudem der Gehalt an Humus, der gesamten toten organische Substanz des Bodens (Amelung et al., 2018, S. 6), erhöht werden. Ein optimaler Humusgehalt ist standortspezifisch und dessen Erhalt ist ein wesentlicher Aspekt für Bodenfruchtbarkeit (BBodSchG, 1998). Für die Bodenarten schluffig-lehmiger Ton und toniger Lehm, wie sie auf dem untersuchten Betrieb zu finden sind wurde in einer Erhebung der Böden im Bundesland Bayern ein durchschnittlicher Humusgehalt von 1,6 % Corg für viehlose Betriebe festgestellt (Capriel, 2010). Die positiven Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit sind vielfältig und können zu höheren Erträgen und damit einer verbesserten Rentabilität der Produktion auf diesem Standort führen. Die durch Kompostdüngung angereicherte organische Substanz im Boden führt zu einer Erhöhung des Anteils von Makroaggregaten und damit zu einer Erhöhung der Strukturstabilität (Müller, Sharif, Breuer, & Schulz, 2009) sowie der Wasserhaltefähigkeit des Bodens (Diacono & Montemurro, 2010). Die organische Substanz sorgt durch seine Struktur zudem für eine höhere Kationenaustauschkapazität (Amelung et al., 2018, S. 198) und verbessert dadurch das Nährstoffhaltevermögen.

Organische Substanz stellt Nahrung für die Bodenorganismen dar und ist damit Grundvoraussetzung für deren Aktivität (Amelung et al., 2018, S. 6). Bei hoher Zufuhr

von Kompost wurde eine Erhöhung der Aktivität der Bodenorganismen beobachtet (Diacono & Montemurro, 2010; Faust et al., 2017). Durch eine höhere Vielfalt der Bodenorganismen wird ein Gleichgewicht von Schaderregern und ihren Gegenspielern begünstigt. Im Kompost direkt wird die Zusammensetzung der Mikroorganismen im Zuge der verschiedenen Rottephasen so verschoben, dass Bakterien welche Erreger bodenbürtiger Pflanzenkrankheiten unterdrücken gefördert werden (Jørgensen, 2018).

Im untersuchten Betrieb wird die Kompostierung im Rahmen der Hygienisierung nach BioAbfV durchgeführt. Die einzelnen Arbeitsschritte sind grundlegend für eine wirtschaftliche Bewertung und werden im Folgenden nach den Angaben des Betriebsleiters (Heiß, 2019) beschrieben. Als Ausgangsmaterial steht Gras, Laub und ausgesiebttes Feinmaterial vom ca. 1,5 km entfernten Häckselplatz der Gemeinde zu Verfügung. Auf dem Häckselplatz können Gemeindemitglieder Gartenabfälle wie Baum-, Strauch- und Heckenschnitt abliefern. Im Schnitt fallen jährlich 150 t Grüngut an. Das Grüngut wird von April bis Dezember vom Betriebsleiter wöchentlich mit einem Schlepper und einem Anhänger mit einer Nutzlast von 14 t abgeholt. Für die Abnahme erhält der Betriebsleiter 12.000 € jährlich. Auf dem Betrieb wird das Grüngut in einem befestigten Fahrsilo mit 500 m³ Volumen abgeladen und zweimal im Jahr mit einem Frontlader umgesetzt. Der Kompost wird nicht abgedeckt. Die ehemalige Güllegrube sowie die benötigten Maschinen waren bereits vor Durchführung der Kompostierung vorhanden und es waren keine weiteren Investitionen nötig. Die wöchentliche Temperaturmessung im Rahmen der Hygienisierung erfolgt automatisch zweimal wöchentlich. Zusätzlich wird eine Analyse durchgeführt und eingeschickt wofür 460 € jährlich anfallen.

2.3 Kleegrastransfer

Um den Herausforderungen der geringeren Anbaudauer und Mulchbewirtschaftung zu begegnen, schlägt Schmidt (2004) unter anderem die alternative Nutzung des Aufwuchses vor und sieht hierzu dringenden Forschungsbedarf. Insbesondere Leguminosen, direkt dem Boden zurückzuführen um die Bodenfruchtbarkeit zu fördern, wurde bereits in der Antike durch Gelehrte empfohlen. Die Praxisrelevanz und Ausgestaltung veränderte sich im Lauf der Geschichte der Landwirtschaft. Eine kurze Beschreibung dieser Entwicklung und der unterschiedlichen Varianten des Verfahrens erleichtert die Einschätzung der aktuellen Bedeutung und zeigt Anpassungsmöglichkeiten auf. Anschließend wird aktuelle Literatur zum Potenzial des Verfahrens zusammengefasst.

Die Bodenfruchtbarkeit direkt mittels Rückführung des Leguminosenaufwuchses zu fördern wurde unter anderem bereits von Cato, d. Ä., 234 -149 v. Chr als Alternative zur

Verfütterung propagiert (Cato & Froesch, 2009). Nachdem dieses Wissen teilweise verlorengegangen war erfolgte eine deutliche Etablierung von Klee gras in den Ackerbau ab Ende des 18. Jahrhunderts nachdem Johann Christian Schubert und Albrecht Daniel Thaer die positiven Auswirkungen auf Boden und Vieh untersucht und den Bauern im Süden Deutschlands durch die Verbreitung von Schriften zugänglich gemacht hatten (Mär tin, 2007). Neben dem gezielten Anbau von Klee zur Fütterung des Viehs fand auch die Möglichkeit der Einarbeitung des Aufwuchses in den Boden Erwähnung (Schubart, 1784). Zwei Jahrhunderte später wurde von Pionieren der oftmals viehlos wirtschaftenden Lebensreform erneut die alternative Nutzung des Aufwuchses mittels Ausbringung als Mulch auf andere Flächen kommuniziert (Könemann, 1925).

In den letzten Jahren erfährt das Verfahren unter verschiedenen Begriffen wie Cut & Carry, Mähen & Mulchen, Transfermulch, klee grasbasierte Düngung oder „Klee grastransfer“ unter Praktikern vermehrt Verbreitung. Teilweise werden auch weitere Unterscheidungen aufgrund der Behandlung nach der Bergung gemacht. So nutzt Schmidtke (2018) die Begriffe Cut & Compost, Cut & Carry oder Cut & Dry. In weiteren aktuellen wissenschaftlichen Veröffentlichungen wird für das gesamte Verfahren als Oberbegriff vermehrt die Bezeichnung „Klee grastransfer“ verwendet, welche auch in dieser Arbeit vorrangig genutzt werden soll. Auch zu der Verfahrensdurchführung gibt es keine allgemeine anerkannte Definition der Maßnahme und so existieren unterschiedliche Varianten. Die Varianten können sich in allen Arbeitsvorgängen unterscheiden, haben aber alle den Transfer des Leguminosenaufwuchses oder Teilen davon auf ein anderes Feld gemein. Der betriebsspezifisch angepasste Klee grasanbau selbst ist zwar Teil der Maßnahme, die Unterscheidung wird aber häufiger aufgrund der Ausführung des Transfers selbst gemacht. Vor allem die Zusammensetzung des Klee grasses, die Schnitthäufigkeit, die Verarbeitung nach der Ernte sowie die Ausbringungsmenge auf das Nehmerfeld können je nach gewähltem Ziel variieren. Je nach gewünschtem C:N-Verhältnis wird die Anzahl an Schnitten angepasst. Der Aufwuchs kann direkt als Frischmasse ausgebracht oder nach jeweiliger Behandlung als Silage, Kompost oder Gärrest ausgebracht werden. Die Ausbringungsmenge und –technik beeinflusst wiederum das Ergebnis und kann dem gewünschten Zweck angepasst werden.

Eine Statistik zur Anzahl der Betriebe, welche die untersuchte Maßnahme durchführen ist nicht verfügbar. In Fachzeitschriften und Informationsportalen wird das Thema in den letzten Jahren vermehrt aufgegriffen und deutet damit auf eine bestimmte Relevanz für die Praxis. Die Maßnahme wird unter anderem als „relativ unbekannt“ (Weninger, 2019) und „neuen Ansatz“ (Stumm, 2019) beschrieben. Auch die Bioverbände verweisen auf die Veröffentlichungen zu der Methode oder geben selbst Informationen über die Nutzung des Leguminosenaufwuchses als möglichen mobilen Dünger für viehlose

Betriebe (Bioland e.V., 2016). Langjährige Feldversuche und Studien sind noch kaum verfügbar aber aus neueren Projekten können bereits Ergebnisse geschlossen. Die Schlussfolgerungen, die jeweils unterschiedliche Auswirkungen einer alternativen Nutzung des Kleegrasaufwuchses thematisieren werden im nachfolgenden Kapitel beschrieben.

Mittels Abfuhr des Kleegrasaufwuchses können die in Kapitel 2.1.2 aufgeführten Nachteile der Mulchbewirtschaftung auf die Stickstofffixierung und Wachstumsbehinderung des Bestands verhindert werden. Auch ein erhöhtes N-Verlustpotential kann durch die Abfuhr zumindest auf dem Kleegrasfeld selbst umgangen werden. Die im Aufwuchs gebundenen Nährstoffe werden im untersuchten Verfahren frisch und als Silage auf ein Nehmerfeld transferiert.

Als vorrangiges Ziel ist der Import des biotisch gebundenen Stickstoffs vom Kleegrasschlag als Geberfeld auf eine andere Kultur, dem Nehmerfeld zu nennen. Dieser Frage wird im Projekt Leitbetriebe Ökologischer Landbau in Nordrhein-Westfalen nachgegangen. Hier war eine N-Düngewirkung von eingearbeitetem Klee gras tendenziell nachweisbar, wohingegen durch eine nur oberflächliche Ausbringung keine Auswirkungen auf die Erträge belegt werden konnten (Stumm, 2012).

Bei der Ausbringung des Klee grasaufwuchses auf ein Nehmerfeld wurde nach Starkregen eine ähnlich hohe Lachgasemission festgestellt wie beim Mulchverfahren, sodass betriebsbezogen nicht von einer Reduktion ausgegangen werden kann (Stumm, 2012).

Die Ausgestaltung der innovativen Maßnahme kann je nach Voraussetzungen des Betriebs stark variieren. Variationsmöglichkeiten bieten sich beispielsweise durch die Nutzung unterschiedlicher Klee grasverhältnisse, Schnittzeitpunkte, Maschinen und Ausbringungsmenge oder –zeitpunkt. Auch die Übertragung des Verfahrens auf andere klassische Feldfutterfrüchte ist denkbar. Im hier untersuchten Betrieb wird durchschnittlich eine Fläche von 12 ha Klee gras angebaut mit dessen Aufwuchs dieselbe Fläche Weizen gedüngt wird. Tabelle 2 zeigt detailliert die Umsetzung der innovativen Maßnahme „Klee grastransfer“ wie sie im untersuchten Betrieb ausgeführt wird. Für die Erstellung der Leistungs- und Kostenrechnungen wurden die Arbeitsvorgänge entsprechend den verfügbaren Daten angepasst.

Tabelle 2: Arbeitsvorgänge der Maßnahme „Klee grastransfer“ und genutzte Maschinen

Zeitraum	Arbeitsvorgang	Menge	Mechanisierung
Aug.	Untersaat in Hafer oder Dinkel		Schneckenkornstreuer
Apr.	Mähen	10 t	Schlepper, 118 kWh Leistung Mähwerk, 6,2 m Arbeitsbreite

Apr.	Wenden	Schlepper 103 kWh Leistung Kreiselzettwender 8,8 m Arbeitsbreite
Apr.	Schwaden	Schlepper, 103 kWh Leistung Schwader, 6,2 m Arbeitsbreite
Apr.	Bergen der Frischmasse	Schlepper, 147 kWh Leistung Kurzschnittladewagen, 30 m ³ Nutzraum
Apr.	Beladen von Miststreuern	Schlepper + Frontlader, 103 kWh Leistung drei Miststreuer, 16 t Nutzlast
Apr.	Ausbringung der Frischmasse auf Getreideschläge	zwei Schlepper, 118 kWh drei Miststreuer, 16 t Nutzlast
Mai/ Jun.	Mähen, Wenden, Schwaden, Bergen wie erster Schnitt	15 t siehe erster Schnitt
Mai/ Jun.	Abladen, Abdecken und Festfahren der Frischmasse	Schlepper + Frontlader, 103 kWh Leistung
Jul./ Aug.	Mähen, Wenden wie erster Schnitt	siehe erster Schnitt
Sept/ Okt.	Mähen, Wenden wie erster Schnitt	siehe erster Schnitt
Sept./ Okt.	Ausbringung der Silage auf Weizen	zwei Schlepper, 118 kWh Leistung drei Miststreuer, 16 t Nutzlast

t= 1.000 kg

Quelle: eigene Darstellung auf der Basis von Heiß (2019)

Das Klee gras wird mit einem Schneckenkornstreuer als Untersaat in eine bereits stehende Hafer- oder Dinkelkultur ausgebracht. Die Arbeitsvorgänge Mahd und Wenden sind bei allen vier Schnitten gleich und werden meist vom Betriebsleiter ausgeführt. Mittels Schlepper und Mähwerk wird je nach Witterung meist im April, Juni, August und September gemäht. Es folgt das Wenden des Aufwuchses mittels Schlepper und Kreiselzettwender. Der Ertrag des ersten Schnitts beträgt durchschnittlich 10 t FM/ha. Nach dem Wenden folgt der Arbeitsvorgang Schwaden mittels Schlepper und Schwader. Ein Kurzschnittladewagen nimmt den Aufwuchs innerhalb weniger Tage auf. Mit Hilfe eines Frontladers werden anschließend drei Miststreuer mit einer jeweiligen Nutzlast von 16 t beladen. Parallel wird der Klee gras aufwuchs direkt auf die nahe gelegene

Weizenschläge ausgebracht. Für die Ausbringung werden insgesamt zwei bis drei Arbeitskräfte mit jeweils fünf bis sechs Arbeitskraftstunden benötigt. Der Ertrag des zweiten Schnitts beträgt 15 t FM/ha und erfolgt Ende Mai oder Anfang Juni. Der Zeitpunkt variiert je nach verfügbarer Arbeitskapazität. Der in dieser Zeit stattfindenden Heuernte auf den Wiesen des Betriebs wird Vorrang gegeben. Mahd, Kreiseln und Schwaden wird analog zum ersten Schnitt durchgeführt. Die anschließende Ablage zur Silierung erfolgt am Feldrand. Es folgen Walzarbeiten und das Abdecken der Silage mit Holzhäcksel die kostenlos von der Gemeinde zu Verfügung gestellt werden. Die Abdeckung führt verglichen mit der standardmäßig ausgeführten Folienabdeckung, zu geringeren Direktkosten. Die oberste Schicht der Silage unter der Abdeckung ist durch den unvollständigen Luftabschluss meist von geringerer Silagequalität. Zudem besteht das Risiko eines allgemein unvollständigen Silierungsprozesses. Insgesamt werden für die Silageherstellung fünf bis sechs Arbeitskraftstunden benötigt. Im Herbst erfolgt die Ausbringung dieser Silage, wobei die gleichen Arbeitsvorgänge wie bei der direkten Ausbringung des ersten Schnitts durchgeführt werden. Der dritte und vierte Schnitt verbleibt nach den Arbeitsvorgängen Mahd und Kreiseln auf dem Feld. Der Betriebsleiter musste für das Verfahren nicht investieren, da die genutzten Maschinen bereits vorhanden waren oder geliehen werden können. Der Betriebsleiter hebt die Bedeutung der geringen Entfernung zwischen den Klee gras- und Weizenschlägen hervor. Außerdem werden für die parallel ausgeführten Arbeitsgänge Mahd des ersten Schnitts und direkte Ausbringung der Frischmasse mehrere Miststreuer, Traktoren und Arbeitskräfte benötigt. Die Organisation dieser Faktoren nimmt vorab Arbeitszeit des Betriebsleiters in Anspruch. Da Höhe der Arbeitskraftstunden sehr unregelmäßig ausfällt und nicht genau bewertet werden konnte, wurden sie nicht berücksichtigt.

3 Material und Methoden

Die Rentabilitätsanalyse der innovativen Maßnahmen „Klee-grastransfer“ und Komposteinsatz basiert auf der Zusammenstellung und Auswertung von Daten aus unterschiedlichen Quellen und in Verbindung mit einem zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit laufenden Forschungsprojekt. Die aufbereiteten Daten werden anschließend anhand betriebswirtschaftlich gängiger Planungs- und Bewertungsmethoden ausgewertet.

3.1 Datenerhebung

Die Erhebung der Daten erfolgte in Anlehnung an ein Forschungsprojekt an welchem Projektpartner aus Forschung, Beratung und Praxis zusammenarbeiten. Die Erhebung wurde außerhalb des Projekts durchgeführt, nutzt jedoch die bereits durch das Projekt entstandenen Strukturen. Die genutzten Daten stammen aus einer Vielzahl verschiedener Quellen, die im Folgenden beschrieben werden sollen.

3.1.1 Auswahl des Betriebs im Rahmen des Projekts BRAVÖ

Die Europäischen Innovationspartnerschaft „European Innovation Partnership for Agricultural productivity and Sustainability“ (EIP-AGRI) verfolgt seit 2012 das Ziel Innovationen im landwirtschaftlichen Sektor zu fördern und damit zu einem nachhaltigen Wachstum beizutragen. Unter dem Leitthema „Ökolandbau innovativ und zukunftsweisend“ werden Projekte finanziell gefördert, die Lösungsansätze für aktuelle Probleme in der Praxis des Ökolandbaus untersuchen und entwickeln. Um die innovativen Maßnahmen vieharter und viehloser Landwirte in Baden-Württemberg zu untersuchen und anschließend zu deren Verbreitung beizutragen, wurde die Operationsgruppe „Mit betrieblichen Innovationen Bodenfruchtbarkeit und Nachhaltigkeit auf vieharmen und viehlosen Ökobetrieben steigern“ (BRAVÖ) gegründet. Verschiedene Akteure aus Forschung und Praxis sollen innovative Maßnahmen auf viehlosen und vieharmen Betrieben erfassen und evaluieren. Das Zentrum Ökologischer Landbau der Universität Hohenheim analysiert dabei den ökonomischen Bereich. Zur anschließenden Kommunikation der Ergebnisse werden die Maßnahmen auf themenbezogenen Feldtagen vorgestellt und die Veröffentlichung in Form von Broschüren sowie auf der Internetseite des EIP-AGRI-Netzwerks angestrebt. Zu diesem Zweck wurden neun Betriebe ausgewählt, die über eine solche Praxisinnovation verfügen. Das Verfahren „Klee-grastransfer“ wird auf einem der teilnehmenden Betriebe durchgeführt. Die Maßnahme Komposteinsatz wird auf sechs der neun teilnehmenden Betriebe durchgeführt. Da die Betriebe bereits im Projekt involviert waren und einer Teilnahme zugestimmt hatten, waren die grundsätzliche Bereitschaft zur

Datenerhebung sowie einige Daten aus vorangegangenen Befragungen bereits vorhanden. Ursprünglich war eine Untersuchung der beiden Maßnahmen auf zwei unterschiedlichen Betrieben geplant. Die Datenerhebung auf dem zweiten Betrieb gestaltete sich allerdings als schwierig, sodass die Datenlage für eine sinnvolle Rentabilitätsuntersuchung nicht ausreichend war. Für die Anbauverfahren des spezialisierten Obst- und Gemüsebaubetriebs sind keine standardisierten Daten verfügbar und die Verfahren sind sehr speziell. Die Erstellung von Verfahrensbeschreibungen aller Kulturen und darauf aufbauender Kosten- und Leistungsrechnungen, würde die zu Verfügung stehenden zeitlichen Kapazitäten übersteigen. Da der Betrieb auf dem die Maßnahme Kleegastransfer untersucht wird ebenfalls bereits Kompost einsetzt, wird die Untersuchung beider Maßnahmen auf diesem Betrieb und nicht wie ursprünglich geplant auf zwei Betrieben durchgeführt.

3.1.2 Standort und Produktionsverfahren

Zur möglichst realitätsnahen Abbildung der wirtschaftlichen Faktoren wurde eine Betriebsleiterbefragung durchgeführt. Die erste Befragung erfolgte persönlich und in Anlehnung an einen standardisierten Fragebogen. Der Betriebsleiter wurde vor einem Projekttreffen der Operationsgruppe BRAVÖ am 26.02. in Stuttgart-Möhringen für eine Dauer von etwa einer Stunde erstmalig befragt. Der Schwerpunkt lag dabei auf Fragen zu den relevanten Arbeitsvorgängen in der Durchführung der innovativen Maßnahme. Die folgenden Beschreibungen stammen aus Angaben zu den Arbeitsvorgängen vom Betriebsleiter (Heiß, 2019), solange keine andere Quelle angegeben ist. Da für die innovativen Verfahren selbst und im Zusammenhang mit einer vieharmen Bewirtschaftung noch relativ wenige Daten verfügbar sind, wurden die Fragen offen formuliert. Soweit wie möglich wurden genutzte Maschinen, geschätzte Dauer und veranschlagte Direktkosten aufgenommen. Direktkosten sind u.a. die Saatgutkosten. Hier wurden Standarddaten der KTBL (vgl. Kapitel 3.2.1) genutzt. Dieses Vorgehen wurde mit dem Betriebsleiter abgesprochen. Von den vom Betriebsleiter genannten Leistungen der Maßnahmen können nur die jeweiligen Nährstoff- und Humusleistungen in Form von Zufuhr oder Bedarf berücksichtigt werden. Die Herausforderung einer monetären Bewertung aller bodenfruchtbarkeitsfördernden Auswirkungen wird in Kapitel 5.1 diskutiert.

Für die Produktionsverfahren, die nicht direkt von der Innovation beeinflusst werden, wurden keine Details erhoben. Eine genauere Beschreibung aller Arbeitsvorgänge der Fruchtfolgeglieder hätte die zeitliche Kapazität des Betriebsleiters und den Rahmen dieser Arbeit überstiegen. Da es sich zudem um Standardverfahren handelt, wäre der daraus entstandene zusätzliche Informationsgewinn relativ gering. Stattdessen werden

Standardwerte der KTBL übernommen (vgl. Kapitel 3.1.3). Im weiteren Verlauf der Aufbereitung der Daten wurden auftretende Fragen im Telefon- und E-mailkontakt sowie per Instant-Messaging-Dienst geklärt.

Der untersuchte Betrieb befindet sich im Landkreis Heilbronn. Mit einer Höhenlage von 150 – 350 m über NN, einem mittleren Jahresniederschlag von 646 mm und einer mittleren Temperatur von 10,3 C° liegt der Standort in einer gemäßigt warmen Region Deutschlands (Merkel, 2019). Es werden rund 111,7 ha landwirtschaftlich genutzt, davon 33,4 ha als Grünland, 75 ha als Ackerland und 3 ha als Forstland. Die forstwirtschaftlich genutzten Flächen, stehen mit den innovativen Maßnahmen in keiner Verbindung und werden im Folgenden nicht betrachtet. In der nebenliegenden Gemeinde befindet sich der zweite Betriebsteil, der vom Schwiegervater des Betriebsleiters übernommen wurde. Die Putenmast mit Platz für 100 Puten, steht bis auf die gemeinsam genutzte Arbeitskraftkapazität nicht mit dem Ackerbau in Verbindung und wird deshalb in der Modellierung nicht direkt berücksichtigt. Es wird jedoch eine halbe Arbeitskraft für den Putenmastbetrieb berechnet, die dem Ackerbau somit nicht mehr zu Verfügung steht. Außer dem Betriebsleiter ist noch eine weitere Arbeitskraft fest angestellt. Zudem werden Praktikanten auf dem Betrieb beschäftigt, die jedoch aufgrund der unregelmäßigen Verfügbarkeit nicht als Arbeitskapazität berücksichtigt werden konnten. Für den Ackerbau wird somit von 1,5 Arbeitskräften mit 220 Arbeitstagen á 8 Stunden pro Jahr ausgegangen. Der Betrieb ist technisch sehr breit und leistungsstark aufgestellt und verfügt zudem über die Möglichkeit landwirtschaftliche Maschinen zu mieten. Im Schnitt wurden die Böden vom Betriebsleiter als mittel eingeschätzt. In den letzten Jahren wurden folgende Kulturen in einem Jahr angebaut: Weizen, Dinkel, Körnermais oder Körnersenf, Wintertriticale, Sonnenblumen, Hafer, Klee gras, Erbsen, Weidelgras. Der Klee grasanbau unterscheidet sich aufgrund der innovativen Maßnahme vom standardmäßig durchgeführten Klee grasanbau und wird in Kapitel 2.3.1 ausführlich beschrieben. Die restlichen Kulturen werden standardmäßig angebaut und passen laut Betriebsleiter gut mit den Standardverfahren der KTBL überein, sodass die Daten der KTBL Webanwendung „Leistungs-Kostenrechner“ übernommen werden können (vgl. Kapitel 3.2.1).

Verfahren, die nicht mit einer innovativen Maßnahme in Verbindung stehen und teilweise nicht standardmäßig durchgeführt werden sind Dinkel-, Hafer-, Erbsen-, Weidelgras- sowie der Grünlandanbau. Die berücksichtigten Anpassungen betreffen vor allem die Nutzung des Aufwuchses und werden im Folgenden beschrieben. Beim Dinkelanbau wird das Stroh ebenfalls geerntet und zusammen mit dem Weidel- und Grünlandaufwuchs mit benachbarten Pferdehaltern in einer Futter-Mist-Kooperation gegen Pferdemist getauscht. Für die Berechnungen wird nach den Angaben des Betriebsleiters von einer

durchschnittlichen Abgabe von 135 t Heu sowie 65,12 t Stroh und einem Erhalt von 300 t Pferdmist jährlich ausgegangen. Da es keine weiteren potenziellen Kooperationspartner gibt, wird diese Menge als maximal verfügbare Menge Pferdemist aufgefasst. Die Grünlandflächen befinden sich zudem zum Teil in ungünstigen Lagen. Sie werden nur zwei Mal geschnitten. Die Erträge aus dem Hafer- sowie dem Erbsenanbau werden etwa zur Hälfte für die Fütterung der Puten am zweiten Standort des Betriebs genutzt. In dieser Berechnung wurde jedoch unterstellt, dass die Erträge vollständig verkauft würden. Bei einer Berücksichtigung der Tierhaltung müssten weitere Datenerhebungen über die Putenmast durchgeführt werden. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf der Analyse der innovativen Maßnahmen. Die Tierhaltung macht nur einen geringen Anteil am Ressourcenanspruch der gesamten Produktion aus. Eine Einbeziehung der Tierhaltung würde die zeitliche Kapazität im Rahmen dieser Arbeit übersteigen. Der Kompost wird aus Grünschnitt der angrenzenden Gemeinde hergestellt. Die einzelnen Arbeitsvorgänge der innovativen Maßnahme Kompostherstellung und- ausbringung werden wie der „Klee-grastransfer“ in Kapitel 2.3.1 ausführlich beschrieben. Zusätzlich zu Pferdemist und Kompost wird mit „Carbokalk“ gedüngt. Der Transport und die Ausbringung des Kalkdüngers erfolgt durch das Herstellerunternehmen (Südzucker AG, 2019).

Zur Bestimmung der Fruchtfolgebegrenzungen wurden die im Ökolandbau übliche Anbaupausen nach Kolbe (2008b) genutzt. Es wurde ein geringer vorherrschender Krankheits- und Unkrautdruck unterstellt, sodass jeweils die geringste angegebene Grenze genutzt wurde. Es werden die relevanten staatlichen Zahlungen berücksichtigt. Die Zahlung je Hektar setzt sich zusammen aus Basisprämie, Umverteilungsprämie für die ersten 30 ha, Greening-Prämie nach Direktzahlungen-Durchführungsgesetz (DirektZahlDurchfG, 2014) und Zuwendungen für Betriebe des ökologischen Landbaus im Rahmen der Förderungen für Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen nach Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (VwV FAKT, 2016). Für eine Bewertung der innovativen Maßnahme sind Vergleiche mit möglichen alternativen Maßnahmen des Betriebs zweckmäßig. Ein Wiedereinstieg in die Tierhaltung hält der Betriebsleiter für möglich. Er sieht in der Verfütterung des Klee-grasaufwuchses und einer Ausbringung des tierischen Wirtschaftsdüngers eine Alternative zu den momentan durchgeführten Maßnahmen. Die Milchviehhaltung und Jungviehaufzucht wurden vor einigen Jahren aufgegeben. Die Einbeziehung der potentiellen Tierhaltung wird in der Auswertung möglicher Alternativen aus oben genannten Gründen nicht betrachtet. Stattdessen wird die Ausbringung von fremden Rindermist, den der Betriebsleiter in einer weiteren Futter-Mist-Kooperation von einem benachbarten Landwirt erhalten könnte betrachtet (vgl. Kapitel 4.2). Eine weitere Vergleichsmöglichkeit wäre die Erweiterung der Kompostierung. Im näheren Umkreis befindet sich mindestens eine weitere Gemeinde, die ihren Grünschnitt kostenfrei zu Verfügung stellen würde. Die Kosten für

den Transport des Komposts und für die ganzjährige Abstellung eines Anhängers stellen für den Betriebsleiter allerdings einen unverhältnismäßigen Aufwand dar, sodass diese Möglichkeit nicht betrachtet wird.

Die Optimierungsmöglichkeiten der innovativen Maßnahmen „Kleegrastransfer“ und Komposteinsatz sind vielfältig. Daten für denkbare Anpassungen zur Kosteneinsparung bezüglich technischer und organisatorischer Ausgestaltung der Arbeitsvorgänge sind jedoch kaum verfügbar. Eine Option die Rentabilität der innovativen Maßnahmen durch Steigerung der Leistung zu erhöhen, stellt eine Zertifizierung des Betriebs als biozyklisch-vegan dar. Hierfür müsste die Putenmast aufgegeben, auf den Pferdemist als Düngemittel verzichtet werden sowie die bestehenden Pflanzenproduktionsverfahren angepasst werden. Die Auswirkungen dieser Möglichkeit auf die optimale Zusammenstellung der Produktionsverfahren sowie die ökonomische Rentabilität werden in Kapitel 4.3 untersucht.

Die noch fehlenden ökonomischen Daten entstammen der Webanwendung Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau des Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL, 2019), die kostenlos auf der Webseite des Vereins zu Verfügung steht. Die Verwendung im Rahmen dieser Arbeit wird im folgenden Kapitel kurz beschrieben.

3.1.3 Nährstoff- und Humusbilanzierung

Unter den Pflanzennährstoffen, die durch Düngung zugeführt werden müssen, nehmen die Nährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K) eine herausragende Stellung ein (Schubert, 2017, S. 117; 196). Die Knappheit dieser Kernnährelemente wird auch im vorliegenden Betrieb unterstellt. Soweit möglich soll auf betriebspezifische Daten für die Zu- und Abfuhr von Nährstoffen zurückgegriffen werden. Vom Betrieb sind Analysewerte für den Kompost aus dem Jahr 2017 vorhanden (Heiß, 2019). Für die Stickstoff und Phosphorsalden der weiteren Verfahren wurden die Werte der Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV) genutzt. Die Angabe der Nährstoffe erfolgt in den in der Landwirtschaftlichen Praxis und Forschung üblicherweise genutzten Verbindungsform N , P_2O_5 und K_2O . Der Nährstoff Kalium wird in der StoffBilV nicht ausgewiesen. Hier wurde auf den „Düngebedarfsrechner“ der Landesanstalt für Landwirtschaft, Ernährung und ländlichen Raum Schwäbisch Gmünd (LEL Schwäbisch Gmünd, 2019) zurückgegriffen. Diese Excel-Anwendung zur Umsetzung der neuen Düngeverordnung steht auf den Webseiten der LEL Schwäbisch Gmünd kostenfrei zu Verfügung. Analog wurden die N , P_2O_5 und K_2O der organischen Dünger „Pferdemist“ und „Rindermist“ ermittelt. Die Angabe der Nährstoffe erfolgt in den in der Landwirtschaftlichen Praxis und Forschung üblicherweise genutzten Verbindungsform

N, P₂O₅ und K₂O. Nicht aufgeführt sind Nährstoffbilanzen der Kultur „Dinkel“. Hier wurde aufgrund der stofflichen Ähnlichkeit auf die Werte für „Wintergerste“ mit 12% Rohprotein zurückgegriffen. Die Nährstoffgehalte des Düngemittels „Sonnenblumenpresskuchen“ basieren auf Analyseergebnissen von Mbewe (2015). Da für die Kleegrassilage keine Analysewerte vorhanden sind, wurde hier auf die Nährstoffgehalte für Kleegrasaufwuchs nach StoffBilV zurückgegriffen.

Für die Berechnung der Humusreproduktionsleistung wurde die Methode des Verbands deutscher Landwirtschafts- und Forschungsanstalten (VDLUFA) angewendet. Dies ist die von Landwirten in Deutschland meistgenutzte Methode (Brock & Leithold, 2015). Bei Berechnung der Humusreproduktionsleistung wurde gemäß des Ertrags der jeweiligen Kultur zwischen niedrigen, mittleren und hohen Werten ausgewählt (Ebertseder et al., 2014). Die Humusreproduktionsleistung von Stroh- und Gründüngung wird in der VDLUFA-Methode laut Brock et al. (2016) über- bzw. unterbewertet und Vorschläge zur Neubewertung gemacht. In dieser Arbeit wird auf diese angepassten Werte zurückgegriffen und damit die Humusreproduktionsleistung der durchgeführten Verfahren berechnet. Das jeweilige Verhältnis von Stroh zu Korn beruht auf Daten von Köhler und Kolbe (2007). Berechnungen aller Humus- und Nährstoffbilanzen sind in Anhang 1 zusammengestellt.

3.2 Verwendete betriebswirtschaftliche Bewertungsmethoden

In diesem Unterkapitel wird die genaue Vorgehensweise bei der Erstellung der Kosten- und Leistungsrechnung der Produktionsverfahren dargestellt. Es folgt eine Beschreibung der anschließenden Bewertung und Untersuchung des optimalen Produktionsprogramms mit dem Planungsinstrument lineare Programmierung.

3.2.1 KTBL Web-Anwendungen und Teilkostenrechnung

Die zusammengetragenen Daten können als grobe Beschreibung der innovativen Verfahren dienen und geben bereits Einblick in einige Kostenpunkte wie Lohn- oder Rohstoffkosten. Eine detaillierte Aufstellung der einzelnen Kosten und Leistungen konnte im Rahmen der Betriebsleiterbefragung jedoch nicht geleistet werden. Die genaue Dokumentation der einzelnen Arbeitsvorgänge mitsamt Stundenleistung, Spritverbrauch und Einschätzung von Reparaturkosten etc. ist für die Führung eines durchschnittlichen landwirtschaftlichen Betriebs nicht zweckmäßig. Der zeitliche Aufwand der Erfassung der Informationen übersteigt den Nutzen durch Planungssicherheit. Um dennoch eine Kalkulation der Produktionsverfahren im Pflanzenbau vornehmen zu können, wird auf der Webseite des KTBL eine Reihe an Webanwendungen kostenlos zu Verfügung gestellt. Die Webanwendung „Leistungs- Kostenrechnung Pflanzenbau“ stellt für die

ökologische, sowie für die konventionelle Bewirtschaftung eine Vielzahl gängiger Produktionsverfahren in mehreren Varianten zur Auswahl. Diese können auf der Benutzeroberfläche per Dropdown-Liste weiter nach durchschnittlicher Schlagfläche, Ertragsniveau, Mechanisierung und Feld-Hof-Entfernung angepasst werden. Hierfür wird als Durchschnitt ein mittlerer Boden, ein mittlerer Ertrag, eine 120 kWh Mechanisierung, eine mittlere Hof-Feld-Entfernung von 2 km sowie eine durchschnittliche Schlaggröße von 2 km vorausgesetzt. Der Verfahrensrechner Pflanzenbau bietet zudem die Möglichkeit einzelne Arbeitsvorgänge auszutauschen oder zu löschen. Anschließend wird das Verfahren aufgeschlüsselt nach dem Schema einer Teilkostenrechnung dargestellt und kann u.a. als Excel-Datei heruntergeladen werden. Im Anschluss können im Tabellenkalkulationsprogramm Excel weitere Anpassungen erfolgen. Für die Verfahren der weiteren Kulturen und Maßnahmen des Betriebs sind Standardverfahren verfügbar. Die ausgewiesenen Leistungs- und Kostenrechnungen enthalten größtenteils die Leistungen und Kosten der Arbeitsvorgänge „Bodenprobe“, „Bestandesbonitur“ und „Nmin-Probenahme“. Diese Arbeitsschritte werden unabhängig vom jeweiligen Verfahren in einer vom Betriebsleiter unregelmäßigen Häufigkeit durchgeführt und werden deshalb nicht berücksichtigt. Alle anderen Werte der Standardverfahren wurden übernommen. Anhang X stellt eine Übersicht der ausgewählten Arbeitsvorgänge dar.

3.2.2 Lineare Programmierung

Neben einer detaillierten Beschreibung der Arbeitsschritte und der ökonomischen Bewertung der Maßnahme wird in dieser Arbeit das Zusammenwirken mit anderen Produktionsverfahren des jeweiligen Betriebs untersucht. Der Vergleich der Leistungs- und Kostenrechnungen der beiden innovativen Maßnahmen gibt erste Informationen über die wirtschaftliche Vorzüglichkeit. Die Einbettung der innovativen Maßnahme innerhalb des ganzen Betriebs ist jedoch von entscheidender Bedeutung für den wirtschaftlichen Erfolg. Wie jedes Produktionsverfahren besetzt auch die innovative Maßnahme Kapazitäten und nutzt Ressourcen, die deren und die Ausführung anderer Verfahren begrenzt. Vor allem die Wirkung auf Nährstoff und Humussalden sind im Rahmen einer nachhaltigen Bewirtschaftung von Relevanz. Bei Einhaltung dieser Grenzen wird dem landwirtschaftlichen Betrieb wie jeder Unternehmung das Ziel der Gewinnmaximierung unterstellt. Zusätzlich sollen Anpassungen einzelner Daten durchgeführt werden können um bspw. die Auswirkungen durch Preisänderungen oder einer größeren Auswahl an Verfahren untersuchen zu können. Das Verfahren lineare Programmierung erfüllt diese Kriterien und wird bei der Planung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren standardmäßig eingesetzt. In der vorliegenden Untersuchung wird die lineare Programmierung mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel und mittels Simplex-Verfahren durchgeführt.

Die lineare Programmierung ist wie jedes Modell lediglich eine vereinfachte Darstellung der Wirklichkeit. Welche Faktoren weggelassen wurden, wurde einzeln nach dem Prinzip des Ertragsgesetzes entschieden. Überstieg der zeitlichen Aufwand den zusätzliche Informationsnutzen, wurde der Faktor nicht berücksichtigt. Ebenso wurde die Detailtreue der einzelnen Nebenbedingungen dem daraus entstehenden Nutzen angepasst. Eine zu geringer Auswahl an Produktionsverfahren, kann bei der linearen Programmierung zur Folge haben, dass die Bedingungen nicht eingehalten werden können. Eine teilweise subjektive Einschätzung der Autorin kann dabei nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann. 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 in Szenario 1 auf N, P₂O₅, K₂O begrenzt. In Szenario 2 wird nur noch die Stickstoffbilanz berücksichtigt. Die Einhaltung aller drei Nährstoffbilanzen ist mit den zur Auswahl gestellten Mehrnährstoffdüngern nicht machbar. Zudem konnte die Phosphor und Kaliumdynamiken des Bodens im Rahmen dieser Arbeit nicht ausreichend berücksichtigt werden, sodass deren tatsächliche Kapazität fraglich ist. Die P- und K-Bilanzen und die Problematik der fehlenden Übereinstimmung von Nährstoffbedarf und Zufuhr werden in Kapitel 5.2 diskutiert. Eine weitere Anpassung aufgrund des gewählten Bewertungsinstruments Lineare Programmierung betrifft die Aufteilung der innovativen Maßnahmen. Um die tatsächliche Ausbringung des Klee-gras-aufwuchses sichtbar zu machen, wurde das Verfahren in Klee-gras-anbau und die Ausbringung der Frischmasse bzw. der Silage aufgeteilt. Im ersten Teil werden der Klee-gras-anbau und damit die Herstellung des Düngemittels „Klee-gras-aufwuchs“ dargestellt. Diese Aufteilung hat den Vorteil, dass die Ausbringungshöhe nicht vorgegeben wird, sondern im Rahmen der linearen Optimierung errechnet werden kann. Zusätzlich kann in weiteren Szenarien die alternative Nutzung des Aufwuchses untersucht werden. Dies geschieht in Szenario 2 im Rahmen einer Erweiterung durch eine Futter-Mist-Kooperation. Hier kann der Klee-gras-aufwuchs entweder als mobiler Dünger ausgebracht oder als Futter gegen Rindermist getauscht werden. Zudem werden die Arbeitsvorgänge der Klee-gras-ausbringung auf andere Verfahren übertragen. In Szenario 3 wird im Rahmen der biozyklisch-veganen Bewirtschaftung der Grünland- sowie der Weidelgras-aufwuchs nicht mehr als Heu gegen Pferdemit getauscht, sondern analog zur innovativen Maßnahme „Klee-grastransfer“ als mobiles Düngemittel zu Verfügung gestellt.

Die innovative Maßnahme „Komposteinsatz“ ist ebenfalls in zwei Teilverfahren aufgegliedert. Im ersten Teil wird die Herstellung Komposts dargestellt. Durch die Abnahme des Grünschnitts, erhält der Betriebsleiter einen Erlös von 12.000 € jährlich

von der entsprechenden Gemeinde. Es gilt dabei die Bedingung, dass jeglicher anfallender Grünschnitt im Jahr vom Betriebsleiter abgenommen werden muss. Für alle folgenden Kosten kommt der Betriebsleiter selbst auf. Zu den Kosten zählen also u.a. auch die Verladung, die Transportkosten und die Kosten der Herstellung selbst. Die Ausbringung des Komposts ist an keine Bedingung geknüpft. Dadurch ist die Entstehung einer Restkapazität möglich, die in der Realität nicht sinnvoll ist. Im Rahmen der linearen Programmierung können jedoch durch die isolierte Betrachtung der Ausbringung mehr Informationen über die Auswirkungen gewonnen werden. Bei entstandenen und nicht genutzten Kompostüberschüssen ist zudem eine Veräußerung zu Selbstkosten denkbar. Mittels linearer Programmierung wird untersucht, ob die Durchführung der beiden innovativen Maßnahmen „Komposteinsatz“ und „Kleeegrastransfer“ wirtschaftlich rentabel und im jeweiligen Betrieb eingebettet, möglich ist. Um die Rentabilität der gesamten Fruchtfolge zu berechnen, werden die Produktionsverfahren des Betriebs so zusammengestellt, dass bei Einhaltung der betriebspezifischen Grenzen, 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.

4 Ergebnisse

Mittels linearer Programmierung wird untersucht, ob die Durchführung der beiden innovativen Maßnahmen „Komposteinsatz“ und „Klee-grastransfer“ wirtschaftlich rentabel und im jeweiligen Betrieb eingebettet, möglich ist. Um die Rentabilität der gesamten Fruchtfolge zu berechnen, werden die Produktionsverfahren des Betriebs so zusammengestellt, dass bei Einhaltung der betriebs-spezifischen Grenzen, 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.

4.1 Szenario 1 – Basisszenario

Szenario 1 stellt möglichst wirklichkeitsgetreu die momentane 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 in Kapitel 3.1.2 genannten Kulturen, die Düngeverfahren sowie die verfügbaren staatlichen Zahlungen abgebildet. Nebenbedingungen ergeben sich aus Fruchtfolgebegrenzungen, den Regeln für die staatlichen Zahlungen, verfügbaren Arbeitskraftstunden und Humussalden sowie den Nährstoffsalden der Hauptnährstoffe N, P₂O₅ und K₂O und sind als verfügbare Kapazitäten zu verstehen, die dem gesamte Betrieb jährlich zu Verfügung stehen. Weitere Nährstoffe werden nicht betrachtet. Die Nährstoffbilanzen wurden als Gleichungen programmiert. Abfuhr und Zufuhr müssen sich hierbei mit einer voreingestellten Nebenbedingungsgenauigkeit von 0,0001 entsprechen. 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 Klee-grasaufwuchs, 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. Zwischenfrüchte werden nach den Angaben des Betriebsleiters mit Weizen und Dinkel verbunden, indem der Anbau einer der beiden Kulturen mit dem möglichen Anbau einer Zwischenfrucht verknüpft wird. 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 Auswirkungen der innovativen Maßnahmen sind von besonderem Interesse. Tabelle 3 fasst deren direkt verursachten Ansprüche und Lieferungen an die Restriktionen zusammen.

Tabelle 3: Ansprüche und Lieferungen der innovativen Maßnahmen „Kleegrastransfer“ und „Komposteinsatz“

		Kleegras		Kompost	
		Anbau 1 ha	Transfer 1 t	Herstellung 60 t	Ausbringung g 1 t
Deckungsbeitrag	(€)	-341	-2,26	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.	(ha)	-1	0	0	0
Zwischenfrucht	(ha)	-1	0	0	0
Kompostmenge	(t)	0	0	-60	1
Grünschnittmenge	(t)	0	0	150	0
Arbeitskapazität	(Ak)	3 42	0 11	68 6	0 07
Aktivierungsfläche	(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. 3.1.2 und 3.1.3)

Werte mit negativem bzw. positivem Vorzeichen sind als Lieferung bzw. Anspruch an die jeweilige Kapazität zu verstehen. Die Tabelle stellt einen Ausschnitt des LP-Tableaus dar. Die innovativen Maßnahmen „Kleegrastransfer“ 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 (vgl. Kapitel 3.2.2). 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 (vgl. Kapitel 3.2.2). 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.

Aus Tabelle 4 werden die in der Lösung der linearen Optimierung für Szenario 1 durchgeführten Verfahren sowie der jeweilige Deckungsbeitrag des jeweiligen Verfahrens zusammengefasst. In Szenario 1 wird ein Gesamtdeckungsbeitrag von 36.805 € erwirtschaftet. Es werden 24,8 ha bzw. 3,7 ha der verfügbare Ackerfläche bzw. Grünlandfläche des Modellbetriebs genutzt. Bei insgesamt 108,6 ha genutzter landwirtschaftlicher Fläche beträgt der durchschnittliche Deckungsbeitrag je Hektar 1.290 €.

Auf den Ackerflächen werden Klee gras, Weizen, Dinkel, Körnermais, Roggen, Erbsen sowie Zwischenfrüchte angebaut. Mit einem Umfang von 5 ha wird die innovative Maßnahme „Kleegrastransfer“ nur bis zur Untergrenze von 20% der realisierten Fruchtfolge durchgeführt. Als Düngung werden die gesamte hergestellte Menge Klee gras ausgebracht. Die zweite innovative Maßnahme „Kompostherstellung“ wird ebenfalls durchgeführt. Anschließend wird der hergestellte Kompost in vollem Umfang von 60 t ausgebracht. Zusätzlich werden Pferdemit sowie Carbokalk ausgebracht. Die Fruchtfolgebegrenzungen für Weizen, Leguminosen und Getreide, die verfügbare Grünschnittkapazität und die verfügbare Kapazität der Umverteilungsprämie für die ersten 30 ha werden vollständig ausgereizt. Ebenso werden die generierten Strohmen gen komplett gegen Pferdemit eingetauscht. Mittels Sensitivitätsanalyse können aus diesem

Szenario weitere Hinweise über die Produktionsverfahren und begrenzenden Faktoren gewonnen werden.

Tabelle 4: 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 Pferd mist 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 (vgl. 3.1.2 und 3.1.3)

Der erste, in Tabelle 5 wiedergegebene verkürzte Teil des Sensitivitätsberichts enthält Informationen über die reduzierten Kosten und die Spannen in denen die Deckungsbeiträge der Produktionsverfahren ceteris paribus schwanken dürfen, ohne dass sich die Lösungsumfänge der Verfahren ändern. Für das Verfahren „1 ha Weidelgras“ 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 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.

Tabelle 5: Szenario 1, Sensitivitätsanalyse, erster Teil

Name	Endgültig Endwert	Reduziert Kosten	Ziel Koeffizient	Zulässig Erhöhen	Zulässig 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+	2,5	0,0	1002,7	2104	5287
1 ha Körnermais, 10% RP,	6,2	0,0	441,9	374	843
1 ha Wintertriticale, 13% RP,	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,	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 Ackergras (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 (vgl. 3.1.2 und 3.1.3)

Die Ursachen der hohen reduzierten Kosten des Weidelgrasanbaus lassen sich aus den in Tabelle 6 dargestellten Faktoransprüchen und -lieferungen sowie den entsprechenden Schattenpreisen ermitteln:

Tabelle 6: 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	(ha)	-1
FAKT Ökoprämie	(ha)	-1
Öko-	(ha)	-1
Humus C min. Saldo	(kg)	-200
Humus C max. Saldo	(kg)	200
Stickstoff N	(kg)	168
Phosphor P ₂ O ₅	(kg)	56
Kalium K ₂ O	(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 (vgl. 3.1.2 und 3.1.3)

Durch die Nährstoffansprüche von 168 kg N/ha, 56 kg P₂O₅/ha und 228 kg K₂O/ha 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 ausgeführt werden, werden im Sensitivitätsbericht keine reduzierten Kosten ausgewiesen. Die in Tabelle 2 dargestellten Leistungen und

Ansprüche geben zusammen mit dem jeweiligen Deckungsbeitrag dennoch Auskunft über mögliche wirksame Begrenzungen, die eine Durchführung in höherem Umfang verhindern. 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. Im zweiten Teil der Sensitivitätsanalyse werden, wie in Tabelle 7 dargestellt, weitere Informationen zu den Nebenbedingungen ausgewiesen.

Tabelle 7: Szenario 1, Sensitivitätsanalyse, zweiter Teil

Name	Endgültig Endwert	Schatten Preis	Nebenbedingung Rechte Seite	Zulässig Erhöhen	Zulässig 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. 33% -	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-	-18,5	0,0	0	1E+30	19
Öko-Kontrollnachweis max.	10,0	60,0	10	18,5	10
Humus C min. Saldo (0	-865,8	0,0	0	1E+30	866
Humus C max. Saldo (+300	980,4	0,0	22500	1E+30	21520
Stickstoff max. aus Dünger	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 (vgl. 3.1.2 und 3.1.3)

Die Restriktionen werden vom Benutzer programmiert und können auch als verfügbare Kapazitäten verstanden werden. Sie werden bei Realisierung eines Produktionsverfahrens von diesem entweder beansprucht, nicht beeinflusst oder liefern Einheiten für die Kapazitäten. 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 des Mindestanbaus von 20% Klee gras in der Fruchtfolge verursacht. Wäre der Anbau von Klee gras in Höhe von einem Fruchtfolgeanteil weniger möglich, würde der Gesamtdeckungsbeitrag um diesen

Schattenpreis 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 Pferdemistdüngung 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 889 € 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 zulässige Erhöhungen bzw. Verringerung sind bei Berücksichtigung der Bezugseinheit Hektar erneut als relativ niedrig und der Schattenpreis damit als eher instabil zu bewerten. Von der Nebenbedingung „Weizen max. 50% (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 „Kleegrasmenge“ sowie der „Kompostmenge“ geschieht durch die Teilverfahren der innovativen Maßnahmen „1 ha Kleegras“ 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 Corg und 300 kg Corg/ha. Es werden nur die Humusbilanzen der Ackerfläche berücksichtigt (vgl. Kapitel 3.1.3). Dies entspricht bei 75 ha Ackerfläche einem erlaubten Humusüberschuss von 22.500 kg Corg 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 Corg 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 Nährstoffungleichgewicht 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 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, würden verfügbare Nutzfläche brach liegen. Vor allem der Kaliumbedarf kann durch die zur Auswahl gestellten Verfahren nur ungenügend gedeckt werden.

4.2 Szenario 2 – Vergleich mit der Maßnahme „Rindermist düngen“

In Szenario 3 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 99.282 €. Dies entspricht einer Steigerung von 170 % gegenüber dem Gesamtdeckungsbeitrags im Basisszenario. Bei einer vollständigen Nutzung der 75 ha verfügbaren Ackerflächen sowie der 33,4 ha der verfügbaren Grünlandflächen entspricht dies einem durchschnittlichen Deckungsbeitrag von 914 €/ha. Die Zusammenstellung der realisierten Verfahren im optimalen Produktionsprogramm sowie der jeweilige Deckungsbeitrag werden in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Optimales Produktionsprogram in Szenario 2

Verfahren	Lösungsumfang in angegebener Einheit	Deckungsbeitrag in €/Einheit
1 ha Fruchtfolgeaktivität	75,0	0,0
1 ha Klee gras (70:30)	18,1	-341,2
1 ha Dinkel (m.Spelz), Korn+ Stroh	25,0	1002,7
1 ha Körnermais, 10% RP, Korn	8,0	441,9
1 ha Wintertriticale, 13% RP, Korn	12,5	996,7
1 ha Sonnenblumen, 20% RP, Korn	10,7	678,7
1 ha Erbsen, 26% RP, Korn	0,6	28,0
1 ha Grünland, 65 dt TM, Futter-Mist-Koop.	33,6	-167,2
1 t Klee gras aufwuchs düngen	373,3	-2,1
60 t Kompostherstellung	1,0	9894,1
1 t Kompost düngen	60,0	-1,6
1 t Carbokalk düngen	18,5	-30,0
1 t Rindermist düngen	802,0	-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	62,6	257,4
1 ha Öko-Prämie (FAKT)	108,6	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 (vgl. 3.1.2 und 3.1.3)

Auf den Ackerflächen werden Klee gras, Dinkel, Körnermais, Triticale, Sonnenblumen und Erbsen angebaut. Klee gras wird mit 18,1 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 „Klee gras transfer“ genutzt.

Das Verfahren Kompostherstellung wird ebenfalls durchgeführt, sowie der gesamte produzierte Kompost ausgebracht. Die Erweiterung der Düngerverfahren um die

Möglichkeit der Rindermistdüngung verursacht folglich eine Erhöhung des Gesamtdeckungsbeitrags, eine Änderung der angebauten Kulturen sowie eine Erhöhung des Umfangs der Maßnahme „Kleeagrastransfer“ im Vergleich zu Szenario 1. Weitere Informationen zu den reduzierten Kosten der Verfahren weist der erste Teil des Sensitivitätsberichts, wie in Tabelle 9 dargestellt, aus. Ebenfalls aufgeführt sind die Spannen innerhalb derer sich die Werte ändern dürfen, ohne dass sich ceteris paribus der Umfang des Verfahrens in der Lösung ändert.

Tabelle 9: Szenario 2, Sensitivitätsanalyse, erster Teil

Name	Endwert	Reduzierte Kosten	Zielkoeffizient	Zulässige Erhöhung	Zulässige Verringerung
1 ha Fruchtfolgeakt. AF	75,0	0,0	0,0	1,00E+30	854,5
1 ha Klee gras (70:30)	18,1	0,0	-341,2	107,9	719,8
1 ha Weizen, 14% RP, Korn	0,0	-139,2	914,3	139,2	1,00E+30
1 ha Dinkel (m.Spelz), Korn+	25,0	0,0	1002,7	6,08E+17	35,9
1 ha Körnermais, 10% RP, Korn	8,0	0,0	441,9	176,4	267,6
1 ha Wintertriticale, 13% RP,	12,5	0,0	996,7	35,9	139,2
1 ha Roggen, 11% RP, Korn	0,0	-654,7	374,9	654,7	1,00E+30
1 ha Hafer, 11% RP, Korn	0,0	-537,7	428,5	537,7	1,00E+30
1 ha Sonnenblumen, 20% RP,	10,7	0,0	678,7	1,00E+30	176,4
1 ha Erbsen, 26% RP, Korn	0,6	0,0	28,0	202,8	107,9
1 ha Ackergras (Weidel)	0,0	-863,9	-378,5	863,9	1,00E+30
1 ha Zwischenfrucht, ohne Leguminosen	0,0	-90,5	-90,5	90,5	1,00E+30
1 ha Grünland, 65 dt TM, Futter-Mist-Koop.	33,6	0,0	-167,2	49,0	208,4
1 t Klee gras aufwuchs düngen	373,	0,0	-2,1	6,6	9,6
60 t Kompost herstellen	1,0	0,0	9894,1	1,00E+30	9947,2
1 t Kompost düngen	60,0	0,0	-1,6	1,00E+30	0,9
1 t Pferdemist düngen	0,0	-5,4	-1,6	5,4	1,00E+30
1 t Carbokalk düngen	18,5	0,0	-30,0	52,4	13,5
1 t Rindermist düngen	802,0	0,0	-1,6	1,2	4,4
1 ZA + Greening + Umverteilungsprämie 50	30,0	0,0	308,3	1,00E+30	50,9
1 ZA + Greening + Umverteilungsprämie 30	16,0	0,0	287,9	1,00E+30	30,5
1 ZA + Greening	62,6	0,0	257,4	30,5	208,4
1 ha Öko-Prämie (FAKT)	108,	0,0	230,0	49,0	208,4
1 ha Öko-Kontrollnachweis (FAKT)	10,0	0,0	60,0	1,00E+30	60,0

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 (vgl. 3.1.2 und 3.1.3)

Die höchsten reduzierten Kosten werden mit 863,9 €/ha vom Verfahren „1 ha Ackergras (Weidel)“ verursacht. 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 Pferdmistdüngung wird in diesem Szenario größtenteils durch die Rindermistdüngung verdrängt und so entfällt der Beitrag des Weidelgrasanbaus. Der Anbau hat zudem einen relativ hohen Anspruch an die Nährstoffe P2O5 und K2O. Diese Kapazitäten begrenzen die Produktion in Szenario 1 bereits stark.

Von der zweigeteilten innovativen Maßnahme „Klee-grastransfer“ weisen die Teilverfahren selbst relativ hohe zulässige Grenzen auf. 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 9.947 € sinken bis das Verfahren unrentabel würde. Bei der Ausbringung des hergestellten Komposts wäre eine Verringerung des Deckungsbeitrags des Verfahrens um bis zu 0,9 €/t möglich. Diese Änderung könnte beispielsweise durch eine Änderung der genutzten Maschinen oder Erhöhung der Lohnkosten erfolgen.

Das Verfahren „Pferdemist düngen“ wird in diesem Szenario nicht durchgeführt. Die reduzierten Kosten übersteigen den negativen Deckungsbeitrag. Die Erhöhung des Deckungsbeitrags um die reduzierten Kosten würde zu einem positiven Deckungsbeitrags des Verfahrens führen. Dies müsste bedeuten, dass der Betriebsleiter einen Erlös für die Abnahme des Pferdemists bekommt. Folglich kann die Lösung diesbezüglich als relativ stabil bewertet werden.

Der zweite, in Tabelle 10 wiedergegebene Teil des Sensitivitätsberichts enthält Informationen über die Schattenpreise der Restriktionen sowie über die Spannen in denen die Kapazitäten ceteris paribus schwanken dürfen, ohne dass sich die Lösungsumfänge der Verfahren ändern.

Tabelle 10: Szenario 2, Sensitivitätsanalyse, zweiter Teil

Name	Endgültig Endwert	Schatten Preis	Nebenbedingung Rechte Seite	Zulässig Erhöhen	Zulässig Verringern
Stickstoff N -	0,0	2,8	0,0	459,7	6,1
Phosphor P2O5 -	0,0	1,5	0,0	24,4	1838,8

Kalium K ₂ O -	0,0	-1,7	0,0	229,6	94,8
Ackerfläche verfügbar -	75,0	854,5	75,0	8,5	0,0
Ackerfläche genutzt -	0,0	614,2	0,0	14,1	0,0
Grünlandflächen verfügbar -	33,6	0,0	33,6	1,0E+30	0,0
Klee min. 20% -	-3,1	0,0	0,0	1,0E+30	3,1
Klee max. 33% -	-6,9	0,0	0,0	1,0E+30	6,9
Weizen max. 33% -	-25,0	0,0	0,0	1,0E+30	25,0
Dinkel max. 33% -	0,0	35,9	0,0	0,3	14,8
Körnermais max. 50% -	-29,5	0,0	0,0	1,0E+30	29,5
Triticale max. 33% -	0,0	0,0	0,0	1,0E+30	0,0
Roggen max. 33% -	0,0	0,0	0,0	1,0E+30	0,0
Hafer max. 25% -	-18,8	0,0	0,0	1,0E+30	18,8
Sonnenblumen max. 14% -	0,0	176,4	0,0	0,0	10,7
Erbsen max. 20% -	-14,4	0,0	0,0	1,0E+30	14,4
Leguminosen min. 25% -	0,0	267,6	0,0	0,5	0,0
Getreide max. 33% -	0,0	540,0	0,0	0,1	12,5
Zwischenfrucht max. -	-75,0	0,0	0,0	1,0E+30	75,0
Kleegrasmenge (FM) -	0,0	5,2	0,0	151,0	2,0
Kompostmenge (FM) -	0,0	0,9	0,0	1,6	60,0
Grünschnittmenge (FM) -	150,0	66,3	150,0	3,9	150,0
Pferdemistmenge -	0,0	0,0	300,0	1,0E+30	300,0
Heumenge -	-218,4	0,0	0,0	1,0E+30	218,4
Strohmenge -	-117,0	0,0	0,0	1,0E+30	117,0
Arbeitskapazität -	748,0	0,0	2640,0	1,0E+30	1892,0
ZA verfügbar -	108,6	208,4	108,6	0,0	10,8
Umverteilungspr. 1.-30. ha -	30,0	50,9	30,0	62,6	30,0
Umverteilungspr. 31.-46. ha -	16,0	30,5	16,0	62,6	16,0
Aktivierungsfläche der ZA -	0,0	49,0	0,0	10,8	0,0
FAKT Ökoprämie -	0,0	230,0	0,0	1,0E+30	108,6
FAKT Öko-Kontrollnachweis	-98,6	0,0	0,0	1,0E+30	98,6
Öko-Kontrollnachweis max. -	10,0	60,0	10,0	98,6	10,0
Humus C min. Saldo	-22401,8	0,0	0,0	1,0E+30	22401,8
Humus C max. Saldo	22458,3	0,0	22500,0	1,0E+30	41,7
Stickstoff max. aus Dünger	6976,9	0,0	12163,2	1,0E+30	5186,3

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 (vgl. 3.1.2 und 3.1.3)

Die Restriktionen „Ackerfläche verfügbar“ und „Ackerfläche genutzt“ besitzen die höchsten Schattenpreise. 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.

Der positive Schattenpreis der N- sowie der P_2O_5 -Begrenzung weist auf die Funktion als Untergrenze hin. Der negative Schattenpreis der K_2O -Begrenzung deutet auf einen tendenziellen Überschuss dieses Nährstoffs im optimalen Produktionsprogramm hin. Bei einer Lockerung der jeweiligen Grenze würde *ceteris paribus* also ein Produktionsprogramm ausgegeben, in dem jeweils mehr N und P_2O_5 und weniger K_2O beansprucht werden würde als jetzt. Dies würde gesamtbetrieblich jeweils zu einem negativen N und P_2O_5 -Saldo und einem positiven K_2O -Saldo führen. Unter Berücksichtigung der Bezugseinheit Kilogramm sind die Schattenpreise als eher hoch zu bewerten. Dies deutet auf einen relativ starken Einfluss dieser Begrenzungen. Stickstoff ist mit 2,8 €/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 459,7 kg N erhöht werden würde. Nach Parametrisierung würde bei einer Verfügbarkeit von 1.400 kg N kein Schattenpreis mehr ausgewiesen. Eine Änderung des erlaubten Stickstoffsaldos auf diesen Wert würde langfristig einen durchschnittlichen Stickstoffüberschuss von ca. 13 kg/ha darstellen. Analog können die Nährstoffe K₂O und P₂O₅ analysiert werden. Der innerbetriebliche Wert der Nährstoffe hat sich mit der Erweiterung der Rindermistdüngung stark gewandelt. Im Vergleich zum Basisszenario ist der Nährstoff K₂O nicht mehr knapp sondern im Überschuss vorhanden. Stickstoff hat sich hingegen zu einem knappen Nährstoff entwickelt. P₂O₅ ist wie in Szenario 1 als knapper Nährstoff im optimalen Produktionsprogramm zu bewerten. Weitere knappe Kapazitäten sind die Heumenge sowie naturgemäß die staatlichen Zahlungen.

4.3 Szenario 3 – Optimierung durch biozyklisch-vegane Zertifizierung

Für eine Zertifizierung nach den biozyklisch-vegane Richtlinien muss jede Verbindung zur Nutztierhaltung getrennt werden (BNS, 2019). Für Szenario 3 wurden, wie in Tabelle 11 ersichtlich, Änderungen der zur Auswahl gestellten Kulturen und Düngemaßnahmen vorgenommen.

Tabelle 11: 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	Klee gras, Kompost, Pferdemist, Carbokalk	Düngung	Klee gras, Kompost, Weidel gras, Grünland aufwuchs, Carbokalk, Kaliumsulfat
---------	--	---------	--

Quelle: Eigene Darstellung nach Angaben des Betriebsleiters (Heiß, 2019)

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 „Klee grastransfer“ 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.

Des Weiteren wird der Sonnenblumen-, Erbsen-, Hafer-, Körnermais- und Triticaleanbau 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 Körnermais anbaus 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, 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 Abnahme sind bei der

Nutzung als Düngemittel geringer. Im Folgenden so 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 zu Nährstoffgehalt sind nicht verfügbar. Deibert (1982) findet 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 Corg- 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 Pferdemit düngen“ würde den bereits in Szenario 1 festgestellten Kaliummangel verstärken. Als weitere Optimierungsmöglichkeit wird dem Produktionsprogramm deshalb der Zukauf des Zweinährstoffdüngers Kaliumsulfat 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 Mehrzahlungsbereitschaft für die im untersuchten Ackerbaubetrieb hergestellten Produkte sowie bei der explizit auf den Ausschluss tierischer Ausscheidungen als Düngung hingewiesen wurde, ist nicht erfolgt. Stattdessen wird auf die ermittelte Mehrzahlungsbereitschaft des Produkts Salat zurückgegriffen. Hier wurde auf die im Biolandbau standardmäßig durchgeführte Düngung mit dem tierischen Düngemittel Hornmehl hingewiesen (Kilian & Hamm, 2019). Die Wertsteigerung durch Unterlassung der Hornmehldüngung auf Salat wird also auf die Unterlassung der Düngung tierischer Exkreme und allgemeiner Trennung aller Verbindungen zur Nutztierhaltung 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, 2019a).

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 in Tabelle 12 dargestellt. 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 weniger des produzierten Klee gras aufwuchses gedüngt als verfügbar, sodass eine Restkapazität von 198 t entsteht. Die Kosten für den Ausgleich der Humus- und Nährstofflieferungen werden im folgenden Abschnitt analysiert. Der produzierte Grünland aufwuchs wird vollständig gedüngt. Die innovative Maßnahme „Komposteinsatz“ wird in vollem Umfang durchgeführt. Zusätzlich wird auf die Handelsdüngemittel Carbokalk sowie Kaliumsulfat zurückgegriffen.

Tabelle 12: 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 (vgl. 3.1.2 und 3.1.3)

Weitere Informationen über die reduzierten Kosten der nicht realisierten Verfahren weist der erste Teil des Sensitivitätsberichts, wie in Tabelle 13 dargestellt, aus.

Tabelle 13: 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 Acker gras (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 Weidel gras düngen	0,0	0,0	-2,1	65	2
1 t Grünland aufwuchs düngen	624,0	0,0	-2,1	2,3E+14	6
1 t Sonnenblumenpresskuchen	0,0	0,0	-1,6	354	5
1 kg Kaliumsulfat düngen	8103,8	0,0	-0,4	0	0
1 ZA + Greening + Umverteilungsprämie 50	30,0	0,0	308,3	1,0E+30	51
1 ZA + Greening + Umverteilungsprämie 30	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 (vgl. 3.1.2 und 3.1.3)

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, wie in Tabelle 14 dargestellt, aus.

Tabelle 14: Szenario 3, Sensitivitätsanalyse, zweiter Teil

Name	Endwert	Schattenpreis	Nebenbed. Rechte Seite	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. 33% -	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 (FM)	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-	-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 (0	-	0,0	0,0	1,0E+30	16087
Humus C max. Saldo (+300					
kg/ha) -	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 (vgl. 3.1.2 und 3.1.3)

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. Der Fruchtfolgeanteil wird in Prozent angegeben, sodass die Reduzierung des Mindestanbaus um ein Hundertstel eine Erhöhung des Gesamtdeckungsbeitrags um 1.646 € bedeuten würde. 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. Auch alle anderen Düngemittel außer Carbokalk und Kaliumsulfat sind mit den jeweiligen Produktionsverfahren verbunden und besitzen Schattenpreise. Von den Fruchtfolgerestriktionen wirken zudem die Begrenzungen des Dinkel-, Soja- sowie des Getreideanteils beschränkend. Die Nährstoffbilanzen wurden erneut als Gleichungen programmiert. Der negative Schattenpreis des Stickstoffs weist auf die Begrenzung nach unten. Eine Vernachlässigung der Stickstoffsalden würde folglich zu einem Stickstoffüberschuss führen. Die Nährstoffe P₂O₅ und K₂O sind dagegen knappe Ressourcen. Im Gegensatz zu den beiden vorangegangenen Szenarien besitzt P₂O₅ höchsten Schattenpreis. Wäre 1 kg P₂O₅ mehr verfügbar bzw. eine P₂O₅-Unterversorgung

in dieser Höhe erlaubt, würde der Gesamtdeckungsbeitrag um 2,5 € steigen. Dieser Preis gilt innerhalb einer weiten Spanne und ist damit als relativ stabil zu bewerten.

5 Diskussion

Der Wert eines Modells steht und fällt mit dem Wert der genutzten Daten. Die Daten, die in dieser Arbeit genutzt werden, sollen im Folgenden einer kritischen Bewertung unterzogen werden. Anschließend soll die Frage beantwortet werden, ob die innovativen Maßnahmen wirtschaftlich rentabel durchgeführt werden können, welche Auswirkungen ein direkter Vergleich mit einer zweckgleichen Standardmaßnahme hat und welche Optimierungsmöglichkeiten bestehen. Zu diesem Zweck werden die berechneten Ergebnisse der Szenarien mithilfe einschlägiger wissenschaftlicher Literatur interpretiert und Schlussfolgerung gezogen.

5.1 Aussagekraft des Modells

Die Daten stammen aus einer Vielzahl unterschiedlicher Quellen. Die Zusammenführung der Daten in ein Modell sowie die spezifischen Herausforderungen die jede Quelle mit sich bringt, führt zu Unsicherheiten bezüglich der Datengüte. Im Folgenden soll nur auf die relevantesten Unsicherheitsfaktoren eingegangen werden. Die Standortdaten, generelle Mechanisierung des Betriebs, Arbeitsvorgänge und Erträge der Innovation, Daten der Pferde-Mist-Kooperation, der Carbokalkdüngung sowie der Kompostherstellung basieren auf Angaben, die durch mehrere Betriebsleiterbefragungen erhoben wurden. Bei den Daten handelt es sich ausschließlich um Schätzungen bzw. Daten, die der Betriebsleiter mündlich und aus dem Gedächtnis wiedergegeben hat. Dadurch sind Fehleinschätzungen möglich. Des Weiteren wurden bei Mengenangaben stets die Mittelwerte der Jahre 2015-2018 gebildet und genutzt. Da es in diesen Jahren keine Extreme in den Daten gab, ist das Risiko einer Verzerrung durch Ausreißer hier auch bei kurzem Beobachtungszeitraum relativ gering, jedoch möglich. Die N- und P_2O_5 stammen aus dem Anhang der Stoffstrombilanzverordnung (2019). Die K_2O -Salden basieren auf Berechnungen, die mit dem Düngedarfsrechner der LEL Schwäbisch Gmünd (2019) durchgeführt wurden. Damit handelt es sich um eine statische Bilanzrechnung. Nährstoffdynamiken wie sie in der Realität vorkommen, können nicht abgebildet werden. Die Nachlieferung von Nährstoffen aus dem Bodenvorrat wird nicht berücksichtigt. Dies könnte teilweise eine Erklärung sein, dass der in Szenario 1 gefundene tendenzielle Kaliummangel laut Betriebsleiter nicht vorhanden ist (Heiß, 2019). Auch der forcierte Ausgleich der Nährstoffbilanzen bildet die komplexen Dynamiken nicht exakt ab. Mineralisierungsraten der zugeführten organischen Substanz sowie des Bodenvorrats unterliegen starken Schwankungen, deren exakte Berechnung wiederum Analysen und die Berücksichtigung relevanter Standortfaktoren nötig machen würde. Ebenso werden Einträge aus der Umwelt sowie Ausbringungs- und Lagerungsverluste nur teilweise berücksichtigt.

Bei der innovativen Maßnahme „Klee-grastransfer“ konnten mögliche Nährstoffverluste bei der Silageherstellung zudem nur ungenügend durch einen Substanzverlust bei der Silierung berücksichtigt werden. Nach Benke et al. (2017) unterscheiden sich die Stickstofftransferraten der Düngemittel jedoch. Durch die Düngung mit Frischmasse müsste im Vergleich zur Düngung mit Silage folglich ein höherer Transfer von Stickstoff berücksichtigt werden. Da der „Klee-grastransfer“ aus zwei unterschiedlichen Schnitten stammt, kommt eine weitere Unsicherheit bezüglich der tatsächlichen Nährstoffwerte hinzu. Eine Analyse des jeweiligen Schnittes sowie der ausbringfertigen Silage hätte die Korrektheit der Daten selbst als auch die Stimmigkeit der Daten untereinander verbessert. Ähnliche Unsicherheiten ergeben sich bei der Kompostherstellung. Die Analyseergebnisse der vergangenen Jahre wiesen starke Schwankungen der Nährstoffe N, P₂O₅ und K₂O auf. Eine weitere Unsicherheit ergibt sich bezüglich der Stickstofffixierung der Leguminosen. Die Fixierungsleistung wird als statischer Wert für das jeweilige Verfahren in kg N/t Ertrag ausgewiesen. Die tatsächliche Höhe wird jedoch von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Ausschlaggebend sind laut Spiegel et al. (Spiegel et al., 2014) vor allem der Bodenvorrat der Nährstoffe N, P₂O₅ und K₂O, die Verfügbarkeit von Rhizobien im Boden sowie die Witterung und damit einhergehende Entwicklung der Leguminosen. Beim Klee-grasanbau für die Transferdüngung werden zwei Schnitte gemulcht. Die damit einhergehende Minderung der Stickstofffixierungsleistung wird im Modell nicht berücksichtigt.

Die exakte Übereinstimmung des Nährstoffbedarfs mit der Nährstoffzufuhr durch die verfügbaren Düngemethoden ist schwierig. Die allgemein bekannte Inkongruenz zwischen Nährstoffzufuhr durch Stickstofffixierung und organische Düngung mit dem Nährstoffbedarf der Kulturen wird im anschließenden Kapitel im Rahmen der Bewertung der innovativen Maßnahmen näher betrachtet.

Ein großer Unsicherheitsfaktor birgt die Humusbilanzierung. Die VDLUFA-Methode wurde aufgrund der in Deutschland hohen Praxisrelevanz gewählt und bringt mehrere Herausforderungen mit sich. Daten waren nicht für alle Verfahren gegeben. Ein Teil der Humussalden musste ausgehend von verfügbaren Werten extrapoliert werden. Dies betrifft die Düngung mit Sonnenblumenpresskuchen sowie die Düngung mit Carbokalk. Für Letztere wurde in Anlehnung an die Ausführungen des VDLUFA zur Methode (Ebertseder et al., 2014) keine Humusreproduktionsleistung zugewiesen. Die verfügbaren Humussalden der VDLUF-Methode werden größtenteils unter Oberbegriffen zusammengefasst, sodass beispielsweise für alle Getreideanbauverfahren dieselben Humussalden berechnet wurden und diese sich nur aufgrund der teilweise unterschiedlichen Verhältnissen von Stroh zu Korn unterschieden. Standortfaktoren werden nur zum Teil berücksichtigt. Die Humussalden der verfügbaren Werte selbst

werden in der wissenschaftlichen Literatur nicht einheitlich definiert. Die Humusreproduktionsleistung der Stroh- und Grünmasse wird nach (Brock & Leithold, 2015) über- bzw. unterschätzt. Auf eine einzelne Bewertung jedes Verfahrens bezüglich des Humussaldos kann im Rahmen dieser Arbeit nicht eingegangen werden. In Studien die verschiedene Humusbilanzierungsmethoden miteinander vergleichen wird jedoch auf eine generelle Überbewertung der Humusreproduktionsleistung verwiesen (Brock et al., 2016). Damit wird eine tendenzielle Überschätzung der Humuszufuhr der gesamten Fruchtfolge bzw. des Betriebs wahrscheinlich. Die gleichzeitige Berücksichtigung der VDLUFA Versorgungsklassen führt dazu, dass möglicherweise eine ausreichende Versorgung klassifiziert wird, wo eigentlich ein Mangel besteht. Auch eine Überversorgung mit den zugehörigen Gefahren, die in der Realität nicht besteht, wird möglicherweise berechnet (Brock et al., 2016).

Ein weiterer Unsicherheitsfaktor betrifft die Vereinfachungen der Produktionsverfahren und der Restriktionen die im Zuge der Datenerhebung und Programmierung des Modells gemacht wurden. Die Anpassungen sind in Kapitel 3.3.1 und 3.3.2 einzeln aufgeführt. 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 (Kilian & 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 (Platzmann & Hamm, 2007) . Die Mehrzahlungsbereitschaft von 66,67% wurde außerdem auf alle Kulturen extrapoliert. Bei Ackerbaukulturen ist allerdings eine geringere Mehrzahlungsbereitschaft als bei Gemüsekulturen denkbar. Des Weiteren 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 Speiseerbseanbau 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 setzen sich zusammen aus jährlichem Mitgliedsbeitrag von min. 100 € im „Förderkreis biozyklisch-veganer Anbau e.v.“, Kosten der Kontrolle selbst sowie eventueller Beratung zusammen. Die Dauer der Kontrolle ist u.a. abhängig von verschiedenen Faktoren wie Dokumentationsaufwand, Entfernung zur Kontrollstelle und Größe des Betriebs (Bonzheim, 2019). Des Weiteren 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 sind zudem Teil der „IFOAM Family of Standards“ (2019) und es kann ebenfalls das Logo in Abbildung 2 genutzt werden.

Abbildung 1: Logo Biozyklisch-Veganer Anbau



Quelle: Förderkreis Biozyklisch-Veganer Anbau, 2019

Abbildung 2: Logo



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. 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 (vgl. Kapitel 2.3.2) 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 (Jörgensen, 2018) und die Verbesserung der Bodenstruktur (Müller et al., 2009).

Das berechnete Modell stellt zudem die Situation zum Zeitpunkt der Datenerhebung dar. Die landwirtschaftliche Produktion ist abhängig von der Rohstoffzufuhr und Abnahme der hergestellten Produkte. Dadurch sind die Voraussetzungen der Produktion ständigem Wandel unterworfen. Im untersuchten Betrieb wurde kurz vor Abgabe dieser Arbeit eine Futter-Mist-Kooperation mit einem benachbarten Milchviehhalter eingerichtet, wie sie in Szenario 2 als alternative Maßnahme berechnet wurde. Der Betriebsleiter merkt die schwankende Verfügbarkeit dieser Möglichkeit an. Bei einem Vergleich der innovativen Maßnahmen mit einer Alternative muss immer auch berücksichtigt werden, welche alternativen Möglichkeiten der Betrieb tatsächlich hat.

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

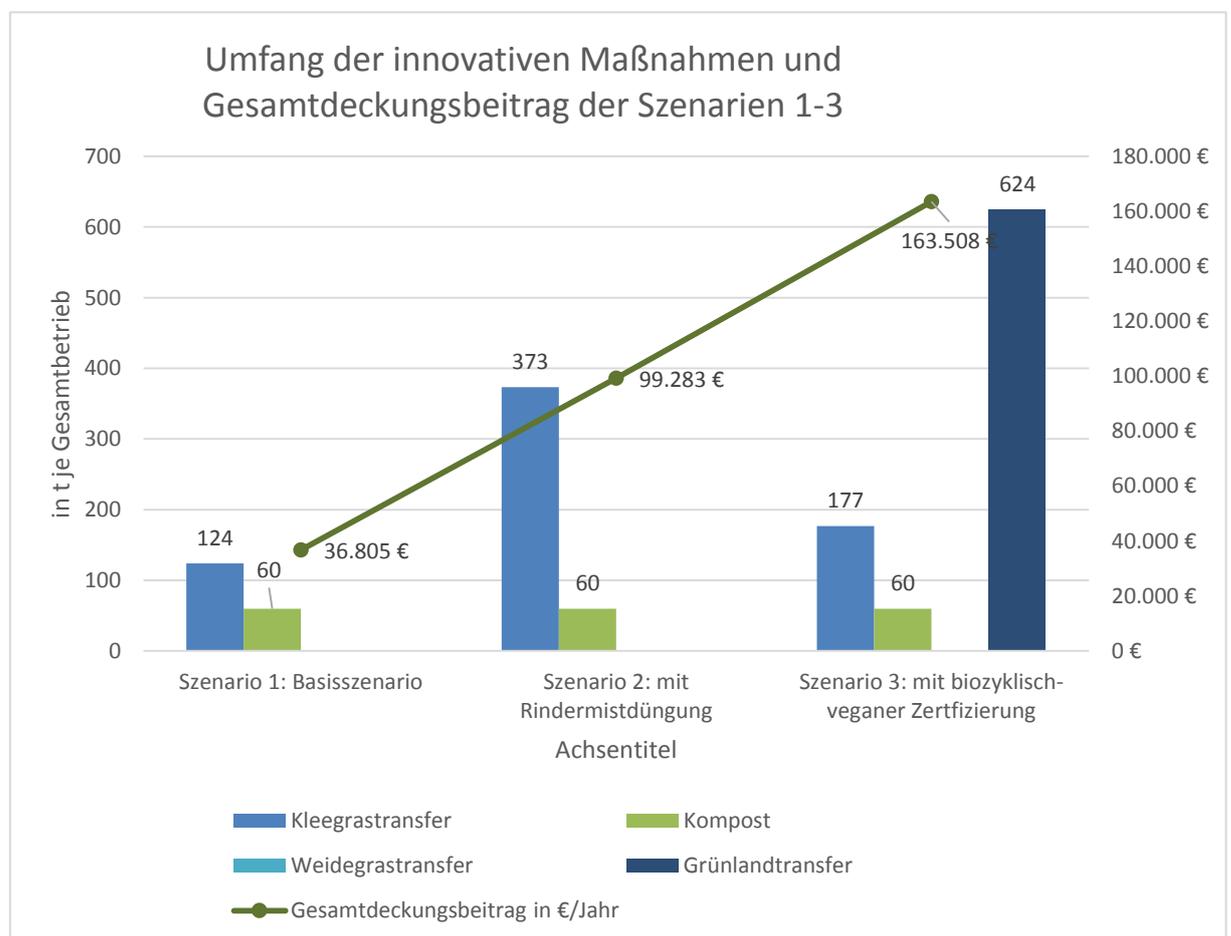
5.2 Bewertung und Optimierung der Rentabilität der innovativen Maßnahmen

Um die Rentabilität der Verfahren „Kleegrastransfer“ und „Komposteinsatz“ bewerten zu können, wird zunächst der Beitrag der beiden Maßnahmen am optimalen

Produktionsprogramm der drei 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 zudem 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 1 ist der Umfang der innovativen Maßnahmen der Szenarien 1-3 dargestellt.

Abbildung 3: Umfang der innovativen Maßnahmen und Deckungsbeiträge der Szenarien 1-3



Quelle: Eigene Darstellung auf der Basis der im Text genannten Quellen (vgl. 3.1.2 und 3.1.3)

Die innovativen Maßnahmen „Klee-grastransfer“ und „Komposteinsatz“ werden in allen Szenarien durchgeführt. Der Umfang der Maßnahme „Komposteinsatz“ wird jeweils von der maximal verfügbaren Grünschnittmenge begrenzt. Für die Maßnahme „Klee-grastransfer“ 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-gras 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 jemals 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 Düngeverfahren 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-gras-aufwuchses 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.

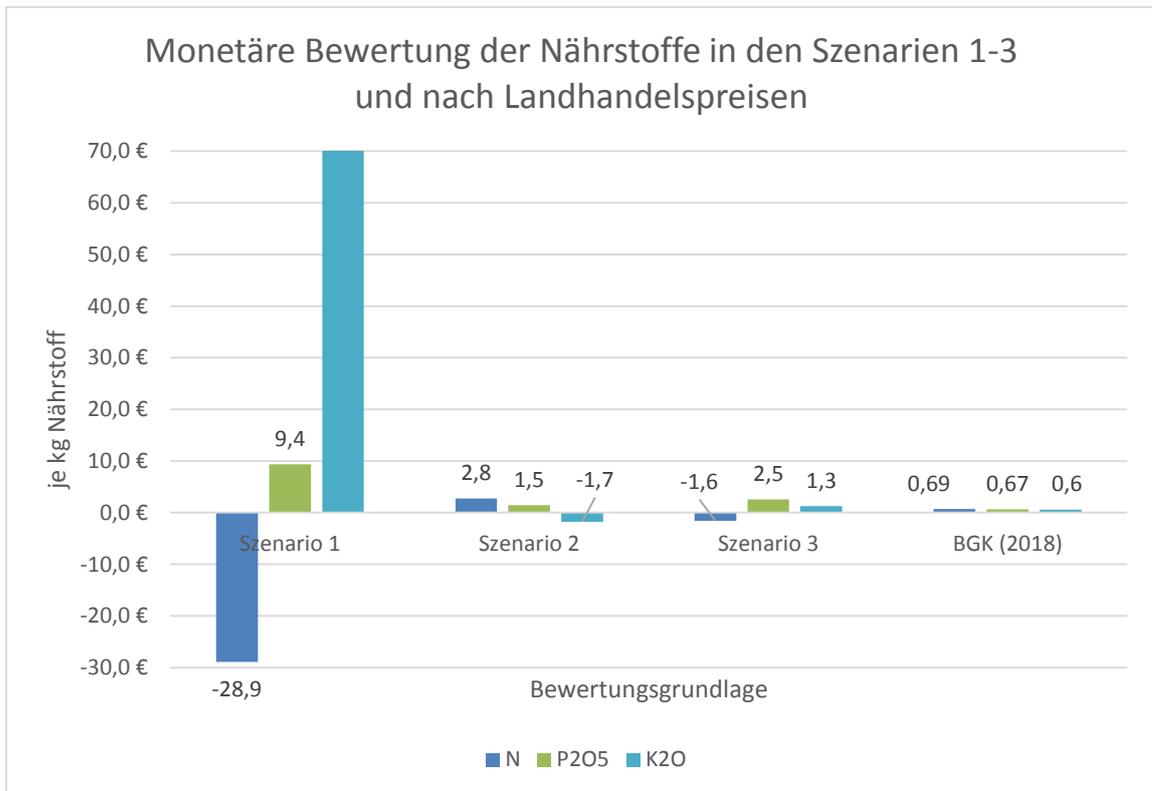
In Szenario 2 wird der Klee-gras-aufwuchs zum größten Teil durch die zur Auswahl gestellte Futter-Mist-Kooperation in Anspruch genommen. Der Tausch des Aufwuchses gegen Rindermist ist für den Betrieb wirtschaftlich vorzüglicher als die Ausbringung als Dünger. Im direkten Vergleich mit dieser zweckgleichen Standardmaßnahme unterliegt die innovative Maßnahme folglich. Dieses Ergebnis stimmt mit den Entwicklungen auf dem untersuchten Betrieb überein. Gegen Ende dieser Arbeit wurde vom Betriebsleiter eine Futter-Mist-Kooperation mit einem Milchviehbetrieb eingegangen. Die ökonomische Vorzüglichkeit der Standardmaßnahme wurde ebenfalls vom Betriebsleiter

angegeben (Heiß, 2019). Gegen Ende dieser Arbeit wurde eine solche Futter-Mist-Kooperation mit einem Milchviehbetrieb eingerichtet. Die Rentabilität ist jedoch stark von der Verfügbarkeit und Ausgestaltung dieser Möglichkeit abhängig. Eine größere Entfernung oder ein geringeres Tauschverhältnis können zu einer Umkehr dieser Vorzüglichkeit führen, wie sie im Betrieb zu Beginn dieser Arbeit vorherrschend war.

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 Kaliumsulfat naturgemäß verbessert.

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 1 dargestellt, zeigt die Entwicklungen im Überblick. Zusätzlich können die Werte in Bezug auf die monetär bewerteten Nährstoffersatzwerten 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 Erweiterung durch die Möglichkeit der Düngung mit Kaliumsulfat wird das Ungleichgewicht verringert. Die monetären Ersatzwerte auf der Basis der Landhandelspreise sind naturgemäß positiv und haben eine vergleichsweise geringe Höhe.

Abbildung 4: Monetäre Bewertung der Nährstoffe in den Szenarien 1-3 und nach Landhandelspreisen.



Quelle: Eigene Darstellung auf der Basis der im Text genannten Quellen (vgl. 3.1.2 und 3.1.3)

Bei Interpretation der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass mit dem Gesamtdeckungsbeitrag 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 Ackerbaubetrieb in Deutschland ist nicht verfügbar. Alternativ kann ein Vergleich der Fruchtfolge durchgeführt werden. Bei den jeweiligen Deckungsbeitrag 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 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 und 3 wird die gesamte Ackerfläche genutzt. Folglich kann die Überprüfung der Fruchtfolge, wie in Tabelle 15 dargestellt, Erkenntnisse über die Rentabilität und pflanzenbauliche Eignung der errechneten Produktionsprogramme bringen.

Tabelle 15: Fruchtfolge Szenario 2 und 3

Szenario 2			Szenario 3		
Kultur	in ha	Anteil an Fruchtfolge	Kultur	in ha	Anteil an Fruchtfolge
Kleegras	18,3	24,4%	Kleegras	15	20,0%
Dinkel	25	33,3%	Weizen	12,5	16,7%
Körnermais	8,5	11,3%	Dinkel	25	33,3%
Wintertriticale	12,5	16,7%	Roggen	7,5	10,0%
Sonnenblumen	10,7	14,3%	Soja	15	20,0%

Quelle: Eigene Berechnung auf der Basis der im Text genannten Quellen (vgl. 3.1.2 und 3.1.3)

Die fünfgliedrige Fruchtfolge in Szenario 2 beinhaltet 50% Getreide, 25,6% Hackfrüchte und 24,4% 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. Winterkulturen werden demnach auf 37,5 ha und Sommerkulturen auf 19,2 ha angebaut. Hinzu kommen 15 ha durch das überjährige Kleegras. Der Unkrautdruck kann durch den Wechsel von Winterung und Sommerung, den Wechsel von Getreide und Hackfrüchten und der Durchführung einer teilweisen Grünbrache im Kleegrasanbau 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 Kleegrasaussaat 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 Kleegrasschlägen 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 Kleegrasaufwuchses 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 die größte Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme. Die Preisobergrenze der Substrate hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. Sie sinkt konträr zu den zusätzlichen die Kosten durch Transport, Analyse, Arbeitsvorgänge der Kompostierung selbst und der anschließenden Ausbringung und steigt mit den erwarteten Humus- und Nährstoffersatzwerten im fertigen Kompost. 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 ausgelasteten 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.

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

6 Zusammenfassung und Ausblick

Viehlose und vieharme Ökobetriebe die aus Gründen der Wirtschaftlichkeit den Anbau von Klee gras minimieren, riskieren einen erhöhten Unkrautdruck, niedrigere Humus- und Stickstoffsalden und eine erhöhtes Krankheits- und Schädlingspotenzial aufgrund der meist engeren Fruchtfolge (Kahnt, 1983). Die aufgrund mangelnder Verwertungsmöglichkeiten gängige Mulchpraxis birgt das Risiko höherer direkter Stickstoffverlusten durch das Mulchmaterial in Form von NH_4^+ -Emissionen (Laber, 2007) und NO_2 -Auswaschung (Drey mann, Loges, & Taube, 2005). Ein durch die Mineralisierung des Aufwuchses höherer Nmin-Wert führt zudem zu einer Abnahme der gesamten Stickstofffixierung der gemulchten Leguminosen (Heuwinkel & Loges, 2004). Folglich kann dem Betrieb indirekt Leistung in Form von Stickstoff verloren gehen. Ohne tierischen Mist fehlt zudem die Möglichkeit der mobilen Düngung. Um den negativen Auswirkungen dieser Anpassungen zu begegnen, werden in der landwirtschaftlichen Praxis bereits unterschiedliche innovative Lösungsansätze durchgeführt. Die innovativen Maßnahmen „Klee grastransfer“ und „Komposteinsatz“ sind im Allgemeinen noch nicht definiert und die Auswirkungen wenig erforscht. Damit können auch die wirtschaftlichen Auswirkungen der Maßnahme noch nicht bewertet werden. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es die Verfahren auf ihre Wirtschaftlichkeit zu untersuchen. Hierfür wird auf die Vorgehensweise und die Rahmenbedingungen eines landwirtschaftlichen Betriebs zurückgegriffen, der die Maßnahmen durchführt und bereits im EIP-Projekt BRAVÖ begleitet wird. Die benötigten Daten stammen aus eigenen Betriebsleiterbefragungen, Datenerhebungen von Projektpartnern des Projekts BRAVÖ und einschlägiger wissenschaftlicher Literatur. Mithilfe einer Onlineanwendung des KTBL (2019) wurden Leistungs- und Kostenrechnungen der Maßnahmen und allen für die Modellierung notwendigen weiteren Produktionsverfahren erstellt. Anschließend wurde mittels linearer Programmierung die optimale Zusammenstellung der Produktionsverfahren in drei Szenarien errechnet.

Im Basisszenario wird der Betrieb möglichst wirklichkeitsgetreu dargestellt. Der geringe positive 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 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 Düngerverfahren 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 Kleeegrasmenge steht die Maßnahme zudem in direkter Konkurrenz zur innovativen Maßnahme „Kleegrastransfer“. In Bezug auf die Rentabilität zeigt sich eine Überlegenheit des Produktionssystems mit Rindermistdüngung. Der Gesamtdeckungsbeitrag steigt im Vergleich zum Szenario 1 um 170% und es werden 802 t Rindermist ausgebracht. Gleichzeitig steigt jedoch auch der Umfang der Kleeegrasdüngung, sodass eine Steigerung der Rentabilität des innovativen Verfahrens „Kleegrastransfer“ festzustellen ist. Durch die Möglichkeit der Rindermistdüngung wird die Kongruenz zwischen der Nährstoffzufuhr und des Nährstoffbedarfs 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 kann, im Vergleich zu Szenario 2, als wesentlich geringer bewertet werden.

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, 2019a) kongruent und eine mögliche Mehrzahlungsbereitschaft von Konsumenten aufgrund des Siegels kann dieses Potenzial ausschöpfen. Voraussetzung ist eine vollständige Trennung jeder Verbindung zur Nutztierhaltung, sodass die Anpassung mehrere Verfahren erfolgt ist. Für den Weidelgras- und Grünlandaufwuchs wurde analog zum innovativen Verfahren „Kleegrastransfer“ die Möglichkeit der Nutzung als Dünger zugefügt. Um die Bedarfsdeckung der Nährstoffe zu optimieren wurde die Düngerverfahren zudem um den Zweinährstoffdünger Kaliumsulfat erweitert. Der Gesamtdeckungsbeitrag steigt im Vergleich zum Szenario 1 um 344%. 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 „Kleegrastransfer“ wird durch die Variante mit Grünlandaufwuchs verdrängt. Diese Möglichkeit wird als Variante der innovativen Maßnahme begriffen, sodass eine Steigerung der Rentabilität des innovativen Verfahrens „Kleegrastransfer“ festzustellen ist. Durch die Erhöhung der Erlöse und die Erweiterung der Düngerverfahren konnte die Rentabilität in dieser Betrachtung gesteigert werden.

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 „Klee-grastransfer“ und „Komposteinsatz“ allein konnte in dieser Betrachtung nicht berechnet werden. Eine Erweiterung der Düngungsverfahren kann die Rentabilität erheblich steigern. Bei ceteris paribus ähnlichen Voraussetzungen können die innovativen Maßnahmen eine rentable Möglichkeiten 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.

Literaturverzeichnis

- Alpers, G. (2014). Düngen und Mulchen mit Grünmasse. *Bauernblatt*, 33–34.
- Amelung, W., Hippmann, G., Gauer, J., Scheffer, F., Blume, H.-P., Gaiser, T., ... Springer-Verlag GmbH. (2018). *Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde*. Abgerufen von <https://hoh.ibs-bw.de/aDISWeb/app;jsessionid=4202AAE7E6D1E6D341292F8286FF1AE7>
- BBodSchG. *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz-BBodSchG)*. , (1998).
- Benke, A. ., Rieps, A. ., Zikeli, S. ., & Möller, K. . (2017). Stickstoffdüngewirkung und Stickstofftransfereffizienz von Düngemitteln auf Basis von Kleeerasbiomasse im Gefäßversuch mit Weidelgras (*Lolium perenne*). *14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*. Abgerufen von <http://orgprints.org/31878/>
- BGK. (2017). *RAL-GZ 251 Prüfzeugnis PZ-Nr: 5084-150916-1*. Abgerufen von https://www.kompost.de/fileadmin/user_upload/Dateien/Guetesicherung/Dokumente_Kompost/Dok._251-010-1_MusterPUEZ.PDF
- BGK e.V. (2018). *Verzeichnis zulässiger Einsatzstoffe für die Herstellung gütegesicherter Komposte und Gärprodukte*. Abgerufen von www.bioland.de
- BGK e.V. (2019a). *Beitragsordnung 2019 der BGK*. Abgerufen von https://www.kompost.de/fileadmin/user_upload/Dateien/Ueber_uns/Dok._BGK-002-1-Beitragsordnung.pdf
- BGK e.V. (2019b). BGK-Statistik Verwertung von Bioabfällen. *H&K aktuell, Q1 2019*, S.5-6. Abgerufen von https://www.kompost.de/fileadmin/user_upload/Dateien/HUK-Dateien/2019/Q1_2019/Verwertung_von__Bioabfaellen_2019_HUK-Q1_2019.pdf
- Bioland e.V. (2016). Bioland: Mit Kleeeras und -silage düngen. Abgerufen 11. September 2019, von <https://www.bioland.de/infos-fuer-erzeuger/aktuelles/erzeuger-detail/article/mit-kleeeras-und-silage-duengen.html>
- Bioland e.V. (2019a). Bioland: Zahlen und Fakten. Abgerufen 4. Juli 2019, von <https://www.bioland.de/ueber-uns/zahlen-und-fakten.html>
- Bioland e.V. (2019b). *Bioland Richtlinien*. Abgerufen von https://www.bioland.de/fileadmin/dateien/HP_Dokumente/Richtlinien/Bioland_Richtlinien_18_Maerz_2019.pdf
- BNS, B. N. S. L. (2019a). *Biozyklisch-Vegane Richtlinien*. Abgerufen von https://biozyklisch-vegan.org/fileadmin/user_upload/Biozyklisch-Vegane_Richtlinien_1.03_rev_151_-_2019-06-03_-_dt.pdf
- BNS, B. N. S. L. (2019b). ENTSTEHUNG - O.M.E.N. BIOCYCLIC-VEGAN NETWORK. Abgerufen 30. August 2019, von <https://www.biocyclic-network.net/entstehung.html>
- Böhm, H., Engelke, T., Finze, J., Häusler, A., Pallutt, B., Verschwele, A., & Zwerger, P. (2003). Strategien zur Regulierung von Wurzelunkräutern im ökologischen Landbau-ein Verbundprojekt im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau. In *SH* (Bd. 255).

-
- Bonzheim, A. (2019). *Befragung*. Genthiner Straße 48 10785 Berlin.
- Brock, C., & Leithold, G. (2015). *Ergebnisse zur Anwendbarkeit der neuen VDLUFA-Methode für die Humusbilanzierung im ökologischen Landbau Einleitung und Zielsetzung*. Abgerufen von <http://orgprints.org/view/projects/int-conf-wita-2015.html>
- Brock, C., Möller, D., Dannehl, T., & Blumenstein, B. (2016). *Sicherung der Humusversorgung mit Grün-und Strohdüngung*. Abgerufen von www.orgprints.org/30763/
- Brozyna, M. A., Petersen, S. O., Chirinda, N., & Olesen, J. E. (2013). Effects of grass-clover management and cover crops on nitrogen cycling and nitrous oxide emissions in a stockless organic crop rotation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.013>
- Capriel, P. (2010). *Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft Schriftenreihe Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern*. Abgerufen von www.LfL.bayern.de
- Castell, A., Eckl, T., Schmidt, M., Beck, R., Heiles, E., Salzeder, G., & Urbatzka, P. (2016). *Fruchtfolgen im ökologischen Landbau Pflanzenbaulicher Systemvergleich in Viehhausen und Puch* (B. und R. Institut für Ökologischen Landbau, Hrsg.). Abgerufen von www.LfL.bayern.de
- Cato, M. P. C., & Froesch, H. (2009). *De agri cultura : Lateinisch/Deutsch = Über die Landwirtschaft*. Reclam.
- Deibert, E., & Lizotte, D. (1982). *Soil Applications of Sunflower Meal As Potential Fertilizer Sources*. Abgerufen von https://library.ndsu.edu/ir/bitstream/handle/10365/4665/farm_39_06_05.pdf?sequence=1
- Demeter e.V. (2018a). *Richtlinien Erzeugung und Verarbeitung Richtlinien für die Zertifizierung »Demeter« und »Biodynamisch«*. Abgerufen von https://www.demeter.de/sites/default/files/richtlinien/richtlinien_gesamt.pdf
- Demeter e.V. (2018b). *Wachsen mit Klasse - Jahresbericht 2018*. Abgerufen von www.demeter.de/artenvielfalt
- Diacono, M., & Montemurro, F. (2010). Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(2), 401–422. <https://doi.org/10.1051/agro/2009040>
- DirektZahlDurchfG. *Direktzahlungen-Durchführungsgesetz*. , (2014).
- Dreyman, S., Loges, R., & Taube, F. (2005). *Schnittgutabfuhr oder Gründüngung? Auswirkung der Klee gras-Nutzung auf Nitrat im Sickerwasser und Folgefrüchte*. Abgerufen von <http://orgprints.org/3700/>
- Ebertseder, Heyn, Hülsbergen, Isermann, Kolbe, Leithold, ... Zimmer. (2014). *Standpunkt Humusbilanzierung Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland*. Abgerufen von <http://www.vdlufa.de>
- Eisenbach, J. (2019). *Befragung*.

-
- FAO. (2006). *Plant nutrition for food security A guide for integrated nutrient management FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS*. Abgerufen von <http://www.fao.org/3/a-a0443e.pdf>
- Faust, S., Heinze, S., Ngosong, C., Sradnick, A., Oltmanns, M., Raupp, J., ... Joergensen, R. G. (2017). *Effect of biodynamic soil amendments on microbial communities in comparison with inorganic fertilization*. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.03.006>
- Förderkreis Biozyklisch-Veganer Anbau e.V. (2019). Gütesiegel - aus biozyklisch-veganem Anbau. Abgerufen 28. Oktober 2019, von <https://biozyklisch-vegan.org/1/guetesiegel>
- Freyer, B. (2003). *Fruchtfolgen Konventionell - Integriert - Biologisch*. Stuttgart-Hohenheim: Eugen Ulmer GmbH.
- Heiß, T. (2019). *Betriebsleiterbefragung*. Siegelbach 8, 74219 Möckmühl.
- Heuwinkel, H., & Loges, R. (2004). Mulchen oder Schnittnutzung von Klee gras - Auswirkung der Bewirtschaftung von Klee grasbeständen auf den N-Haushalt von Fruchtfolgen. In *Viehloser Ökoackerbau* (S. S.21-25). Berlin: Verlag Gr. Köster.
- Höflich, G., Liste, H.-H., & Köhn, S. (1996). *Interaktionen ausgewählter Mikroorganismen in der Rhizosphäre von Leguminosen und Mais*. Abgerufen von <https://www.researchgate.net/publication/269698457>
- Hübner, A. (2017). Presskuchen - Lein, Hanf, Walnuss, Mandel, Aprikosen, Sonnenblumen,... - Ölmühle 37° - Naturbelassene Speiseöle. Abgerufen 23. September 2019, von <http://oelmuehle37.de/produkt/presskuchen-tiernahrung/>
- IFOAM - Organics International e.V. (2019). The IFOAM OGS Logos | IFOAM. Abgerufen 28. Oktober 2019, von <https://www.ifoam.bio/en/ifoam-ogs-logos>
- Jörgensen, R. (2018). Nährstoffmanagement und Humuswirtschaft. In A. B. M. Wachendorf (Hrsg.), *Ökologische Landwirtschaft* (1. Aufl., S. S. 52–68). Abgerufen von <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&prodId=2234&hash=35fe55c3b3aa998e8a460ff7687a6239&token=35fe55c>
- Kahnt, G. (1983). *Gründüngung*. Abgerufen von <https://hoh.ibs-bw.de/aDISWeb/app;jsessionid=E3894F8DA94D1ABF230182347E799451>
- Khan, K. S., Mack, R., Castillo, X., Kaiser, M., & Joergensen, R. G. (2016). Microbial biomass, fungal and bacterial residues, and their relationships to the soil organic matter C/N/P/S ratios. *Geoderma*, 271, 115–123. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2016.02.019>
- Kilian, D., & Hamm, U. (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*. Abgerufen von http://orgprints.org/36148/1/Beitrag_221_final_a.pdf
- Köhler, B., & Kolbe, H. (2007). Nährstoffgehalte der Fruchtarten im Ökologischen Landbau. *Berichte aus dem Öko-Pflanzenbau. Schriftenreihe der Sächsischen*

-
- Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 9, 1–21.*
- Kolbe, H. (2008a). *Fruchtfolgegrundsätze im Ökologischen Landbau*. Abgerufen von <http://orgprints.org/15100/>
- Kolbe, H. (2008b). *Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie*. Abgerufen von <http://orgprints.org/15100/>
- Kolbe, H. (2010). *Phosphor und Kalium im ökologischen Landbau – aktuelle Probleme, Herausforderungen, Düngungsstrategien*. Abgerufen von http://orgprints.org/19354/1/P_K_Oeko10.pdf
- Kolbe, H. (2015). *Wie ist es um die Bodenfruchtbarkeit im Ökolandbau bestellt: Nährstoffversorgung und Humusstatus?* Abgerufen von http://orgprints.org/29539/1/Bodenfruchtbarkeit_Öko_BAD-VLK15.pdf#?
- Könemann, E. (1925). *Viehloser Ackerbau - natürliche Bodenbearbeitung. TAO - Monatsblätter für Verinnerlichung und Selbstgestaltung 11,1-20, Nachdruck.*
- Könemann, E. (1939). *Biologische Bodenkultur und Düngewirtschaft*. Abgerufen von <https://rds-hoh.ibs-bw.de/link?kid=1141036061>
- KTBL. (2019). *Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau*. Abgerufen 12. September 2019, von <https://daten.ktbl.de/dslkrpflanze/postHv.html;jsessionid=021C583AD3D2FC19F102FC8F3786359C>
- Laber, H. (2007). *N-Freisetzung aus Klee gras*. Abgerufen von <http://slub.qucosa.de/api/qucosa%3A265/attachment/ATT-0/>
- LEL Schwäbisch Gmünd. (2019). *Infodienst - LEL Schwäbisch Gmünd - Downloads*. Abgerufen 22. Oktober 2019, von http://www.lsl-bw.de/pb/Lde/Startseite/Service_+Downloads/Downloads
- Liebig, J. von. (1840). *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie* (1. Auflage). Abgerufen von http://www.deutschestextarchiv.de/book/show/liebig_agriculture_1840
- Martin, B. (2007). *Schubart Edler von dem Kleefelde, Johann Christian - Deutsche Biographie. Neue Deutsche Biographie 23*. Abgerufen von <https://www.deutschebiographie.de/pnd117646857.html#ndbcontent>
- Mbewe, E. C. (2015). *THE EFFICACY OF SUNFLOWER SEED CAKE AS AN ORGANIC FERTILIZER*. Abgerufen von <http://www.unulrt.is/static/fellows/document/mbewe2015.pdf>
- Merkel, A. (2019). *Klima Heilbronn: Wetter, Klimatabelle & Klimadiagramm für Heilbronn*. Abgerufen 21. Oktober 2019, von <https://de.climate-data.org/europa/deutschland/baden-wuerttemberg/heilbronn-381/>
- Müller, T., Sharif, R., Breuer, J., & Schulz, R. (2009). *Einfluss der Biokompostdüngung auf die Aggregatgrößenverteilung in einem Luvisol*. Abgerufen von <http://eprints.dbges.de/134/>
- Naturland e.V. (2019). *Naturland Richtlinien Erzeugung*. Abgerufen von https://www.naturland.de/images/Naturland/Richtlinien/Naturland-Richtlinien_Erzeugung.pdf

-
- OECD. (2005). *Oslo Manual: Proposed guidelines for collecting and interpreting technological innovation data*. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).
- Pläßmann, S., & Hamm, U. (2007). *Kaufbarriere Preis? – Analyse von Zahlungsbereitschaft und Kaufverhalten bei Öko-Lebensmitteln*. Abgerufen von http://orgprints.org/15745/1/15745-06OE119-uni_kassel-hamm-2009-kaufbarriere_preis.pdf
- Ruhe, I., Loges, R., & Taube, F. (2003). *Ökologischer Landbau der Zukunft*. Wien: Universität für Bodenkultur, Institut für Ökologischen Landbau.
- Rusch, H. P. (1968). *Bodenfruchtbarkeit: eine Studie biologischen Denkens; mit 29 Tabellen* (1. Aufl.). Abgerufen von [https://hoh.ibs-bw.de/aDISWeb/app;jsessionid=9BC571B223C6B1A0556F5959C4ED976F?service=direct/1/POOLM02PHOHPROD@_4B033400_37B4B180/\\$InternalLink\\$3.dir ectlink&sp=S%24%24GFBO_41&sp=SML01&requestCount=2](https://hoh.ibs-bw.de/aDISWeb/app;jsessionid=9BC571B223C6B1A0556F5959C4ED976F?service=direct/1/POOLM02PHOHPROD@_4B033400_37B4B180/$InternalLink$3.dir ectlink&sp=S%24%24GFBO_41&sp=SML01&requestCount=2)
- Rynk, R., van de Kamp, M., Willson, G., Singley, E., Richard, T., Kolega, J., ... Brinton, W. (1992). *On-Farm Composting Handbook*. Abgerufen von [https://campus.extension.org/pluginfile.php/48384/course/section/7167/NRAES FarmCompost manual 1992.pdf](https://campus.extension.org/pluginfile.php/48384/course/section/7167/NRAES_FarmCompost_manual_1992.pdf)
- Schmidt, H. (1997). *Viehlose Fruchtfolge im Ökologischen Landbau - Auswirkungen systemeigener und systemfremder Stickstoffquellen auf Prozesse im Boden und die Entwicklung der Feldfrüchte*. Abgerufen von <http://orgprints.org/3716/>
- Schmidt, H. (2004). *Viehloser Ackerbau im ökologischen Landbau Evaluierung des derzeitigen Erkenntnisstandes anhand von Betriebsbeispielen und Expertenbefragungen*. Abgerufen von <http://www.orgprints.org/5020>
- Schmidtke, K. (2018). Neue Strategien zur Verwertung von Klee gras als Düngemittel. *Bioland Wintertagung 2018 29. bis 30.01.2018*. Abgerufen von https://www.bioland.de/fileadmin/dateien/HP_Bilder/Landesverbaende/Hessen/Pre ssemittelungen_Nachrichten/Klee gras_als_Duengemittel_Schmidtke_komp.pdf
- Schmutz, U., & Foresi, L. (2017). *Vegan organic horticulture-standards, challenges, socio-economics and impact on global food security*. Abgerufen von www.veganorganic.net
- Schubart, J. C. (1784). *Geheimen Raths Schubart von Kleefeld gutgemeinter Zuruf an alle Bauern*. Abgerufen von <https://books.google.de/books?id=Em6AmG-QpBYC&pg=PA1&lpg=PA1&dq=Gutgemeinter+Zuruf+an+alle+Bauern,+die+Fut termangel+leiden,+besonders+an+die+Kursächsischen.+Nebst+einer+bewärten+A nleitung,+wie+sie+leicht+und+häufig+dazu+gelangen,+folglich+a>
- Schubert, S. (2017). *Pflanzenernährung*.
- Schulz, F. (2012). *Vergleich ökologischer Betriebssysteme mit und ohne Viehhaltung bei unterschiedlicher Intensität der Grundbodenbearbeitung: Effekte auf Flächenproduktivität, Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit*. Abgerufen von https://www.biozyklisch-vegan.de/wp-content/uploads/2017/11/2012_Schulz_Vergleich-ökologischer-Betriebssysteme-mit-und-ohne-Viehhaltung-bei-unterschiedlicher-Intensität-der-Grundbodenbearbeitung.pdf

-
- Schulz, F., Brock, C., & Leithold, G. (2013). Viehhaltung im Ökologischen Landbau - ja oder nein? Effekte auf Bodenfruchtbarkeit, N-Bilanzen und Erträge Einleitung und Zielsetzung. In *Ideal und Wirklichkeit - Perspektiven Ökologischer Landbewirtschaftung. Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*. Abgerufen von <http://www.uni-giessen.de/cms/fbz/fb09/institute/pflbz2/olb>
- Spiegel, A.-K., Gronle, A., Arncken, C., Bernhardt, T., Heß, J., Schmack, J., ... Wilbois, K.-P. (2014). *Leguminosen nutzen Naturverträgliche Anbaumethoden aus der Praxis ; [Praxishandbuch]*. Abgerufen von <http://orgprints.org/28482/>
- Sprenkel, C. (1839). *Die lehre vom dünger: oder Beschreibung aller bei der landwirthschaft ... - Carl Sprengel - Google Books*. Abgerufen von https://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=3Xk1AAAAMAAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=carl+sprenkel&ots=KvBKxn7RqI&sig=LKvzaDS3aguvH4LZVPSQIQ_SKm8#v=onepage&q=carl+sprenkel&f=false
- Stein-Bachinger, K., Bachinger J., Schmitt, L. (2004). *Nährstoffmanagement im Ökologischen Landbau* (KTBL-Schri). KTBL.
- Steiner, R. (1924). *Geisteswissenschaftliche Grundla-gen zum Gedeihen der Landwirtschaft (Landwirtschaftlicher Kurs)*. Abgerufen von <http://anthroposophie.byu.edu>
- Stinner, P. W. (2011). *Auswirkungen der Biogaserzeugung in einem ökologischen Marktfruchtbetrieb auf Ertragsbildung und Umweltparameter*. Köster.
- Stumm, C. (2012). *Kleegrasnutzung im viehlosen Acker- und Gemüsebau*. Abgerufen von https://www.oekolandbau.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/Forschung/Ergebnisse/nach_Jahren/2012/18_KG_Transfer_FF_2012.pdf
- Stumm, C. (2019). Mähen und düngen. *Lebendige Erde, 2/2019*. Abgerufen von <https://www.bio-austria.at/maehen-und-duengen/>
- Südzucker AG. (2019). Bezug und Ausbringung – BISZ. Abgerufen 22. Oktober 2019, von <https://bisz.suedzucker.de/duengung/carbokalk/bezug-und-ausbringung/>
- VwV FAKT. *Landesrecht BW GABl Nr. 2 | Seite 102-134 | Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz zum Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (VwV FAKT) | vom 24.02.2016.* , (2016).
- Weninger, L. (2019). Transfermulch: Der hofeigene Dünger für Bio-Ackerbauern - landwirt-media.com. Abgerufen 11. September 2019, von Landmedien Deutschland GmbH website: <https://www.landwirt-media.com/transfermulch-der-hofeigene-duenger-fuer-bio-ackerbauern/>
- Winistörfer, K. (2003). Biobäuerin der ersten Stunde Mina Hofstetters viehloser biologischer Landbau (1915–1950). *Berner Historischen Mitteilungen (BeHMi)*, (18), 63. Abgerufen von http://www.hist.unibe.ch/unibe/portal/fak_historisch/dga/hist/content/e11167/e383468/e383469/e383478/files383559/behmi_2000_ger.pdf

Anhang

Anhang 1: Berechnungen

Produktionsverfahren		Humusreproduktion					
Anbauverfahren	t FM/ha	Korn:Stroh Verhältnis ⁹	Abfuhr Hauptprodukt ¹	Verbleib auf Feld ¹	Humusreproduktion		
					Verfahren ohne Nebenprodukte ²	verbleibende Nebenprodukte ³	gesamtes Verfahren
			t/ha	t/ha	Humus-C in kg /ha	Humus-C in kg /t FM/Nebenprodukt	Humus-C in kg /ha
1 ha Kleegras, (70:30)	47,85	-	25,0	22,9	400	19	834
1 ha Weizen 14%RP, Korn	3,00	1,10	3,0	3,3	-520	37	-398
1 ha Dinkel (m. Spelz), Korn + Stroh	3,00	1,10	3,0	0,0	-520	37	-520
1 ha Körnermais 10% RP, Korn	2,60	0,80	2,6	2,1	-1.040	37	-963
1 ha Winterfruchtale, 12% RP, Korn	2,60	1,20	2,6	0,0	-520	37	-520
1 ha Roggen 11% RP, Korn	3,60	1,30	3,6	4,7	-520	37	-347
1 ha Hafer, 11% RP, Korn	2,12	1,10	2,1	2,3	-520	37	-434
1 ha Sonnenblumen, 20% RP, Korn	2,70	2,00	2,7	5,4	-520	37	-320
1 ha Erbsen 26% RP, Korn	1,31	1,00	1,3	1,3	160	71	160
1 ha Weidelgras Futter-Mist-Koop.	35,00	-	35,0	0,0	200	22	200
1 ha Zwischenfrucht	40,00	-	0,0	40,0	140	22	140
1 ha Grünland 65 dt TM, Futter-Mist-Koop.	18,57	-	18,6	0,0	400	22	400
1 ha Dinkel (m. Spelz), Korn	3,00	1,10	3,0	3,3	-520	37	-398
1 ha Weidelgras Transfer	35,00	-	18,2	16,8	200	22	570
1 ha Grünland, 65 dt TM, Transfer	18,57	-	18,6	0,0	400	22	400
1 ha Speisesoja bohnen	2,30	1	2,3	2,3	160	71	160
1 ha Kartoffeln (Knollen)	25,00	0,2	25,0	5,0	-1.040	71	-685
1 ha Braugerste,	2,96	1,1	3,0	0,0	-520	37	-520
Düngeverfahren							
1 t Kleegrasfrischmasse düngen	1	-	-	1,0	0	19	19
1 t Kompost, abzgl. Ausbringungsverluste	1	-	-	1,0	58	-	58
1 t Pferdemist, abzgl. Lager- & Ausbringungsverluste	1	-	-	1,0	34	-	34
1 t Rindermist, abzgl. Lager- & Ausbringungsverluste	1	-	-	1,0	34	-	34
1 t Carboalkal düngen ⁷				1,0			
1 t Sonnenblumenpresskuchen ⁶	1	-	-	1,0	24,32	-	24,32

Nährstoffsalden		Zufuhr				Saldo gesamtes Verfahren			
Abfuhr		Stickstoff- fixierung	Düngung						
N ⁴	P2O5 ⁴	K2O ⁵	N ⁴	N ⁴	P2O5 ⁴	K2O ⁵	N	P2O5	K2O
kg/t	kg/t	kg/t	kg/t	kg/t	kg/t	kg/t	kg/ha	kg/ha	kg/ha
5,8	1,4	6,2	3,5				22,48	-35,00	-155,00
21,1	8	6	0				-63,30	-24,00	-18,00
21	11	25	0				-63,00	-33,00	-75,00
13,8	8	5	0				-35,88	-20,80	-13,00
16,5	8	6	0				-42,90	-20,80	-15,60
15,1	8	6	0				-54,36	-28,80	-21,60
15,1	8	6	0				-32,01	-16,96	-12,72
29,1	16	24	0				-78,57	-43,20	-64,80
36	11	14	44				10,44	-14,36	-18,27
4,8	1,6	6,5	0				-168,00	-56,00	-227,50
0	0	0	0				0,00	0,00	0,00
6,65	2,8	9,45	0				-123,50	-52,00	-175,50
16	8	8	0				-48,00	-24,00	-24,00
4,8	1,6	6,5	0				-87,36	-29,12	-118,30
6,65	2,8	9,45	0				-123,50	-52,00	-175,50
44	15	19,36	53				20,70	-34,50	-44,53
3,5	1,4	6	0				-87,50	-35,00	-150,00
13,8	8	6	0				-40,85	-23,68	-17,76
							kg/t	kg/t	kg/t
							5,80	1,40	6,20
							4,61	1,94	7,53
							4,55	3,80	12,60
							5,57	4,00	11,00
							3,5	14	0
							36,00	21,54	7,71
							36,00	21,54	7,71

Futter-Mist-Kooperation mit Pferdehalter ¹			
	Abgabe in t		Erhalt in t
	Heu	Stroh	Mist
Menge in t	135	66	300
Menge in t	0,5	0,2	1,0

Futter-Mist-Kooperation mit Milchviehbetrieb ¹			
	Abgabe in t		Erhalt in t
	Kleegras		Mist
Menge in t	25,0		247,9
Menge in t	0,1		1,0

Sonnenblumenpresskuchen ^{2 & 6}				
Häq - Berechnung auf Grundlage der "Grunddaten zur Ableitung der Humusreproduktionsleistung"				
	in t	Corg in t	kg Humus-C / t Corg	kg Humus-C / t SPK
Sonnenblumenpresskuchen (SPK)	1	0,64	38	24,32

Quelle: eigene Berechnungen nach

1 Heiß 2019

2 VDLUFA 2014

3 Brock et al. 2016

4 StoffBilV 2019

5 LEL Schwäbisch Gmünd 2019

6 Mbewe 2015

7 Südzucker AG 2019

8 BGK 2019

9 Köhler & Kolbe 2007

10 Arp et al. 2010

11 Hübner 2017

Anhang 2: Leistungs- und Kostenrechnung der innovativen Maßnahmen
 „Klee-grastransfer“ und „Komposteinsatz“

Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau

Kleegras überjährlig für Transfer, Gründüngung, ökologisch, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, mittlerer Boden, 120-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 2 km

Leistungen und Kosten ¹

Leistungs-/Kostenart	Menge	Preis	Betrag
Kleegrasaufwuchs ²	47,85 t/ha		0,00 €/ha
davon abgefahren ²	25,00 t/ha		
Summe Leistung			0,00 €/ha
Klee-Gras-Gemenge, Z-Saatgut, ökologisch	40,00 kg/ha	6,61 €/kg	264,40 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	66,10 €/ha	0,03 €/€	1,98 €/ha
Summe Direktkosten			266,38 €/ha
Direktkostenfreie Leistung			-266,38 €/ha
Variable Maschinenkosten			74,30 €/ha
Variable Lohnkosten	0,00 AKh/ha	13,00 €/Akh	0,00 €/ha
Dienstleistungen			0,00 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	18,57 €/ha	0,03 €/€	0,56 €/ha
Summe variable Kosten			341,24 €/ha
Deckungsbeitrag			-341,24 €/ha
Fixe Maschinenkosten			68,46 €/ha
Fixe Lohnkosten	3,42 AKh/ha	20,00 €/Akh	68,40 €/ha
Summe Direkt- und Arbeiterledigungskosten			478,10 €/ha
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung			-478,10 €/ha
Arbeiterledigungskosten			211,72 €/ha

Quellen:

1 KTBL, 2019 in Anlehnung an Verfahrensbeschreibung von Heiß, 2019

2 Heiß, 2019

Kleegrassilage Herstellung & Ausbringung auf 1 ha
Kultur

Leistungen und Kosten ¹

Leistungs-/Kostenart	Menge	Preis	Betrag
Kleegrasfrischmasse ²	12,50 t/ha		0,00 €/ha
produzierte Kleegrassilage	11,25 t/ha		0,00 €/ha
Summe Leistung			0,00 €/ha
Kleegrassilage			0,00 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	0,00 €/ha	0,00 €/€	0,00 €/ha
Summe Direktkosten			0,00 €/ha
Direktkostenfreie Leistung			0,00 €/ha
Variable Maschinenkosten			29,14 €/ha
Variable Lohnkosten	0,00 AKh/ha	13,00 €/Akh	0,00 €/ha
Dienstleistungen			0,00 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	7,29 €/ha	0,03 €/€	0,22 €/ha
Summe variable Kosten			29,36 €/ha
Deckungsbeitrag			-29,36 €/ha
Fixe Maschinenkosten			61,72 €/ha
Fixe Lohnkosten	1,76 AKh/ha	20,00 €/Akh	35,20 €/ha
Summe Direkt- und Arbeits erledigungskosten			126,28 €/ha
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung			-126,28 €/ha
Arbeits erledigungskosten			126,28 €/ha

Quellen:

1 KTBL, 2019 in Anlehnung an Verfahrensbeschreibung von
Heiß, 2019

2 Heiß, 2019

Kleegrasfrischmasse Ausbringung auf 1 ha Kultur

Leistungen und Kosten ¹

Leistungs-/Kostenart	Menge	Preis	Betrag
Kleegras ²	12,50 t/ha		€/h a
Summe Leistung			0,00 €/h a
Kleegrasfrischmasse	kg/ha	€/kg	0,00 €/h a
Zinskosten (3 Monate)	€/ha	€/€	0,00 €/h a
Summe Direktkosten			0,00 €/h a
Direktkostenfreie Leistung			0,00 €/h a
Variable Maschinenkosten			23,59 €/h a
Variable Lohnkosten	0,00 AKh/ha	13,0 €/Ak 0 h	0,00 €/h a
Dienstleistungen			0,00 €/h a
Zinskosten (3 Monate)	5,90 €/ha	0,03 €/€	0,18 €/h a
Summe variable Kosten			23,76 €/h a
Deckungsbeitrag			- €/h 23,76 a
Fixe Maschinenkosten			48,81 €/h a
Fixe Lohnkosten	1,08 AKh/ha	20,0 €/Ak 0 h	21,60 €/h a
Summe Direkt- und Arbeiterledigungskosten			94,17 €/h a
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung			- €/h 94,17 a
Arbeiterledigungskosten			94,17 €/h a

Quellen:

1 KTBL, 2019 in Anlehnung an Verfahrensbeschreibung von Heiß, 2019

2 Heiß, 2019

Kompostherstellung von 60 t Kompost / Jahr

Leistungen und Kosten ¹

Leistungs-/Kostenart	Menge	Preis	Betrag
Grünschnittabnahme bei Gemeinde ²			12.000,00 €/Jahr
+ Getreideputz, eigen			0,00 €/Jahr
= Kompost	60,00 t/Jahr		0,00 €/Jahr
Summe Leistung			12.000,00 €/Jahr
Zinskosten (3 Monate)	€/ha	0,03 €/€	0,00 €/Jahr
Summe Direktkosten			0,00 €/Jahr
Direktkostenfreie Leistung			12.000,00 €/Jahr
Variable Maschinenkosten			283,47 €/Jahr
Variable Lohnkosten	0,00 AKh/ha	13,00 €/Akh	0,00 €/Jahr
Dienstleistungen			0,00 €/Jahr
Zinskosten (3 Monate)	70,87 €/ha	0,03 €/€	2,13 €/Jahr
Summe variable Kosten			285,59 €/Jahr
Deckungsbeitrag			11.714,41 €/Jahr
Analyse ²			460,00 €/Jahr
Fixe Maschinenkosten			449,12 €/Jahr
Fixe Lohnkosten	68,56 AKh/ha	20,00 €/Akh	1.371,20 €/Jahr
Summe Direkt- und Arbeits erledigungskosten			2.105,91 €/Jahr
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung			9.894,09 €/Jahr
Arbeits erledigungskosten			2.105,91 €/Jahr

Quellen:

1 KTBL, 2019 in Anlehnung an Verfahrensbeschreibung von
Heiß, 2019

2 Heiß, 2019

Eidesstattliche Erklärung*

Hiermit erkläre ich,

Name, Vorname: Francksen, Sabrina

Matrikelnummer: 525378

dass ich bei der vorliegenden Master-Arbeit die Regeln guter wissenschaftlicher Praxis eingehalten habe. Ich habe diese Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen als solche kenntlich gemacht.

Betreuende Dozenten

Erstprüfer: Prof. Dr. Christian Lippert

Zweitprüferin: Dr. Sabine Zikeli

Thema der Arbeit: Rentabilitätsanalyse zweier innovativer Maßnahmen zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit im viehlosen ökologischen Landbau

Semester: WS 2019/2020

Ich erkläre weiterhin, dass das unverschlüsselte digitale Textdokument der Arbeit übermittelt wurde, das in Inhalt und Wortlaut ausnahmslos der gedruckten Ausfertigung entspricht. Ich bin damit einverstanden, dass diese elektronische Form anhand einer Analyse-Software auf Plagiate überprüft wird.

Ort, Datum, Unterschrift

Stuttgart-Hohenheim, den 28.10.2019

* Diese Erklärung ist der eigenständig erstellten Arbeit als Anhang beizufügen. Arbeiten ohne diese Erklärung werden nicht angenommen.

Danksagung

Ich möchte mich ganz herzlich bei Frau Dr. Barbara Engler für die Einarbeitung in das Thema und die Hilfestellung bei der Datenerhebung bedanken. Ein herzliches Dankeschön gilt auch Frau Dr. agr. Sabine Zikeli und Herr Prof. Dr. Christian Lippert für die Überlassung des Themas und die hilfreichen Hinweise bei der Erstellung der Arbeit. Dem Betriebsleiter des untersuchten Betriebs danke ich für seine Zeit und den freundlichen und hilfsbereiten Kontakt. Ich danke außerdem meinen Eltern, die mich während meines langen Studiums ideell und finanziell unterstützt haben. Der größte Dank gilt meinem Mann und meinen Kindern. Vielen Dank für Euren motivierenden Beistand während meines gesamten Studiums und der Erstellung der Masterarbeit.