



Fachbereich Landschaftsnutzung
und Naturschutz

Studiengang Ökolandbau und Vermarktung

Alternative Nutzungsformen von Klee gras im viehlosen Ökobetrieb

**Nährstoffbilanzen der organischen Düngung im bio-veganen Landbau
am Beispiel des Biohofs Hausmann**

Vorgelegt von:

Daniel Hausmann

12208075

1. Gutachter: Prof. Dr. Hans-Peter Piorr
2. Gutachterin: Dipl.-Ing. Ariane Krause

Eberswalde, den 28. 12. 2015

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen beiden Betreuern ganz herzlich für ihre Unterstützung danken, Herrn Prof. Dr. Hans-Peter Piorr für die fachliche Seite und Frau Dipl.-Ing. Ariane Krause vor allem für die Hilfe bei der Herangehensweise und den wertvollen Hinweisen. Beide haben sich stets Zeit für meine Fragen genommen und mir wertvolle Tipps zur Erstellung meiner Abschlussarbeit gegeben.

Besonderen Dank gelten auch Bernard Michel und Franziska Scharf für die gemeinsamen Stunden im PC-Raum, den moralischen Beistand und die Lösungen der ständigen kleinen Probleme.

Heike Gleibs, Julia Pallmann und Philipp Bleifuß möchte ich ganz herzlich für die Zeit und Mühen, die sie für die Korrektur meiner Arbeit aufgewendet haben, danken.

Inhalt

Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung.....	1
2 Theoretischer Hintergrund.....	4
2.1 Klee gras allgemein.....	4
2.2 Kompostieren	5
2.3 Biogas	6
2.4 Cut and Carry	8
2.5 Milchviehwirtschaft	8
2.6 Mulchen	9
3 Material und Methoden	10
3.1 Untersuchungsregion, Hof und Boden.....	10
3.2 Untersuchungsgegenstand.....	10
3.3 Ertrag und N-Fixierung.....	12
3.4 Nährstoffbilanzierung	13
3.5 Beschreibung der betrachteten Verfahren.....	18
3.5.1 Kompostieren	18
3.5.2 Biogas.....	18
3.5.3 Cut and Carry	19
3.5.4 Milchviehhaltung	19
3.5.5 Mulchen.....	19
4 Ergebnisse und Diskussion	20
4.1 Ertrag und N-Fixierung.....	20
4.1.1 Ertrag.....	20
4.1.2 N-Fixierung	20

4.2 Nährstoffbilanzierung - Allgemeine Teilergebnisse	22
4.3 Nährstoffbilanzierung - Verfahrensspezifische Teilergebnisse	24
4.3.1 Schnittnutzung allgemein	24
4.3.2 Kompostieren:	28
4.3.3 Biogas	31
4.3.4 Cut and Carry	35
4.3.5 Viehhaltung	38
4.3.6 Mulchen.....	41
4.4 Vergleich der Nutzungssysteme	49
5 Schlussfolgerungen.....	54
6 Ausblick.....	55
7 Zusammenfassung	56
8 Literaturverzeichnis	57
9 Selbständigkeitserklärung.....	VII

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Stickstoffmenge im Kleegrassaatgut	22
Tabelle 2: Stickstoffzufuhr - Kompostierung	29
Tabelle 3: Stickstoffabfuhr - Kompostierung	30
Tabelle 4: Stickstoffzufuhr - Biogas.....	33
Tabelle 5: Stickstoffabfuhr - Biogas.....	34
Tabelle 6: Stickstoffzufuhr - Cut and Carry	36
Tabelle 7: Stickstoffabfuhr - Cut and Carry	37
Tabelle 8: Stickstoffzufuhr - Viehhaltung	39
Tabelle 9: Stickstoffabfuhr - Viehhaltung	40
Tabelle 10: Stickstoffzufuhr - Mulchen.....	45
Tabelle 11: Stickstoffabfuhr - Mulchen.....	48
Tabelle 12: Vergleich der Verfahren	49
Tabelle 13: Vereinfachte Stickstoffbilanz der Zielfruchtfolge	52

Abkürzungsverzeichnis

EWR	Ernte- und Wurzelrückstände
FM	Frischmasse
KTBL	Kuatorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
N_{\min}	mineralisierter Stickstoff
o.A.	ohne Angabe
SLUG	Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
TM	Trockenmasse
VEBU	Vegetarierbund Deutschland e. V.

1 Einleitung

Weltweit steigt die Zahl der sich vegan ernährenden Menschen immer weiter an. Im Jahr 2015 ernähren sich laut dem Vegetarierbund allein in Deutschland ca. 900.000 Männer, Frauen und Kinder ohne tierische Produkte (VEBU 2015a). Diese Tatsache und meine persönliche Beobachtung, dass das Angebot an verschiedenen verarbeiteten veganen Produkten in (Bio-)Supermärkten stetig zunimmt, sind Indizien für die wachsende Nachfrage nach bio-vegan erzeugten Lebensmitteln. Bei der kritischen Betrachtung des gesamten Herstellungsprozesses für vegane Lebensmittelprodukte kann festgestellt werden, dass es für deren Produktion in Deutschland keine festgelegten Regeln gibt, wie sie beispielsweise das Vegan Organic Network in Großbritannien vorgibt. Dabei wird eine völlige Entkopplung der landwirtschaftlichen Produktion von der Nutzung tierischer Produkte angestrebt (THE VEGAN ORGANIC NETWORK 2007).

BONZHEIM (2014, S.20) grenzt den bio-veganen Landbau vom so genannten „viehlosen Ackerbau“ ab, indem dieser sich im Wesentlichen durch die [ethische] Motivation charakterisiert, aus der sich der/die Landwirt_in bewusst gegen die „Nutz“-Tierhaltung entscheidet.

Der „viehlose Ökoackerbau“ ist derzeit weit verbreitet. SCHMIDT (2004, S. 3) definiert ihn als landwirtschaftliche Betriebe ohne nennenswerte Viehhaltung mit weniger als 0,2 Großvieheinheiten pro Hektar. Weiterhin findet keine nennenswerte Kooperation mit viehhaltenden Betrieben statt. Laut SCHULZ (2013, S. 20) liegt der Anteil des viehlosen Ökoackerbaus bei 25 %. Dabei kommt zu einer zunehmenden Spezialisierung, zum Beispiel auf den Marktfruchtbau. [Im Unterschied zum bio-veganen Landbau] geschieht diese aber hauptsächlich aus ökonomischen Gründen heraus (SCHMIDT 2004 S. 6).

Im Intensivanbau, wie beispielsweise beim Gemüseanbau, kommt es meist zum Einsatz von organischen Handelsdüngern (MÖLLER & SCHULTHEIß 2014 S. 7). Gerade Kulturen, die in einem kurzen Wachstumszyklus gedeihen, sind auf schnell verfügbaren Stickstoff angewiesen (MÖLLER & SCHULTHEIß 2014, S. 31). Dies ist am ehesten mit Handelsdüngern tierischer Herkunft, Gärresten oder Vinasse zu erreichen (vgl. KELDERER et al. 2008, S. 102 f.).

Schwierigkeiten im viehlosen Ökoackerbau bestehen also darin, die benötigten Mengen an mobil einsetzbaren organischen Düngern bereitzustellen, mit denen die entsprechenden Kulturen gezielt gefördert werden können (MÖLLER 2004, S. 32).

Deswegen gibt es aktuell kaum Betriebe, die konsequent Rohstoffe für bio-vegane Lebensmittelprodukte auch vegan, im Sinne der Definition von BONZHEIM (2014), produzieren. Der VEBU führt eine online verfügbare Liste bio-vegan wirtschaftender Betriebe und beziffert diese im Jahr 2015 auf 16 Höfe im deutschsprachigen Raum (VEBU, 2015b).

SCHMIDT (2004, S. 8) hatte in einer Umfrage unter 45 Berater_innen, die unter anderem ca. 1400 viehlos ökologisch wirtschaftende Höfe betreuen, hatte die Pflanzenernährung und den Unkrautdruck als die beiden Hauptprobleme in der viehlosen Wirtschaftsweise identifiziert. Forschungsbedarf besteht laut den Beratern vor allem in den Themenfeldern Beikräuter und Nährstoff & Düngung (SCHMIDT 2004, S. 11).

Alle genannten Themenfelder werden maßgeblich durch den Anbau von Klee gras bestimmt, indem es Stickstoff aus der Luft fixiert und Unkraut unterdrückt (FREYER 2003, S. 101).

Dieser fixierte Stickstoff muss durch geschicktes Nährstoffmanagement mit möglichst geringen Verlusten durch die ganze Fruchtfolge gebracht werden (VOGT-KNAUTE 2003, S. 19). Dazu benötigt es spezielle Lösungsansätze, den Aufwuchs des Klee grasses zu verwerten (SCHMIDT 2004, S. 192). Daraus ergeben sich folgende Problemstellungen:

- (1) Ein Vergleich dieser Klee grasnutzung bezogen auf Mulchen, Kompostieren, die Verwendung des Aufschnitts als Substrat in Biogasanlagen und das so genannte Cut & Carry in Hinsicht auf ihre Stickstoffeffizienz hat noch nicht stattgefunden.
- (2) Derzeit besteht keine Handlungsempfehlung, wie der Aufwuchs am besten zu verwenden ist.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, bereits bestehende Forschungen zur Klee grasnutzung, insbesondere bezogen auf die oben genannten Verwendungen zusammenzufassen, und einen Überblick über verschiedene Alternativen der Klee grasverwertung im viehlosen Öko landbau zu geben. Sie soll sich exemplarisch am Beispiel des Biohof Hausmann in Sachsen orientieren, den derzeitigen Stand des Wissens widerspiegeln und als Handlungsempfehlung für die Praxis dienen.

Als Grundlage des Vergleichs wird zuerst die Stickstofffixierleistung der jeweiligen Varianten bestimmt. Auf dieser Grundlage wird eine Nährstoffbilanz erstellt.

Danach werden die genannten Verfahren mit dem gängigen Verfahren der Milchviehwirtschaft (d.h. Nutzung des Kleegrases als Futtermittel und Nutzung des Tierdungs als Düngemittel) verglichen. Daraus kann die Handlungsempfehlung mit entsprechender Fruchtfolge abgeleitet werden.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Klee gras allgemein

Im biologischen Landbau ist der Klee grasanbau ein relevantes Standbein zur langfristigen Ertragssicherung (FREYER 2003, S. 101). In der Praxis werden meist verschiedene Klee-/luzernegrasmischungen verwendet. Der Anteil der Mischungspartner kann im Laufe des Jahres in Abhängigkeit von Witterung und Bewirtschaftungsform variieren (STEIN-BACHINGER et al. 2004, S. 107). Der Anbau dieser Mischungen bietet deutliche Vorteile gegenüber der Nutzung von Leguminosen als Reinsaat: Größere Ertragssicherheit durch den Ausgleich von Witterungsschwankungen und bessere Durchwurzelung durch die Inanspruchnahme verschiedener Horizonte der flach- und tiefwurzelnden Arten (MUNZERT & FRAHM, 2006, S. 741). Weiterhin können folgende Vorteile festgestellt werden:

- Stickstofffixierung durch die Symbiose mit Rhizobien
- Humusreproduktion durch Bodenruhe und eine hohe Produktion von Biomasse
- Beikrautreduzierung durch mehrmaligen Schnitt und Beschattung
- Biodiversität ober- und unterirdisch, Nahrung und Schutz durch den Mischbestand
- Erosions- und Bodenschutz, sowie bessere Bodengare und -struktur durch intensive Durchwurzelung (FREYER 2005, S. 11).

Im tierhaltenden Betrieb bildet das Leguminosengemenge die Grundlage der Futtermittellieferung. Die dort entstehenden Restprodukte werden in Form von Gülle oder Mist dem Boden wieder zugefügt (FREYER 2005, S. 10).

FREYER (2003, S. 77) beschreibt die zweijährige Kultur als anstrebenswert, denn bei kürzerem Anbau steigen, relativ betrachtet, die Saatgutkosten und die Humusreproduktionsleistung sinkt ebenso wie die beikrautreduzierende Wirkung. Bei längerem Anbau steigt die Gefahr von pathogen bedingten Ertragsdepressionen.

Im viehlosen Betrieb ist der mehrjährige Anbau aus ökonomischen Gründen unrealistisch. Um dennoch die ackerbaulichen Vorteile nutzen zu können, ist eine möglichst lange Standdauer von mindestens 13 Monaten anzustreben (VOGT-KNAUTE 2003, S. 18 f.). Als wesentliches Problem ist hier die fehlende Nutzung der Aufwüchse zu sehen

(MÖLLER 2004, S. 32). Werden sie verkauft, ist zu bedenken, dass auch alle darin enthaltenen Nährstoffe dem Betrieb verloren gehen (FREYER 2005, S. 10).

Um eine optimale Stickstofffixierungsleistung zu erreichen, sollte der Bestand 70-80 % Leguminosen enthalten (STEIN-BACHINGER et al. 2004, S. 118).

Die Klee grasbrache bildet den Grundstein der ökologischen Fruchtfolge. Deswegen ist deren optimale Bewirtschaftung maßgeblich für die Wirtschaftlichkeit des Betriebes von Bedeutung.

Außer den genannten pflanzenbaulichen Vorteilen kann durch die Stickstofffixierungsleistung ein erheblicher Anteil an Fremdenergie eingespart werden (FREYER 2005, S. 11), was maßgeblich zur Ressourcenschonung beiträgt.

2.2 Kompostieren

Kompost bezeichnet ein humusreiches Rotteprodukt pflanzlicher Abfälle, Bodenmaterialien und ggf. auch tierischer oder menschlicher Exkremete. Dabei ist das Vorhandensein von Sauerstoff notwendig (AID 6 KTBL (Hrsg.) 2008, S. 5). Die darin enthaltenen Nährstoffe schwanken je nach Ausgangsmaterial (AID & KTBL (Hrsg.) 2008, S. 6f.). Klee gras hat ursprünglich 3 % Stickstoff. Nach der Rotte sind die Masseverluste höher als die Stickstoffverluste: Das Material wird also stickstoffreicher (GOTTSCHELL, 1992, S. 122).

Bei der Ausbringung von Kompost ist die die maximale Obergrenze von 30 t pro ha Trockenmasse (TM)-Kompost innerhalb von 3 Jahren (BioAbfV, 1998, S. 8) einzuhalten. Von Seiten der EU-Bioverordnung gibt es zwar keine maximale Ausbringgrenze zugekaufter stickstoffhaltiger Dünger (vgl. EG-ÖKO-Basisverordnung, 2007, S. 19f.). Jedoch schränken einige private Anbauverbände diese ein: Beispielsweise beziffert Bioland, einer der größten deutschen Anbauverbände, die maximale Ausbringgrenze für Stickstoff mit 1,4 Dungeinheiten (BIOLAND 2015, S. 9). Dies bedeutet, es dürfen maximal 112 kg N pro Jahr und Hektar ausgebracht werden. Zusätzlich können weitere Beschränkungen bestehen, die hier nicht einzeln aufgeführt werden.

Der im Kompost enthaltene Stickstoff ist zum Großteil organisch gebunden und wird erst nach Mineralisation pflanzenverfügbar: Seine Wirkung teilt sich auf mehrere Jahre auf und sollte deswegen besondere Beachtung finden (AID & KTBL (Hrsg.) 2008, S. 8).

2.3 Biogas

Bei der Biogasproduktion wird organische Substanz unter anaeroben Bedingungen mit Hilfe von Mikroorganismen zu einem überwiegend methanhaltigen Gas abgebaut (GÖRISCH & HELM 2007, S. 27). Dabei können generell alle organischen Produkte, die auf dem Acker wachsen, vergoren werden (MÖLLER 2004, S. 32). Klee gras hat dabei mit $81 - 133 \text{ kJ ha}^{-1}$ eine ähnliche Energiedichte wie Mais mit $95 - 126 \text{ kJ ha}^{-1}$ (DÖHLER 2013, S. 108f.)

Bei dem Gärvorgang wird das mechanisch zerkleinerte Substrat zunächst aufgespalten: Dabei werden Eiweiß, Kohlenhydrate und Fett zu Aminosäuren, Zucker und Fettsäuren gespalten. Diese Zwischenprodukte werden in einem weiteren Schritt in organische Säuren und Wasser verwandelt. Über weitere biochemische Prozesse werden daraus Essigsäure und Wasserstoff gebildet, bis dann in einem letzten Schritt die Essigsäure zu Methan umgewandelt wird. Als Nebenprodukte verbleiben Wasserstoff, Kohlendioxyd und die Gärreste (GÖRISCH & HELM 2007, S. 27).

Durch die Biogasvergärung entstehen (1) erneuerbare Energie, die verkauft werden kann und (2) zusätzliche pflanzenbauliche Möglichkeiten (STINNER et al 2005, S. 185). Der mobile organische Dünger sorgt für eine bessere N-Verteilung und -nutzung während der gesamten Fruchtfolge, wodurch das N-Verlustpotential vor allem während der Vegetationsruhe erheblich sinkt (HEUWINKEL & LOGES 2004, S. 24f.).

So können Ertragssteigerungen von 10 – 20 % im Getreide erzielt werden (MÖLLER 2004, S. 33). Bis zu 8 % höhere Rohproteingehalte gegenüber der Vergleichsvariante mit Gründüngung, sind im Weizen nachgewiesen worden (STINNER et al. 2005, S. 187). Stickstoffverluste entstehen laut MÖLLER (2004, S. 32) vor allem bei der Ausbringung des Gärsubstrates. STINNER et al. (2005, S. 188) fügen den Ernteprozess und die Zwischenlagerung als weitere N-Verlustquellen hinzu. Dabei machen sie keine genauen Angaben.

Abbildung 1 zeigt, wie die verschiedenen Substrate im Jahr 2013 in Deutschland verwendet wurden:

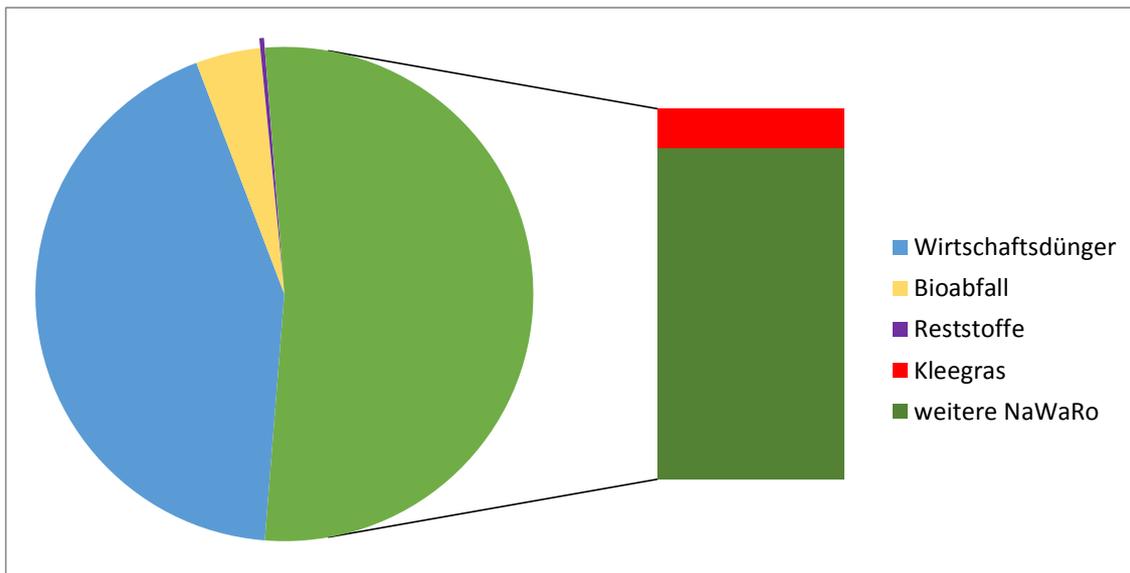


Abbildung 1: Anteil der nachwachsenden Rohstoffe am Biogassubstrat (verändert nach Döhler, 2013, S.17

Kleegras ist den nachwachsenden Rohstoffen (NaWaRo) zuzuordnen. Darunter fällt beispielsweise auch die Verwendung von Mais, Landschaftspflegematerial und Getreide. Kleegras wurde mit einem Masseanteil von 11 % eingesetzt. Zum Vergleich: Das in dieser Rubrik am häufigsten verwendete Substrat war Mais mit 73 % Masseanteil (DÖHLER 2013, S. 17).

Ein Grund für den geringen Kleegrasanteil in der Biogasproduktion kann die Prozesssicherheit sein: Denn die alleinige Vergärung von Kleegras ist laut Möller (2004, S. 32) mikrobiologisch instabiler als die gleichzeitige Verwendung tierischer Substrate, da diese auch Sekrete aus der Verdauung enthalten, die zum Beispiel pH-Wert-Veränderungen im Reaktor stärker abpuffern können.

Aus den soeben beschriebenen Gründen und technischen Einschränkungen ist die Vergärung von rein pflanzlichen Substraten anspruchsvoller als eine mit Anteilen von tierischen Substraten. In der Praxis kommen deswegen hauptsächlich zwei Typen zum Einsatz:

- Trockenvergärungsanlagen mit stallmistähnlichem Rückstand
- Perkolationsvergärungsanlagen mit flüssigem und festem Rückstand, ähnlich wie Gülle und Mist (MÖLLER 2004, S. 32)

Eine ausführliche Betrachtung der Stickstoffverluste wird im Ergebnisteil dargestellt. Auch bei der Ausbringung von Biogassubstrat gelten die bei der Kompostierung dargestellten Restriktionen.

2.4 Cut and Carry

Bei dieser Form der Klee grasnutzung wird der frische Aufwuchs von einem Geberfeld gemäht. Folglich kommen dabei die Vorteile der Schnittnutzung gegenüber dem Mulchen zum Tragen. Ohne weitere Umwandlungsschritte (vgl. Biogas, Kompostierung, Milchviehhaltung) wird das Schnittgut zu einem Nehmerfeld transportiert und dort als Mulchschicht ausgebracht. Dabei wird gezielt die Düngewirkung der in der Biomasse enthaltenen Elemente genutzt (STUMM & KÖPKE 2014a, o. A.).

Die aufgetragene Mulchschicht wirkt außerdem erosionsmindernd (STUMM & KÖPKE 2012, S. 21). Ein signifikanter Mehrertrag nach dem Einsatz des Verfahrens konnte nur an wenigen Parametern nachgewiesen werden (STUMM & KÖPKE 2014b, S. 24). Die Autoren berichten aber von einem deutlichen Ertragseffekt bei Spinat (STUMM & KÖPKE 2012, S. 21).

Die unkrautunterdrückende Wirkung wird auf beiden Feldern sichtbar: auf dem Geberfeld durch die häufige Schnittnutzung und auf dem Nehmerfeld durch die beschattende Wirkung der Mulchschicht (STUMM & KÖPKE 2014b, S. 24).

2.5 Milchviehwirtschaft

Futterleguminosen und deren Gemenge werden traditionell in viehhaltenden Betrieben angebaut. Dabei wird der Aufwuchs mehrmals im Jahr geschnitten, vom Feld gefahren und als Grundfutter konserviert (PIETSCH 2004, S. 9). Dieses wird hauptsächlich in der Milchviehhaltung und Rindermast eingesetzt (SPIEKERS 2006, S. 7), weswegen erstere als Vergleich herangezogen werden soll.

2.6 Mulchen

Unter Mulchen versteht man das mechanische Zerkleinern des Grünaufwuchses, was in der Regel mit Hilfe von Schlegelmähern geschieht. Im Vergleich zum Schnitt resultiert daraus meist ein unsaubereres Arbeitsfeld und Pflanzen werden verletzt (HEUWINKEL & LOGES 2004, S. 21).

Die Biomasse verbleibt auf der Oberfläche des Schlages zurück und bildet eine beschattende Schicht. Um diese möglichst gering zu halten, wird ein Mulchen des noch jungen Bestandes empfohlen. (VOGT-KNAUTE 2015, S. 2). Die Mulchschicht erschwert den Neuaustrieb vor allem bei den breitblättrigen Leguminosen. Spitzblättrige Gräser bekommen einen Wachstumsvorsprung und können dadurch den Leguminosenanteil langfristig senken (HEUWINKEL & LOGES, 2004, S. 21). Während des Zersetzens der organischen Substanz entstehen gasförmige Verluste. Diese treten besonders bei feuchter Witterung und bei stickstoffreichem Material, wie beispielsweise Leguminosen auf. Dabei wird von Größenordnungen um 2 – 40 % des in der Pflanze gebundenen Stickstoffs gesprochen (LARSSON et al. 1998, S. 45). Das verrottende Material erhöht den mineralisierten Stickstoff (N_{\min})-Gehalt im Boden bereits während der Kulturführung (HEUWINKEL et al. 2003, S. 71). Dadurch erhöht sich die Konkurrenz zwischen Gräsern und Leguminosen, wobei sich der Anteil zu Gunsten der Gräser verschiebt und weniger Stickstoff gebunden wird (LOGES 1998 in HEUWINKEL & LOGES 2004, S. 22). Des Weiteren führt ein ausreichendes Angebot an Stickstoff dazu, dass sich die Leguminosen dessen bedienen, anstatt den energieaufwändigen Prozess der Neufixierung mit Hilfe der Rhizobien zu betreiben (HEUWINKEL et al. 2003, S. 71). Dies kann dazu führen, dass in späteren Aufwüchsen kaum noch Stickstoff neu fixiert wird, sie also keinen weiteren Beitrag zur Verbesserung der Versorgungssituation mit Stickstoff mehr leisten. Insgesamt kann es zu einem Absinken der Stickstofffixierleistung um bis zu 45 % kommen (LOGES, 1998).

Aufgrund des erhöhten Angebotes an Stickstoff besteht in Abhängigkeit vom Standort und unabhängig von eventuell vorhandenen Kulturen oder durchgeführten Bearbeitungen eine gesteigerte Auswaschungsgefährdung über die Wintermonate (RUHE et al. 2003, S. 98).

3 Material und Methoden

3.1 Untersuchungsregion, Hof und Boden

Untersuchungen zur möglichen Integration von alternativen Verwertungsformen von Klee gras im Nährstoffmanagement der bio-veganen Landwirtschaft sollen am Beispiel eines konkreten praktischen Betriebs durchgeführt werden.

Der Biohof Hausmann befindet sich im Nord-Westen des Landkreises Mittelsachsen, zwischen den Städten Chemnitz und Leipzig, auf 51°02' N Breite und 12°73' E. Im Mulde – Lößhügelland gelegen (Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 1996, S. 7), nachfolgend SLUG genannt, sind als Bodentypen Braunerden gesellschaften anzutreffen (SLUG 1997, S. 17). Die primäre Bodenart ist Lößlehm mit geringen Anteilen leichter Böden anderer Entstehung (SLUG 1997, S. 13) und Ackerzahlen zwischen 60 – 69 (SLUG 1997, S. 23). Die Schläge weisen eine mittlere Hangneigung zwischen 1 – 4° auf (SLUG 1997, S. 33). Laut dem SLUG (1997, S. 35) liegt der langjährig gemessene durchschnittliche Jahresniederschlag zwischen 600 – 700 dm³ m⁻². Diese Angabe wird durch (CLIMATE-DATA, o. J.) auf 593 dm³ m⁻² präzisiert und liegt damit im optimalen Wachstumsbereich des Rotklee s. Luzerne ist hingegen trockenheitstoleranter (FREYER 2005, S. 15). Die langjährige Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 8,1°C (CLIMATE-DATA, o. J.). In der vorliegenden Arbeit wird von optimalen pH-Werten für Klee grasanbau ausgegangen. Dieser liegt für Rotklee als Hauptmischungspartner laut FREYER (2005, S. 13f.) zwischen 6 – 7,5 und für Luzerne zwischen 7 – 7,5.

Der Hof wirtschaftet seit 2012 viehlos und wurde im Mai 2014 auf ökologische Wirtschaftsweise umgestellt. Die einjährige Klee grasbrache soll hier den Grundstein der Fruchtfolge bilden. Deswegen ist deren optimale Bewirtschaftung maßgeblich für die Wirtschaftlichkeit des Betriebes von Bedeutung.

3.2 Untersuchungsgegenstand

Untersucht werden vier Produktionsverfahren der alternativen Klee grasnutzung: (1) das Mulchen, (2) das Kompostieren des Aufwuchses, (3) die Verwendung als Substrat in Biogasanlagen und (4) das so genannte Cut and Carry Verfahren hinsichtlich ihrer Stickstoffeffizienz. Dazu wird die entsprechende Stickstofffixierleistung berechnet, sowie auftretende Verluste, die während der Verwendungsprozesse entstehen, aufgezeigt. Auf deren Grundlage wird dann eine Nährstoffbilanz, bezogen auf den Stickstoff, durchgeführt.

Danach werden die genannten Methoden mit dem gängigen Verfahren der Milchviehwirtschaft, d.h. der Nutzung des Klee-grases als Futtermittel und Nutzung des Tierdunges als Düngemittel, verglichen. Schließlich soll es am Ende dieser Arbeit möglich sein, die fünf Verfahren hinsichtlich Stickstofffixierungsleistung, der Stickstoffverluste und der verfügbaren Menge an Stickstoff für Folgekulturen, gegenüberzustellen.

In der Praxis werden meist verschiedene Klee-/luzernegrasmischungen verwendet, außerdem kann der Anteil der Mischungspartner im Laufe des Jahres in Abhängigkeit von Witterung und Bewirtschaftungsform variieren (Stein-Bachinger et al. 2004, S. 107).

Die betrachteten Untersuchungen weisen hinsichtlich der Gemengepartner keine Einheitlichkeit auf. Deswegen wird in der vorliegenden Arbeit auf eine Unterscheidung zwischen Klee-gras, Luzernegras, oder Klee-Luzernegras verzichtet.

Das betrachtete Klee-gras sei wie folgt definiert:

- überjährigen Anbau, Etablierung möglichst durch Untersaat
- Leguminosenanteil von 75 %

3.3 Ertrag und N-Fixierung

Ertrag und Stickstoffgehalt

Als Grundlage für weitere Berechnungen muss zunächst der Ertrag bestimmt werden. Dieser ist von verschiedenen Parametern, wie beispielsweise dem Niederschlag und dessen Verteilung, der Vorfrucht und dem Boden abhängig. Dabei hat jeder Standort ein Ertragspotential, abhängig von den unterschiedlichen Standortqualitäten, ausgedrückt in Ackerzahlen (STEIN-BACHINGER et al. 2004, S. 37). In der vorliegenden Arbeit wurde anhand der durchschnittlichen Ackerzahl des Betriebes der potenzielle Ertrag bestimmt. Auf dessen Grundlage kann mit Hilfe von Tabellenwerten auf die in der Biomasse gebundene Stickstoffmenge geschlossen werden (STEIN-BACHINGER et al. 2004, S. 36).

N Fixierungsleistung

Die symbiotische Fixierleistung ist von mehreren Variablen abhängig und kann deswegen mit einfachen Messmethoden auf Schlagebene nicht ermittelt werden (STEIN-BACHINGER 2004, S. 106). Deswegen kommt hier eine entsprechende Schätzformel aus STEIN-BACHINGER et al. (2004, S. 111) zur Anwendung.

$$N_{\text{fix}}(\text{kg ha}^{-1} \text{ a}) = (\text{kg } N_{\text{Spross}} + \text{kg } N_{\text{EWR}}) \times \text{Leguminosenertragsanteil} \times N_{\text{dfa}}$$

Erläuterungen:

kg N im Spross = dt ha⁻¹ TM-Ertrag oberirdischer Aufwuchs × % N in TM
der N-Gehalt des oberirdischen Aufwuchses im ersten Nutzungsjahr beträgt 3,1 % (STEIN-BACHINGER 2004, S. 36)

kg N in EWR = Ernte- und Wurzelrückstände
= N-Mengen in Stoppel + Wurzel + Boden (STEIN-BACHINGER 2004, S. 114)
0,6 bis 0,9 × dt TM Ertrag des oberirdischen Aufwuchses × % N in EWR
N-Gehalt der EWR liegt zwischen 1,5 -2 %

Leguminosenanteil = um die maximale N-Fixierung zu erreichen, wird dieser mit 75 % definiert (STEIN-BACHINGER et al. 2004, S. 118)

N_{dfa} = nitrogen derived from the atmosphere (Anteil des Stickstoffs aus der Luft)

Die Berechnungen dieser Arbeit beziehen sich auf die Mittelwerte der in der Literaturrecherche ermittelte Angaben.

Für das weitere Vorgehen ist die getrennte Erfassung der fixierten Stickstoffmenge des oberirdischen, erntbaren und des unterirdischen, nicht erntbaren Aufwuchses nötig. Deswegen wird die Formel in zwei Rechnungen geteilt:

(1) $N_{fix \text{ erntbar}} \text{ (kg ha}^{-1} \text{ a)} = \text{kg } N_{Spross} \times \text{Leguminosenertragsanteil} \times N_{dfa}$

(2) $N_{fix \text{ nicht erntbar}} \text{ (kg ha}^{-1} \text{ a)} = (\text{kg } N_{EWR}) \times \text{Leguminosenertragsanteil} \times N_{dfa}$

Der gesamte fixierte Stickstoff ist die Summe der beiden Teilergebnisse:

$$N_{fix} = N_{fix \text{ erntbar}} + N_{fix \text{ nicht erntbar}}$$

3.4 Nährstoffbilanzierung

Um die Vergleichswerte zu erstellen, wurde zu Beginn eine Nährstoffbilanzierung durchgeführt. Das bedeutet, dass in einem zeitlich und räumlich definierten System alle vorher definierten (Stoff-)Ein- und Austräge saldiert werden. Das folgende Ergebnis kann entweder positiv, negativ, oder ausgeglichen sein (DEUTSCHE BODENGESELLSCHAFT 1992, S. 20) und wird immer in Abhängigkeit einer bestimmten Bezugsebene dargestellt (STEIN-BACHINGER et al. 2004, S. 17).

Dabei wird unterschieden zwischen (1) Hoftorbilanz, bei der der ganze Betrieb betrachtet wird und (2) der Flächenbilanz (auch Boden-, Schlag- oder Fruchtfolgebilanz), bei der innerbetriebliche Nährstofftransporte, beispielsweise einer bestimmten Fläche, betrachtet werden (FREYER 2003, S. 132).

Hinsichtlich der Bilanz wird zwischen einfacher und erweiterter Bilanz unterschieden: Die einfache Bilanz befasst sich lediglich mit den durch Saat- und Pflanzgut zugeführten Nährstoffen, sowie den durch Ernteprodukte abgeführten Nährstoffentzug (STEIN-BACHINGER et al. 2004, S. 23). In der erweiterten Bodenbilanz wird versucht, alle relevanten zugeführten und durch das Erntegut entnommenen Nährstoffmengen gegenüberzustellen. Dieser Saldo ist gleichzusetzen mit den Vorratsänderungen der im Boden vorhandenen Nährstoffe (BIERMANN 1995, S. 44). So werden zusätzlich zur vereinfachten Bilanz die nicht messbaren Größen (symbiotische / asymbiotische N-Bindung, Denitrifikation), die durch die Bewirtschaftungsform nicht veränderbaren (Immission), und die sehr schwer schätzbaren Faktoren (Immobilisation, Mineralisation, NH₃-Verluste, Auswaschung) mit einbezogen (STEIN-BACHINGER et al. 2004, S. 24). Grundlage für die Berechnungen bildet die erweiterte Bodenbilanz (Schlag-, Fruchtfolgebilanz).

$$\text{Bilanz} = \sum \text{Stoffzufuhr} - \sum \text{Stoffabfuhr}$$

In dieser Arbeit werden Stickstoffflüsse im Rahmen einer Flächenbilanz betrachtet und somit beschränkt sie sich auf Stickstoff - Ein- und Austräge. Um die verschiedenen Nutzungsformen vergleichbar zu machen, wurden die Berechnungen auf die Flächengröße von einem Hektar in der Zeit von einem Jahr bezogen. Zur Vereinfachung wurden die bei der Lagerung und Ausbringung des Erntegutes und der daraus entstehenden Produkte im Folgejahr auftretenden betrachteten Stoffflüssen auf das definierte Erntejahr mit einbezogen. Ferner werden nur die Nährstoffflüsse im Hauptanbaujahr der Kultur berechnet und beispielsweise die Stickstofffixierleistung im Ansaatjahr außer Acht gelassen.

Berechnungsgrundlage dieser Arbeit sind hauptsächlich Daten aus der Sammlung der KTBL-Daten (Kuatorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft). Diese werden, soweit möglich, von Ergebnissen verschiedener Feldversuche und ihren Daten gestützt und im Weiteren durch eine ausführliche Literaturrecherche belegt. Bei Abweichungen mehrerer Ergebnisse wurde sowohl ein Mittelwert gebildet, als sich auch in begründeten Fällen für die aussagekräftigere Arbeit entschieden.

Im Folgenden wird dargestellt, wie sich die Summen der Stickstoffzufuhr und der Stickstoffabfuhr im Einzelnen zusammensetzen:

Die Gesamtheit der Stickstoffzufuhr errechnet sich nach (STEIN-BACHINGER et al. 2004, S. 24) wie folgt:

$$\begin{aligned} \sum \text{Stickstoffzufuhr} = & \text{N}_{\text{Saatgut}} + \text{N}_{\text{Düngung}} + \text{N}_{\text{symbiotische Bindung}} + \text{N}_{\text{Immission}} \\ & + \text{N}_{\text{asymbiotische Bindung}} + \text{N}_{\text{Grün- und Strohdüngung}} + \text{N}_{\text{Mineralisation}} \end{aligned}$$

Der **Saatgutbedarf** wird errechnet, indem die Reinsaatstärke eines jeden Mischungspartners mit dem erwünschten Anteil der Art in der Mischung multipliziert und die Teilergebnisse anschließend addiert werden (MUNZERT & FRAHM 2006, S. 731).

Von einer zusätzlichen **Düngung** wird in dieser Arbeit abgesehen, da sich auf die direkten Folgen der verschiedenen Anbausysteme und deren Nährstoffverluste konzentriert wird und diese den Ertrag beeinflussen würde.

Die Verluste der jeweiligen Produktionssysteme werden unter *4.2 Nährstoffbilanzierung - Verfahrensspezifische Teilergebnisse* separat dargestellt. Der erhalten gebliebene und für Folgekulturen nutzbare Stickstoff in Kompost, Biogasgülle, transportiertem Schnittgut und den tierischen Substraten wird entsprechend als Düngung in der Stickstoffzufuhr berechnet. Der Stickstoff im gemulchten Aufwuchs wird im fixierten Stickstoff aufgeführt.

Da auch die **symbiotische N-Bindung** abhängig vom Verbleib oder der Abfuhr des Schnittguts ist, wird hier zwischen Schnitt- und Mulchnutzung unterschieden.

Immission ist von äußeren Faktoren abhängig. Dabei hat die Bewirtschaftung keinen Einfluss auf deren Größe. Eine **asymbiotische Bindung** ist nicht messbar (STEIN-BACHINGER et al. 2004, S. 24). Des Weiteren kann sie auch nicht vom Landwirt beeinflusst werden (STEIN-BACHINGER et al. 2004, S. 129). In Folge dessen sind beide Werte für alle dargestellten Szenarien gleich und werden im Ergebnisteil dargestellt.

Unter Grün- und Strohdüngung wird in der vorliegenden Arbeit der Verbleib von Ernteresten etc. auf der Fläche definiert. Hierzu zählen die während der Werbung des Aufwuchses auftretenden Bröckelverluste. Wurzelmasse incl. Knöllchen, Stoppeln und der Bestandsabfall werden innerhalb der N-Fixierung aufgeführt. Eine nähere Betrachtung erfolgt zu den einzelnen Verfahren.

Die Mineralisierung ist abhängig von der Art und der Intensität der Bodenbearbeitung (STEIN-BACHINGER et al. 2004, S. 24), findet also hauptsächlich vor Ansaat und nach Umbruch des Klee grasbestandes statt und ist unabhängig von der Bewirtschaftungsform. Da in der vorliegenden Arbeit lediglich der Vegetationszeitraum des Ackerfutters im Hauptanbaujahr betrachtet wird, entfällt diese Größe vereinfachend aus der Bilanz. Auswaschungsverluste während der darauf folgenden Vegetationsruhe werden in der Stickstoffabfuhr separat betrachtet.

Die Gesamtheit der Stickstoffabfuhr errechnet sich nach (STEIN-BACHINGER et al. 2004, S. 25) wie folgt:

$$\begin{aligned} \sum \text{Stickstoffabfuhr} = & \text{N}_{\text{Nährstoffentzug im abgeführten Erntegut}} + \text{N}_{\text{Immobilisation}} + \text{N}_{\text{NH}_3\text{-Verluste}} \\ & + \text{N}_{\text{Denitrifikation}} + \text{N}_{\text{Auswaschung}} + \text{N}_{\text{Erosion}} \end{aligned}$$

Der Nährstoffentzug ist direkt von der Höhe des Ertrags abhängig. Dieser wiederum wird maßgeblich durch die Bewirtschaftungs- und Nutzungsformen beeinflusst und ist beispielsweise nach dem Mulchen geringer, wenn man das Erntegut abfährt (HEUWINKEL & LOGES 2004, S. 21). Beim Mulchen verbleibt der Aufwuchs auf der Fläche. Deswegen entfällt dort die Betrachtung dieses Parameters. Bei der Schnittnutzung wird dieser bei der Berechnung des Ertrags mit aufgeführt.

Die Immobilisation des Stickstoffs erfolgt hauptsächlich, durch Bindung an Humus. Dieser Prozess ist stark von der Jahresdurchschnittstemperatur abhängig (SLUG (Hrsg) 2009, S. 69f.). Folglich korreliert die Immobilisation mehr mit dem Standort des Schlags als mit der Verwendung des Aufwuchses.

NH₃-Verluste entstehen durch verschiedenste Ursachen und treten in allen betrachteten Szenarien auf: Beim Mulchen besonders aus feuchter Biomasse (WEBER et al. 2000,

S. 180f.), in der Tierhaltung während der Futterwerbung und -konservierung, im Stall, bei der Lagerung von tierischen Exkrementen, sowie deren Ausbringung (WEBER et al. 2000, S. 175). Die Gefahr von NH_3 -Verlusten besteht vor allem bei der Ausbringung der organischen Dünger (MÖLLER 2004, S. 32), also beim Ausbringen von Gärresten und des tierischen Dungs. Deswegen erfolgt eine gesonderte Betrachtung zu den einzelnen Produktionssystemen.

1997 wurde nach einem Feldversuch bei Freising festgestellt, dass sich die Höhe der Denitrifikation vor allem während der Vegetationsruhe je nach Nutzung des Kleeegrases stark unterscheidet (HELMERT et al. 2003, S. 348). Eine detaillierte Aufstellung wird in den einzelnen Verfahren dargestellt.

Die Auswaschung von Nitrat wird bedingt durch das Vorhandensein von mineralisiertem Stickstoff. Dieser ist nach dem Mulchen laut Feldversuch Viesdorf bei Freising um 23 % höher als nach Schnittnutzung des Aufwuchses (HELMERT et al. 2003, S. 348). Somit ist die Gefahr der Auswaschung abhängig von der Nutzungsform. Die genaue Betrachtung erfolgt in den verschiedenen Produktionssystemen. Dabei wird nicht mehr zwischen ausgewaschenem Stickstoff, der bereits im Boden war, und ausgewaschenem Stickstoff, der von der Pflanze gebunden wurde, unterschieden.

Erosion bezeichnet den Oberbegriff für Abtragungsprozesse, bedingt durch Wasser, Wind und Eis. Tritt sie ein, werden Partikel in Abhängigkeit von Witterung, Bodenleben und Bewuchs aufgenommen und transportiert (MARTIN & EIBLMAIER 2000, S. 95). In dem betrachteten Zeitraum ist die Fläche permanent mit Klee gras bewachsen. Dieses reduziert maßgeblich die Gefahr von Bodenerosion (FREYER 2003, S. 180). Das Risiko der Erosion steigt daher erheblich nach Umbruch der Brache, vor allem, wenn dieser noch im Herbst des Vegetationsjahres stattfindet, da die Folgekultur (in der Regel Winterweizen) nicht genügend Biomasse produziert, um den Boden flächig zu bedecken (FREYER 2003, S. 178).

Der betrachtete Standort ist leicht hängig und kann aus langjährigen Erfahrungen als nicht erosionsgefährdet betrachtet werden.

Aus diesen beiden Gründen wird bei der Berechnung auf den Einfluss eventuell auftretender Verluste durch Erosion verzichtet.

Der Stickstoffsaldo errechnet sich wie folgt:

$$\text{Stickstoffsaldo} = \sum \text{Stickstoffzufuhr} - \sum \text{Stickstoffabfuhr}$$

Diese Teilergebnisse werden anschließend in Tabellen kategorisiert und die Zwischenergebnisse saldiert. Nach Erstellung der Nährstoffbilanzen für das jeweilige Verfahren werden diese Werte in einer Übersicht zusammengestellt. Dort werden (1) der fixierte Stickstoff, (2) der Stickstoff, der im Prozess verloren geht, und (3) der Stickstoff, der für die Fruchtfolge zur Verfügung steht, dargestellt.

3.5 Beschreibung der betrachteten Verfahren

3.5.1 Kompostieren

Bei dem Aufsetzen der Kompostmiete wird sich am Verfahren des Pfänder - Hofes orientiert. Dabei wird das Klee gras bis zu drei Mal im Jahr geschnitten. Das frische Grüngut wird noch am selben Tag auf die Miete gesetzt und zusammen mit weiteren Bestandteilen (wie z.B. Stroh, Gemüseresten, Erde und Wasser) gemischt, abgedeckt und kompostiert. (ZIPPERT & LINDAUER 2011, S. 9)

Der Rotteprozess ist nach 6 – 8 Wochen abgeschlossen, so dass wenige Nährstoffe durch Regen ausgewaschen werden können. Das Substrat kann noch im gleichen Jahr wieder ausgebracht werden (ZIPPERT & LINDAUER 2011, S. 9).

3.5.2 Biogas

Bei der Verwendung des Aufwuchses als Biogassubstrat wird in dieser Arbeit davon ausgegangen, dass dieses nach dem Schnitt einen Tag auf der Fläche anwelkt, siliert und nach Bedarf in der Anlage verarbeitet wird. Bei der Ausbringung der Gärreste werden Verfahren verwendet, die dem aktuellen Stand der Technik entsprechen und verlustarm arbeiten.

3.5.3 Cut and Carry

Bei diesem Verfahren wird der Aufwuchs gemäht zerkleinert und auf der Oberfläche eines anderen Feldes verteilt. In der vorliegenden Arbeit wird angenommen, dass der Aufwuchs nicht in den Boden eingearbeitet wird.

3.5.4 Milchviehhaltung

Bei der Verfütterung des Aufwuchses an Rinder wird in dieser Arbeit davon ausgegangen, dass dieser nach dem Schnitt einen Tag auf der Fläche anwelkt, siliert und nach Bedarf an die Wiederkäuer verfüttert wird. Bei der Lagerung und Ausbringung der Gülle und des Dungs werden ebenfalls Verfahren verwendet, die dem aktuellen Stand der Technik entsprechen und verlustarm arbeiten.

3.5.5 Mulchen

Der Aufwuchs wird mechanisch zerkleinert und verbleibt auf der Oberfläche. Aufgrund der in 2.2 *Theoretische Grundlagen* recherchierten verminderten Ertragsbildung und Stickstofffixierleistung werden diese Größen als Grundlage weiterer Berechnungen neu kalkuliert.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Ertrag und N-Fixierung

4.1.1 Ertrag

Zum weiteren Vorgehen muss zunächst der Ertrag bestimmt werden. Laut STEINBACHINGER et al. (2004, S. 38) kann für den genannten Standort (AZ 60-69) mit einer potenziellen Erntemenge von 40 – 60 t Frischmasse (FM) pro ha bzw. 8 – 12 t Trockenmasse (TM) pro ha gerechnet werden. In der vorliegenden Arbeit wird bei der Schnittgutabfuhr von einem durchschnittlichen Ertrag von 10 t TM pro ha ausgegangen.

4.1.2 N-Fixierung

Aus dem Methodenteil können folgende Formeln übernommen werden:

$$1) N_{\text{fix}} \text{ erntbar (kg ha}^{-1} \text{ a)} = \text{kg } N_{\text{Spross}} \times \text{Leguminosenertragsanteil} \times N_{\text{dfa}}$$

$$2) N_{\text{fix}} \text{ nicht erntbar (kg ha}^{-1} \text{ a)} = (\text{kg } N_{\text{EWR}}) \times \text{Leguminosenertragsanteil} \times N_{\text{dfa}}$$

$$N_{\text{fix}} = N_{\text{fix}} \text{ erntbar} + N_{\text{fix}} \text{ nicht erntbar}$$

Über den Wert des N_{dfa} lassen sich in der Literatur verschiedene Angaben finden:

- (LOGES & TAUBE 2007, S. 90) $N_{\text{dfa}} = 95 \%$
- (HEUWINKEL et al. 2003, S. 75) $N_{\text{dfa}} = 90 \%$
- (HEUWINKEL et al. 2001, S. 182) $N_{\text{dfa}} = 93 \%$

Im Folgenden wird von dem Mittelwert von 93 % ausgegangen.

Weiterhin lässt sich N_{fix} wie folgt berechnen:

$$\begin{aligned}\text{kg N im Spross} &= 100 \text{ dt ha}^{-1} \times 3,1 \% \text{ N} = 310 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N} \\ \text{kg N in EWR} &= 0,75 \times 100 \text{ dt} \times 1,75 \% \text{ N} = 131 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N} \\ \text{Leguminosenanteil} &= 0,75 \\ N_{\text{dfa}} &= 0,93 \\ N_{\text{fix}} \text{ erntbar} &= 310 \text{ kg N} \times 0,75 \times 0,93 \\ &= \underline{216 \text{ kg N}} \\ N_{\text{fix}} \text{ nicht erntbar} &= 131,25 \text{ kg N} \times 0,75 \times 0,93 \\ &= \underline{92 \text{ kg N}} \\ N_{\text{fix}} &= 216,225 \text{ kg N} + 91,547 \text{ kg N} \\ &= \underline{308 \text{ kg N}}\end{aligned}$$

Somit werden im betrachteten Schlag anhand dieser Rechnung ca. 308 kg N pro Jahr und Hektar Stickstoff aus der Luft gebunden. Davon befinden sich rund 70 % im erntbaren Aufwuchs, weitere 30 % befinden sich in den Ernte- und Wurzelrückständen. Dieses Verhältnis wird von SCHMIDT (1997, S. 24) bestätigt.

Werden die 310 kg N in der oberirdischen Biomasse mit den 131 kg N aus dem EWR addiert, ergeben sie zusammen 441 kg N, welches in der Pflanze gebunden ist. Dieses unterscheidet sich deutlich von den 308 kg N, die fixiert wurden. Diese Differenz besteht, da die Pflanzen den im Boden mineralisierten Stickstoff aufnehmen. Dieser Stickstoff ist bereits im Boden vorhanden. Deswegen wird im Weiteren nur mit dem von den Leguminosen fixierten Stickstoff von 308 kg pro ha gerechnet.

Laut KTBL (2015, S. 112) wird bei einem Klee-Gras-Gemenge (70:30) fixierter Stickstoff von 180 kg pro ha angegeben. Das sind ca. zwei Drittel der hier kalkulierten Menge. Gemäß MÖLLER & SCHULTHEIß (2014, S. 207) können im Leguminosengrasgemenge 250 – 400 kg N gebunden werden. Die in dieser Arbeit berechnete Menge liegt innerhalb dieser Größenordnung und kann somit als realistisch eingeschätzt werden.

4.2 Nährstoffbilanzierung - Allgemeine Teilergebnisse

a) Stickstoffzufuhr

Saatgut

Bei Rotklee gras kann von einer Saatstärke von 25 kg pro ha ausgegangen werden (MUNZERT & FRAHM 2006, S. 731, 745). In KTBL (2010, S. 399) wird die Saatgutmenge unter mittelmäßigen Aussaatbedingungen mit 40 kg pro ha beziffert.

Kleesaatgut hat einen vergleichbaren Stickstoffgehalt wie Ackerbohnen. Der Gehalt von Grassaatgut ist geringer (PIORR 2015). Der Stickstoffgehalt von Ackerbohnen beläuft sich auf 3,95 % (BELAU 2013, S. 157).

Vereinfachend wird in dieser Arbeit mit einem angenäherten Stickstoffgehalt des Rotklee s von 3,95 % gerechnet. Tabelle 1 zeigt, wie sich die Stickstoffmenge im Saatgut berechnet:

Tabelle 1: Stickstoffmenge im Kleegrassaatgut

Stickstoffmenge _{Saatgut} = Stickstoffanteil _{Saatgut} × Saatgutaufwand		
Saatgutaufwand:	25 kg	40 kg
Stickstoffanteil _(100 % Leguminose) :	3,95 %	3,95 %
Max. Stickstoffmenge:	1,0 kg	1,6 kg

Da die Mischung lediglich einen Leguminosenanteil von 75 % beinhaltet und Gräser einen geringeren Stickstoffanteil haben (PIORR 2015), kann angenommen werden, dass sich der tatsächliche N-Gehalt maximal etwas über ein Kilogramm beziffert. Dieser ist für alle Nutzungsformen gleich und kann zur Vereinfachung aus der Bilanz ausgenommen werden.

Immission / asymbiotische Bindung

Dabei wird von einem Eintrag von durchschnittlich ca. 20 kg pro ha N im sächsischen Hügelland (STEIN-BACHINGER et al. 2004, S. 122) und einer asymbiotischen Bindung von 5 kg pro ha N (STEIN-BACHINGER et al. 2004, S. 123) ausgegangen.

b) Stickstoffabfuhr

Immobilisation

Für das Gebiet Mittelsachsen mit einer jährlichen Durchschnittstemperatur von 8,1°C (CLIMATE DATA, o. J.) kann ein durchschnittlicher Betrag an immobilisiertem Stickstoff von 5 kg N pro Jahr angenommen werden (SLUG 2009, S. 43).

Denitrifikation

In der betrachteten Literatur lassen sich folgende Angaben finden:

- 240 g ha⁻¹ N bei Schnittnutzung und 760 g ha⁻¹ N beim Mulchen und damit für die Stickstoffbilanz unbedeutend (HELMERT et al. 2003; S. 348)
- 0,1 – 1 % vom N gehen als Stickoxide verloren, in diesem Fall 0,4 kg bis 6 kg (LARSSON et al. 1998, S. 45)
- 240 g ha⁻¹ bei Mulch, im Vergleich 16g ha⁻¹ bei Schnitt (FLESSA et al. 2002, S. 877)
- Das KTBL benennt die Verluste durch Denitrifikation mit 10-20 kg ha⁻¹ (STEIN-BACHINGER 2004, S. 122).

Die folgenden Berechnungen beziehen sich auf die ersten drei Quellen.

Aufgrund der geringen Bedeutung im Verhältnis zur Gesamtstickstoffsumme, die im oberirdischen Aufwuchs gebunden ist, werden Verluste durch Stickoxide nicht in die Bilanz mit aufgenommen.

4.3 Nährstoffbilanzierung - Verfahrensspezifische Teilergebnisse

4.3.1 Schnittnutzung allgemein

Die aufgeführten Ergebnisse beziehen sich auf die Berechnungen der in *4.1 Ertrag und N-Fixierung* getätigten Annahmen. Im Folgenden werden die Teilergebnisse dargestellt, die für alle schnittnutzenden Systeme gelten. Anschließend werden die spezifischen Teilergebnisse der jeweiligen Verfahren berechnet und in einer Tabelle zusammengefasst.

a) Stickstoffzufuhr

Symbiotische Stickstoffbindung

Im betrachteten Schlag werden voraussichtlich rund 308 kg pro ha N aus der Luft fixiert. Davon befinden sich ca. 216 kg im oberirdischen, erntbaren Aufwuchs, 92 kg in den EWR. Da sich diese Berechnung bereits auf die Schnittgutabfuhr bezieht, kann dieser Wert übernommen werden.

Im Vergleich dazu werden in der Literatur folgende Werte aufgeführt:

Fixierter Stickstoff im erntbaren Aufwuchs:

- 200 kg N_{fix} (PIETSCH 2004, S. 76)
- 370 kg N_{fix} (DREYMANN 2005, S. 33)
- 227 kg & 343 kg N_{fix} (RUHE et al. 2003, S. 99)

Der berechnete Anteil an fixiertem Luftstickstoff liegt im Bereich der betrachteten Studien und kann somit als realistisch eingeschätzt werden.

Fixierter Stickstoff in den EWR:

- Stoppel 2,5 t TM (PIETSCH 2004, S. 64)
- Wurzel 7,5 t TM (PIETSCH 2004, S. 67)

Bei 1,75 % N sind das zusammen 175 kg N, also 14 kg mehr als beim Mulchen.

- 130 kg N in Residuen, d.h. in Stoppeln und Wurzeln (DREYMANN 2005, S. 33)

Der in dieser Arbeit berechnete Wert liegt deutlich unter den beiden Vergleichswerten aus den Studien. Gründe können beispielsweise im Bestandsalter und dem Zeitpunkt der Etablierung des Bestands gesucht werden (HEUWINKEL & LOGES 2004, S. 23).

Gründüngung

Um das Schnittgut zu nutzen, wird es in den betrachteten Verfahren von der Fläche abgefahren. Es verbleiben lediglich die EWR auf der Fläche. Beide werden vereinfachend beim fixierten Stickstoff einberechnet.

Berechnungen zu den Werbungs- und Konservierungsverlusten werden in den einzelnen Verfahren beschrieben, da diese von mehreren Faktoren abhängig sind und sich vor allem in Abhängigkeit vom Trockenmasseanteil bei der Einfuhr unterscheiden (STEINBACHINGER 2004, S. 40 f.).

Die meisten Bröckelverluste im Klee-Luzernegras bestehen dabei aus großblättrigen Leguminosen. Da diese mehr Stickstoff in der Blattmasse enthalten, wie die Nichtleguminosen, wird den Bröckelverlusten, verglichen mit der durchschnittlichen Blattmasse, ein

20 – 40 % höherer Stickstoffgehalt unterstellt (STEIN-BACHINER 2004, S. 40). In dieser Berechnung wird ein mittlerer Wert von 30 % angenommen.

Diese Verluste gehen dem Betrieb nicht vollständig verloren: Durch das Bröckeln verbleibt Biomasse auf der Fläche. Diese kann nach der Mineralisation von einer folgenden Kultur aufgenommen werden (STEIN-BACHINGER 2004, S. 40). In dieser Bilanz werden die Bröckelverluste im Abschnitt *Gründüngung* wieder hinzugerechnet.

Weitere Berechnungen werden in den entsprechenden Abschnitten zu Kompost und Biogas dargestellt.

b) Stickstoffabfuhr

Nährstoffe im Erntegut

Wie bei den Berechnungen am Abschnitt *4.1 Ertrag und N-Fixierung* dargestellt, befinden sich im oberirdischen Aufwuchs des betrachteten Schlags 216 kg N_{fix} pro ha.

In betrachteten Studien werden folgende Werte aufgeführt:

- (DREYMANN 2005, S. 24): Ertrag: 12,6 t mit 329 kg N in Biomasse
- (RUHE et al. 2003, S. 99)
 - Ertrag (1): 7,3 t Entzug: 212 kg N
 - Ertrag (2): 7,5 t Entzug: 219 kg N

Der hier berechnete Betrag liegt im Bereich der betrachteten Studien und ist somit als realistisch einzuschätzen.

NH₃-Verluste

In der betrachteten Literatur lassen sich folgende Angaben finden:

- Durchschnittlich 0,7 kg N pro Nutzung, entspricht 0,6 % vom Gesamtstickstoff (WEBER et al. 2003, S. 92)
- Gasförmige Stickstoffverluste sind vernachlässigbar (PIETSCH 2004, S. 37)

Nach Betrachtung der vorliegenden Studien kann in der vorliegenden Arbeit der Verlust an Stickstoff, verursacht durch Ammoniakemissionen, als nicht relevant erachtet werden. Deswegen findet keine gesonderte Aufstellung dieser Verluste statt.

Auswaschung von Nitrat

Auf Grund der abweichenden Werte muss hier zwischen Herbst- und Frühjahrsunbruch unterschieden werden. In der betrachteten Literatur lassen sich folgende Werte finden:

Herbstunbruch:

- 19 kg (DREYMANN 2005, S. 137)
- 21 kg (RUHE et al. 2003, S. 99)
- 17 kg (DREYMANN, et al. 2003, S. 86)

Bei Einbeziehung dieser drei Messwerte belaufen sich die Verluste auf durchschnittlich 19 kg N pro Jahr.

Frühjahrsunbruch:

- 5,0 kg (DREYMANN 2005, S. 137)
- 1,9 kg (RUHE et al. 2003, S. 99)
- 5,0 kg (DREYMANN et al. 2003, S. 86)

Bei Einbeziehung dieser drei Messwerte belaufen sich die Verluste auf durchschnittlich 4,0 kg N pro Jahr

Wie bereits im Abschnitt 2.2 *Untersuchungsgegenstand* dargestellt, soll auf der Fläche möglichst ein Frühjahrsunbruch stattfinden. Deswegen werden in den folgenden Berechnungen Auswaschungen in Höhe von ca. 4 kg N berücksichtigt.

4.3.2 Kompostieren:

a) Stickstoffzufuhr

Düngung

Bei dem Aufsetzen der Kompostmiete wird sich am Verfahren des Pfänder-Hofes orientiert (ZIPPERT & LINDAUER 2011, S.8-10). Bei frischem Grüngut sind durch die Werbung Bröckelverluste von 5 – 10 % einzukalkulieren (STEIN-BACHINGER 2004, S. 41). In dieser Arbeit wird von einem mittleren Wert von 7,5 % ausgegangen. Wird der 30 % höhere N-Gehalt der Leguminosen mit einbezogen, entsteht im Erntegut ein N-Verlust von 9,75 %.

Laut Abschnitt 4.1 *Ertrag und N-Fixierung* sind im erntbaren oberirdischen Aufwuchs 216 kg N_{fix} enthalten. Die Bröckelverluste von 9,75 % lassen sich somit auf rund 21 kg N_{fix} beziffern. Damit verbleiben 195,5 kg N_{fix} im geworbenen Material.

Bei der Kompostierung treten N-Verluste bis zu 50 % der in der Biomasse enthaltenen N-Menge auf. Diese werden umso geringer, je kleiner die Partikelgröße des Ausgangsmaterials ist und je niedriger der TM-Gehalt ist (MÖLLER & SCHULTHEIß 2014, S. 210). Auf Grund der ungenauen Angabe in der Quelle wird im Folgenden der höchste Verlust von 50 % angenommen: Von den 195,5 kg N_{fix} im geworbenen Aufwuchs verbleiben nach der Kompostierung rund 98 kg N_{fix} .

Stickstoffverluste bei der Ausbringung des Substrats können vernachlässigt werden, da dieser nach dem Rotteprozess überwiegend in organischer Bindung vorliegt (GOTTSCHALL 1992, S. 122).

Gründüngung

An dieser Stelle werden Bröckelverluste während der Werbung berücksichtigt. Diese sind bereits berechnet (siehe vorheriger Abschnitt) und betragen rund 21 kg N_{fix}.

Folgend werden alle betrachteten Werte der Stickstoffzufuhr zusammenfassend in Tabelle 2 dargestellt:

Tabelle 2: Stickstoffzufuhr - Kompostierung

Stickstoffquelle	Stickstoffmenge
Saatgutbedarf Klee gras	vernachlässigt
Düngung	98 kg N _{fix}
Symbiotische Bindung	308 kg N _{fix}
Immission	20 kg
Asymbiotische Bindung	5 kg
Gründüngung	21 kg N _{fix}
Gesamt	452 kg N_{fix}

b) Stickstoffabfuhr

Bei der Stickstoffabfuhr können die Werte aus 4.2 Nährstoffbilanzierung – Allgemeine Teilergebnisse und 4.3.1 Schnittnutzung allgemein übernommen werden. In Tabelle 3 werden diese zusammenfassend dargestellt:

Tabelle 3: Stickstoffabfuhr - Kompostierung

Verlustquelle	Verlustmenge
Nährstoffentzug im abgeführten Erntegut	216 kg N _{fix}
Immobilisation	5 kg N
NH ₃ -Verluste	vernachlässigt
Denitrifikation	vernachlässigt
Auswaschung	4 kg N
Erosion	vernachlässigt
Gesamt	225 kg N

$$\text{Stickstoffsaldo} = \sum \text{Stickstoffzufuhr} - \sum \text{Stickstoffabfuhr}$$

$$\text{Stickstoffsaldo} = 452 \text{ kg N} - 225 \text{ kg N} = \underline{227 \text{ kg N}}$$

Auf Grund der Quellenlage zu Stickstoffverlusten im kompostierten Kleeerasaufwuchs wurden an dieser Stelle hohe Verluste berechnet. Bei Mistkomposten wird laut VOGTMANN & OTT (1980) in GOTTSCHALL (1992, S. 121) mit rund 30 % Stickstoffverlust gerechnet. Das würde in dem hier betrachteten Fall einen Stickstoffverlust von rund 60 kg anstatt 98 kg ausmachen.

Die Bilanz würde sich von 227 kg auf 265 kg N verbessern. Ein weiterer Vorteil ist, dass durch die hohe Temperatur von bis zu 70°C in den ersten 3-6 Tagen und danach 40-50°C so eine weitestgehende Hygienisierung des Grünschnitts durchgeführt wird (ZIPPERT & LINDAUER 2011, S. 9).

Der Zukauf von Biomasse kann die Stickstoffbilanz des Betriebes aufbessern. Dabei kann beispielsweise auf Grüngut aus kommunaler Herkunft zurückgegriffen werden (FREYER 2003, S. 104).

Verluste können durch eine Abdeckung vermindert werden. Diese sollte atmungsaktiv und wasserundurchlässig sein (ZIPPERT & LINDAUER 2011, S. 10).

4.3.3 Biogas

a) Stickstoffzufuhr

Düngung

Bei der Werbung von Anwelksilage, die einen Tag auf der Fläche verbleibt, sind Bröckelverluste von 15 – 30 % einzuplanen (STEIN-BACHINGER 2004, S. 41). In dieser Arbeit wird ein mittlerer Wert von 22,5 % angenommen. Bezieht man den höheren N-Gehalt der Bröckelverluste ein, entsteht ein N-Verlust von rund 29 %.

Aus 4.1 *Ertrag und N-Fixierung* geht hervor, dass im erntbaren Aufwuchs 216 kg N_{fix} enthalten sind. In den Bröckelverlusten sind rund 63 kg N_{fix} enthalten. Wird der im geernteten Aufwuchs enthaltene Stickstoff um die Ernteverluste von 63 kg N_{fix} verringert, verbleiben 152 kg N_{fix} im zu silierenden Material.

Die Silierverluste belaufen sich laut DLG (1997) in (STÜRMER & EDER 2010, S. 42) auf 10 %.

STINNER et al. (2009, S. 509) bestätigen dies und geben Silierverluste bei der Klee grasverwertung in Biogasanlagen mit 10 – 20 % an. Somit können in dieser Arbeit Stickstoffausträge, verursacht durch Silierverluste, in Höhe von 10 % des im Siliergut enthaltenen Stickstoffs angenommen werden. In diesem Fall sind das rund 15 kg N_{fix} .

Von den soeben berechneten 152 kg N_{fix} müssen nochmals 15 kg N_{fix} subtrahiert werden, so dass 137 kg N_{fix} verbleiben.

Da der Gärprozess unter Luftabschluss stattfindet, treten währenddessen im Gegensatz zur Kompostierung keine Verluste an Stickstoff durch Ausgasung oder Auswaschung auf

(SCHULZ & EDER 2001, S. 88). Diese Aussage wird von MÖLLER et al. (2006, S. 152) bestätigt.

Bei abgeschlossener Lagerung der Gärsubstrate entstehen nach Möller (2003, S. 3, 6) folgende Verluste:

- alleinige Vergärung von Stallmist / Gülle: Lagerungsverluste von ca. 1 % des enthaltenen Stickstoffs (S. 3)
- Lagerungsverluste im viehlosen System sind nicht extra aufgeführt (S. 6)

Folgend wird der Wert des viehhaltenden Systems übernommen und Lagerungsverluste von 1 % einkalkuliert, das sind 1,5 kg N_{fix} . Abzüglich dieser Verluste verbleiben bis zur Ausbringung der Gärreste demnach 151 kg N_{fix} im Substrat.

Zu Emissionen während der Ausbringung der Biogastrückstände lassen sich in der Literatur folgende Angaben finden:

- kein signifikanter Unterschied von NH_3 -Verlusten von viehlosen zu viehhaltenden Systemen, welche sich bei beiden auf ca. 12 % des Stickstoffs belaufen (MÖLLER et al. 2006, S. 89)
- Verluste bei der Ausbringung von rund 15 % des Stickstoffs (MÖLLER 2003, S. 6)
- Verluste von NO_x und CH_4 liegen im Grammbereich (MÖLLER et al. 2006, S. 91f.)
- Amon et al. (2006, S. 158) geben dazu einen Wert von 3 g N_2O je m^3 Biogasgülle an, was einem Emissions-Wert von 0,1 % des gesamten Stickstoffs beträgt

Da N-Verluste, verursacht durch Ammoniakemissionen, abhängig von mehreren Faktoren sind, u. a. von der Ausbringtechnik und der Temperatur (DÖHLER 1990, S. 253 - 255), können in der Praxis erhebliche Unterschiede auftreten. Deswegen wird im Folgenden mit dem höheren Wert von 15 % gerechnet: So gehen weitere rund 23 kg N_{fix} durch die Ausbringung verloren.

Stickstoffverluste durch Stickoxide können vernachlässigt werden.

Demzufolge stehen im Laufe der Fruchtrotation rund 128 kg N aus organischer Düngung der Biogasanlage zur Verfügung.

Gründüngung

An dieser Stelle werden Bröckelverluste während der Werbung berücksichtigt. Sie sind unter *Stickstoffzufuhr –Düngung* berechnet und betragen rund 63 kg N_{fix}.

Folgend werden alle betrachteten Werte der Stickstoffzufuhr zusammenfassend in Tabelle 4 dargestellt:

Tabelle 4: Stickstoffzufuhr - Biogas

Stickstoffquelle	Stickstoffmenge
Saatgutbedarf Klee gras	vernachlässigt
Düngung	128 kg N _{fix}
Symbiotische Bindung	308 kg N _{fix}
Immission	20kg
Asymbiotische Bindung	5 kg
Gründüngung	63 kg N _{fix}
Gesamt	524 kg N

b) Stickstoffabfuhr

Bei der Stickstoffabfuhr können die Werte aus 4.2 Nährstoffbilanzierung – allgemeine Teilergebnisse und 4.3.1 Schnittnutzung Allgemein übernommen werden. In Tabelle 5 werden diese zusammenfassend dargestellt:

Tabelle 5: Stickstoffabfuhr - Biogas

Verlustquelle	Verlustmenge
Nährstoffentzug im abgeführten Erntegut	216 kg N _{fix}
Immobilisation	5 kg
NH ₃ -Verluste	vernachlässigt
Denitrifikation	vernachlässigt
Auswaschung	4 kg N
Erosion	vernachlässigt
Gesamt	225 kg N

Stickstoffsaldo = \sum Stickstoffzufuhr - \sum Stickstoffabfuhr

Stickstoffsaldo = 524 kg N – 225 kg N = 299 kg N

Auch bei der Biogasherstellung kann die Stickstoffbilanz durch den Zukauf von betriebsfremdem Grüngut aufgebessert werden (FREYER 2003, S. 104).

Durch die Vergärung des Kleegrasaufwuchses können bedeutende Mengen an Stickstoff in einen transportablen Dünger überführt werden (MÖLLER 2004, S. 32). Dieser kann beispielsweise eingesetzt werden, um die Proteingehalte im Weizen gezielt zu erhöhen (MÖLER et al. 2006, S. 139).

Um Verluste während dieser Ausbringung zu verringern, sollte sie bodennah bzw. unter der Erdoberfläche erfolgen (AMON et al. 2006, S. 154).

Bei der Biogasvergärung von Kleegrasaufwüchsen wird davon ausgegangen, dass 50-60 % des ausgebrachten Stickstoffs im ersten Jahr verfügbar ist (MÖLLER & SCHULTHEIß, 2014, S. 210).

Trotz der genannten Vorteile wurde 2013 laut DÖHLER (1990, S. 17) lediglich ein Masseanteil von 11 % der in Deutschland verwendeten Substrate als Klee gras verwendet. Ein Grund für die seltene Verwendung von Klee gras als Substrat in Biogasanlagen können die überwiegenden Vorteile von Mais sein: ein höherer Flächenenergieertrag, seine hohe Energiedichte und die einmalige Ernte (MÖLLER et al. 2006, S. 12).

4.3.4 Cut and Carry

a) Stickstoffzufuhr

Düngung

Bei der Ernte und dem Transport des frischen Grünguts kann der Wert vom Kompostieren übernommen werden:

Nach den Verlusten am potenziell erntbarem Stickstoff von 216 kg N_{fix} verbleiben noch 195,5 kg N_{fix} .

Da die gesamte Biomasse wieder ausgebracht wird, ist hier mit denselben NH_3 -Verlusten wie beim Mulchen zu rechnen. Diese belaufen sich laut 4.3.6 *Mulchen* auf 20 %, also 39 kg N_{fix} . Werden diese von der Stickstoffmenge im ausgebrachten Grünschnitt abgezogen, verbleiben rund 156 kg N_{fix} in der Biomasse.

Folgend werden alle betrachteten Werte der Stickstoffzufuhr zusammenfassend in Tabelle 6 dargestellt:

Tabelle 6: Stickstoffzufuhr - Cut and Carry

Stickstoffquelle	Stickstoffmenge
Saatgutbedarf Klee gras	vernachlässigt
Düngung	156 kg N _{fix}
Symbiotische Bindung	308 kg N _{fix}
Immission	20 kg
Asymbiotische Bindung	5 kg
Gründüngung	21 kg N _{fix}
Gesamt	510 kg N

b) Stickstoffabfuhr

Da frisches Grüngut von der Fläche gefahren wird, kann sich an dieser Stelle auf den Kompostierungsprozess bezogen werden. Die dort berechneten Werte gelten somit für beide Verfahren.

In Tabelle 7 werden die für das Cut and Carry zutreffenden Ergebnisse zusammenfassend dargestellt:

Tabelle 7: Stickstoffabfuhr - Cut and Carry

Verlustquelle	Verlustmenge
Nährstoffentzug im abgeführten Erntegut	216 kg N _{fix}
Immobilisation	5 kg
NH ₃ -Verluste*	vernachlässigt*
Denitrifikation	vernachlässigt
Auswaschung	4 kg N
Erosion	vernachlässigt
Gesamt	225 kg N

**Auf der Fläche, mit abgefahrenem Schnittgut*

$$\text{Stickstoffsaldo} = \sum \text{Stickstoffzufuhr} - \sum \text{Stickstoffabfuhr}$$

$$\text{Stickstoffsaldo} = 510 \text{ kg N} - 225 \text{ kg N} = \underline{285 \text{ kg N}}$$

Cut and Carry bietet die Möglichkeit, fixierten Stickstoff innerbetrieblich auf kurzen Wegen verwerten zu können (STUMM & KÖPKE 2012, S. 14).

Dabei kann dieses Verfahren eine Alternative zu bisherigen Verwendungsformen bieten: Im vielseitigen Betrieb kann der erste Aufschnitt auf Gemüse- oder Hackfruchtkulturen ausgebracht werden. Zum Beispiel können Kartoffeln bis Mitte Mai gelegt werden (MUNZERT & FRAHM 2006, S. 563). Bis kurz nach dem Auflaufen der Pflanzen bietet diese Fläche Platz für den ersten Grünschnitt. Der nächste Aufschnitt kann verwendet werden, um zwischen Ernte und Stoppelbearbeitung eines Getreideschlages N aufzutragen und für die Folgekultur bereit zu stellen. Die Erntezeitpunkte reichen von Ende Juni bei Wintergerste bis Ende August bei Hafer (MUNZERT & FRAHM 2006, S. 412). Der letzte Schnitt kann genutzt werden, um vor der Herbstaussaat ausgebracht zu werden. Die optimale Aussaatzeit von Weizen liegt zwischen Mitte und Ende Oktober (MUNZERT

& FRAHM 2006, S. 451). Beeinträchtigung der Saattechnik durch den Aufwuchs kann durch dessen Einarbeitung vorgebeugt werden.

Der maschinelle Aufwand für das Verfahren, die Koordinierung von Schnittzeitpunkt und Düngung sind jedoch schwierig miteinander abzustimmen und können ein Hindernis zur Etablierung dieser Methode im Betrieb darstellen (ZIPPERT & LIN-DAUER 2011, S. 8).

Kleegrasaufwuchs gilt dabei als langsam fließende N-Quelle, ist also zur Düngung für Kulturen mit langer Standzeit geeignet (MÖLLER & SCHULTHEIß 2014, S. 208).

4.3.5 Viehhaltung

a) Stickstoffzufuhr

Düngung

An dieser Stelle wird der im Dünger enthaltene Reststickstoff betrachtet, der nach der Produktion verbleibt. Deswegen werden die Verluste betrachtet, die während des Schnitts, der Konservierung und des Transports entstehen, sowie die Verluste, die während der Tierhaltung, der Dunglagerung und -ausbringung hinzukommen. Da dieser Abschnitt hauptsächlich zum Vergleich herangezogen wird, kann an dieser Stelle auf spezifische Werte der einzelnen Emissionsquellen verzichtet werden. Die betrachtete Literatur stellt folgende Angaben zur Verfügung:

- Der Netto Stickstoffgewinn, der dann noch im Betrieb verbleibt, ist über die gesamte Kaskade ca. 30 – 40 % und somit ähnlich wie beim Mulchen (HEUWINKEL et al. 2003, S. 73)
- 20 % des Stickstoffs werden direkt im Tier umgewandelt (VAN VUUREN & MEIJS 1987; JARVIS 1992 in Dreymann 2005, S. 47)
- weitere 20 – 30 % entstehen bei Lagerung und Konservierung des Futters und der Ausscheidungen (LAERGRAID et al. 1999; BERG et al. 2002 in Dreymann 2005, S. 47)
- Bei der offenen Lagerung von Gülle und Mist können Stickstoffverluste von 20 - 40 % auftreten (SCHULZ & EDER 2001, S. 88)

Im Folgenden werden N-Verluste von 20 % durch das Tier und 30 % durch Lagerung und Konservierung des Futters und der Exkremente betrachtet. (Schnittpunkt beider Literaturangaben) Daher summiert sich der Gesamtverlust auf 50 %, also 108 kg N_{fix}.

Werden diese in den potenziell erntbaren Wert von 216 kg N_{fix} einbezogen, so bleiben nach der Verwertung durch die Wiederkäuer 108 kg N_{fix}, die einer nächsten Kultur zur Verfügung stehen können.

Folgend werden alle betrachteten Werte der Stickstoffzufuhr zusammenfassend in Tabelle 8 dargestellt:

Tabelle 8: Stickstoffzufuhr - Viehhaltung

Stickstoffquelle	Stickstoffmenge
Saatgutbedarf Klee gras	vernachlässigt
Düngung	108 kg N _{fix}
Symbiotische Bindung	308 kg N _{fix}
Immission	20 kg
Asymbiotische Bindung	5 kg
Gründüngung	63 kg N _{fix}
Gesamt	504 kg N

b) Stickstoffabfuhr

Da angewelktes Grüngut von der Fläche gefahren wird, kann sich an dieser Stelle auf den Biogasprozess bezogen werden. Die dort berechneten Werte gelten somit für beide Verfahren. In Tabelle 9 werden die für die Viehhaltung zutreffenden Ergebnisse zusammenfassend dargestellt:

Tabelle 9: Stickstoffabfuhr - Viehhaltung

Verlustquelle	Verlustmenge
Nährstoffentzug im abgeführten Erntegut	216 kg N _{fix}
Immobilisation	5 kg
NH ₃ -Verluste	vernachlässigt
Denitrifikation	vernachlässigt
Auswaschung	4 kg N
Erosion	vernachlässigt
Gesamt	225 kg N

$$\text{Stickstoffsaldo} = \sum \text{Stickstoffzufuhr} - \sum \text{Stickstoffabfuhr}$$

$$\text{Stickstoffsaldo} = 504 \text{ kg N} - 225 \text{ kg N} = \underline{\underline{279 \text{ kg N}}}$$

4.3.6 Mulchen

Auf Grundlage der Rechercheergebnisse in 2.2 *Theoretischer Hintergrund – Mulchen* ist eine Neuberechnung für den Ertrag und die Stickstofffixierung nötig.

a) Ertrag

In der betrachteten Literatur finden sich folgende Hinweise:

- Insgesamt ca. 10 % weniger Biomassebildung als bei Schnittnutzung (HEUWINKEL et al. 2003, S. 72)
- Beim Mulchen wird 9 % weniger Biomasse gebildet, dabei ist der Leguminosenanteil um 20 % verringert (HELMERT et al. 2003, S. 347).

Auf der in dieser Arbeit betrachteten Fläche wird mit einem Ertrag von 10t TM bei Schnittgutabfuhr gerechnet. Unter Einbezug von HEUWINKEL et al. (2003) und HELMERT et al. (2003) kann mit einer verminderten Biomasseproduktion von 9 – 10 % gerechnet werden. Im Folgenden wird sich auf den Mittelwert von 9,5 % bezogen.

Somit wird ein potenziell erntbarer Ertrag von 9050 kg TM erwartet. Dieser enthält 280 kg N.

Bei einem Verhältnis der Summe von N der oberirdischen Biomasse zu der Summe von N der unterirdischen Biomasse von 70:30 (SCHMIDT 1997, S. 24), kann ein weiterer Betrag von 119 kg N addiert werden. Folglich summiert sich der gebundene Stickstoffgehalt auf 400,79 kg. Eine Einordnung des Wertes erfolgt unter c) *Stickstoffzufuhr*.

b) N Fixierung

Zur Berechnung sind folgende Formeln aus dem Methodenteil übernommen worden:

$$1) N_{\text{fix erntbar}} (\text{kg ha}^{-1} \text{ a}) = \text{kg } N_{\text{Spross}} \times \text{Leguminosenertragsanteil} \times N_{\text{dfa}}$$

$$2) N_{\text{fix nicht erntbar}} (\text{kg ha}^{-1} \text{ a}) = (\text{kg } N_{\text{EWR}}) \times \text{Leguminosenertragsanteil} \times N_{\text{dfa}}$$

$$N_{\text{fix}} = N_{\text{fix erntbar}} + N_{\text{fix nicht erntbar}}$$

In der Literatur lassen sich folgende Angaben zum durchschnittlichen Leguminosenanteil finden und des N_{dfa} finden:

Leguminosenanteil = 57 % (HEUWINKEL et al. 2001, S. 184)

= 60 % (HELMERT et al. 2003, S. 347)

Im Weiteren wird von dem Mittelwert 58,5 % ausgegangen

N_{dfa} = 85 % (HEUWINKEL et al. 2001, S. 184)

= 91 % (HELMERT et al. 2003, S. 347)

Im Weiteren wird von dem Mittelwert 88 % ausgegangen

Bezogen auf die betrachtete Fläche ergeben sich bei Abfuhr des Aufwuchses folgende Werte:

kg N im Spross = $90,5 \text{ dt ha}^{-1} \times 3,1 \% \text{ N} = 280 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$

kg N in EWR = $0,75 \times 90,5 \text{ dt ha}^{-1} \times 1,75\% \text{ N} = 119 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$

Leguminosenanteil = 0,585

N_{dfa} = 0,88

N_{fix} erntbar = $280 \text{ kg N} \times 0,585 \times 0,88$

= 144 kg N

N_{fix} nicht - erntbar = $119 \text{ kg N} \times 0,585 \times 0,88$

= 61 kg N

N_{fix} = $144 \text{ kg N} + 61 \text{ kg N}$

= 205 kg N

Laut (KTBL 2015, S. 112) wird bei einem Klee-grasgemenge (70:30) fixierter Stickstoff von 180 kg pro ha berechnet. Dieser Wert weicht gering (25 kg) von der in dieser Arbeit

kalkulierten Menge ab. Laut MÖLLER & SCHULTHAIß (2014, S. 207) können im Leguminosengrasgemenge 250 – 400 kg N gebunden werden. Die in dieser Arbeit berechnete Menge befindet sich innerhalb dieser Größenordnung und kann somit als realistisch betrachtet werden.

c) Stickstoffzufuhr

Symbiotische Stickstoffbindung

Wie in 4.3.6 *Ertrag* berechnet wurde, werden im betrachteten Beispiel voraussichtlich rund 205 kg N pro ha aus der Luft fixiert.

In der Literatur finden sich folgende Werte:

- 180 kg N_{fix} , 10 % weniger als bei Schnittnutzung (PIETSCH 2004, S. 76)
- Mulch: 236 kg N_{fix} statt Schnitt: 344 kg N_{fix} (HEUWINKEL et al. 2001, S. 184)
- 65 kg statt 370 kg N_{fix} , 80 % weniger, aber sehr trockenes Jahr (DREY-MANN 2005, S. 33)
- 120 kg ha^{-1} (SCHMIDT 1997, S. 46)
- Mulch: 170 kg ha^{-1} statt Schnitt: 227 / 243 kg ha^{-1} , also 19,8 %, bzw. 22,4 % weniger (RUHE et al. 2003, S. 99)
- 6,2 % weniger Bindeleistung als bei Schnittnutzung (HELMERT et al. 2003, S. 347)

Auf Grund der Trockenheit im Versuchsjahr und der damit fehlenden Aussagekraft wird die verminderte Bindeleistung von 80 % von DREYMAN (2005, S. 33) von der Betrachtung ausgenommen. Bildet man den Durchschnitt der Bindeleistung der anderen genannten Literaturangaben – 10 % (PIETSCH 2004, S. 76), 31 % (HEUWINKEL et al. 2001), 19,8% bzw. 22,4 % weniger (RUHE et al. 2003, S. 99) – so ergibt dies eine verminderte Stickstofffixierleistung von etwa 20 %, mit der im Weiteren kalkuliert wird.

Gründüngung

Aus der Ertragsberechnung können folgende Werte übernommen werden:

Ertrag oberirdisch von 9050 kg, darin sind 280 kg Stickstoff enthalten. Im unterirdischen Teil lassen sich weitere 119 kg Stickstoff finden, sodass im Aufwuchs insgesamt 400,79 kg N enthalten sind.

In der betrachteten Literatur lassen sich zum Jahr nach der Aussaat folgende Vergleichswerte finden:

- 2,3 t TM Biomasse in Stoppeln (PIETSCH 2004, S. 64)
- 6,9 t TM Biomasse in Wurzeln (PIETSCH 2004, S. 67)
- 14,5 t TM Biomasse in Mulch (PIETSCH 2004, S. 63)

Der Stickstoffgehalt der EWR wird mit einem Wert von 1,75 % angenommen (siehe allg. Betrachtungen). Somit summieren sich die EWR von Pietsch (2004) auf 161 kg N.

Im Aufwuchs befinden sich 449,5 kg N. Dies wird als sehr hoch betrachtet, kann jedoch damit zusammenhängen, dass 1) der Ertrag hoch ist und 2) der Stickstoffgehalt möglicherweise geringer ist als in den vorliegenden Berechnungen.

- In Stoppeln sind zwischen 42 – 137 kg ha⁻¹ N, im Durchschnitt 85 kg (SCHMIDT 1997, S. 44). Das deckt sich ebenfalls mit Angaben weiterer Quellen (PIORR 1992 und HEß 1989 in SCHMIDT 1997, S. 44)
- Es kann angenommen werden, dass das Verhältnis von N in der erntbaren Biomasse zu N aus Wurzel und Stoppel 70:30 beträgt (SCHMIDT 1997, S. 24). Dies trifft auf die Messwerte von PIETSCH (2004, S. 63f., 67) annähernd zu, die ein Verhältnis von 70:25 nachwies.
- Nach DREYMANN (2005, S. 24) sind 10,54t TM Biomasse im Aufwuchs enthalten. Davon 273,6 kg N in der Biomasse und 157,5 kg N in den Residuen (DREYMANN 2005, S. 33). Bei einem in dieser Arbeit angenommenen N-Anteil

von 2,6 % ist das Verhältnis von N in oberirdischer Biomasse zu unterirdischer Biomasse ca. 50:30 und damit ist relativ mehr Wurzelmasse vorhanden.

- Nach dreimaligem Mulchen sind durchschnittlich 8,2 t Grünschnitt pro Hektar, darin sind 191 kg N (SCHMIDT 1997, S. 37), also 2,33 % N im Grünschnitt.

Dieser weist durchschnittlich 85 kg in den Wurzeln nach (SCHMIDT 1997, S. 44). Damit geht er von einem Verhältnis des N in der oberirdischen- zu N der unterirdischen Biomasse von 70:30 aus (SCHMIDT S. 24) und kommt so auf 280 kg N im oberirdischen Aufwuchs und insgesamt auf 365 kg.

DREYMANN (2005, S. 33) beschreibt 430 kg N Gesamtstickstoff und (PIETSCH 2004, S. 63, 64, 67) summiert den Stickstoff in der Biomasse auf 600 kg N.

Der in dieser Arbeit berechnete Betrag an Stickstoff in der Biomasse, sowie der berechnete Betrag an fixiertem N sind mit Werten aus der betrachteten Literatur vergleichbar und somit als realistisch einzuschätzen.

Folgend werden alle betrachteten Werte der Stickstoffzufuhr zusammenfassend in Tabelle 10 dargestellt:

Tabelle 10: Stickstoffzufuhr - Mulchen

Stickstoffquelle	Stickstoffmenge
Saatgutbedarf Klee gras	vernachlässigt
Düngung	0 kg N
Symbiotische Bindung	205 kg N
Immission	20 kg N
Asymbiotische Bindung	5 kg N
Gründüngung*	400 kg N
Gesamt	230 kg N

d) Stickstoffabfuhr

NH₃-Verluste:

In der Literatur wurden folgende Werte gefunden:

- 15 – 27 %, im Durchschnitt 21 % Verlust vom N im Aufwuchs, verursacht durch NH₃, bei 191 kg sind das 40 kg Verlust (SCHMIDT 1997, S. 40)
- 6 % der Aufwuchsmenge an N gehen verloren, 3 % bei älterem Gras mit weitem C-/N-Verhältnis, das ergeben im Versuch 3,4 bzw. 1,7 kg ha⁻¹ N (WEBER et al. 2000, S. 180)
- Durchschnittlich 2,3 kg N gehen pro Mulchtermin verloren, bei 4 Terminen wären das 9,2 kg, was ca. 2 % von N im Aufwuchs ausmacht (WEBER et al. 2003; S. 92)
- Je nach N-Gehalt gehen 2 – 39 % vom Stickstoff verloren, bei Klee gras mit hohem N-Gehalt sind das 39 % (LARSSON et al. 1998, S. 43)

Auf Grund der hohen Streuung der Literaturwerte wird sich in dieser Arbeit an den Messergebnissen aus Schmidt (1997) orientiert, da dort bereits ein durchschnittlicher NH₃-Verlust aus verschiedenen Szenarien kalkuliert ist. Dabei ist dies gleichzeitig ein mittlerer Wert aus den anderen drei Studien. So wird in der vorliegenden Arbeit mit einem Stickstoffverlust durch Ammoniak von ca. 20 % der im oberirdischen Aufwuchs enthaltenen N-Menge ausgegangen.

Bezogen auf die 144 kg N im oberirdischen Aufwuchs sind das 29 kg N. Somit verbleiben in diesem nach Abzug der Ammoniakverluste noch rund 115 kg Stickstoff.

Laut KTBL (2015, S. 141) sind in einem Leguminosengrasgemisch (Verhältnis 70:30) bei 40 t FM (8t TM) etwa 200 – 220 kg N im Aufwuchs enthalten. Nach dem Mulchen können in Abhängigkeit von der Temperatur 6 – 25 kg N entweichen. Dies ergibt einen Anteil von 3 – 11 %.

In der vorliegenden Arbeit wird von einem Ertrag bei der Mulchnutzung von rund 9 t TM ausgegangen. Somit sind die Werte in etwa vergleichbar. In den aufgeführten Berechnungen treten geringfügig höhere NH₃-Verluste von etwa 4 kg auf.

Auswaschung von Nitrat

Erster Winter nach Ansaat:

5 kg ha⁻¹ (SCHMIDT 1997, S. 120), bestätigt durch HEß (1989), SCHMIDKE (1989) und OOWEN (1990) in SCHMIDT (1997; S. 120)

Zweiter Winter nach Ansaat:

Da sich die Menge der in tieferen Schichten verlagerten Nitratverbindungen nach Bewirtschaftungsform (Frühjahrs- und Herbstumbruch) stark unterscheidet, muss folgend eine getrennte Betrachtung nach beiden Formen vorgenommen werden.

Herbstumbruch:

- 1x Mulchen: 45 kg, 3x Mulchen: 33 kg (DREYMANN 2005, S. 137)
- 3x Mulchen: 30 kg (DREYMANN et al. 2003, S. 86)

Frühjahrsumbruch:

- 1x Mulchen: 38 kg, 3x Mulchen: 15 kg (DREYMANN 2005, S. 137)
- 3x Mulchen: 14 kg (DREYMANN et al. 2003, S. 86)
- 30,3 kg (RUHE et al. 2003, S. 99)

Die Verluste verringern sich beim Frühjahrsumbruch bzw. Umbruch im August mit anschließender Zwischenfruchtansaat (SCHMIDT 1997, S. 127). Diese Aussage wird anhand der betrachteten der Literaturangaben bestätigt.

Die im Winter nach der Ansaat entstehenden Verluste von 5 kg N werden in den folgenden Berechnungen nicht aufgeführt, da sich die vorliegende Arbeit nur mit dem Zeitraum ab der Bewirtschaftung beschäftigt. Weiterhin können 30 kg N bei Herbstumbruch bzw. 20 kg N bei Frühjahrsumbruch angenommen werden. Da in der vorliegenden Arbeit der Frühjahrsumbruch angestrebt wird, kann im Folgenden mit Verlusten von 20 kg N pro ha kalkuliert werden.

In Tabelle 11 werden die betrachteten Werte der Stickstoffabfuhr beim Mulchen zusammenfassend dargestellt

Tabelle 11: Stickstoffabfuhr - Mulchen

Verlustquelle	Verlustmenge
Nährstoffentzug im abgeführten Erntegut	0
Immobilisation	5 kg N
NH ₃ -Verluste	29 kg N _{fix}
Denitrifikation	vernachlässigt
Auswaschung	20 kg N
Erosion	vernachlässigt
Gesamt	54 kg N

Stickstoffsaldo = \sum Stickstoffzufuhr - \sum Stickstoffabfuhr

Stickstoffsaldo = 230 kg N_{fix} - 54 kg N_{fix} = 176 kg N_{fix}

Nach dem Mulchen des Klee-grases verbleiben rund 176 kg N auf der Fläche. Laut KTBL (2010, S. 209) beträgt das Stickstoffsaldo eines vergleichbaren Bestands (70 % Leguminosenanteil, 40 dt pro ha Frischmasseertrag) 179 kg N. Diese Saldi weisen eine Differenz von 4 kg auf. Somit kann der berechnete Betrag als realistisch eingeschätzt werden.

4.4 Vergleich der Nutzungssysteme

In Tabelle 12 werden für das jeweilige Verfahren die Ergebnisse hinsichtlich des (1) fixierten Stickstoffs, (2) des Stickstoffs, der im Prozess verloren geht und (3) des Stickstoffs, der für die Fruchtfolge zur Verfügung steht, in einer Übersicht zusammengestellt.

Dabei ist zu erkennen, dass bei der Schnittnutzung des Aufwuchses im Vergleich zur Mulchnutzung rund 20 % mehr Stickstoff fixiert wird. Während des Prozesses treten Verluste von 20 – 50 % des in der Biomasse gebundenen Stickstoffs auf.

Folglich sind für die weitere Fruchtfolge Stickstoffmengen von rund 180 bis 300 kg zur Düngung einzukalkulieren.

Tabelle 12: Vergleich der Verfahren

Verfahren →	Mulchen	Kompost	Biogas	Cut and Carry	Milchvieh
Parameter ↓					
N _{fix} (Input)	205 kg	308 kg	308 kg	308 kg	308 kg
N im Prozess Verloren von N _{fix}	14 % = 29 kg	31 % = 97 kg	8 % = 25 kg	13 % = 39 kg	15 % 45 kg
N aus Nährstoffmanagement „Klee gras“	176 kg	211 kg	283 kg	269 kg	263 kg
Immisionen/asymb. Bindung	25 kg	25 kg	25 kg	25 kg	25 kg
Auswaschung/Immobilisation	-25 kg	-9 kg	-9 kg	-9 kg	-9 kg
N für Folgekulturen	176 kg	227 kg	299 kg	285 kg	279 kg

Nachstehend wird entsprechend des Stickstoffs, der für weitere Kulturen zur Verfügung steht, eine beispielhafte Fruchtfolge aufgestellt. Diese kann als Handlungsempfehlung für den klee-grananbauenden Betrieb gelten.

Bei der Erstellung einer Fruchtfolge sollten laut MUNZERT & FRAHM 2006, S. 181) folgende Regeln Berücksichtigung finden:

- Wechsel zwischen Halm- und Blattfrucht
- Wechsel zwischen Winterungen und Sommerungen
- Wechsel zwischen Humusmehrern und -zehrern
- Kulturen unterschiedlicher Wachstumszyklen, Wurzelsysteme, Nährstoffansprüche und Krankheitsanfälligkeiten

Im viehlosen Ökolandbau stellt sich als zentrale Frage, wie die Kulturen mit ausreichend Stickstoff versorgt werden können (FREYER 2003, S. 104).

Mit einer Stickstofffixierung von 308 kg N pro Jahr kann der überjährige Klee-grasanbau einen wertvollen Beitrag zur ausreichenden Stickstoffversorgung in der Fruchtfolge leisten. Danach können ein anspruchsvolles und ein weniger anspruchsvolles Getreide, beispielsweise Weizen und Hafer, mit genügend Stickstoff versorgt werden (vgl. FREYER 2003, S. 102).

Pro Tonne Winterweizen werden dem Boden rund 17 kg N, pro Tonne Hafer rund 16 kg N entzogen (KTBL 2015, S. 127). Bei einer Ackerzahl von 60-79 liegen die Ertragspotentiale der beiden Kulturen bei 5 t Winterweizen und 4 t Hafer. Die Stickstoffabfuhr beider Kulturen addiert sich auf 149 kg N. Außerdem kann es vor allem über die Wintermonate zur Auswaschung von Nitrat kommen: Diese ist abhängig von der im Herbst im Boden vorhandenen mineralisierten Stickstoffmenge und der Niederschlagsmenge (FREYER 2003, S. 167). Das Auswaschungsrisiko steigt mit abnehmender Bodenbedeckung und ist beispielsweise bei Winterweizen nicht unwesentlich geringer als bei Schwarzbrache (FREYER 2003, S. 170). So wurden von (SCHMIDT 1997, S. 119) 22 kg Stickstoffverlust gemessen.

Dabei ist es sinnvoll, erst Hafer als Sommerung und anschließend Weizen als Winterung anzubauen.

Durch den Frühjahrsumbruch des Klee grasbestands wird das Risiko der Auswaschung vermindert. Gleichzeitig kann von einem hohen Ertragsniveau mit guten Qualitäten ausgegangen werden (DREYMANN et al. 2003, S. 86).

Um den Wechsel zwischen Blatt- und Halmfrucht, sowie zwischen Sommerung und Winterung zu gewährleisten, empfiehlt es sich, nach dem Winterweizen im Frühjahr eine Blattfrucht (beispielsweise eine Körnerleguminose) anzubauen.

Um weiterhin die Bindeleistung der Fruchtfolge zu steigern, bietet sich die Möglichkeit, legume Zwischenfrüchte (Zwfr.) anzubauen (FREYER 2003, S. 104). Diese können zusätzlich 40-50 kg N einbringen (KTBL 2015, S. 113).

Körnerleguminosen haben hinsichtlich der Stickstoffversorgung der Fruchtfolge nur eine geringe Bedeutung, da der fixierte Luftstickstoff mit dem Erntegut zu großen Teilen den Betrieb verlässt. Die von den Pflanzen fixierte Stickstoffmenge entspricht annähernd der durch den Kornertrag abgeführten Stickstoffmenge (STEIN-BACHINGER et al. 2004, S. 115). Diese liegt im Mittel bei ca. 130 kg N pro ha (KTBL 2015, S. 112). Alternativ können diese geschrotet und dann zur Düngung anderer stickstoffintensiver Kulturen verwendet werden. Diese Tatsache ist vor allem für Gemüsebaubetriebe interessant, da der Stickstoff der Körnerleguminosenschrote schneller verfügbar ist als der der Klee grasmenge. Auf diese Weise kann insbesondere im Frühjahr eine gute Versorgung der Kulturen sichergestellt werden (MÖLLER & SCHULTHEIß 2014, S. 210). Damit lässt sich ein betriebseigener, transportabler Dünger herstellen, der dem angestrebten Kreislaufprinzip des Ökolandbaus entgegen kommt.

Nach der Leguminose kann eine weitere anspruchslose Getreideart wie z. B. Dinkel angebaut werden. Die Weizenart hat auf diesem Standort ein Ertragspotenzial von ca. 3,5 t pro ha (STEIN-BACHINGER et al. 2004, S. 38) und beinhaltet rund 21 kg N pro Tonne (KTBL 2015, S. 127). Demzufolge entzieht er insgesamt 73 kg N.

Wird der Klee grasbestand dann während der abtragenden Getreidekultur als Untersaat (US) etabliert, treten laut (HEUWINKEL & LOGES 2004, S. 23) gegenüber einer späteren Reinsaat folgende Vorteile hervor:

- höhere Spross- und Wurzelmassebildung
- höhere Stickstofffixierleistung
- höhere Humusreproduktionsleistung
- bessere, vorbeugende Unkrautunterdrückung

Die für den Betrieb empfohlene Zielfruchtfolge kann wie folgt dargestellt werden:

Kleegras → Hafer → Winterweizen (Zwfr.) → Körnerleguminose → Dinkel (mit US)

Zur Einschätzung wird an dieser Stelle eine vereinfachte Nährstoffbilanz berechnet und in Tabelle 13 dargestellt. In dieser werden lediglich die Nährstoffzufuhr durch Saatgut und Düngung, sowie die Nährstoffabfuhr durch die im Erntegut enthaltenen Nährstoffe betrachtet und saldiert (STEIN-BACHINGER 2004, S. 23). Folgend wird das Saatgut nicht betrachtet. Weiterhin wird an Stelle der Düngung der legume Stickstoffinput aufgeführt.

Tabelle 13: Vereinfachte Stickstoffbilanz der Zielfruchtfolge

Kultur	N-Input (kg N ha⁻¹)	N-Output (kg N ha⁻¹)
Kleegras	308 / 205	variiert nach Nutzung
Hafer		64
Winterweizen		85
Körnerleguminose	vereinfachend nicht dargestellt	
Dinkel		73
Summe	308 / 205	222

Hier liegen gleichzeitig die Grenzen des Systems:

Um die angestrebten Erträge der Getreidekulturen zu erreichen, wird eine Stickstoffmenge von 222 kg benötigt. Mit der Mulchnutzung des Klee grasbestands können lediglich 205 kg Stickstoff fixiert werden. Abzüglich der Stickstoffverluste bleiben maximal 176 kg Stickstoff zur Ertragsbildung erhalten. Da weniger Stickstoff zur Verfügung steht als benötigt wird, kann von einem verminderten Ertrag ausgegangen werden.

In den schnittgenutzten Varianten steht prinzipiell genug fixierter Stickstoff für die Entwicklung des angestrebten Ertrags zur Verfügung. Da von weiteren Verlusten, beispielsweise hervorgerufen durch Nitratauswaschungen, ausgegangen werden kann, ist festzustellen dass dieser bei der Kompostbereitung nur knapp erreicht wird. Bei Anwendung der anderen drei betrachteten Verfahren kann ein Pufferbereich von 50-80 kg Stickstoff festgestellt werden. Somit ist die Produktion des Zielertrags möglich. Dabei ist die Verwendung des Klee grasaufwuchses als Substrat in Biogasanlagen hinsichtlich der Stickstoffeffizienz am günstigsten.

Sowohl bei dem Cut and Carry-Verfahren, als auch in der Biogaserzeugung ist nach der Klee grasverwertung mehr Stickstoff für Folgekulturen verfügbar als in einem viehhaltenden System.

Biogas und Kompost bieten die Möglichkeit, zusätzlich betriebsfremde Biomasse zu verwerten und damit die Nährstoffe zurückzuführen, die per pflanzlicher Produkte verkauft werden. So würde der im Ökolandbau angestrebte geschlossene Kreislauf eher geschlossen.

Folglich kann dem Biohof Hausmann aus Sicht der Stickstoffeffizienz empfohlen werden, sich näher mit den verschiedenen Möglichkeiten der Nutzung des Klee grasaufwuchses zu beschäftigen. Soweit möglich, sollte der Klee grasaufwuchs in einer Biogasanlage vergoren werden. Auch das Cut and Carry-Verfahren und die Bereitung von Kompost (bei Zukauf organischer Masse) sind anzuraten. Dabei wird eine detaillierte Betrachtung hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit empfohlen.

5 Schlussfolgerungen

Mit dieser Arbeit wurde ein erster Versuch unternommen, die genannten alternativen Klee gras-Verwertungsformen hinsichtlich ihrer Stickstoffeffizienz zu vergleichen und gegenüber zu stellen.

Dabei wird deutlich, dass es im betrachteten Betrieb durch den überjährigen Anbau von Klee gras in allen Nutzungsformen möglich ist, eine ausreichende Menge an Stickstoff zur Versorgung mehrerer Folgekulturen zu akkumulieren. Dabei verfügen die schnittgenutzten Varianten über deutlich mehr Stickstoff (ca. 230 bis 300 kg ha⁻¹ a⁻¹ N), als die Mulchnutzung (176 kg ha⁻¹ a⁻¹ N).

Bei der Brache stellt eine Minderfixierung im Vergleich zur Abfuhr und Nutzung des Aufwuchses von 33 % heraus.

Vorteil der schnittgenutzten Verfahren ist, dass ein transportabler Dünger entsteht, der zu entsprechender Zeit ausgebracht werden kann. Damit kann eine gezielte Qualitätssteigerung einhergehen, wie beispielsweise die Erhöhung des Rohproteingehalts beim Weizen. (MÖLLER et al. 2006, S. 139).

Dem Biohof Hausmann kann aus Sicht der Stickstoffeffizienz angeraten werden, sich näher mit den verschiedenen Möglichkeiten der Nutzung des Klee gras aufwuchses zu beschäftigen. Soweit möglich, sollte der Klee gras aufwuchs in einer Biogasanlage vergoren werden. Auch Das Cut and Carry-Verfahren und die Bereitung von Kompost (bei Zukauf organischer Masse) sind empfehlenswert.

6 Ausblick

Die vorliegende Arbeit stützt sich auf Werte einer umfangreichen Literaturrecherche und geht dabei von einem theoretisch berechneten Ertrag aus. Sinnvoll ist es, diesen im nächsten Jahr zu quantifizieren und die Rechnungen gegebenenfalls anzupassen.

In den Bilanzen wird lediglich der Stickstoff betrachtet. Weiterführend können diese auch für andere Nährstoffe wie Phosphor, Kalium und Mikronährstoffe durchgeführt werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde dargestellt, in welchen Verfahren entsprechende Verluste auftreten. Weiterführend können noch der monetäre Wert des gebundenen Stickstoffs und dessen Verluste bestimmt werden. Dadurch wäre es möglich, die Kosten für den Erhalt pro im Betrieb erhaltenen Stickstoff den Leistungen desselben gegenüber zu stellen. Außerdem können wirtschaftliche Daten des jeweiligen Verfahrens in die Rechnung aufgenommen werden. Erst dann kann wirklich gesagt werden, welches die ökonomisch interessanteste Alternative ist.

Auf Grund der schlechten Quellenlage, vor allem bei dem Cut and Carry-Verfahren und der Kompostierung von Klee gras, kann festgestellt werden, dass an dieser Stelle weiterer Forschungsbedarf besteht.

7 Zusammenfassung

Die Nachfrage nach bio-vegan hergestellten Produkten ist in den letzten Jahren gestiegen. Jedoch ist die Zahl bio-vegan wirtschaftender Höfe sehr gering. Gründe hierfür sind unter anderem im Klee grasmanagement und der eng damit verbundenen Nährstoffbereitstellung zu suchen. In der vorliegenden Arbeit wurde die Stickstoffeffizienz verschiedener Formen der alternativen Klee grasverwertung am Beispiel des Biohof Hausmann geprüft. Nach der Definition der einzelnen Verfahren wurden bestehende Forschungen zur Klee grasnutzung betrachtet, insbesondere bezogen auf Mulchen, Kompostieren, die Verwendung des Aufwuchses in Biogasanlagen und das so genannte Cut and Carry. Folgend wurde für jedes der genannten Verfahren beispielhaft eine Stickstoffbilanz aufgestellt und mit der tierhaltenden Variante verglichen. Anhand dieser Bilanzen wird sichtbar, welches Verfahren nach dem überjährigen Anbau von Klee gras das für den Standort das stickstoffeffizienteste ist.

Dabei kann festgestellt werden, dass alle Varianten genügend Stickstoff binden, um die Stickstoffversorgung von Getreide für mindestens zwei Jahre gewährleisten zu können: Die schnittnutzenden Systeme sind der Mulchnutzung deutlich überlegen und stellen rund 50 bis 100 kg N pro Hektar und Jahr mehr Stickstoff für die Folgekulturen zur Verfügung. Erfolgreichstes Modell ist die Nutzung des Aufwuchses als Substrat in Biogasanlagen. Auf dem betrachteten Standort können so bis zu $300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ N gebunden werden. Diese stellen gleichzeitig einen transportablen Dünger bereit, was ein beachtlicher ackerbaulicher Vorteil ist.

Das Cut and Carry System und die Verwendung des Aufwuchses als Substrat in Biogasanlagen sind in Hinblick auf ihre Stickstoffeffizienz erfolgreicher als die zurzeit übliche Milchviehhaltung, bei der von einem N-Saldo von rund $280 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Beim Mulchen und der Kompostierung wurden demgegenüber 100-, bzw. $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ N weniger bereitgestellt.

Welche der Varianten für einen Betrieb am geeignetsten ist, muss individuell entschieden werden und hängt nicht zuletzt auch von der technischen Ausstattung und den persönlichen Präferenzen des Betriebsleiters ab.

8 Literaturverzeichnis

- AID, KTBL (Hrsg.), 2008: Kompost in der Landwirtschaft. Bonn: ohne Verlag.
- Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T. & Zechmeister-Boltenstern, S., 2006: Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. In: Agriculture, ecosystems & environment, 112. S. 153 - 162.
- Belau, T., Braig, M., Buck, H., Fröba, N., Klöble, U., Laber, H., Möller, H., Postweiler, K., Puffert, M., Rupp, J., Sauer, N., Schick, M., Schroers, J. O., Schultheiß, U., Semmler, G., 2013: Ökologischer Feldgemüsebau - Betriebswirtschaftliche und Produktionstechnische Kalkulation. Darmstadt: KTBL.
- Biermann, S., 1995: Flächendeckende, räumlich differenzierte Untersuchung von Stickstoffflüssen für das Gebiet der Neuen Bundesländer. Aachen: Verlag Shaker.
- BioAbfV (Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden) i.d.F. vom 21. 09. 1998 Bl. I, S. 658), Zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 5 am 5. Dezember 2013 (Bl. I S. 4043).
- Bioland e.V. (Hrsg.), 2015. Bioland-Richtlinien – Fassung vom 23. März 2015. Online im Internet: URL:<http://www.bioland.de/ueber-uns/richtlinien.html> [Zugriff am 06 11 2015].
- Bonzheim, A., 2014: Die bio-vegane Landwirtschaft in Deutschland: Definition, Motive und Beratungsbedarf. Hochschule für Nachhaltige Entwicklung, Eberswalde.
- climate-data, o. J.. climate-data.org. Online im Internet: URL:<http://de.climatedata.org/location/277446/> [Zugriff am 06. 11. 2015].
- Deutsche Bodengesellschaft (Hrsg.), 1992: Strategien zur Reduzierung standort- und nutzungsbedingter Belastungen des Grundwassers mit Nitrat. Band 68. Gießen.
- DLG – Deutsche Landwirtschaftliche Gesellschaft (Hrsg.), 1997: DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer. Frankfurt am Main: DLG-Verlag.

- Döhler, H., 1990: Ammoniakverluste nach der Flüssigmistausbringung-Erfassung und Minderungsmöglichkeiten. In: KTBL (Hrsg): Ammoniak in der Umwelt - Kreisläufe, Wirkungen, Minderung. Münster: Landwirtschaftsverlag.
- Döhler, H., 2013: Faustzahlen Biogas, 3. Ausgabe. Darmstadt: KTBL.
- Dreymann, S., 2005: N-Haushalt unterschiedlich bewirtschafteter Rotklee-Bestände und deren Bedeutung für die Folgefrucht Weizen im ökologischen Landbau. Dissertation (Christian – Albrechts – Universität), Kiel. Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung.
- Dreymann, S., Loges, R. & Taube, F., 2003: Einfluss der Klee gras-Nutzung auf die N-Versorgung und Ertragsleistung marktfähiger Folgefrüchte. In: Kauter, D.; Kämpf, A.; Klaupein, W. & Diepenbrock, W. (Hrsg.): Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften. Stuttgart: Verlag Günter Heimbach, S. 83 - 86.
- EG-ÖKO-Basisverordnung, 2007: Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91, ABl. Nr. L 189 vom 20.07.2007, S. 1: i.d.F. vom 28. Juni 2007, zuletzt geändert durch Berichtigung der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007, ABl. Nr. L 300 vom 18.10.2014, S.72
- Flessa, H., Potthoff, M. & Loftfield, N., 2002: Greenhouse estimates of CO₂ and N₂O emissions following surface application of grass mulch: importance of indigenous microflora of mulch. In: Soil Biologie and Biochemistry. Oxford: Elmsford, N. Y., Pergamon, pp. 875 - 879.
- Freyer, B., 2003: Fruchtfolgen Konventionell - Intigriert - Biologisch. Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer GmbH & Co..
- Freyer, B., 2005: Futter- und Körnerleguminosen im biologischem Anbau. Leopoldsdorf: Österreichischer Agrarverlag Druck und Verlagsges. m.b.H. Nfg. KG.

- Görisch, U. & Helm, M. (Hrsg.), 2007: Biogasanlagen - Planung, Errichtung und Betrieb von landwirtschaftlichen und industriellen Biogasanlagen. 2. überarbeitete Auflage. Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer KG.
- Gottschall, R. (Hrsg.), 1992: Kompostierung - Optimale Aufbereitung und Verwendung organischer Materialien im ökologischen Landbau. 5. Auflage. Karlsruhe: Verlag C. F. Müller GmbH.
- Helmert, M., Heuwinkel, H., Pommer, G., Gutser, R. & Schmidhalter, U., 2003: N-Flüsse in gemulchtem und geschnittenem N-Flüsse in gemulchten und geschnittenen Klee gras: Warum Klee gras-Brache im Ökologischen Landbau die Erträge der Folgefrucht nicht erhöht. In: Mitteilungen der deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 102. ohne Verlag. S. 347 - 348.
- 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. Berlin: Verlag Gr. Köster, S. 21-25.
- Heuwinkel, H., Kaiser, M., Schildhalter, U. & Gutser, R., 2003: Mulchen von Klee gras vermindert den N gewinn: Ausmaß und Ursachen. In: Kongressband 2002 Leipzig - Vorträge zum Thema "Ressourcenschutz und Produktsicherheit - Qualitätssicherung in der Landwirtschaft". Bonn: VDLUFA - Verlag, S. 72f..
- Heuwinkel, H., Locher, F. & Gutser, R., 2001: Kleinräumige Variabilität der symbiontischen N₂-Fixierung. In: VDLUFA Schriftenreihe 57, Teil 2, Kongressband 2001. Berlin: ohne Verlag, S. 180 - 187.
- Heuwinkel, H., Locher, F., Gutser, R. & Schmidhalter, U., 2003: Ausmaß und Ursachen der schlaginternen Variabilität der N₂-Fixierung von Klee gras. In: Mitteilungen Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau 2003, Band 5 Beiträge der 47. Jahrestagung der AGGF, 28. - 30.8.2003 in Braunschweig. Gießen: Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck.
- Kelderer, M., Stimpfl, E. & Thalheimer, M., 2008: Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg. Online im Internet:
URL: <http://www.laimburg.com/de/obstbau/1204.asp> [Zugriff am 08 Dezember 2015].

- KTBL (Hrsg.) 2015: Faustzahlen für den Ökologischen Landbau. Darmstadt: ohne Verlag.
- KTBL (Hrsg.) 2010: Ökologischer Landbau – Daten für die Betriebsplanung. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL).
- Larsson, L., Ferm, M., Kasimir-Klmedtsson, A. & Klmedtsson, L., 1998: Ammonia and nitrous oxide emissions from grass and alfalfa mulches. In: Nutrient Cycling in Agroecosystems 51. s.l.:Kluwer Academic Publishers, pp. 41-46.
- Loges, R., 1998: Ertrag, Futterqualität, N₂ Fixierungsleistung und Vorfruchtwert von Rotklee und Rotklee gras Beständen. Dissertation (Christian – Albrechts – Universität), Kiel. Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung.
- Loges, R. & Taube, F., 2007: Stickstoffflüsse im ökologischen Futterbaubetrieb. In: KTBL (Hrsg.): Bewertung ökologischer Betriebssysteme - Bodenfruchtbarkeit, Stoffkreisläufe, Biodiversität. Darmstadt: KTBL (KTBL-Schrift, 458), S. 84 - 94.
- Martin, C. & Eiblmaier, M., (Hrsg.) 2000: Lexikon der Geowissenschaften. Band 2. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg.
- Möller, K., 2003: Systemwirkungen einer "Biogaswirtschaft" im ökologischen Landbau: Pflanzenbauliche Aspekte, Auswirkungen auf den N-Haushalt und auf die Spurengasemissionen. In: Biogas Journal. Ohne Verlag, S. 20 - 29.
- Möller, K., 2004. Neue Möglichkeiten der Nutzung von Klee gras aufwüchsen und Koppelprodukten in viehlosen Betrieben. In: Viehloser Ökoackerbau. Berlin: Verlag Dr. Köster, S. 32 - 33.
- Möller, K., Leithold, G., Michel, J., Schnell, S., Stinner, W. & Weiske, A. (Hrsg.), 2006: Auswirkung der Fermentation biogener Rückstände in BGA auf Flächenproduktivität und Umweltverträglichkeit im ökologischem Landbau – pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Gesamtbewertung im Rahmen typischer Fruchtfolgen viehhaltender und viehloser ökologisch wirtschaftender Betriebe. Gießen und Leipzig: ohne Verlag.
- Möller, K. & Schultheiß, U., 2014: Organische Handelsdüngemittel im ökologischen Landbau - Charakterisierung und Empfehlungen für die Praxis. Darmstadt: KTBL (KTBL-Schrift 499)

- Munzert, M. & Frahm, J., 2006: Pflanzliche Erzeugung - Grundlagen des Acker- und Pflanzenbaus - der guten fachlichen Praxis - der Verfahrenstechnik Produktions- und Verfahrenstechnik und Kulturpflanzen - Dauergrünland - Sonderkulturen - Nachwachsende Rohstoffe - Ökologischer Landbau - Naturschutz und Landschaftspflege. München: BVL Buchverlag GmbH & Co. KG.
- Pietsch, G., 2004: N₂-Fixierungsleistung und Wasserverbrauch von Futterleguminosen im ökologischen Landbau unter den klimatischen Bedingungen der pannonischen Region Österreichs. Dissertation (Universität Wien)Wien. Institut für Ökologischen Landbau / Universität für Bodenkultur, Department für Nachhaltige Agrarsysteme.
- Piorr, H.-P., 2015. mündl. Aussage [Interview] Dezember 2015.
- Ruhe, I., Loges, R. & Taube, F., 2003: Stickstoffflüsse in verschiedenen Fruchtfolgen des ökologischen Landbaus - Ergebnisse aus dem COBALE – Projekt Lindhof. In: Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Wien: Universität für Bodenkultur, S. 97 - 100.
- Sächsisches Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Geologie (Hrsg.), 2009: Ökologische Belastungsgrenzen. Heft 16/2009. Ohne Verlag.
- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.), 1996: Bodenatlas des Freistaates Sachsen Teil 1: Hintergrundwerte für Schwermetalle in landwirtschaftlich genutzten Böden.. Radebeul: Ohne Verlag.
- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.), 1997: Bodenatlas des Freistaates Sachsen Teil 2: Standortkundliche Verhältnisse und Bodennutzung. Radebeul: Ohne Verlag.
- Schmidt, H., 1997: Viehlose Fruchtfolge im Ökologischen Landbau - Auswirkung systemeigener und systemfremder Stickstoffquellen auf Prozesse im Boden und die Entwicklung der Feldfrüchte. Dissertation (Universität Kassel) Witzenhausen. FB 11: Ökologische Agrarwissenschaften.
- Schmidt, H. (Hrsg.), 2004: Viehloser Öko-Ackerbau – Beiträge, Beispiele, Kommentare. Berlin: Verlag Dr. Köster.

- Schulz, F., Brock, C. & Leithold, G. (Hrsg.), 2013: Viehhaltung im Ökologischen Landbau - ja oder nein? Effekte auf Bodenfruchtbarkeit, N-Bilanzen und Erträge. In: Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL). Neuhoff, Daniel et al. (Hrsg.): Ideal und Wirklichkeit - Perspektiven Ökologischer Landbewirtschaftung. Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, 5.-8. März 2013 Verlag Dr. Köster, Berlin, S.20-23.
- Schulz, H. & Eder, B., 2001: Biogas - Praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele. 2. überarbeitete Auflage. Staufen: Ökobuch Verlag.
- Spiekers, H., 2006: Grundlagen: Einleitung und Zielgrößen. In: Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG), (Hrsg.). Praxishandbuch Futterkonservierung: Silagebereitung, Siliermittel, Dosiergeräte, Silofolien. 7. überarbeitete Auflage. Frankfurt am Main: DLG-Verlags-GmbH, S. 7 - 10.
- Stein – Bachinger K., Bachinger J., Schmitt L., 2004: Nährstoffmanagement im Ökologischen Landbau. Münster: KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH.
- Stinner, W., Majer, S., Daniel-Gromke, J., Deuker, A., Möller, K., Scholwin, F. & Leithold, G., 2009: Energieertragspotenzial und Klimawirkungen durch Biogaserzeugung aus pflanzlichen Koppelprodukten. In: Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), (Hrsg.) Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science 2009. Band 3. Erding: ohne Verlag., S. 501 - 516.
- Stinner, W., Möller, K. & Leithold, G., 2005: Biogaserzeugung im viehlosen Betrieb: Effekte auf Stickstoffmanagement, Erträge und Qualität. In: J. Heß & G. Rahmann (Hrsg.) 2005: Ende der Nische, Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel: Kassel University Press GmbH, S. 185 - 188.
- Stumm, C. & Köpke, U., 2012: Rheinische-Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. Online im Internet unter URL:[http://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/e650a8b9e58e4b09c1257a22002a91da/60ff36e8b0549440c1257ad90035cdf8/\\$FILE/ATTD5AM2.pdf/03%20N%C3%A4hrstoffversorgung%20durch%20Kleegrastransfer_Stumm.pdf](http://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/e650a8b9e58e4b09c1257a22002a91da/60ff36e8b0549440c1257ad90035cdf8/$FILE/ATTD5AM2.pdf/03%20N%C3%A4hrstoffversorgung%20durch%20Kleegrastransfer_Stumm.pdf) [Zugriff am 12 Dezember 2015].

- Stumm, C. & Köpke, U., 2014a: Optimierung des Futterleguminosenanbaus im viehlosen Acker-und Gemüsebau. Im Internet unter: URL:<http://orgprints.org/27196/> [Zugriff am 09 Dezember 2015].
- Stumm, C. & Köpke, U., 2014b: Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. Im Internet unter: URL:http://naturland.blitzproject.de/fileadmin/MDB/documents/Erzeuger/Tagungsbeitraege/Ackerbautagung_2014/Christoph_Stumm_KG_Transfer_Naturland_Wuerzburg_Druck.pdf [Zugriff am 11 Dezember 2015].
- Stürmer, B. & Eder, M., 2010: Modell zur Optimierung der Substratbereitstellungskosten bei Biogasanlagen. In: Universität für Bodenkunde Wien (Hrsg.) o. J.: Die Bodenkultur. Nr. 1 Wien: Ohne Verlag, S. 39 - 49.
- The Vegan Organic Network, 2007. Vegan Organic Network. Im Internet unter: URL:<http://veganorganic.net/information-for-growers/von-standards/> [Zugriff am 07 12 2015].
- VEBU, 2015a. Anzahl der Vegetarier in Deutschland. Im Internet unter: URL:<https://vebu.de/themen/lifestyle/anzahl-der-vegetarierinnen> [Zugriff am 07 Dezember 2015].
- VEBU, 2015b. Biovegane Betriebe. Im Internet unter: URL: <https://vebu.de/themen/umwelt/vegetarische-landwirtschaft/bioveganelandbau> [Zugriff am 07 Dezember 2015].
- Vogt-Kaute, W., 2015: Bodenfruchtbarkeit.org. Im Internet unter URL:http://www.bodenfruchtbarkeit.org/fileadmin/bfbk/documents/bofru_themenblatt_gruenbranche.pdf [Zugriff am 12 Oktober 2015].
- Vogt-Knaute, W., 2003: Viehloser Ackerbau aus Sicht eines Beraters. In: H. Schmidt (Hrsg.): Viehloser Öko-Ackerbau - Beiträge, Beispiele, Kommentare. Berlin: Verlag Dr. Köster, S. 18 - 20.

- Weber, A., Gutser, R., Schmidhalter, U. & Henkelmann, G., 2000: Unvermeidbare NH₃-Emissionen aus mineralischer Düngung (Harnstoff) und Pflanzenmulch unter Verwendung einer modifizierten Messtechnik. In: VDLUFA (Hrsg.) VDLUFA-Schriftenreihe 55; Kongressband 2000. Bonn: VDLUFA Verlag, S. 175 - 182.
- Weber, A., Heuwinkel, H. & Gutser, R., 2003: Emissionen N-haltiger Spurengase aus Klee grasbeständen mit Mulch und Schnittnutzung. In: VDLUFA (Hrsg.) VDLUFA-Schriftenreihe 58 - Ressourcenschutz und Produktsicherheit - Qualitätssicherung in der Landwirtschaft. Bonn: VDLUFA Verlag, S. 92 - 93.
- Zippert, G. & Lindauer, S., 2011: Kompost vom Profi. In: Bioland. e.V. (Hrsg.), bioland 11/2011. Mainz: Bioland Verlags GmbH, S. 8 - 10.

9 Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, **Daniel Hausmann**, an Eides statt, dass die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, sowie Zitate kenntlich gemacht wurden. Aus anderen Quellen übernommene Tabellen, Graphiken, bildliche Darstellungen, etc. wurden ebenfalls als solche gekennzeichnet.

Ich erkläre weiterhin, dass die Arbeit noch nicht im Rahmen eines anderen Prüfungsverfahrens eingereicht worden ist.

Eberswalde, den 28. 12. 2015