

# UNIVERSITÄT HOHENHEIM



## **Lineare Optimierung eines biologisch-vegan wirtschaftenden Modellbetriebs am Standort Kleinhohenheim**

Bachelorthesis vorgelegt an der

Universität Hohenheim

Koordination für ökologischen Landbau und Verbraucherschutz (340d)

bei Dr. agr. Sabine Zikeli

von

Sabrina Francksen

Matrikelnummer: 525378

Hohenheim, im Oktober 2015

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	II
Tabellen- und Abbildungsverzeichnis .....	III
<b>1 Einleitung und Zielsetzung .....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>2 Abgrenzung zur viehlosen Öko-Landwirtschaft.....</b>	<b>- 2 -</b>
<b>2.1 Entwicklung der viehlosen Landwirtschaft .....</b>	<b>- 2 -</b>
<b>2.2 Entwicklung der bio-veganen Landwirtschaft .....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>2.3 Ansprüche an die bio-vegane Bewirtschaftung .....</b>	<b>- 5 -</b>
<b>2.4 Herausforderungen.....</b>	<b>- 6 -</b>
2.4.1 Allgemein.....	- 6 -
2.4.2 Fruchtfolge.....	- 7 -
2.4.3 Wirtschaftsdünger.....	- 8 -
<b>3 Material und Methoden.....</b>	<b>- 9 -</b>
<b>3.2 Erhebung der Daten und Literaturoauswertung .....</b>	<b>- 9 -</b>
<b>3.3 Erstellung des Modellbetriebs.....</b>	<b>- 10 -</b>
<b>3.4 Lineare Programmierung.....</b>	<b>- 12 -</b>
<b>3.5 Datenerfassung.....</b>	<b>- 17 -</b>
3.5.1 Produktionsverfahren und Beschränkungen.....	- 17 -
3.5.2 Deckungsbeitragsrechnung .....	- 25 -
3.5.3 Öko-BEFU.....	- 26 -
3.5.4 Humusbilanzierung .....	- 27 -
3.5.5 Nährstoffbilanzierung .....	- 30 -
<b>4 Ergebnisse.....</b>	<b>- 34 -</b>
<b>4.2 Szenario A: Vollständiger bio-veganer Modellbetrieb .....</b>	<b>- 34 -</b>
<b>4.3 Szenario B: Lockerung der Bilanzansprüche.....</b>	<b>- 38 -</b>
<b>4.4 Szenario C: Lockerung der Fruchtfolgebegrenzungen .....</b>	<b>- 40 -</b>
<b>4.5 Szenario D: Vernachlässigung der Humus- und Nährstoffbilanzen .....</b>	<b>- 42 -</b>
<b>5 Diskussion.....</b>	<b>- 45 -</b>
<b>5.2 Aussagekraft des Modells.....</b>	<b>- 45 -</b>
<b>5.3 Bewertung der bio-veganen Wirtschaftsweise.....</b>	<b>- 48 -</b>
<b>6 Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>- 50 -</b>
<b>7 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>- 52 -</b>
<b>8 Danksagung .....</b>	<b>- 57 -</b>
<b>Eidesstattlich Erklärung* .....</b>	<b>- 58 -</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>- 59 -</b>

## Abkürzungsverzeichnis

BEFU – Bestandesführung

BÖLW – Bund ökologische Lebensmittelwirtschaft

BVN – Bio-veganes Netzwerk

BVL – Bund veganer Lebensweise

BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

DüV – Düngeverordnung

FiBL – Forschungsinstitut für biologischen Landbau

Häq - Humusäquivalent

KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft

LfULG - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

LP – Lineare Programmierung

OPF – Organic Plant Feed

SA Cert. – Soil Association Certification

SOS – Stockfree Organic Services

VON – Vegan Organic Network

ZF - Zwischenfrucht

## Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Stockfree Organic - U.K.....	- 4 -
<b>Abbildung 2:</b> Symbol Certified Organic U.S. ....	- 4 -
<b>Abbildung 3:</b> Luftaufnahme von Kleinhohenheim .....	- 11 -
<b>Abbildung 4:</b> Schematische Darstellung des LP-Modells des bio-veganen Modellbetrieb .....	- 14 -
<b>Abbildung 5:</b> Humussaldo der erweiterten Fassung.....	- 29 -
<b>Abbildung 6:</b> Schematische Darstellung der Flächenbilanz .....	- 31 -
<b>Abbildung 7:</b> Schematische Darstellung der Berechnung der erweiterten Schlagbilanz .....	- 32 -
<b>Tabelle 1:</b> Anforderungen der Stockfree Organic Standards .....	- 5 -
<b>Tabelle 2:</b> Methoden und Quellen der Daten .....	- 10 -
<b>Tabelle 3:</b> Begrifflichkeiten der linearen Optimierung.....	- 12 -
<b>Tabelle 4:</b> Sensitivitätsbericht des vereinfachten LP-Modells, oberer und unterer Teil.....	- 16 -
<b>Tabelle 5:</b> Auswahl geeigneter Rohstoffe für Düngung .....	- 20 -
<b>Tabelle 6:</b> Fruchtfolgerestriktionen der Fruchtarten.....	- 22 -
<b>Tabelle 7:</b> Bewertung der Humussalden für Öko-Betriebe .....	- 28 -
<b>Tabelle 8:</b> Beschreibung der Unsicherheitsfaktoren bei der N-Bilanzierung .....	- 33 -
<b>Tabelle 9:</b> Sensitivitätsberichts, oberer Teil, Szenario A.....	- 35 -
<b>Tabelle 10:</b> Sensitivitätsbericht, unterer Teil, Szenario A .....	- 37 -
<b>Tabelle 11:</b> optimales Produktionsprogramm, Szenario B .....	- 39 -
<b>Tabelle 12:</b> Sensitivitätsbericht, oberer Teil, Szenario C .....	- 41 -
<b>Tabelle 13:</b> Sensitivitätsbericht, oberer Teil, Szenario D .....	- 43 -
<b>Tabelle 14:</b> Sensitivitätsberichts, unterer Teil, Szenario D.....	- 44 -

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Grundsatz des ökologischen Landbaus ist die Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit bei möglichst hohem Einsatz eigener Betriebsmittel. Um dieses Ziel zu erreichen war von Anfang an in den beiden Hauptströmungen organisch-biologisch und biologisch-dynamische Landwirtschaft die Viehhaltung und die damit verbundene Möglichkeit einer bodenschonenden Fruchtfolge sowie Düngung selbstverständlich. So schreibt der zweitgrößte deutsche Bio-Verband Demeter sogar die Haltung von Wiederkäuern vor. Der Betrieb wird als Organismus gesehen, der ohne Tierhaltung nicht gesund sein kann (Demeter, 2014). Doch neben diesen gab es zeitgleich Bemühungen anderer Gruppen, die ähnliche Ziele hatten, diese jedoch möglichst ohne Tierhaltung erreichen wollten. In der Lebensreform-Bewegung in den 1920er Jahren stand bereits eine weitgehend fleischlose Ernährung im Zentrum (Baumgartner, 1992) und so wurde auch in den landwirtschaftlichen Betrieben nur geringe oder keine Viehhaltung betrieben. Die Pioniere Ewald Könemann und Mina Hofstetter machten ihre praktischen Versuche der Öffentlichkeit zugänglich und sorgten so für eine Verbreitung der Idee. Eine naturverbundene Landwirtschaft, die zur Gesundheit aller beiträgt, konnte laut ihren Anhängern allein durch pflanzliche Mittel erreicht werden (Könemann, 1925). Heute gibt es wieder verstärkt Entwicklungen in Richtung einer solchen Landwirtschaft. Zum einen beruhen diese auf dem aktuellen Strukturwandel und einer sich differenzierenden Landwirtschaft (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2011). Für immer mehr Landwirte überwiegen die Vorteile einer viehlosen Landwirtschaft, die sich insbesondere im Bereich der Arbeits- und damit Kosteneinsparung ergeben. Die Tierhaltung wird als besonders arbeitsaufwendiges Produktionsverfahren betrachtet und eine Differenzierung der Betriebszweige generell bedeutet für den Betrieb zudem die Notwendigkeit einer erweiterter Betriebsausstattung, Wissen über die verschiedenen Bereiche und mehr Planungsaufwand. Im konventionellen Landbau vollzieht sich dieser Strukturwandel seit längerer Zeit und so wirtschafteten viele Landwirte bereits vor Umstellung auf ökologischen Landbau viehlos (Schmidt, 2004). Zum anderen sind aber auch dieses Mal veränderte Lebens- und Ernährungsgewohnheiten Ausgangspunkt der Überlegungen. Auch aus Sicht der Konsumenten wächst das Interesse an pflanzlichen Lebensmitteln. Laut Kerschke-Risch (2015), die im Auftrag des Marktforschungsinstituts You-Gov Untersuchungen zur Zahl vegan lebender Menschen in Deutschland durchführt, ernährten sich 2015 bereits 1,1% der Bevölkerung Deutschlands vegan. Im Jahr 2013 betrug der Umsatz mit als vegan deklarierten Produkten im Biofachhandel 629,9 Mio € (BÖLW, 2013). Dass auch die Produktion der pflanzlichen Lebensmittel keinesfalls vegan sein muss, ist nicht allen Verbrauchern bewusst und selbst interessierten Konsumenten fehlt die Möglichkeit, rein pflanzliche Produkte zu erkennen und zu erwerben, deren Produktion nicht mit der Nutztierhaltung in Verbindung steht. Die bio-vegane

Bewegung nimmt sich dieser Strömung an und will die Versorgung mit landwirtschaftlichen Produkten, die ökologischen, ethisch- moralischen, sozio-ökonomischen und gesundheitlichen Kriterien gerecht werden, fördern (BVN, 2015).

Doch die Rückführung der entzogenen Nährstoffe gestaltet sich bereits beim viehlos wirtschaftenden Betrieb schwierig und kann bei Import teurer Handelsdüngemittel auch finanziell eine Herausforderung für den Betrieb bedeuten. Inwieweit pflanzenbauliche und wirtschaftliche Kriterien vereinbar sind soll in dieser Arbeit untersucht werden. Dabei soll vor allem der Frage nachgegangen werden, ob und wie ein ausgeglichener Nährstoff- und Humushaushalt in einem bio-veganen Betrieb bei positivem Gesamtdeckungsbeitrag erreicht werden kann sowie mit welchen Herausforderungen der bio-vegane Landbau rechnen muss. Die Beantwortung der Forschungsfrage kann Landwirten als Entscheidungshilfe dienen, sowie interessierten Konsumenten einen Einblick in die Produktionsweise des bio-veganen Landbaus geben. Die Aufdeckung der Problembereiche einer solchen Wirtschaftsweise kann die Notwendigkeit weiterer Forschung aufzeigen und Landwirten als Vergleich zum eigenen Betrieb dienen. Dafür werden vorab Kriterien und Herausforderungen des bio-veganen Landbaus erörtert. Auf dieser Grundlage wird ein bio-veganer Modellbetrieb in Anlehnung an den ökologisch bewirtschafteten Versuchsbetrieb der Universität Hohenheim, Kleinhohenheim, erstellt und dessen optimales Produktionsprogramm mittels linearer Programmierung ermittelt. Anhand einer Befragung des Betriebsleiters über die Standorteigenschaften sowie einer Literaturrecherche werden die dafür nötigen Daten gesammelt und das Ergebnis bewertet. Die aufkommenden Problembereiche sollen untersucht und Lösungswege analysiert werden.

## **2 Abgrenzung zur viehlosen Öko-Landwirtschaft**

### **2.1 Entwicklung der viehlosen Landwirtschaft**

Aufgrund vieler Gemeinsamkeiten und da es kaum wissenschaftliche Forschung zur bio-veganen Landwirtschaft gibt, kann zum Teil auf Studien zur viehlosen Bewirtschaftung zurückgegriffen werden. Der Anteil viehloser Betriebe nimmt in Deutschland seit geraumer Zeit zu. Eine Spezialisierung bringt in der Landwirtschaft wie anderswo wirtschaftliche Vorteile mit sich. In der konventionellen Landwirtschaft hat diese Entwicklung schon früher begonnen und so wirtschafteten viele der heute viehlosen Öko-Betriebe, bereits vor Umstellung auf Öko-Landwirtschaft ohne Nutztierhaltung. Dabei sind die Gründe für den Verzicht auf Tierhaltung ökonomischer Natur und eine weitergehende Abkopplung von der Nutztierhaltung aus ethischen Gründen wird nicht angestrebt. Das bedeutet, dass zum Beispiel zugekaufte Düngemittel sehr wohl tierische Inhaltsstoffe enthalten und angebaute Kulturpflanzen für die Nutzung in der Tierhaltung bestimmt

sein können. Schmidt (2004) definiert einen Betrieb als viehlos bzw. vieharm wenn er landwirtschaftliche Güter produziert, weniger als 0,2 GV/ha besitzt und in „keine(r) nennenswerte Kooperation mit viehhaltenden Betrieben“ steht. Diese Definition wird im Folgenden zu Grunde gelegt. Auch die Forschung und Beratung zum viehlosen Landbau wird immer wichtiger. Da sich die Auswirkungen der Bewirtschaftungsweise auf Humus- und Nährstoffbilanzen erst nach einigen Jahren sinnvoll interpretieren lassen, handelt es sich bei Forschungsprojekten vor allem um längerfristige Feldversuche. Im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau wurde von Schmidt (2004) ein umfassendes Projekt zum viehlosen Öko-Ackerbau durchgeführt, das unter anderem Berater zum selbigen befragt. Die bedeutendsten Gründe sind der Umfrage zufolge, dass bereits vor der Umstellung zum Ökolandbau kein Vieh vorhanden war, die Arbeitsintensität ohne Vieh geringer ist oder persönliche Neigung des Betriebswirts gegen die Haltung von Tieren spricht.

## **2.2 Entwicklung der bio-vegane Landwirtschaft**

Im relativ jungen Veganismus wird so weit wie möglich versucht „Ausbeutung und Grausamkeit an Tieren für Essen, Kleidung oder andere Zwecke zu vermeiden und darüber hinaus die Entwicklung tierfreier Alternativen zu fördern.“ (The Vegan Society, 2014). Eine Landwirtschaft, welche die beiden Ansprüche biologisch und vegan zu wirtschaften zusammenführt wird biologisch-vegan genannt. Sie weist trotz vieler Gemeinsamkeiten Unterschiede zum viehlosen System auf, gründet vor allem auf ethischen Überlegungen (Bonzheim, 2014) und bringt eine Reihe von zusätzlichen Ansprüchen mit sich.

Der Begriff beinhaltet zum einen die Komponente „biologisch“, die wie von der EU festgelegt nur für nach EU-Öko-Verordnung produzierte Güter benutzt werden darf (Europäische Kommission, 2008). Der zweite Teil des Begriffs, „vegan“, impliziert bereits eine Haltung, die über die des viehlosen Systems hinausgeht. Der Verzicht auf die gezielte Nutzung von Tieren und tierischen Produkten im landwirtschaftlichen Betrieb ist wie bereits erwähnt, ethisch motiviert, wohingegen Betriebe, die viehlos wirtschaften, dies meist aus ökonomischen Gründen tun (Bonzheim, 2014). Die Ansprüche, die sich aus der Zusammenführung der beiden Ansätze für die Bewirtschaftung ergeben, gründen auf den Richtlinien der EU-Rechtsverordnungen für den ökologischen Landbau sowie der in England bereits etablierten Stockfree Organic Standards.

Die europäische biologisch-vegane Bewegung fand wie der Veganismus ihren Anfang in England. Hier wurde 1996 das Vegan Organic Network (VON) gegründet, das interessierten Landwirten Informationen über den Anbau ohne tierische Produkte bietet und zudem bereits einen Anbauverband mit eigenen Richtlinien, den Stockfree Organic Standards etabliert hat (VON, 2014). Als deutsches Pendant bildete sich das Bio-Vegane Netzwerk (BVN). Dieses bemüht sich seit Ende der 90er Jahre diese Entwicklung auch in Deutschland voran zu bringen. Unter anderem bietet das

BVN auf seiner Internetseite eine wachsende Sammlung an Informationsmaterial und fungiert zugleich als Plattform für Austausch und Zusammenführung Gleichgesinnter. Seit April 2015 ist das Bio-Vegane Netzwerk dem Bund für vegane Lebensweise angegliedert. Mit der formalen Struktur soll dem Ziel, im deutschsprachigen Raum die Möglichkeit zur Zertifizierung zu etablieren, näher gekommen werden (BVN, 2015). Auch in Nordamerika gib es die Entwicklungen zur eigenständigen Zertifizierung, deren Richtlinien die Veganic Farming Standards wurden nach dem Vorbild der Stockfree Organic Standards erstellt (Veganic Agriculture Network, 2011). Die Zertifizierung ist momentan eingestellt, jedoch können sich Betriebe weltweit für das britische Stockfree Organic Label bewerben.



Quelle: Vegan Organic Network (2011)

**Abbildung 1:** Stockfree Organic - U.K.



Quelle: Veganic Agriculture Network (2011)

**Abbildung2:** Symbol Certified Organic U.S.



Der Begriff der biologisch-vegane Landwirtschaft ist selbst unter Praktikern noch relativ wenig bekannt (Bonzheim, 2014) und so existiert keine allgemein anerkannte Definition in der Öffentlichkeit. Synonym gelten die Bezeichnungen vegan-organisch, pflanzlich-organisch oder bio-vegan. Im englischsprachigen Raum werden vor allem die Begriffe stockfree organic, vegan organic und veganic benutzt. In der vorliegenden Arbeit soll der Begriff bio-vegan verwendet werden. Vor allem Organisationen wie das BVN sind es, die sich um eine Begriffsfindung im deutschsprachigen Raum sowie um die Etablierung einheitlicher Ziele bemühen.

### 2.3 Ansprüche an die bio-vegane Bewirtschaftung

Die Stockfree Organic Standards wurden vom VON gemeinsam mit der Soil Association ausgearbeitet und 2004 verabschiedet (Soil Association, 2015; Hall und Tolhurst, 2007). Die Anbaurichtlinien stellen zum einen Orientierungshilfe für interessierte Landwirte und Gärtner dar. Zum anderen sind sie Grundlage für die Zertifizierung durch die Stockfree Organic Services (SOS) und damit Voraussetzung dafür, das „Stockfree Organic“-Zeichen nutzen zu dürfen (VON, 2015). Die empfohlenen bis untersagten Tätigkeiten werden dabei anhand ihres Verpflichtungsgrads unterteilt. Sie werden außerdem in 17 Kapitel über verschiedene Bereiche der Landwirtschaft gegliedert, die sich teilweise überschneiden. In Tabelle 1 sollen nur die für die Erstellung des linearen Programmierungsmodells relevanten und über EU-Öko-VO hinausgehenden Anforderungen zusammengefasst werden.

**Tabelle 1:** Anforderungen der Stockfree Organic Standards

Zusammenfassung der für die Erstellung des LP-Modells relevanten Ansprüche, gegliedert nach Art der Anforderung

Anforderungsart	Verpflichtungsgrad	Tätigkeit
Standard Voraussetzung	verpflichtend	Verzicht auf Nutzung von Tieren zur Lebensmittelproduktion oder für den kommerziellen Gewinn Verzicht auf Nutzung von Düngemitteln tierischer Herkunft Verzicht auf Herstellung von Produkten, die für die Nutztierhaltung bestimmt sind
Standard Prinzip	erwünscht	Verzicht auf thermische Unkrautbekämpfung Verzicht auf natürliche Insektizide und Pestizide
Empfohlene Tätigkeit	erwünscht	regelmäßige Zufuhr organischer Masse Gründüngung Schnittmulch, Komposte und Heu vom eigenen

Betrieb		
Zulässige Tätigkeit	nicht erwünscht	Schnittmulch, Komposte und Heu von außerhalb pflanzliche Handelsdüngemittel für den Bioanbau mineralische Zusätze wie Rohphosphat
Eingeschränkte Tätigkeit	verboten außer mit Genehmigung der SA Cert.	Düngemittel kontaminiert u.a. durch tierische Dünger und tote Tiere Düngemittel deren Produktion nicht nachhaltig ist z.B. Schnittmulch von Bergwiesen
Verbotene Tätigkeit	verpflichtend	Düngemittel aus tierischen Nebenprodukten Anbaupausen von Alliumspec., Kohllarten und Kartoffeln auf der gleichen Fläche von weniger als 48 Monaten Ewige Getreidekultur ohne Fruchtwechsel Einsatz von Herbiziden
Ausnahmen	teil- oder zeitweises Aussetzen	Nicht-ökol. Saagtut und Vermehrungsmaterial, während Übergangszeit

Quelle: VON, modifiziert

Aus diesen Anforderungen ergeben sich vor allem bei der Auswahl der Düngemittel Einschränkungen. Neben tierischen Wirtschaftsdüngern die vom Betrieb selbst stammen können, fallen auch viele Handelsdüngemittel aufgrund ihrer tierischen Inhaltsstoffe weg. Außerdem spielt die aktuelle Marktverfügbarkeit sowie Transportwürdigkeit beim Einsatz in der Praxis eine große Rolle (Möller und Schultheiß, 2014). Welche Düngeverfahren für den Modellbetrieb in Frage kommen soll in Kapitel 3.5.1 näher erläutert werden.

## 2.4 Herausforderungen

### 2.4.1 Allgemein

Durch den geringen bzw. fehlenden Viehbesatz beim viehlosen Öko-Landbau ergeben sich Herausforderungen, die sich mit denen des bio-vegane Landbaus zum Großteil decken. Probleme sehen die befragten Berater der oben genannten Studie zum viehlosen Öko-Ackerbau vor allem in folgenden Bereichen (Schmidt, 2004).

- Pflanzenernährung
- Unkrautdruck
- Krankheiten/Schädlinge
- Bodenstruktur

- Ökonomie

Als Gründe dafür werden vor allem engere, einseitigere **Fruchtfolgen** sowie nicht vorhandener **Wirtschaftsdünger** genannt. Im Folgenden sollen diese Bereiche beschrieben werden, sowie die zusätzlichen Herausforderungen, welche die bio-vegane Bewirtschaftungsweise bereitet.

### 2.4.2 Fruchtfolge

Nach Stein-Bachinger et al. (2004) wirkt die symbiontische Stickstofffixierung der **Leguminosen**, als wichtigste **Stickstoffquelle** für ökologisch wirtschaftende Betriebe. Feinsämige Leguminosen wie Klee gras führen zu einem höheren Stickstoffsaldo als gröbere Leguminosen wie Acker- oder Sojabohne. Diese Körnerleguminosen können zwar Stickstoff aus der Luft fixieren beitragen, bei Verkauf der Körner verlässt jedoch ein großer Anteil des fixierten Stickstoffs den Betrieb (Heuwinkel und Loges, 2004). Viehlose Betriebe verzichten aus ökonomischen Gründen oft auf mehrjähriges Klee gras zugunsten rentablerer Kulturen wie Getreide. Im viehhaltenden Betrieb kann der Leguminosenanteil oft bis zu 50% betragen, wohingegen im viehlosen Ackerbau im Extremfall auf Klee graskulturen lediglich als Zwischenfrucht oder Untersaat zurückgegriffen wird. Obwohl oft gefordert hält Vogt-Kaute einen mehrjährigen Klee grasanbau für ökonomisch unrealistisch (2004). Ein Minimum von 20% ist aber zu empfehlen (Freyer, 2004) und auch Schulz hält eine „Unterlassung der Rotationsbrache“ für unzulässig (2012). Bei geringem oder ganz ausbleibendem Klee grasanbau fehlt die gute **phytosanitäre Wirkung** was zu einem steigenden **Unkrautdruck** führt (Debruck, 2001). Zusammen mit einer weniger vielfältigen Fruchtfolge steigt die Wahrscheinlichkeit, empfohlene Anbaupausen zu missachten und **Krankheiten und Schädlinge** zu riskieren. Auch auf die **Bodenstruktur** hat der Feldfutteranbau eine günstige Wirkung. Der Boden wird durch die tiefe Durchwurzelung gelockert sowie durch Anfall an Wurzelmasse mit organischer Substanz angereichert wird (Köpke, 2011), die zudem durch ein enges C/N-Verhältnis rasch abgebaut werden kann. Die **Bodenruhe** erhält das Edaphon, dessen Aktivität die Bodenstruktur günstig beeinflusst und so unter anderem Erosion entgegenwirkt (Scheffer und Schachtschabel, 2010). Alvermann (2004) hält die positiven Auswirkungen für so bedeutend, dass auch viehlose Betrieb auf lange Sicht nicht darauf verzichten können. Diesen Herausforderungen soll im LP-Modell mit einer Fruchtfolgebegrenzung begegnet werden, die ein Minimum von 20% Klee gras in die Fruchtfolge zwingt. Sie ist die einzige Restriktion mit Minimalvorgabe. Eine zu hohe Anbaukonzentration ist aufgrund der fehlenden wirtschaftlichen Verwertung nicht zu erwarten und so soll eine Begrenzung des Klee grasanbaus nach oben außen vor bleiben.

Ähnlich wie im konventionellen Landbau zwingt zudem die Marktsituation zur Spezialisierung auf nachgefragte Getreidesorten wie **Weizen**, was zu einer weiteren Verengung der Fruchtfolge führt (Debruck, 2003) und damit zu einer einseitigeren Nährstoffnachfrage. Wird aus ökonomischen

Gründen ein hoher Anteil humuszehrender Hackfrüchte angebaut, kann dies den Rückgang des **Humushaushalts vergrößern** und damit einer Verschlechterung der Bodenstruktur sowie der Fähigkeit Nährstoffe zu speichern und nachzuliefern beschleunigen (Körschens et al., 2004). **Ökonomisch** stellen vor allem die durch die Spezialisierung der Fruchtfolge einseitigeren Einkommensquellen ein Risiko dar. Im viehlosen Ökolandbau können keine Kooperationen mit viehhaltenden Betrieben zur **Risikostreuung** beitragen. Der notwendige Anbau einer Grünbrache bringt keinen direkten Gewinn und birgt das Risiko der Abhängigkeit von aktuell verfügbaren Zuschüssen. In der **bio-veganen** Landwirtschaft kommt hinzu, dass der Anbau von Kulturen die für die **Nutztierhaltung** bestimmt sind, laut Standard 1.3 verboten ist (VON, 2007). So soll sichergestellt werden, dass der bio-vegane Anbau unabhängig von der Nutztierhaltung funktioniert und nicht zur letzteren beiträgt. Weder durch Verkauf noch durch Kooperationen soll so eine Verbindung geschaffen oder aufrecht erhalten werden. Für die Fruchtfolge bedeutet dies, dass neben schlechter vermarktbareren **Futterpflanzen** wie Klee gras auch Körnerleguminosen wie Acker- oder Sojabohnen sowie Getreide und Mais oder andere Ganzpflanzensilagen nicht für diese Zwecke angebaut werden dürfen. Auch Stroh oder Heu darf nicht als Einstreu an andere Betriebe verkauft oder getauscht werden. Des Weiteren soll auf die Nutzung von **Pflanzenschutzmitteln** Insektiziden, Herbiziden und Fungiziden möglichst verzichtet werden, da auch die im Ökolandbau erlaubten Mittel Insekten und andere Tiere wahllos vernichten und außerdem Symptome nicht aber Ursache des Problems bekämpft werden (Hall und Tolhurst, 2009). Für die Fruchtfolge bedeutet dies, dass Anbaupausen noch wichtiger sind und bei deren Angabe stets der größte Abstand gewählt werden sollte.

### 2.4.3 Wirtschaftsdünger

Als Wirtschaftsdünger werden organische Stoffe bezeichnet, die im Betrieb selbst im Zuge der Produktion anfallen. Dazu gehören tierische Ausscheidungen sowie Ernterückstände (Scheffer und Schachtschabel, 2010). Vor allem die Forschung der biologisch-dynamischen Landwirtschaft weist eine **besonders günstige Wirkung** von Stallmist auf die Bildung von Huminstoffen im Boden nach (Scheller, 2002). Huminstoffe sind stabil gegenüber einer Mineralisierung der organischen Substanz und tragen so positiv zur Bodenstruktur bei (Scheffer und Schachtschabel, 2010). Aus dieser Sicht ist ein Verzicht auf Stallmist durch keine andere Maßnahme auszugleichen (Schmidt, 2004).

Alternative Dünger ergeben sich aus den Aufwüchsen von Klee gras im Hauptfrucht- und Zwischenfruchtanbau und anderen Zwischenfrüchten. Bei reinen Ackerbaubetrieben wird dieser zumeist **gemulcht** und verbleibt auf dem Acker (Grieb und Gerlach, 2015). Dies birgt mehrere Schwierigkeiten. Da die **Stickstofffixierung** aus der Luft energieaufwendig ist, nimmt sie bei ausreichendem Angebot im Boden ab. Gemulchte Klee grasbestände binden also weniger Stickstoff

als solche, deren Aufwuchs geschnitten und abgefahren wurde (Dreyman et al., 2003). Problematisch ist zudem die Benachteiligung des Klees durch Beschattung und damit einen **Rückgang** desselben zugunsten des Grasanteils sowie die Gefahr der des Erstickens oder zu tiefen Schneidens durch **schlechte Mulchtechnik** als problematisch an (Loges und Heuwinkel, 2004). Bei Ausbringung ohne Einarbeitung des Mulches wird ähnlich wie bei Ausbringung von Festmist oder Gülle ein großer Anteil des Stickstoffs in Luft oder **emittiert oder ausgewaschen**. Neben Grundwasserverschmutzung ergibt sich Belastung der Atmosphäre den Gasen Ammoniak sowie dem stark klimarelevanten **Treibhausgas**  $N_2O$ . Die tatsächlichen Verluste sind dabei von mehreren Faktoren abhängig und variieren bei Ammoniak in der Literatur von 1% (Weber et al., 2000) bis 40% (Larsson et.al., 1998) des Stickstoffs in der Mulchmasse. Untersuchungen zeigen einen Verlust von N, der nachweislich als  $N_2O$  emittiert wird, vom gesamten N-Gehalt der Mulchmasse (Helmert et al., 2003).

Außerdem ist bei N-Rückführung über Mulchen von Klee gras die fehlende **Mobilität** des Düngers ein Problem. Die Nährstoffwirkung ist auf dieses eine **Fruchtfolgefeld** beschränkt und kann nicht bedürftigeren Kulturen zur Verfügung gestellt werden. Laut Schmidt ist die Stickstoffversorgung in viehlosen Betrieben, die dem jeweiligen Bedarf gerecht wird sowie Ertrags- und Qualitätsziele erreicht ohne mobile Wirtschaftsdünger wie Mist, erschwert (2004). Potential besteht darin einen Teil des Klee gras aufwuchses als Futter zu verkaufen oder nach Kompostierung oder Vergärung als Dünger zu verwenden. Die Nutzung des Aufwuchses zur Biogaserzeugung, deren Gärreste als wertvolle organische Dünger in den Betrieb rückgeführt werden können, kann in Zukunft an Bedeutung gewinnen (Möller und Schultheiß, 2004).

Der Zukauf von Nährstoffen über Handelsdüngemittel ist teuer und einige Inhaltsstoffe fragwürdig aber zusammen mit geeigneter Bodenbearbeitung vor allem für anspruchsvollere Kulturen eine Möglichkeit der bedarfsgerechten Stickstoffversorgung. Vor allem Kalium und Phosphor, gehen dem Betrieb durch Abfuhr der Ernte verloren. Sie können nicht durch Nährstofffixierung gewonnen werden, und deren Haushalt muss neben einer Grunddüngung meist durch Ausgleichsdünger sichergestellt werden.

### 3 Material und Methoden

#### 3.2 Erhebung der Daten und Literaturlauswertung

Zur bio-vegane Landwirtschaft gibt es noch kaum wissenschaftliche Forschung. Für allgemeine Erklärungen zu Entwicklung und Definition wurde vor allem auf englischsprachige Literatur zurückgegriffen, sowie auf Informationen auf den Webseiten der wichtigsten Akteure Bio-vegane Netzwerk (BVN), Bund für vegane Lebensweise (BVL) und Vegan Organic Network (VON). Für

pflanzenbauliche Fragen wurde vor allem einschlägige Literatur für den ökologischen Landbau, den viehlosen Ökolandbau sowie Auswertungen langjähriger Studien zum Thema verwendet. Tabelle 2 fasst die Methoden und Quellen der Datenerfassung zusammen.

**Tabelle 2:** Methoden und Quellen der Daten

<b>Daten</b>	<b>Methode/Quelle</b>
<b>Ertragsniveau und Standorteigenschaften</b>	Befragung, Hübner, O., 2015
<b>Deckungsbeitragsrechnung</b>	KTBL Leistungs-Kostenrechner, online
<b>Humus/-Nährstoffsalden</b>	BEFU standortangepasste Methode Möller und Schultheiß, 2014, Organische Handelsdüngemittel im ökol. Landbau
<b>Daten Biogasverfahren</b>	KTBL Wirtschaftlichkeitsrechner, online
<b>Nährstoffe Gärrest</b>	KTBL Wirtschaftlichkeitsrechner, online BEFU standortangepasste Methode

Ökonomische Daten und Zusammenhänge stammen, sofern nicht aus dem Betrieb Kleinhohenheim selbst, größtenteils aus Datensammlungen des Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), die auch online ein Berechnungstool anbietet, der auf diesen Datensammlungen beruht (KTBL, 2015). Vereinzelt mussten diese Daten mittels eigener Berechnungen angepasst werden. Grundlage für Humus- und Nährstoffsalden war eine umfassende Sammlung organischer Handelsdüngemittel (Möller und Schultheiß, 2014) sowie das Programm Öko-BEFU. Vor allem bei Berechnung der Nährstoffe des Gärrests kann eine allgemeine Angabe aufgrund der Unterschiedlichkeit der Substrate nicht einfach übernommen werden. Hier wurden die Humus- und Nährstoffsalden mittels KTBL Wirtschaftlichkeitsrechner sowie der standortangepassten Methode des BEFU berechnet.

### **3.3 Erstellung des Modellbetriebs**

Es wird ein Modellbetrieb erstellt, dessen Eckdaten an die Versuchsstation Kleinhohenheim angelehnt sind. Der Betrieb befindet sich südlich von Stuttgart auf etwa 435m über dem Meeresspiegel und zählt zum Naturraum Filderebene. Die aus Lösslehm entstandenen Böden sind sehr fruchtbar und mit einer langjährigen mittleren jährlichen Niederschlagsmenge von ca. 700mm und einer langjährigen mittleren Jahresdurchschnittstemperatur von 8,8 °C landwirtschaftlich

wertvoll (Funk et al, 2009). Die Betriebsfläche gliedert sich auf in 20,45 ha Grünland sowie 33,62 ha Ackerbau- und Gemüsebauflächen mit Ackerzahlen von 50-65. Da die Flächen um den Betrieb arrondiert liegen, beträgt die Feld-Hof-Entfernung immer unter einem Kilometer (Hübner, 2015).



Quelle: Koordinationsstelle für Ökologischen Landbau und Verbraucherschutz

### Abbildung 3: Luftaufnahme von Kleinhohenheim

A) Rot, 8-jährige Acker-Rotation (Schlag KH1 bis KH8; Ø Schlaggröße 2,9 ha) – seit 2011

B) Blau, 5-jährige Feldgemüse-Rotation (Schlag T1 bis T6; Ø Schlaggröße 1,4 ha) – seit 1997

Die achtgliedrige Ackerbaufruchtfolge wird seit kurzem ohne tierische Düngung bewirtschaftet. Die Gemüsebauflächen werden vor allem mit Rindermist gedüngt, der durch eine Futter-Mist-Kooperation mit einem benachbarten Betrieb eingeführt wird (Hübner, 2015).

Bei der linearen Programmierung auf die in Kapitel [4.3](#) näher eingegangen wird, handelt es sich um ein Verfahren, das die Produktionsverfahren meist nach größtmöglichem Deckungsbeitrag optimiert und so müssen auch **ökonomische Kennzahlen** eingehen. Da Kleinhohenheim als Versuchsstation der Universität Hohenheim jedoch relativ frei von finanziellem Erfolgszwang wirtschaftet, wird im Modell mit Durchschnittsdaten aus Fachbüchern gerechnet.

### 3.4 Lineare Programmierung

Bei der Ausarbeitung eines bio-vegane Modellbetriebs auf der Grundlage der Produktionsverfahren Kleinhohenheims sollte das Planungsinstrument verschiedene **Kriterien** vereinen. Speziell bei einer bio-vegane Landwirtschaft spielen neben dem finanziellen Erfolg weitere Ziele wie Umwelt- und Tierschutz eine große Rolle. Trotzdem ist die langfristige Sicherung des Betriebs nur bei positivem **Gesamtdeckungsbeitrag** möglich. Eine solche Bewirtschaftung mit ausgeglichenem Nährstoff- und Humushaushalt, bringt v.a. aufgrund fehlender Verwertung von Leguminosenaufwuchs und einem damit verbundenen höheren Anteil betriebsfremder Düngemittel finanziell anderen Belastungen mit sich als ein viehhaltender Betrieb (Schmidt, 1997). Auch eine durch einen Verzicht auf Pflanzenschutzmittel bedingte Reduzierung gewinnbringender Kulturen bringt finanzielle Einbußen mit sich. Damit muss das Planungsinstrument den **ökonomischen** Bereich abbilden sowie mittels Nebenbedingungen die **Bodenfruchtbarkeit** sicherstellen. Desweiteren sollen Änderungen der Produktionsverfahren und –bedingungen im Planungsinstrument ablesbar sein. Damit können z.B. die Auswirkungen von Preisänderungen bewertet und Prognosen für zukünftige Entwicklungen gegeben werden.

Die **lineare Programmierung** oder lineare Optimierung ist ein Verfahren das zur strategischen Planung von Produktionsverfahren in der Landwirtschaft genutzt werden kann. Hierbei wird eine Zielfunktion mittels mathematischem Verfahren maximiert, die gleichzeitig durch **Nebenbedingungen** in Form von Gleichungen und Ungleichungen eingeschränkt ist. Als **Zielfunktion** fungiert häufig der Deckungsbeitrag, welcher durch Fruchtfolgegrenzen, Kapazitäten und andere Bedingungen beeinflusst wird (Mußhoff und Hirschauer, 2013). Microsoft Excel bietet mit dem **Excel Solver** ein Instrument zur linearen Optimierung von Modellen, deren Stabilität direkt aus dem Sensitivitätsbericht abgelesen werden können. Zur Lösung des Optimierungsproblems wird der **Simplexalgorithmus** verwendet, dessen Vorgehensweise am vereinfachten Modell am Ende dieses Kapitels gezeigt werden soll. Die Begrifflichkeiten haben häufig mehrere Bezeichnungen. Um die in dieser Arbeit genutzten besser zu verstehen werden diese in Tabelle 3 näher definiert und mit Beispielen unterstützt werden.

**Tabelle 3:** Begrifflichkeiten der linearen Optimierung

Abgrenzung der Begrifflichkeiten mit alternativen Bezeichnungen, Definition und Beispielen

Bezeichnung(en)	Definition	Beispiele
Produktionsverfahren, Aktivität	Jegliche Tätigkeit im Betrieb zur Herstellung von landwirtschaftlichen Produkten. Kann geteilt oder	Weizenanbau, Klee grasverkauf, Ackerbohnen schrot düngung



	zusammengefasst werden.	
Zielfunktion	Funktion dessen Wert maximiert oder minimiert werden soll.	Gesamtdeckungsbeitrag
Nebenbedingung, Restriktion	Maximal verfügbare oder minimal zu erreichende Kapazität eines Faktors	Maximale Ackerfläche, maximale Akh, Kleegrasertrag, minimaler Stickstoffgehalt im Boden
Kapazitätsinanspruchnahme- koeffizient, Faktoranspruch	Faktor mit welcher ein Produktionsverfahren eine Kapazität in Anspruch nimmt	1 ha pro ha Weizen, 1 Akh pro t Silagedüngung, 600 kg Humus-C pro ha Kartoffel
Entscheidungsvariable Problemvariable	Veränderbarer Umfang der Realisierung der Verfahren	5 mal 1 ha Weizenanbau 10 mal 1 t Klee gras verkaufen
(Simplex-)Tableau	Form der Darstellung der Informationen	

Quelle: Mußhoff und Hirschauer, 2013, modifiziert

Im Folgenden soll die Vorgehensweise der linearen Optimierung des Modellbetriebs vereinfacht dargestellt werden. Als Zielfunktion wird der Gesamtdeckungsbeitrag gewählt, dieser soll maximiert werden. Allgemein gilt

$$Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$$

sowie

$$b_i = a_{1i} x_1 + a_{2i} x_2 + \dots + a_{ik} x_k$$

und

$Z =$  Zielfunktion

$x_k =$  Entscheidungs- bzw. Problemvariablen

$c_k =$  Deckungsbeitrag der Verfahren

$a_{ik} =$  Faktoransprüche der Verfahren

$b_i =$  Kapazitäten der fixen Faktoren.

vereinfachtes LP-Modell des bio-vegane Modellbetriebs			Ungleichung	1 ha Fruchtfolgeakt. AF	1 ha Klee gras	1 ha Winterweizen	1 ha Kartoffeln	1 t Klee grassilage AF	1 t Grüngutkompost AF	Ansprüche	Restkapazitäten
				24,0	4,8	7,9	4,8	0,0	0,0		
<b>Verfahrensumfang</b>				24,0	4,8	7,9	4,8	0,0	0,0	-	
<b>Deckungsbeitrag (€) 49429</b>				0	-413	1166	8788	-26	-12		
Ackerfläche verfügbar	(ha)	24	>=	1						24	0
Ackerfläche genutzt	(ha)	0	>=	-1	1	1	1			-6,48	6,48
Klee gras AF min. 20%	(ha)	0	>=	0,2	-1					2E-15	-0
Winterweizen max.33,3%	(ha)	0	>=	-0,33		1				9E-16	-0
Kartoffeln max. 20%	(ha)	0	>=	-0,2			1			-0	0
Ertrag Klee gras	(t)	0	>=		-72			2,6		-346	346
Humusbilanz AF max.	(kg C)	7200	>=		-600	-19	719	-17	-90	420,7	6779
Humusbilanz AF min.	(kg C)	0	>=		600	19	-719	17	90	-421	421

Legende:

Ackerflächen (AF)

Gemüseflächen (GF)

Düngungsverfahren

Quelle: Eigene Darstellung nach Verfahren von Lippert (2014)

**Abbildung 4:** Schematische Darstellung des LP-Modells des bio-vegane Modellbetrieb nach Berechnung des optimalen Produktionsprogramms in Form eines Simplextableaus

Das vorliegende Beispiel in Abbildung 4 zeigt einen Ausschnitt aus dem vereinfachten LP-Modell des bio-vegane Modellbetriebs. Die Darstellung soll als Schema dienen und gibt nicht das tatsächliche LP-Modell wieder. Produktionsverfahren sowie Restriktionen werden in eine Matrix, auch als Tableau bezeichnet, eingetragen. Die Matrix entspricht einem linearen Gleichungssystem, dessen Entscheidungsvariablen so gewählt werden sollen, dass der Wert der Zielfunktion maximal wird. In der linken Spalte sind außerdem die verfügbaren Kapazitäten aufgeführt, sowie in der oberen Zeile die verschiedenen Aktivitäten.

Faktoransprüche gehen nun dergestalt in das Tableau ein, dass sie im Falle eines tatsächlichen Anspruchs positiv sind. Werden durch eine Aktivität Kapazitäten zu Verfügung gestellt, sind sie mit einem negativen Vorzeichen versehen und können von anderen Aktivitäten verbraucht werden. **Acker-** sowie **Gemüseflächen** (AF und GF) sind zu 24 ha bzw. 9 ha verfügbar. Um Fruchtfolgebegrenzungen ins Modell zu integrieren wird eine **Fruchtfolgeaktivität** formuliert. Dafür werden die Begrenzungen im Verfahren 1 ha Fruchtfolgeaktivität ausgewiesen, sowie über

die genutzte Ackerfläche eine Verbindung zur verfügbaren Ackerfläche hergestellt. Diese Aktivität dient nur zur übersichtlicheren Darstellung und hat keinen eigenen Deckungsbeitrag. Ein ha Fruchtfolgeaktivität beansprucht einen ha der AF und liefert einen ha genutzte AF. Wird bspw. für Getreide eine Anbaukonzentration von maximal 50% unterstellt, so liefert ein ha Fruchtfolgeaktivität 0,5 ha dieser Kapazität von denen ein ha Weizenanbau wiederum einen ha beanspruchen würde. Die Verfahren werden **geteilt** oder mit anderen Verfahren **aggregiert**. So stellt das Verfahren Klee gras nur die tatsächliche Produktion, nicht aber die Nutzung des Aufwuchses dar. Diese geht als eigenes Verfahren in das Tableau ein. Hierfür liefert das Verfahren „1 ha Klee grasanbau“ der Kapazität „Klee grasertrag“ den Aufwuchs, womit dieser dem Verfahren „Klee grassilage herstellen und düngen“ zur Verfügung steht. Aggregierte Verfahren beinhalten oft sowohl Herstellung als Nutzung. So setzt sich der Deckungsbeitrag vom Verfahren Kopfkohl aus Produktion sowie Verkauf zusammen. In Kapitel 3.5.2 wird ausführlicher auf die Bildung der Deckungsbeiträge eingegangen. Die **Humus-** sowie die **Stickstoffbilanz** werden als Kapazitäten in Grenzen dargestellt, innerhalb derer sie sich befinden dürfen. Weitere Erläuterungen zur Bildung dieser Grenzen finden sich in Kapitel 3.5.4 und 3.5.5.

Würde der Simplexalgorithmus manuell durchgeführt werden, könnte anhand dieses Tableaus eine übersichtliche Berechnung erfolgen. In dieser Arbeit soll jedoch nur auf die Berechnung durch den Excel-Solver näher eingegangen werden. Dieser wird als kostenloses Add-In im Programm oder auf der Webseite von Microsoft zur Verfügung gestellt. Nach erfolgreicher Aktivierung kann im Programm Excel darauf zugegriffen werden. Im Formular wird als Zielzelle diejenige angegeben, in der sich die Zielfunktion befindet. Diese Zelle enthält eine Formel zur Berechnung des Deckungsbeitrags. Des Weiteren müssen die variablen Zellen, also der Verfahrensumfang, sowie die relevanten Nebenbedingungen angegeben werden.

Kommt ein optimales Programm zu Stande, kann der Deckungsbeitrag nach seiner Höhe bewertet werden. Wird mit keiner Kombination der Produktionsverfahren ein positiver Deckungsbeitrag erwirtschaftet so beträgt er null, das heißt es wird nichts angebaut. Nach Eingabe aller Restriktionen sowie Produktionsverfahren und der dazugehörigen Daten rechnet das Programm Excel-Solver das optimale Produktionsprogramm für einen maximalen Deckungsbeitrag aus. Weitere Informationen erhält man durch eine **Stabilitätsanalyse**. Diese untersucht, wie sich Veränderungen der Daten innerhalb des Modells auf die optimale Lösung auswirken (Lippert, 2014). Zum Teil können schon aus dem **Schlusstableau** der linearen Optimierung Schlüsse über die Stabilität gezogen werden. Abbildung 4 des Schlusstableaus des vereinfachten LP-Modells zeigt die **Restkapazitäten** der Begrenzungen an. So sind von den Ackerbauflächen noch 6,5 ha übrig. Die Grenze, die den Humushaushalt nach oben begrenzt beträgt bei erlaubten 300 kg Humus-C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> und einer

Ackerfläche von 24 ha insgesamt 7200 kg Humus-C  $a^{-1}$ . Im Beispielmmodell wird fällt ein Überschuss von 420 kg Humus-C an, sodass weder die Grenze nach oben noch nach unten begrenzend wirkt.

Eine Restkapazität von ungleich null zeigt außerdem, dass diese Kapazität keinen **Schattenpreis** hat. Dieser ist von besonderem Interesse für die Produktionsplanung. Hier lässt sich der innerbetriebliche Wert, auch **Betriebswert** genannt, der jeweiligen Kapazität ablesen. Er gibt Auskunft darüber wie viel Euro eine weitere Einheit der jeweiligen Begrenzung dem Deckungsbeitrag bringen würde. Bei einem einfachen Beispiel kann der Schattenpreis manuell berechnet werden. Liegen jedoch eine Vielzahl von Produktionsverfahren und Kapazitäten vor, ist eine solche Berechnung schwierig und aufwendig. Mit dem **Sensitivitätsbericht** stellt der Excel-Solver ein Instrument zur Verfügung, mit dessen Hilfe diese und weitere Kennzahlen berechnet werden können. Tabelle 4 zeigt den Sensitivitätsberichts des vereinfachten LP-Modells. Anhand dieses Beispiels soll die Stabilitätsanalyse erläutert werden.

**Tabelle 4:** Sensitivitätsbericht des vereinfachten LP-Modells, oberer und unterer Teil

Veränderbare Zellen

Zelle	Name	Lösung Endwert	Reduzierter Kosten	Ziel- Koeffizient	Zulässige Zunahme	Zulässige Abnahme
\$F\$2	1 ha Fruchtfolgeakt. AF	24,0	0,0	0,0	5,55823E+18	2059,5
\$G\$2	1 ha Klee gras	4,8	0,0	-413,3	413,3	10297,7
\$H\$2	1 ha Winterweizen	7,9	0,0	1165,6	1E+30	1165,6
\$I\$2	1 ha Kartoffeln	4,8	0,0	8787,7	1E+30	8787,7
\$J\$2	1 t Klee grassilage AF	0,0	-26,3	-26,3	26,3	1E+30
\$K\$2	1 t Grüngutkompost AF	0,0	-12,0	-12,0	12,0	1E+30

Nebenbedingungen

Zelle	Name	Lösung Endwert	Schatten Schattenpreis	Nebenbed. Rechte Seite	Zulässige Zunahme	Zulässige Abnahme
\$M\$4	Ackerfläche verfügbar -	24,00	2059,5	24	386,72	24,00
\$M\$5	Ackerfläche genutzt -	-6,48	0,0	0	1E+30	6,48
\$M\$6	Klee gras AF min. 20% -	-1,78E-15	413,3	0	4,80	0,70
\$M\$7	Winterweizen max.33,3% -	0,00	1165,6	0	6,48	7,92
\$M\$8	Kartoffeln max. 20% -	0,00	8787,7	0	6,48	0,59
\$M\$9	Ertrag Klee gras -	-345,60	0,0	0	1E+30	345,60
\$M\$10	Humusbilanz AF max. -	420,72	0,0	7200	1E+30	6779,28
\$M\$11	Humusbilanz AF min. -	-420,72	0,0	0	1E+30	420,72

Der Sensitivitätsbericht ist in zwei Teile gegliedert. Der obere Teil gibt Informationen über die zur Auswahl gestellten Produktionsverfahren. Bei den **veränderbaren Zellen** handelt es sich um eben diese. Der Umfang, mit welchem ein Verfahren realisiert werden kann, soll erhoben werden, er kann also verändert werden. Die Höhe des Umfangs findet sich neben Bezeichnung und Zellennummer unter **Lösung Endwert**. Bei einem Wert von null wird das jeweilige Verfahren demnach nicht angewandt. Als **reduzierte Kosten** oder Grenzverlustwert werden jene Kosten

bezeichnet, die entstehen würden, würde man ein bisher nicht realisiertes Verfahren in die Lösung nehmen. Der **Zielkoeffizient** gibt bei Maximierung des Deckungsbeitrags, diesen für das jeweilige Produktionsverfahren an. Als **zulässige Zunahme** wurde berechnet um wie viel der Zielkoeffizient steigen dürfte, ohne dass sich an der Lösung etwas ändert. Analog stellt die **zulässige Abnahme** die untere Grenze dar.

Die zweite Tabelle widmet sich den **Nebenbedingungen**. Diese sind vom Nutzer eingetragen und somit vorgegeben und können nicht verändert werden. Aus der Lösung des Endwerts lässt sich die verbrauchte Kapazität ablesen. Negative Zahlen zeigen hier die Höhe der Restkapazität an. Die genutzte Ackerfläche bspw. hat im vereinfachten LP-Modell eine **Restkapazität** von 6,48 ha. Diese Nebenbedingung wirkt also nicht begrenzend und der Schattenpreis, der daneben angezeigt wird, ist null. Anders könnte man auch sagen, eine Erweiterung der Ackerfläche um 1 ha würde keinen zusätzlichen Deckungsbeitrag erbringen, da er nicht genutzt würde. Die Spalte daneben zeigt unter Nebenbedingung Rechte Seite die Höhe der zur Verfügung stehenden Kapazitäten an. Bei der zulässigen Zunahme verhält es sich ähnlich wie im oberen Teil, mit dem Unterschied, dass hier die Stabilität des Schattenpreises und nicht des Verfahrensumfangs analysiert wird. Die zulässige Zunahme gibt also an für wie viele zusätzliche Einheiten der angegebene Schattenpreis gültig ist. Bei der Fruchtfolgebegrenzung von Kartoffeln gilt im vereinfachten Modell der Schattenpreis von 8787 € ha<sup>-1</sup> für die nächsten 6,48 ha<sup>-1</sup>. Wie sich der Preis danach entwickelt kann über eine Parametrisierung herausgefunden werden. Hierbei wird schrittweise die Begrenzung erhöht, sodass der Schattenpreis stufenweise sinkt. Analog kann mit der zulässigen Abnahme verfahren werden. Die Stabilitätsanalyse wird immer unter **ceteris-paribus-Bedingung** durchgeführt, d.h. es wird davon ausgegangen, dass alle anderen Bedingungen gleich bleiben (Lippert, 2014).

## 3.5 Datenerfassung

### 3.5.1 Produktionsverfahren und Beschränkungen

Zu den Produktionsverfahren gehören alle zur Produktion beitragenden Arbeitsvorgänge und Betriebsmittel. Für das LP-Modell werden diese wie bereits erwähnt je nach Bedarf aufgeteilt um einzelne Verfahrensglieder austauschen und optimieren zu können. Die Fruchtfolgen des Betriebs Kleinhohenheim sollen soweit mit den bio-vegan Richtlinien vereinbar in das Modell eingehen. Darüber hinaus werden weitere Produktionsverfahren ausgewählt, die den Bedürfnissen des bio-vegane Anbaus entsprechen und am Standort praktisch durchführbar wären. Auf den Ackerbauflächen sind die Fruchtfolgefelder **Kleegras, Mais und Ackerbohnen** problematisch, da sie als Futter verkauft werden und somit für die Tierhaltung bestimmt sind. Damit widersprechen sie Standard 1.3 der Stockfree Organic Standards (VON, 2007). Für die Nutzung müssen Alternativen gefunden werden, die nicht mit der Tierhaltung in Verbindung stehen. Die

bestehende Futter-Mist-Kooperation liefert dem Betrieb Mist und bekommt im Gegenzug den Kleegrasaufwuchs. Dieser kann jedoch auch **siliert** und als mobiler Dünger genutzt werden. Eine weitere Möglichkeit wäre, den Kleegrasaufwuchs ebenso wie den Maisertrag als Biogassubstrat und nach der **Vergärung** als mobiler Dünger zu nutzen. Laut Möller und Schultheiß gleichen die Nährstoffgehalte der Gärreste weitgehend denen des Ausgangssubstrats und sind bezüglich N-Verlusten in Form von  $\text{NH}_4^+$  und  $\text{N}_2\text{O}$  als vorteilhafter zu bewerten (2014). Kleinhohenheim selbst besitzt keine Biogasanlage. Eine Kooperation mit einem Biogasbetreiber wäre denkbar, jedoch müsste die Anlage mit rein pflanzlichen Gärsubstraten aus biologischem Anbau betrieben werden. Für die bio-vegane Landwirtschaft ist die Verwertung des Kleegrasaufwuchses und die Rückführung der Nährstoffe mittels einer Vergärungsanlage von so hohem Potenzial, dass diese Möglichkeit in den bio-vegane Modellbetrieb dieser Arbeit eingehen soll. Dafür wird davon ausgegangen, dass der Betrieb Zugriff auf eine Biogasanlage hat, entweder weil er selbst eine solche betreibt oder durch eine Kooperation mit einem anderen Landwirt im näheren Umkreis. Ökonomisch sollen sich diese Möglichkeiten nicht unterscheiden, da jeweils dieselben variable Kosten und Leistungen angenommen werden. Die Forschung im Bereich der Biogasgewinnung befasst sich bereits intensiv mit der effizienten Vergärung von Klee gras. Ohne Zufuhr von anderem Substrat ist dieser faserreiche Ausgangsstoff schwierig zu vergären, sodass eine Anlage die für die Vergärung von Gülle oder Mais konzipiert wurde nicht ohne Weiteres mit Klee gras betrieben werden kann (Gerlach und Grieb, 2013). Aufgrund dieses Umstandes wird das Verfahren Silomais, das in der ursprünglichen Fruchtfolge als Futter genutzt wird, in der Fruchtfolge erhalten bleiben.

Auch das Verfahren Ackerbohnen ließe sich durch die Nutzung der Körner als Düngung lose oder in Form von **Schrot** mit den bio-vegan Richtlinien vereinbaren. Ob die Kosten der Produktion, Aufbereitung und Ausbringung durch die Düngungswirkung und dessen monetären Mehrwert aufgewogen werden, wird sich bei Auswertung der Ergebnisse zeigen. Als weitere Alternativen zu diesen beiden Verfahren sollen Sojabohnen sowie Kartoffeln aufgenommen werden. Kartoffeln sind aufgrund der hohen Marktnachfrage typisch für den ökologischen Anbau und werden unregelmäßig bereits in Kleinhohenheim angebaut. Auch wurden in der Vergangenheit bereits Sojabohnen für die Tofuproduktion in Zusammenarbeit mit der Firma Taifun angebaut. Die Produktion wurde jedoch eingestellt, da Fraßschäden durch Tauben zu erheblichen Ausfällen führten (Hübner, 2014). Seit einigen Jahren wird das Taubenproblem in Stuttgart und der Region massiv bekämpft, unter anderem durch Fütterungsverbote und Brutverhinderung in Taubenhäusern. Im bio-vegane Betrieb entfällt die Möglichkeit der Jagd (VON, 2007). Sojabohnen sind jedoch die Grundlage für viele Produkte, die in einer westlichen, veganen Ernährung vorkommen und in der vorliegenden Arbeit soll das Hauptaugenmerk auf einem ausgeglichenen Nährstoff- und Humushaushalt liegen. Deshalb

wird für den Modellbetrieb davon ausgegangen werden, dass Sojabohnen ohne große Fraßschäden angebaut werden können. Auf den Gemüsebauchflächen des Betriebs Kleinhohenheim sind die Kulturen für die menschliche Ernährung gedacht und bleiben erhalten. Sowohl hier als auch auf den Ackerbauflächen bleiben die Nebenprodukte auf dem Feld liegen. Der Zwischenfruchtanbau wird vereinfacht in Sommer- und Winterzwischenfrucht unterteilt. Grundlage für dieses Verfahren war erneut das Berechnungsprogramm des KTBL, dieses veranschlagt für den Zwischenfruchtanbau von Klee gras eine Saat im Juli sowie eine Ernte im September. Ob es in dieser relativ kurzen Zeitspanne pflanzenbaulich möglich ist die vorausgesetzten 14t Aufwuchs zu erhalten ist fraglich und soll im Diskussionsteil dieser Arbeit erneut aufgegriffen werden. Untersaaten und Mischkultur entfallen, da eine Programmierung dieser Möglichkeiten schwierig ist und das LP-Modell stark an Komplexität zunehmen würde

Die weitere Rückführung der Nährstoffe mittels Düngung wird isoliert von den einzelnen Produktionsverfahren betrachtet. Neben den **innerbetrieblich erzeugten Düngemittel** Ackerbohnen, Klee grassilage und Maissilage bzw. deren Gärrest sollen weitere Düngemittel zur Auswahl gestellt werden. Vor allem der ökologische Gemüsebau benötigt hohe Nährstoffgehalte in einer kurzen Vegetationsdauer. Diese verlassen mit dem Verkauf des Ernteguts den Betrieb und können voraussichtlich nicht durch die Fruchtfolge rückgeführt werden. Ansatzpunkte bei der Auswahl der zusätzlichen Düngemittel war die Auswahl nach Möller und Schultheiß, welche die in der Praxis am weitesten verbreiteten Düngemittel zusammengestellt und nach verschiedenen Kriterien charakterisiert haben (2014). Die Auswahl wurde in Zusammenarbeit mit der KTBL-Arbeitsgruppe, Beratern und weiteren Branchenangehörigen auf Grundlage der FibL-Betriebsmittelliste getroffen und enthält sowohl Rohstoffe pflanzlicher als auch tierischer Herkunft (Möller und Schultheiß, 2014). Tabelle 5 schließt die Rohstoffe aus, die für den Modellbetrieb nicht in Frage kommen. Zu den Düngemitteln tierischer Herkunft, und damit im bio-veganen Anbau verboten, zählen Mist, Haarmehlpellets, Hornprodukte, Federmehl und Fleischknochenmehl. Auch Kompost aus Haushaltsabfällen darf aufgrund der möglichen Verunreinigung mit tierischen Stoffen nicht eingesetzt werden (VON, 2007). Klärschlamm ist allgemein im ökologischen Landbau nicht erlaubt. Die Phosphorversorgung wird allgemein über Rohphosphate sichergestellt. Aufgrund der knappen Phosphorressourcen und deren wenig nachhaltigem Abbau wird die Wiedergewinnung aus der Nahrungskette in absehbarer Zeit jedoch dringend notwendig und so ist mit einer Lockerung der Richtlinien in diesem Bereich zu rechnen (Fischinger et. al, 2014). Im bio-veganen Landbau wird jedoch in Standard 3.5 ebenfalls darauf hingewiesen, dass Klärschlamm als Hauptquelle der Bodenfruchtbarkeit verboten ist. Stattdessen sollen weicherdige Rohphosphate sowie gebranntes Aluminium-Rohphosphat als Phosphatquellen

dienen (VON, 2007). Des Weiteren beschränken andere Kriterien wie schlechte Verfügbarkeit aufgrund geringer Anfallmengen, hoher Entfernung und geringer Transportwürdigkeit oder starker Nutzungskonkurrenz am Standort Kleinhohenheim einen Einsatz.

**Tabelle 5:** Auswahl geeigneter Rohstoffe für Düngung

<b>Handelsdüngemittel</b>	<b>Herkunft</b>	<b>Eignung</b>	<b>Verfügbarkeit</b>
<b>Haarmehlpellets</b>	Schweineborsten	Ungeeignet, da tierischer Herkunft.	Gut
<b>Hornprodukte</b>	Rinderhufe/-hörner	Ungeeignet, da tierischer Herkunft.	Gut
<b>Federmehl</b>	Federn von Geflügel	Ungeeignet, da tierischer Herkunft.	Gut
<b>Fleischknochenmehl</b>	Fleisch und Knochen	Ungeeignet, da tierischer Herkunft.	Gut
<b>Vinasse</b>	Zuckerrüben/-rohr	Geeignet, da pflanzl. Herkunft.	Gut, jedoch hoher Preis.
<b>Kartoffelbruchwasser(-konzentrat)</b>	Kartoffeln	Geeignet, da pflanzl. Herkunft.	Eher schlecht, da keine Stärkefabrik in der Nähe.
<b>Reststoffe der Maisverarbeitung</b>	Mais	Geeignet, da pflanzl. Herkunft.	Schlecht, da starke Konkurrenz durch Bedarf als Futtermittel.
<b>Schlempen</b>	Getreide, Mais, Kartoffeln, Alkoholherstellung	Geeignet, da pflanzl. Herkunft.	Schlecht, da starke Konkurrenz durch Bedarf als Futtermittel.
<b>Malzkeime (Maltaflor)</b>	Malzherstellung	Geeignet, da pflanzl. Herkunft.	Gut, jedoch hoher Preis.
<b>Leguminosenschrote</b>	Leguminosen	Geeignet, da pflanzl. Herkunft.	Gut, kann im Betrieb selbst hergestellt werden.
<b>Biosol</b>	Pilzbiomasse aus Penicillinherstellung	Geeignet, wenn pflanzl. Herkunft.	Gut, jedoch hoher Preis.
<b>Hydrolysate wie OPF</b>	Produkt der Hydrolyse verschied. Ausgangsstoffe	Geeignet, wenn Ausgangsstoffe pflanzl. Herkunft.	Gut, jedoch hoher Preis.
<b>Bioabfall</b>	Haushaltsabfälle	Ungeeignet, da evtl. mit tierischen Bestandteilen kontaminiert.	Gut.



<b>Gärrest</b>	Je nach Substrat pflanzlich oder tierisch	Gut, kann im Betrieb selbst hergestellt werden.	Gut.
<b>Klärschlamm</b>	Abwasserreinigung	Ungeeignet, da laut EG- Öko-VO nicht erlaubt.	Gut.

Quelle: Möller und Schultheiß, 2014, modifiziert

Die Motivation der Vertreter des bio-vegane Anbaus nachhaltig zu wirtschaften ist hoch (Hall und Tolhurst, 2006). Nachhaltigkeit, Umweltschutz und Förderung der Diversität sind jedoch öffentliche Güter, die nur ungenügend durch den Erlös entlohnt werden. Die Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik brachte ab 2014 einige Neuerungen mit sich. Die Direktzahlungen der ersten Säule werden vom sogenannten Greening begleitet, welches 30% der Basisprämie beträgt und an gewisse Anforderungen gebunden ist. Das Greening betrifft Ökolandwirte nicht direkt, da diese pauschal von der Erfüllung dieser Auflagen befreit sind. Die ökologische Landwirtschaft wird ohnehin im Rahmen der Zertifizierung auf nachhaltige Bewirtschaftungsweise kontrolliert. Sie erhalten die volle Gesamtprämie in Höhe 160,91 € Basisprämie sowie 87,2 € Greeningprämie (Bauernverband, 2015). Diese wird wiederum von Umverteilungsprämien begleitet, was für die ersten 30 ha eine zusätzliche Prämie von 50 € sowie von 30 € für die weiteren 15 ha bedeutet (Europäische Kommission, 2013).

Die **Beschränkungen** des LP-Modells können in drei Bereiche geteilt werden. Die **betriebsspezifische Ausstattung** begrenzt die einsetzbaren verfügbare Acker- und Gemüsebauflächen sowie die einsetzbaren Arbeitskraftstunden. Zur Kapazität der Arbeitskraftstunden (Akh) zählen die beiden Betriebsleiter Hans-Jörg Ruess und Oliver Hübner sowie der landwirtschaftliche Mitarbeiter Hans Schubert. Der Betrieb Kleinhohenheim steht als Versuchsstation der Forschung bereit und somit wird auch ein bedeutsamer Teil der Arbeit der festangestellten Mitarbeiter von dieser Verbindung beeinflusst. Die Arbeitsstundenkapazität kann deshalb nicht ohne weiteres übernommen werden. Bei einer Flächenausstattung von insgesamt 33 ha könnte von einer festangestellten Arbeitskraft mit 2000 Arbeitskraftstunden pro Jahr (Akh a<sup>-1</sup>) ausgegangen werden. Für einfache Arbeiten, die im arbeitsintensiven Gemüsebau zu saisonalen Arbeitsspitzen führen, könnten unbegrenzt Saisonarbeiter eingestellt werden. Viele Studenten der Universität haben Interesse an dem Betrieb und können so zusätzlich als ungelernete Mitarbeiter oder im Rahmen eines Praktikums angestellt werden. Anfragen über Möglichkeiten der Mitarbeit erreichen den Betrieb regelmäßig Die Ausstattung mit landwirtschaftlichen Maschinen ist gut und wird durch die Möglichkeit der Zusammenarbeit mit den beiden weiteren Versuchseinrichtungen Meiereihof sowie dem Heidfeldhof noch vergrößert. Es kann also davon ausgegangen werden, dass

alle Standardmaschinen für ein **Mechanisierungskonzept** von 64kW vorhanden sind. (Hübner, 2015). Im LP-Modell dieser Arbeit liegt das Hauptaugenmerk auf der Erstellung einer pflanzenbaulich und wirtschaftlich funktionierenden Fruchtfolge. Die Anforderungen sind hier bereits hoch. Eine weitere Nebenbedingung in Form von Akh würde nicht begrenzend wirken und kann deshalb außen vor gelassen werden. Auch bei Verfahren wie Silagebereitung und Gewinnung von Ackerbohenschrot wird davon ausgegangen, dass die bestehende Kapazität nicht begrenzend wirkt und die Programmplanung damit nicht betrifft. Die Lohnkosten für Saisonarbeitskräfte und bei Inanspruchnahme von Dienstleistung sind bereits im Produktionsverfahren eingerechnet und werden im Tableau nicht gesondert ausgewiesen.

Unter **pflanzenbaulicher Sicht** schränken vor allem **Fruchtfolgebegrenzungen** die Produktion ein. Durch eine Vielfalt an Kulturen und die langen Anbaupausen zwischen Pflanzen, die anfällig sind für dieselben Schaderreger, kann der im Ökolandbau vorgeschriebene Verzicht auf Pflanzenschutzmitteln ausgeglichen werden (Freyer, 2003). Im bio-veganen Landbau wird aufgefordert, sogar auch auf natürliche Insektizide sowie Herbizide weitestgehend zu verzichten (VON, 2007). Um dem dadurch erhöhten Risiko bei Befall zu begegnen soll bei Angabe von empfohlenen Anbaupausen immer die oberen Werte gewählt werden, sodass eine besonders weite Fruchtfolge entsteht. Tabelle 6 zeigt empfohlene Anbauanteile (in %) sowie die Ursache der Begrenzung. Vor allem intensive Kulturen wie Feldgemüse zeichnen sich durch hohe Anbaupausen aus, Getreide und Mais hingegen weisen eine vergleichsweise hohe Selbstverträglichkeit auf.

**Tabelle 6:** Fruchtfolgerestriktionen der Fruchtarten

<b>Fruchtart</b>	<b>Anbau- pausen</b>	<b>Anbauanteile (%)</b>	<b>Ursachen</b>
Winterweizen	2	33,3%	Pilzl. Schaderreger besonders Fußkrankheiten, Getreidezystenälchen
Sommerhafer	2-5	16,7-33,3%	Getreidezystenälchen
Dinkel/ Emmer	2-3	25-33,3%	
Winterroggen	1-2	33,3-50%	Pilzl. Schaderreger besonders Fußkrankheiten
Sommerweizen	2	33,3%	Fußkrankheiten, Getreidezystenälchen Unverträglichkeitsbeziehungen,
Kleegrass	3-4	20-25%	Kleekrebs, Kleeälchen, Kleewürger, Fusariumwelke und andere pilzl.

Ackerbohne	3-5	16,7-25%	Unverträglichkeitsbeziehungen, Brennfleckenkrankheit, Fußkrankheiten, Stängelälchen
Sojabohne	3-4	25-20%	Pilzl. Schaderreger
Mais	1-2	50-33,3%	
Kartoffeln	3-4	25-20%	Kartoffelzystenälchen
Weißkohl	4-6	20-14,3%	Kohlhernie, Rübenzystenälchen
Möhren	3-4	25-20%	Pilzl. Schaderreger, Nematoden

Quelle: Kolbe, 2009, modifiziert

Grund für die Angabe von Grenzen sind Standorteigenschaften, die bei deren Auswahl zu beachten sind. In Risikogebieten für bestimmte Schädlinge und Krankheiten muss mit höheren Anbaupausen gerechnet werden.

Desweiteren wird die Produktion durch den **Nährstoffhaushalt** eingeschränkt. Stickstoff hat den größten Anteil am Erntegut und kann, wie eingangs erwähnt, nicht wie im viehhaltenden Betrieb durch die Düngung von Mist und Futteranbau teilweise rückgeführt werden. Auch laut Bonzheim sehen am bio-vegane Landbau interessierte Landwirte, im Stickstoffmanagement einen Beratungsbedarf (2014).

Bei der linearen Programmierung handelt es sich wie bereits beschrieben um ein lineares Gleichungssystem mit einer Zielfunktion deren Ergebnis maximiert werden soll. Schafft es das Programm nicht einen gemeinsamen Punkt aller Gleichungen zu finden, erhält man als Lösung eine leere Menge. Dieser Umstand wurde auch bei der Erstellung des LP-Modells, speziell bei der Ausformulierung der Humus- und Nährstoffbilanzen zum Problem. Um den Anspruch ausgeglichener Bilanzen von Humus sowie den Nährstoffen N, P und K in das Modell zu integrieren stellten sich im Laufe der Arbeit folgende Möglichkeiten heraus.

Um Über- sowie Unterschüsse zu vermeiden liegt eine exakt ausgeglichene Bilanz von null nahe. Im LP-Modell kann dafür eine Gleichung gebildet werden, die dies erzwingt. Damit hätte das Programm jedoch extrem wenig Spielraum und es gäbe nur eine kleine Anzahl von Möglichkeiten die Verfahren so zu kombinieren, dass alle vier Bilanzen einen Saldo von exakt null erreichen. Mit einer größeren Anzahl an Düngungsverfahren und einem damit verbundenen größeren Spektrum an Stoffzusammensetzungen wäre dies eventuell möglich, nicht jedoch bei einer relativ kleinen Auswahl wie im vorliegenden Beispiel.

Schmidt bewertet N-Bilanzen von -10 kg bis 10 kg/ha als ausgeglichen (2004). Diese Grenzen könnten auch im LP-Modell angewandt werden. Beim **Humushaushalt** könnten die Grenzen so eingerichtet werden, dass die standorttypische Humusversorgungsgruppe beigehalten wird. Auf

diese anhand des Humussaldos gefassten Gruppen wird in Kapitel 4.4.4 näher eingegangen. Für die Wahl der Grenzen hieße dies, dass ein Humussaldo von 0 bis 300 kg Humus-C ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> für den ökologischen Landbau als ausgeglichen angesehen wird. Die Angabe in Grenzen berücksichtigt auch die Tatsache, dass es sich bei den Nährstoffangaben teils um Durchschnittsdaten, teils um geschätzte und unspezifische Daten aus der Literatur handelt. Damit hätte das Programm jedoch immer noch zu wenige Entscheidungsmöglichkeiten. Damit sowohl obere wie auch untere Grenzen eingehalten werden, muss das Programm ein Optimum erzwingen, bei dem nur ein kleiner Teil der Flächen realisiert würden, da jede weitere Bewirtschaftung eine gleichzeitige Einhaltung der Nebenbedingungen erschweren würde.

Eine weitere Möglichkeit wäre eine vereinfachte Angabe von nur einer Untergrenze, die festlegt, dass der Saldo nicht negativ sein wird. Damit könnte außerdem abgelesen werden, welche Überschüsse im Optimum anfallen würden.

Da jedoch nicht alle Salden zu Überschuss neigen, lohnt es sich hier noch einmal zu differenzieren. In der Praxis fällt vor allem bei der Humus- sowie bei der Stickstoffbilanz häufig ein Überschuss an. Dies wird natürlich stark davon beeinflusst welche Kulturpflanzen angebaut werden und welche Zusammensetzung die verwendeten Düngemittel haben. Phosphor und Kalium hingegen werden bei Ackerbaubetrieben üblicherweise eher entzogen. Am Standort Kleinhohenheim kann außerdem aufgrund des aus Lösslehm entstandenen Bodens mit einer langfristigen Nachlieferung an diesen beiden Nährstoffen gerechnet werden kann (Zikeli, 2015).

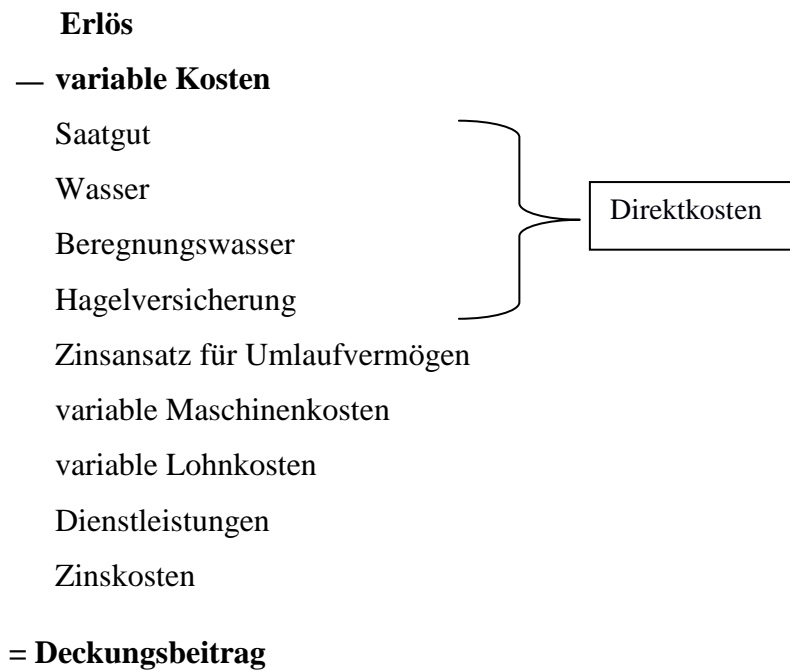
Aus diesen Gründen sollen die Nährstoffbilanzen in den drei verschiedenen Szenarien unterschiedlich eingehen. Szenario A bildet den originalen Modellbetrieb mit allen Bilanzen ab deren Salden innerhalb von Grenzen fix vorgegeben sind. In diesem Szenario müssen auch die Phosphor- und Kaliumbilanzen aus eigener Kraft ausgeglichen werden und Nachlieferungen aus dem Boden werden ignoriert. In Szenario B werden von den Bilanzen nur Stickstoff und Humus als Nebenbedingungen beachtet. Die Phosphor- und Kaliumbilanzen werden zur Veranschaulichung im Modell gelassen, jedoch bei der Berechnung des Optimums nicht als begrenzende Restriktionen einbezogen. Damit kann der Saldo der jeweiligen Bilanz direkt aus dem Schlusstableau abgelesen werden. Szenario C veranschaulicht die Veränderungen die eine Lockerung der Fruchtfolgegrenzen bringt und Szenario D errechnet das Optimum rein wirtschaftlich also ganz ohne Berücksichtigung jeglicher Bilanzen.

Auch beim **Humushaushalt** sollen die Grenzen so eingerichtet werden, dass die standorttypische Humusversorgungsgruppe beigehalten wird. Auf diese, anhand des Humussaldos gefassten Gruppen wird in Kapitel 3.5.4 näher eingegangen. Für die Wahl der Grenzen heißt dies, dass ein

Humussaldo von 0 bis 300 kg Humus-C ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> für den ökologischen Landbau als ausgeglichen angesehen wird.

### 3.5.2 Deckungsbeitragsrechnung

Für die Deckungsbeitragsrechnung wurde auf den **Leistungs-Kostenrechner** für ökologischen Pflanzenbau des **Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft** (KTBL) zurückgegriffen. Diese Online-Anwendung wird auf der Webseite des KTBL kostenlos als finanzielles Planungsinstrument zur Verfügung gestellt. Der Anwender kann Wirtschaftsweise, Kulturart und Anbausystem aus einer voreingestellten Liste wählen. Dann werden folgende Bereiche konkretisiert. Die Schlaggröße liegt im Betrieb Kleinhohenheim bei durchschnittlichen 2,9 ha im Ackerbau sowie 1,4 ha im Gemüsebau was einem gewogenen Mittel von 2,15 ha entspricht. Im Modellbetrieb soll aus Vereinfachungsgründen mit 2 ha durchschnittlicher Schlaggröße gerechnet werden. Das Ertragsniveau ist mittel, die durchschnittliche Feld-Hof-Entfernung 1 km. Da standardmäßig Traktoren mit 67 kW eingesetzt werden (Hübner, 2015), wird diese Leistungsklasse als Mechanisierungskonzept zugrunde gelegt. Vorteil gegenüber einer manuellen Deckungsbeitragsrechnung besteht im beträchtlich geringeren Arbeitsaufwand. Ein Nachteil ist, dass mit voreingestellte Arbeitsvorgängen und Durchschnittsdaten gerechnet wird. Diese können jedoch bei Bedarf im Nachhinein von Hand geändert werden. So wurden beispielsweise alle Verfahren um die Arbeitsvorgänge und Aufwände der Düngung bereinigt, da diese gesondert im Tableau ausgewiesen sind und durch den angegebenen Nährstoffbedarf mit dem Produktionsverfahren in Verbindung steht. Die **Leistungs-Kostenrechnung** kann als Vollkostenrechnung oder als Teilkostenrechnung eingesetzt werden. Es sollen einzelne Produktionsverfahren miteinander verglichen werden, deshalb gehen nur Kosten ein, die dem Verfahren direkt zugeordnet werden können, nicht aber die Fixkosten, somit wird in dieser Arbeit auf die Teilkostenrechnung zurückgegriffen. Die spezifischen Kalkulationen der einzelnen Produktionsverfahren sind in Anhang 1 aufgeführt. Schematisch wird der Deckungsbeitrag folgendermaßen berechnet.



Quelle: Achilles et al, 2010, modifiziert

Produktionsverfahren die nicht mit der Online-Anwendung berechnet werden konnten, weil sie in der Auswahlliste nicht vorhanden waren, wurden manuell nach demselben Schema berechnet.

Dabei wurde erneut auf Daten aus Datensammlungen der KTBL für die Betriebsplanung ökologischer Betriebe zurückgegriffen.

### 3.5.3 Öko-BEFU

**Nährstoffbilanzen** sind ein wichtiges Instrument für die Bewertung der Nachhaltigkeit eines landwirtschaftlichen Betriebs sowohl im ökologischen als auch im ökonomischen Sinne (Zapf et al, 2009). Zur Bilanzierung der Humus- und Nährstoffhaushalte wird üblicherweise auf für diesen Zweck konzipierte PC-Programme zurückgegriffen. Im Gegensatz zur manuellen Erstellung werden viele Schritte automatisch vom Programm ausgeführt und durch einprogrammierte Datenbanken kann auf vorgegebenen Daten zurückgegriffen werden, anstatt diese selbst aus der Literatur zu sammeln oder zu berechnen. Nachteilig ist, dass diese Rechenschritte und Daten meist nur in geringem Umfang geändert werden können und sich somit das Ergebnis eventuell von der Realität entfernt. Da in dieser Arbeit jedoch ohnehin nicht mit tatsächlich erhobenen Daten sondern größtenteils mit Durchschnittsdaten gerechnet wird, kann dieser Nachteil in Kauf genommen werden.

Das PC-Programm sollte mehreren Kriterien entsprechen. Kennzahlen und Parameter des konventionellen Landbaus sind nicht ohne weiteres auf den Öko-Landbau übertragbar. Erträge sowie enthaltene Nährstoffgehalte liegen höher und der **Stickstofffixierung** durch Leguminosen wird nur eine geringe Bedeutung zugemessen, sodass deren Berechnungsverfahren nicht oder nur

ungenau vorhanden sind (Stein-Bachinger et al., 2004). Auch die Humusbilanzierung hat im Ökolandbau eine größere Bedeutung. Aus dem Verzicht auf mineralische Düngung ergibt sich eine schwierigere bedarfsgerechte Versorgung, was teilweise durch höhere Humusgehalte ausgeglichen werden kann (VDLUFA, 2014).

Das Programm **BEFU** (Bestandesführung) der Sächsischen Landesanstalt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) vereint all diese Kriterien. Es wurde ursprünglich für den konventionellen Landbau zur Erreichung von bedarfsgerechter Nährstoffzufuhr vor allem im Hinblick auf die Düngeverordnung (DüV) erarbeitet. Als Grundlage dienten Ergebnisse umfangreicher und mehrjähriger Versuche (Köhler und Kolbe, 2007). Im Jahr 2008 wurde es um einen Programmteil für die ökologische Landwirtschaft erweitert. Dieser sowie eine ausführliche Beschreibung kann auf der Webseite des Ministeriums kostenlos heruntergeladen werden.

### 3.5.4 Humusbilanzierung

Scheffer und Schachtschabel bezeichnen als Humus die „Gesamtheit der toten organischen Substanz als Humus“, welche sich in Streustoffe und Huminstoffe unterteilen lässt und mit dem Mineralkörper des Bodens vermischt ist (2010). Organische Substanz im landwirtschaftlich genutzten Boden beeinflusst laut Köpke (2010) vor allem folgende Bereiche positiv

- Bodengefüge,
- Zugänglichkeit von Nährstoffen,
- Wasserführung und –haltevermögen,
- Gasaustausch,
- Bindung von Pflanzennährstoffen,
- Allmähliche Pflanzenfreisetzung,
- Pflanzengesundheit,
- Rückbindung von atmosphärischem CO<sub>2</sub>.

Ein Überschuss an organischer Masse birgt das Risiko von Nährstoffverlusten z.B. in Form von Stickstoffemissionen in die Luft oder ins Grundwasser (Körschens et al., 2004) sowie einem eventuell höheren Krankheitsdruck mit bestimmten Erregern (Linderman, 1989). Die Bedeutung des Humus wurde längst erkannt und seine Erhaltung hat auch in der Politik einen hohen Stellenwert. So wurden unter anderem mit Zahlungen über Cross-Compliance und Agrarumweltmaßnahmen Instrumente innerhalb der gemeinsamen Agrarpolitik entwickelt, die „zum Schutz des Bodens vor Erosion und zum Erhalt der organischen Bodensubstanz und Bodenstruktur“ beitragen sollen (Europäische Kommission, 2015). Auch in der **europäischen Öko-Verordnung** (EG-Öko-VO) ist die Erhaltung der organischen Bodensubstanz als **Vorschrift** für die pflanzliche Erzeugung

verankert (Europäische Kommission, 2008). In Deutschland ist zur Humusbilanzierung vor allem die Methode des **Verbands Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten** (VDLUFA) üblich (Körschens et al, 2004). Diese wird im Programm Öko-BEFU als **Kurzfassung** bezeichnet und in den zwei Ausführungen bereitgestellt, aus denen sie entstanden ist. Zusätzlich wird eine **erweiterte Fassung** angeboten. Nach einer kurzen Einführung in Begriffe der Humusbilanzierung sollen beide erläutert werden.

Im Programm ÖKO-BEFU müssen vor der eigentlichen Dateneingabe die momentane sowie die zu erstrebende Humusversorgungsstufe nach VDLUFA im Formular angegeben werden. Diese werden auch zur **Bewertung** der Humusversorgung zugrunde gelegt. Tabelle 7 fasst die **Versorgungsstufen** speziell für den ökologischen Landbau zusammen und gibt Verbesserungsempfehlungen. Hierbei wird die Versorgung mit Humusäquivalent (Häq) in kg Humus-C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> schrittweise von A bis E zusammengefasst. A stellt mit einem Verlust von über 200 kg Humus-C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> die niedrigste Versorgungsstufe dar und zieht bei dauerhafter Beibehaltung eine Unterversorgung mit Humus mit sich. E bringt mit einer Zufuhr von über 500 kg Humus-C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> alle Risiken einer Überversorgung mit sich. Ein ausgeglichener Humussaldo wird im ökologischen Landbau bei 0 bis 300 kg Humus-C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> erreicht.

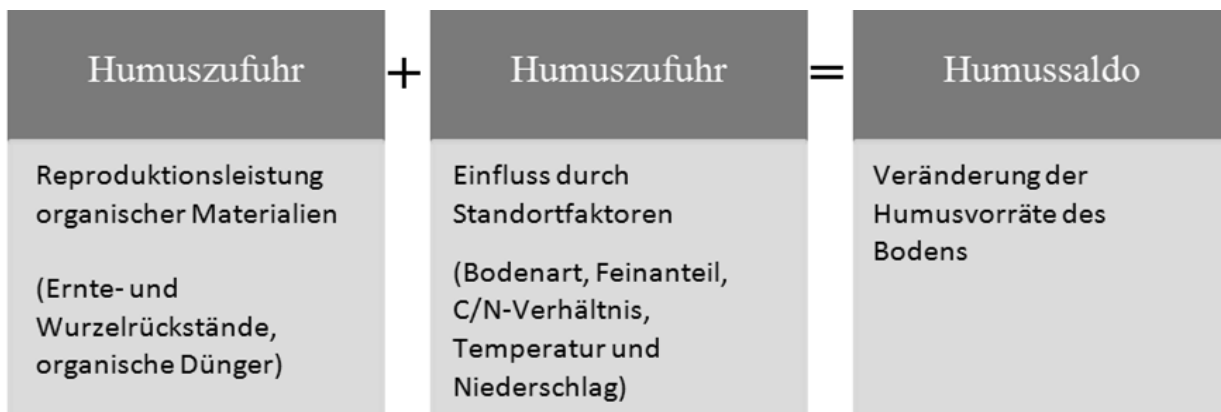
**Tabelle 7:** Bewertung der Humussalden für Öko-Betriebe

<b>Häq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup></b>	<b>Klasse</b>	<b>Bewertung</b>	<b>Empfehlung</b>
<b>&lt; - 200</b>	A Sehr niedrig	Ungünstige Beeinflussung von Bodenfunktionen und Ertragsleistung	Änderung der Fruchtartenwahl und/oder Erhöhung der Zufuhr organischer Dünger
<b>- 200 bis - 1</b>	B Niedrig	Mittelfristig nicht tolerierbar	Ausgeglichene Bilanz anstreben
<b>0 bis 300</b>	C Ausgeglichen	Humusabbau wird durch die Humuszufuhr in der Fruchtfolge ausgeglichen	keine
<b>301 bis 500</b>	D Hoch	Mittelfristig tolerierbar	Ausgeglichene Bilanz anstreben
<b>&gt; 500</b>	E Sehr hoch	Erhöhung des Mineralisationspotenzials des Bodens (evtl. erhöhte Verluste und verminderte Düngeeffizienz)	Auf Einhaltung des zulässigen N-Überschusses achten



Quelle: VDLUFA, 2014, modifiziert

Den Humussaldo nach der **VDLUFA-Methode** berechnet sich, indem der Humuszufuhr aus organischen Stoffen (Ernterückstände, Wirtschaftsdünger, Kompost etc.) der Humusbedarf der Anbauverfahren gegenübergestellt wird. Sie entstand aus den zwei bis dahin bereits bekannten Methoden, der ROS-Methode (**R**eproduktionswirksame **O**rganische **S**ubstanz) (Körschens und Schulz, 1999) und der HE-Methode (**H**umus **E**inheiten-Methode) (Leithold et al., 1997). Für gute Standorte mit geringem Humusabbau, guter Nährstoffversorgung und zu Dokumentationszwecken können die unteren Werte gewählt werden (ROS-Methode). Bei unterversorgten Böden, schlechter Nährstoffversorgung, hohem Humusabbau und besonderen Anbauverfahren stehen die oberen Werte zur Verfügung (HE-Methode). Hierbei werden Standortfaktoren wie Klima und Boden vernachlässigt. Die Bedeutung derer schätzen Köhler und Kolbe jedoch als so hoch ein, dass sie in die Humusbilanzierung mit eingerechnet werden sollten (2007). Deshalb wird im Programm Öko-BEFU neben der Kurzfassung, die in zwei Ausführungen der VDLUFA-Methode zur Auswahl steht, eine weitere Methode zur Humusbilanzierung angeboten. Die **Langfassung** oder **standortangepasste Methode** beinhaltet zusätzlich die Humusreproduktionsleistung die von betriebsspezifischen **Standortfaktoren** beeinflusst wird. Als **Humusreproduktionsleistung** wird der Anteil der organischen Kohlenstoffs eines organischen Stoffs bezeichnet, der längerfristig d.h. 20-40 Jahre im Boden bleibt. Bei der VDLUFA-Methode wird diese vereinfacht in Abhängigkeit vom TM-Gehalt des Düngemittels gebildet und in der Einheit **Humusäquivalent** als kg C oder kg Humus-C ausgedrückt (Möller und Schultheiß, 2014). Abbildung 5 zeigt die Bildung des Humussaldo mit Berücksichtigung von Standortfaktoren.



Quelle: Köhler und Kolbe (2010), modifiziert

**Abbildung 5:** Humussaldo der erweiterten Fassung

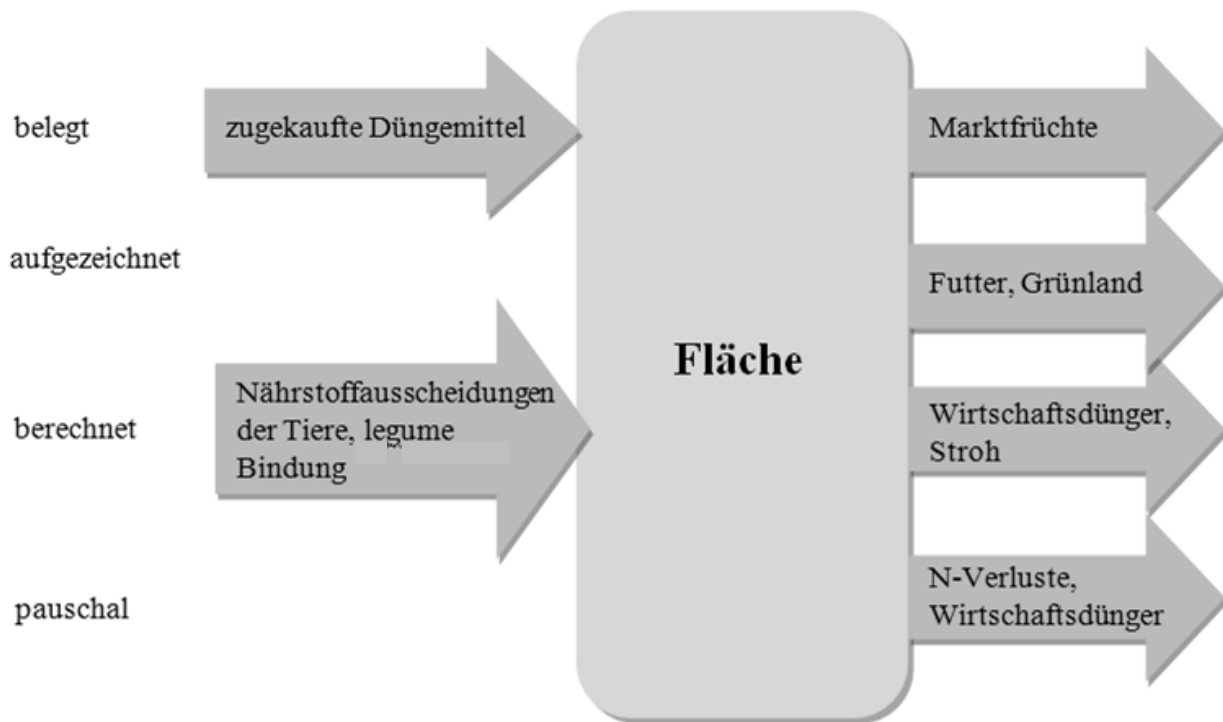
Die Bodenart ist zusammen mit dem Feinanteil von großer Bedeutung für die Humusspeicherung. So speichern tonige oder lehmig Böden im Allgemeinen mehr C als grobkörnigere Böden. Das

C/N-Verhältnis gibt Aufschluss über die Mikrobenaktivität und gibt Aufschluss über die Humifizierfähigkeit des jeweiligen Materials (Scheffer und Schachtschabel, 2010). Auch das Klima beeinflusst den Humussaldo und wird vom Öko-BEFU berücksichtigt. Diese Standortfaktoren werden in sechs Standortgruppen zusammengefasst, innerhalb derer sich ähnlich wirkende Faktoren befinden (Anhang 9). Für die Berechnung des bio-vegane Modellbetriebs am Standort Kleinhohenheim wurde aufgrund der besagten Vorteile ebenfalls auf die erweiterte Fassung zurückgegriffen. Nach Berücksichtigung der Standortfaktoren ergibt sich eine Zuordnung zur Gruppe 5. Im Modellbetrieb wird eine vollständige Homogenität der Fläche vorausgesetzt, sodass alle Acker- sowie Gemüsebauflächen dieser Gruppe angehören. Produktionsverfahren die nicht in der Auswahlliste des Programms enthalten waren, wurden manuell berechnet. So wurde beispielsweise für die Berechnung der Humuslieferungen aus Kleeegrassilage die Entzüge des Verfahrens Klee gras mit Schnittnutzung mit Ernteverlusten von 5% verrechnet und auf die Trockenmasseveränderung der Silage angepasst (Anhang 8).

### 3.5.5 Nährstoffbilanzierung

Nährstoffbilanzen sind die Grundlage für die gesetzlich zu erstellenden Nährstoffvergleiche. Als Hoftorbilanz ist die Betriebsgrundlage der gesamte Betrieb, Flächenbilanzen vergleichen Nährstoffflüsse von Feld und Stall und Schlagbilanzen betrachten nur einen isolierten Schlag. Aufgrund der Zielsetzung einen wirtschaftlich funktionierenden Modellbetrieb bei ausgeglichenen Humus- und Nährstoffbilanzen zu erstellen, beantwortet sich die Frage nach der **Bezugsgröße** folgendermaßen. Die Aufstellung einer **Hoftorbilanz** beruht auf Verrechnung der Nährstoffzufuhr von außen über Zukauf von Futter- und Düngemitteln und Stickstofffixierung aus der Luft, mit der Nährstoffabfuhr durch Verkauf der erzeugten Produkte sowie Abgabe betriebseigener Düngemittel. Daten die aus den Unterlagen des Betriebs stammen sind zuverlässig, jedoch muss auch die Stickstofffixierung durch Leguminosenanbau möglichst realitätsnah berücksichtigt werden (Stein-Bachinger et al., 2004). Sie ist sowohl für Bewertung der ökonomischen wie auch der ökologischen Nachhaltigkeit des Betriebs von großer Bedeutung. Ziel dieser Arbeit ist jedoch nicht die Berechnung der gesamtbetrieblichen Nährstoffbilanz mit bereits feststehender Fruchtfolge sondern die Modellierung der selbigen.

Köhler und Kolbe (2007) schlagen als nächstkleinere Bezugsgröße die **Flächenbilanz** bzw. Feld-Stall-Bilanz vor. Die Nährstoffbilanz der Gesamtflächen soll über die ganze Fruchtfolge hinweg ausgeglichen sein. Sie ist also festgesetzt und muss somit nicht über eine Nährstoffbilanzierung berechnet werden. Sie fungiert als Nebenbedingung und beeinflusst damit maßgeblich die Bildung des optimalen Produktionsprogramms.

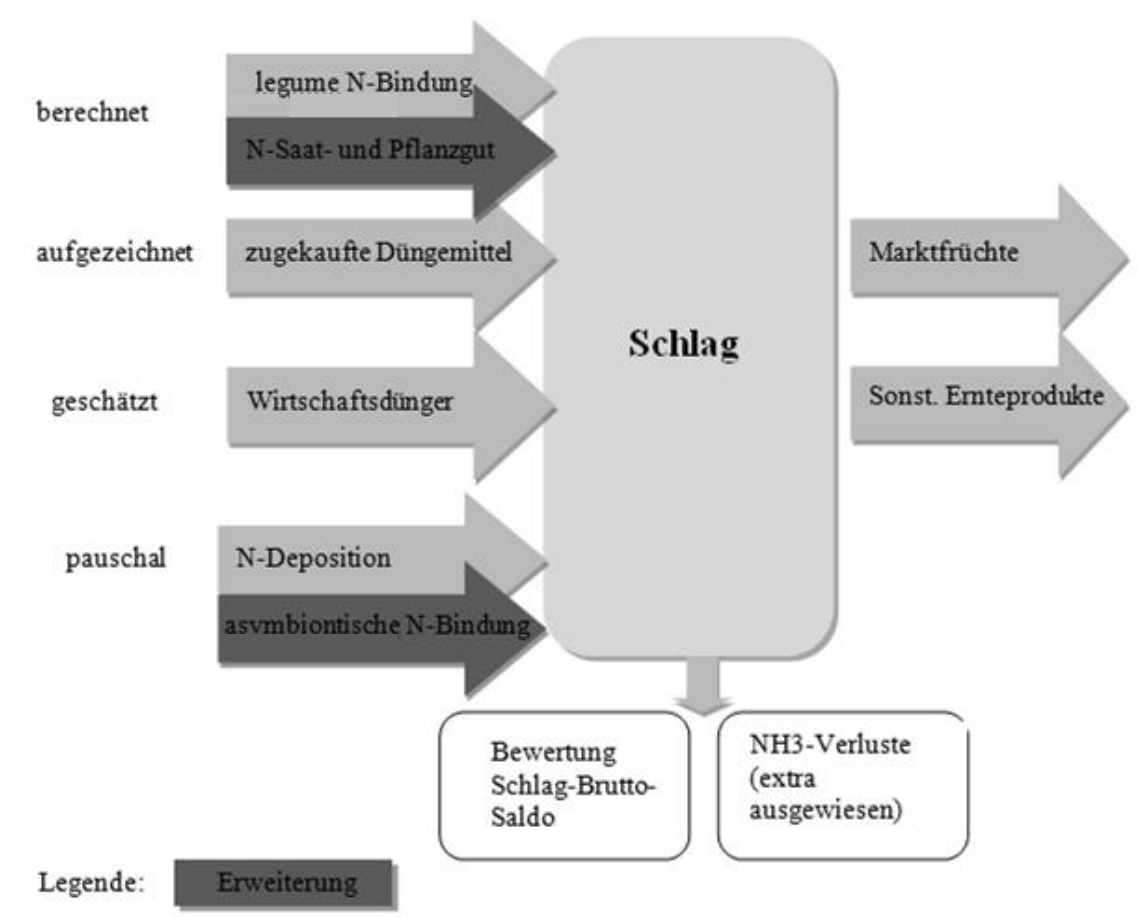


Quelle: Köhler und Kolbe (2010) modifiziert

**Abbildung 6** Schematische Darstellung der Flächenbilanz

Im LP-Modell werden einzelne Produktionsverfahren isoliert betrachtet und repräsentieren somit jeweils einen ha dieses Schläges. Auf dieser Größenebene sollen die Nährstoffflüsse berechnet werden. Als Schläge werden Flächen bezeichnet die einheitlich bewirtschaftet werden, räumlich zusammenhängen und mit der gleichen Kultur bewachsen oder zur Bestellung vorgesehen sind. (Baumgärtel et al., 2007). Dabei handelt es sich um die kleinste Bezugsgröße und Stein-Bachinger et al. (2004) schätzen ihre Aussagegüte gering ein wohingegen Köhler und Kolbe (2007) vom höchsten Informationsgehalt der verschiedenen Bilanzierungsmöglichkeiten ausgehen. In der Praxis fehlen oft schlagbezogene Daten nicht zuletzt weil Dokumentationsvorschriften der europäischen Öko-Verordnung sowie der Verbände hier nicht greifen. Eine unsichere Schätzung derselben verringert die Aussagegüte der Bilanz (Köhler und Kolbe, 2007). Für das LP-Modell sollen jedoch ohnehin Durchschnittsdaten als Grundlage dienen. Im Programm Öko-BEFU stehen eine Kurzfassung sowie eine erweiterte Fassung zur Verfügung. Sie unterscheiden sich vor allem in der Stickstoffbilanzierung. Die **Kurzfassung** ist ein einfacher Nährstoffvergleich ohne Berücksichtigung von weiteren N-Quellen und -Verlusten und dient der leichteren Handhabung. Es werden weniger Daten benötigt und die legume Stickstoffbindung wird mittels einfacher Formel berechnet. Die **erweiterte Fassung** dient der genaueren Bilanzierung und folgt dem

Bruttosaldierungsprinzip (Köhler und Kolbe, 2007). Abbildung 7 zeigt schematisch wie die Schlagbilanz zustande kommt.



Quelle: Köhler und Kolbe (2010), modifiziert

**Abbildung 7:** Schematische Darstellung der Berechnung der erweiterten Schlagbilanz

Bei dieser Methode werden zusätzlich zum einfachen Nährstoffvergleich, die N-Gehalte des Saat- und Pflanzguts sowie der N-Anreicherung durch Deposition und asymbiotische N-Bindung berücksichtigt und sind in der Abbildung rot hervorgehoben. Scheffer und Schachtschabel (2010) schätzen den Wert der **Deposition** in Deutschland auf durchschnittlich  $28 \text{ kg ha}^{-1}$ , weisen aber auch auf eine Variationsbreite von  $5\text{-}132 \text{ kg ha}^{-1}\text{a}^{-1}$  hin, welche vor allem auf regional unterschiedliche  $\text{NH}_4^+$ -Deposition aus der Tierhaltung zurückzuführen ist. Im Programm BEFU ist ein Wert von  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  für die Region Sachsen voreingestellt. Aufgrund fehlender Angaben für den Standort Kleinhohenheim und der vergleichbaren Dichte an Nutztieren in der Region soll dieser Wert beibehalten werden. Es wird außerdem von einer **asymbiotischen N-Bindung** in Höhe von jährlich  $10 \text{ kg ha}^{-1}$ . Ausbringungsverluste tierischer Herkunft werden nicht wie in der Kurzfassung direkt abgezogen, sondern extra ausgewiesen um die Bedeutung von Maßnahmen zu deren Reduzierung hervorzuheben. Des Weiteren können im ÖKO-BEFU weitere Informationen zu Kulturart und

Erntezeitpunkt eingegeben werden, sodass die N-Bilanzierung noch exakter erfolgen kann (Köhler und Kolbe, 2007). Da in dieser Arbeit auf Durchschnittsdaten zurückgegriffen wird, kann hiervon jedoch kein Gebrauch gemacht werden. Die Nährstoffentzüge der jeweiligen Anbauverfahren berechnen sich über die Verrechnung der Erträge mit den Nährstoffgehalten im Erntegut. Stein-Bachinger et al. (2004) halten die Verwendung von Daten aus dem **konventionellen Bereich** für problematisch, da beides im ökologischen Landbau für gewöhnlich ein niedrigeres Niveau aufweist). Durch die verstärkte Forschung in diesem Bereich wurde die Datenlage verbessert und es kann auf Analysen von Nährstoffgehalten speziell für die ökologische Landwirtschaft zurückgegriffen werden. Auch diese Auswertungen deuten vor allem auf einen **niedrigeren N-Gehalt** im ökologisch erzeugten Erntegut hin, wenngleich dieser Unterschied zwischen den Kulturen erheblich schwankt (Köhler und Kolbe, 2007). Auf Basis der erwähnten neueren Forschungsprojekten sowie älterer Versuche im ökologischen Landbau wurden **repräsentative Mittelwerte** gebildet und damit umfangreiche Nährstoffgehaltslisten für das Programm Öko-BEFU erstellt. Bei fehlenden Analysewerten wurde auf den konventionellen Bereich zurückgegriffen (Köhler und Kolbe, 2007).

Auch die genaue Bilanzierung von Kulturen wie Klee gras, deren Ertrag häufig nicht gemessen wird stellt eine Herausforderung dar (Stein-Bachinger et al., 2004). Aufgrund des großen Einflusses der legumen Stickstoffbindung auf die Bilanz ist die möglichst realitätsnahe Wiedergabe der Anbaufaktoren jedoch von großer Bedeutung für deren Genauigkeit. Eine weitere Unsicherheitsquelle bei Leguminosenanbau im Gemenge mit Nichtleguminosen kann der tatsächliche Anteil an Leguminosen sein. Dieser kann je nach Standort, Witterung, Anbauverfahren und Zeitpunkt variieren (Loges und Heuwinkel, 2004). Tabelle 8 fasst weitere Schwierigkeiten die bei der N-Bilanzierung im Allgemeinen auftreten können, zusammen.

**Tabelle 8:** Beschreibung der Unsicherheitsfaktoren bei der N-Bilanzierung

<b>Unsicherheitsfaktor</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Ursache und Wirkung</b>
<b>Legume N-Bindung</b>	Durch Rhizobien wird symbiotisch N gebunden und von den Leguminosen aufgenommen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwierig messbar</li> <li>• Abhängig u.a. von Ertrag, Leguminosenanteil, Bewirtschaftungsweise, Witterung etc.</li> </ul>
<b>N-Abfuhr durch Ernteprodukte</b>	N wird bei von der Kulturpflanze aufgenommen und bei der Ernte abgefahren.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N- Gehalte variieren zum Teil stark innerhalb einer Kulturpflanze</li> <li>• Abhängig u.a. von Bewirtschaftungsweise,</li> </ul>

		Witterung etc.
<b>N-Zufuhr durch Wirtschaftsdünger</b>	N wird über die Gabe von Stallmist, Gülle etc. dem Schlag zugeführt.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N-Gehalte variieren</li> <li>• Abhängig u.a. von Fütterung, Sammlung, Lagerung und Aufbereitung</li> </ul>
<b>Ausbringungsverluste bei Umbruch oder Düngung</b>	N entweicht gasförmig in die Luft oder hydrosphärisch mit dem Sickersaft.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwierig messbar</li> <li>• Abhängig u.a. von <math>\text{NH}_4^+</math>-Gehalt, Ausbringungstechnik, Bodenart und Witterung</li> </ul>
<b>Deposition</b>	N-Einträge gelangen aus der Luft passiv in den Boden.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwierig messbar</li> <li>• Sehr große Variationsbreite</li> <li>• Abhängig u.a. von Nutztierdichte in der Region und deren <math>\text{NH}_4^+</math>-Einträgen</li> </ul>
<b>N-Mineralisation</b>	N wird aus dem labilen N-Bodenvorrat durch Mineralisation geliefert.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwierig messbar</li> <li>• Abhängig u.a. von Humusgehalt, Bodenfeuchte, -temperatur</li> <li>• Stark mit Unsicherheit belastet</li> </ul>

Quelle: Oehmichen et al (2006), modifiziert

Schmidt (2003) geht bei N-Salden von **-10 bis +10 kg N ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>** von einer ausgeglichenen Bilanz aus, wobei hier eine N-Zufuhr durch Deposition nicht berücksichtigt wurde. Diese Grenzen werden auch im LP-Modell als Einschränkungen für den N-Haushalt programmiert. Insbesondere die Daten der N-Bilanzierung sind mit Unsicherheit behaftet und eine exakte Berechnung des N-Haushalts ist meist nicht möglich. Viele Einflussfaktoren der N-Bilanzierung können im praktischen Betrieb nur geschätzt werden und damit unterliegen auch die jeweiligen Parameter zum Teil erheblichen Unsicherheiten. Die Festlegung eines ausgeglichenen N-Gehalts innerhalb von Grenzen soll dieser Herausforderung Rechnung tragen.

## 4 Ergebnisse

### 4.2 Szenario A: Vollständiger bio-veganer Modellbetrieb

Dieses Szenario stellt den ursprünglichen bio-veganen Modellbetrieb mit allen Nebenbedingungen in ihrer strengsten Form dar. In den weiteren Szenarien sollen Nebenbedingungen versuchsweise verringert oder ganz aus dem Modell herausgenommen, sodass jeweils eine neue Lösung entsteht. Dafür wird dieses Szenario A jeweils als Grundlage genommen. Die Nährstoff- und Humusbilanzen

fungieren hier als Gleichungen, die einen exakt ausgeglichenen Haushalt also einen Saldo von null verlangen. Bei der Berechnung des Optimums wurde eine Lösung gefunden. Diese liegt jedoch darin nichts anzubauen und folglich einen Deckungsbeitrag von null erzielt. Die Suche nach einem Optimum innerhalb der gegebenen Grenzen kann somit als nicht geglückt angesehen werden.

**Tabelle 9:** Sensitivitätsberichts, oberer Teil, Szenario A

Veränderbare Zellen

Zelle	Name	Lösung Endwert	Reduzierter Kosten	Ziel- Koeffizient	Zulässige Zunahme	Zulässige Abnahme
\$F\$2	1 ha Fruchtfolgeakt. AF	0,0	0,0	0	9287,75	1E+30
\$G\$2	1 ha Klee gras	0,0	-196486,6	-561,95	196486,65	1E+30
\$H\$2	1 ha Winterweizen	0,0	0,0	1165,63	10269,90	302,02
\$I\$2	1 ha Silomais	0,0	0,0	-837,48	1083,74	190717,7
\$J\$2	1 ha Kartoffeln	0,0	0,0	8787,67	8919,83	766,37
\$K\$2	1 ha Sommerhafer	0,0	-302,0	460,95	302,02	1E+30
\$L\$2	1 ha Ackerbohne	0,0	0,0	-488,92	146874,03	1E+30
\$M\$2	1 ha Soja	0,0	-110033,5	1259,56	110033,55	1E+30
\$N\$2	1 ha Dinkel	0,0	0,0	801,51	37151,00	10269,90
\$O\$2	1 ha Roggen	0,0	-13627,52	909,24	13627,52	1E+30
\$P\$2	1 ha ZF Klee gras Sommer	0,0	0,00	-150,03	0,00	1E+30
\$Q\$2	1 ha ZF Klee gras Winter	0,0	0,00	-150,03	23219,37	0
\$R\$2	1 ha Fruchtfolgeakt. GF	0,0	0,0	0	372,44	2428,36
\$S\$2	1 ha Klee gras	0,0	-79644,4	-561,95	79644,39	1E+30
\$T\$2	1 ha Weißkohl	0,0	0,0	19725,58	2604,50	10452,03
\$U\$2	1 ha Sommerweizen	0,0	-9407,5	1197,53	9407,47	1E+30
\$V\$2	1 ha Möhren	0,0	0,0	4910,78	1938,42	679,92
\$W\$2	1 ha Emmer	0,0	0,0	801,51	486,98	1994,76
\$X\$2	1 ha ZF Klee gras Sommer	0,0	0,0	-150,03	0,00	1E+30
\$Y\$2	1 ha ZF Klee gras Winter	0,0	0,0	-150,03	931,11	0
\$Z\$2	1 ZA mit Zuschlag 50 Euro/ha	0,0	0,0	210,91	593,22	20,00
\$AA\$2	1 ZA mit Zuschlag 30 Euro/ha	0,0	-20,0	190,91	20,00	1E+30
\$AB\$2	1 ZA ohne Zuschlag	0,0	-50,0	160,91	50,00	1E+30
\$AC\$2	1 ha Öko-Prämie (FAKT)	0,0	0,0	230	593,22	230
\$AD\$2	1 ha Öko-Kontrollnachweis FAKT	0,0	0,0	60	593,22	60,00
\$AE\$2	1 t Klee grassilage herstellen AF	0,0	0,0	0	0,00	1E+30
\$AF\$2	1 t Klee grassilage düngen AF	0,0	-6005,0	-1,43	6005,00	1E+30
\$AG\$2	1 t Vollgärrest herst. & düngen AF	0,0	0,0	-1,43	1770,93	418,62
\$AH\$2	1 t FM Ackerbohnen AF	0,0	-61816,3	-18,3	61816,33	1E+30
\$AI\$2	1 t Grüngutkompost AF	0,0	0,0	-12	151,07	140,05
\$AJ\$2	1 t Vinsasse AF	0,0	0,0	-383,35	727,32	628,58
\$AK\$2	1 t Maltaflor AF	0,0	-24684,8	-589,96	24684,80	1E+30
\$AL\$2	1 t Biosol AF	0,0	-53410,7	-610	53410,65	1E+30
\$AM\$2	1 t Klee grassilage herstellen GF	0,0	0,0	0	105,08	0
\$AN\$2	1 t Klee grassilage düngen GF	0,0	-5740,7	0	5740,73	1E+30
\$AO\$2	1 t Vollgärrest herst. & düngen GF	0,0	0,0	0	90,96	1023,39
\$AP\$2	1 t FM Ackerbohnen GF	0,0	-48293,4	0	48293,39	1E+30
\$AQ\$2	1 t Grüngutkompost GF	0,0	0,0	0	208,06	112,06
\$AR\$2	1 t Vinsasse GF	0,0	0,0	0	784,30	590,30
\$AS\$2	1 t Maltaflor GF	0,0	-8240,9	0	8240,93	1E+30
\$AT\$2	1 t Biosol GF	0,0	-24455,4	0	24455,37	1E+30

Im vollständigen bio-veganen Modellbetrieb ergibt sich aus der höheren Anzahl an Produktionsverfahren sowie Nebenbedingungen und einer Vielzahl an Verbindungen untereinander ein komplexes Gleichungssystem. Welche Produktionsverfahren und Nebenbedingungen eine zufriedenstellende Bewirtschaftung verhindern soll im Folgenden anhand des Sensitivitätsberichts untersucht werden. Dafür werden sie anhand ihrer reduzierten Kosten sowie ihrer Schattenpreise untersucht. Die Nebenbedingung mit dem höchsten Schattenpreis grenzt den Deckungsbeitrag am meisten ein. Tabelle 9 zeigt den oberen Teil des Sensitivitätsberichts des vollständigen bio-veganen Modellbetriebs. Das Verfahren Klee gras in der AF-Fruchtfolge hat die höchsten **reduzierten Kosten** von 196.486€ ha<sup>-1</sup>. Würde der Anbau von einem ha Klee gras realisiert, würde der Gesamtdeckungsbeitrag also um diesen Betrag sinken. Der verfahrenseigene Deckungsbeitrag beträgt -561,95 € ha<sup>-1</sup>. Er ist negativ da die Nutzung des Aufwuchses als eigenes Verfahren programmiert ist und damit nur die variablen Kosten in dieses Verfahren eingehen. Zu diesen Kosten kommen noch jene hinzu, die durch den Anspruch auf ausgeglichene Humus- und Nährstoffbilanzen entstehen. Ein ha Klee gras mit Schnittnutzung beansprucht die Phosphor- und Kaliumbilanz um 43 kg bzw. 374 kg und liefert 44 kg N sowie 600 kg Humus-C. Die Verwendung des Aufwuchses wird als eigenes Verfahren zur Auswahl gestellt, damit die enthaltenen Nährstoffe als mobiler Dünger zu Verfügung stehen. Würde dieser nicht geschnitten und abgefahren sondern gemulcht, wäre der Phosphor- und Kaliumsaldo null. Die sich dadurch ergebenden Ansprüche an die bereit gestellten Düngungsverfahren und Produktionsverfahren gehen zusätzlich in die reduzierten Kosten des Verfahrens Klee grasanbau ein. Sie können sowohl positiv wie auch negativ sein. Hat das Produktionsprogramm eher einen Überschuss an Humus so zwingt die Verwertung der 600 kg Humus-C Verfahren in die Lösung, die eventuell weniger wirtschaftlich sind. Ist die Fläche knapp gehen auch deren Opportunitätskosten mit ein. Die reduzierten Kosten setzen sich also folgendermaßen zusammen.

Variable Kosten 1 ha Klee grasanbau  
 +/- Kosten/Ertrag für 1 ha AF bzw. GF  
 + Ertrag für Aktivierung 1 ha ZA  
 + Ertrag für FAKT-Zuschüsse  
 +/- Kosten/Ertrag für 600 kg Humus-C  
 +/- Kosten/Ertrag für 44 kg N  
 +/-Kosten/Ertrag für 43 kg Phosphor  
 +/- Kosten/Ertrag für 374 kg Kalium  
 = Reduzierte Kosten für 1 ha Klee gras



Zusätzlich kann durch einen Blick auf den unteren Teil des Sensitivitätsberichts in Tabelle 10 die Nebenbedingung gefunden werden, die den höchsten innerbetrieblichen Wert besitzt also bei Veränderung den Deckungsbeitrag am meisten beeinflusst.

**Tabelle 10:** Sensitivitätsbericht, unterer Teil, Szenario A

Nebenbedingungen		Lösung	Schatten	Nebenbed.	Zulässige	Zulässige
Zelle	Name	Endwert	Schattenpreis	Rechte Seite	Zunahme	Abnahme
\$AV\$4	Ackerfläche verfügbar -	0,00	0,00	24	1E+30	24
\$AV\$5	Ackerfläche genutzt -	0,00	0,00	0	1E+30	0
\$AV\$6	Kleegras Acker min. 20% -	0,00	76699,00	0	0	0
\$AV\$7	Getreide max. 50% - -	0,00	6969,15	0	0	0
\$AV\$8	Winterweizen max. 33,3% - -	0,00	0,00	0	1E+30	0
\$AV\$9	Mais max. 20% -	0,00	28144,69	0	0	0
\$AV\$10	Kartoffeln max. 20 % - -	0,00	0,00	0	1E+30	0
\$AV\$11	Sommerhafer 16,7% - -	0,00	0,00	0	1E+30	0
\$AV\$12	Ackerbohne max. 16,7% - -	0,00	0,00	0	1E+30	0
\$AV\$13	Soja max. 20% - -	0,00	0,00	0	1E+30	0
\$AV\$14	Körnerleg. max 20% -	0,00	0,00	0	1E+30	0
\$AV\$15	Dinkel max. 25% - -	0,00	10269,90	0	0	0
\$AV\$16	Roggen max. 33,3% - -	0,00	0,00	0	1E+30	0
\$AV\$17	Gemüsefläche verfügbar - -	0,00	0,00	9	1E+30	9
\$AV\$18	Gemüsefläche genutzt - -	0,00	0,00	0	1E+30	0
\$AV\$19	Kleegras Gemüse min. 20% -	0,00	29710,46	0	0	0
\$AV\$20	Weißkohl max. 14,3% - -	0,00	40856,49	0	0	0
\$AV\$21	Getreide max. 50% - -	0,00	0,00	0	1E+30	0
\$AV\$22	Sommerweizen max. 33,3%	0,00	0,00	0	1E+30	0
\$AV\$23	Möhren max. 20% - -	0,00	498,07	0	0	0
\$AV\$24	ZF Sommer max. -	0,00	0,00	0	1E+30	0
\$AV\$25	ZF Winter max. -	0,00	0,00	0	1E+30	0
\$AV\$26	ZA verfügbar -	0,00	0,00	33	1E+30	33
\$AV\$27	ZA 1.-30. ha -	0,00	0,00	30	1E+30	30
\$AV\$28	ZA 31.-46. ha -	0,00	0,00	16	1E+30	16
\$AV\$29	Aktivierungsfläche der ZA -	0,00	210,91	0	30	0
\$AV\$30	FAKT: Ökoprämie -	0,00	230,00	0	1E+30	0
\$AV\$31	FAKT: Kontrollnachweis -	0,00	60,00	0	10	0
\$AV\$32	Öko-Kontrollnachweis max. -	0,00	0,00	10	1E+30	10
\$AV\$33	Ertrag Kleegras -	0,00	3166,95	0	0	0
\$AV\$34	Ertrag Kleegrassilage -	0,00	5003,79	0	0	0
\$AV\$35	Ertrag Maissilage -	0,00	35,01	0	0	0
\$AV\$36	Ertrag Ackerbohne -	0,00	39271,13	0	0	0
\$AV\$37	Humusbilanz min. AF -	0,00	55,00	0	0	0
\$AV\$38	Stickstoffbilanz min. AF -	0,00	1034,62	0	0	0
\$AV\$39	Phosphorbilanz min. AF -	0,00	-3399,36	0	0	0
\$AV\$40	Kaliumbilanz min. AF -	0,00	-562,12	0	0	0
\$AV\$41	Humusbilanz min. GF -	0,00	68,67	0	0	0
\$AV\$42	Stickstoffbilanz min. GF -	0,00	577,26	0	0	0
\$AV\$43	Phosphorbilanz min. GF -	0,00	-3124,11	0	0	0
\$AV\$44	Kaliumbilanz min. GF -	0,00	-265,86	0	0	0

Obwohl auf die gesamte Fläche gesehen nicht knapp besitzen auch die Fruchtfolgebegrenzung von Getreide, Dinkel, Mais, Weißkohl und Möhren einen Schattenpreis. Die ist zurückzuführen auf die Formulierung des minimalen Kleegrasanbaus von 20% innerhalb der Fruchtfolgeaktivität. Je ha Fruchtfolgeaktivität muss also zwingend 0,2 ha Klee gras angebaut werden. Schafft es das Programm nicht mit den gegebenen Produktionsverfahren einen positiven Deckungsbeitrag zu berechnen, wie in diesem Fall, wird überhaupt kein Klee gras angebaut. Somit können auch keine weiteren Verfahren realisiert werden. Laut Sensitivitätsbericht beinhaltet die Fruchtfolgebegrenzung von **Klee gras** sowohl in der Ackerbaufruchtfolge wie auch in der Gemüsebaufruchtfolge den höchsten **Schattenpreis** je weiterem ha Mindestanbau. Zu beachten ist, dass es sich bei der Fruchtfolgebegrenzung von Klee gras um eine Restriktion handelt, die die Anbaukonzentration nach unten begrenzen soll, also eine Mindestanbaufläche von 20% sicherstellt. Aufgrund der in Kapitel 2.4.2 beschriebenen Vorzüge des Klee grasanbaus und Empfehlungen von Experten zu einer Anbaukonzentration von mindestens 20% (Schmidt et al, 2010) wurden diese mittels der Nebenbedingung in das Modell gezwungen werden.

Die Humus- und Nährstoffbilanzen sind teilweise knapp, jedoch ist der Schattenpreis nicht besonders hoch. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Schattenpreis je Einheit angegeben wird. Fruchtfolgebegrenzungen werden je ha angegeben, die Humus- und Nährstoffbilanzen hingegen je kg des jeweiligen Stoffes. Wie in Kapitel 3.5.1 bereits beschrieben kann mit Nachlieferungen aus dem Boden von P und K gerechnet werden, sodass in absehbarer Zeit kein Mangel zu erwarten ist. Eine ausgeglichene Humus- und Stickstoffbilanz ist jedoch auch kurzfristig von großer Bedeutung und so soll durch ein Szenario deren Einfluss auf die Bildung des optimalen Produktionsprogramms verdeutlicht werden.

### **4.3 Szenario B: Lockerung der Bilanzansprüche**

Für die Modellierung dieses Szenarios sollen lediglich die Humus- und die Stickstoffbilanz beachtet werden. Dafür kann das Tableau von Szenario A zum Großteil unverändert übernommen werden. Bei der Angabe der Nebenbedingungen die für die Berechnung des Optimums beachtet werden sollen, werden jedoch die Bilanzen für P und K aus der Eingabemaske gelöscht, sodass diese nicht mehr erfüllt werden müssen. Da die Gleichungen trotzdem im Schlusstableau erhalten bleiben, können die Salden direkt abgelesen werden. Auch hier sollen die verbleibenden Humus- und Stickstoffsalden nicht in Grenzen angegeben werden, sondern lediglich den Anspruch haben positiv zu sein. Das optimale Produktionsprogramm hat sich, wie Tabelle 11 zeigt, gegenüber Szenario A vollkommen verändert. Die Fläche wird nun vollständig ausgenutzt und der Gesamtdeckungsbeitrag steigt auf **114.140 €**.

**Tabelle 11:** optimales Produktionsprogramm, Szenario B

<b>Verfahren</b>	<b>Umfang</b>
1 ha Fruchtfolgeakt. AF	24,0
1 ha Winterweizen	8,0
1 ha Silomais	2,2
1 ha Kartoffeln	4,8
1 ha Soja	4,8
1 ha Roggen	4,0
1 ha ZF Klee gras Winter	9,6
1 ha Fruchtfolgeakt. GF	9,0
1 ha Klee gras	1,4
1 ha Weißkohl	1,3
1 ha Sommerweizen	3,0
1 ha Möhren	1,8
1 ha Emmer	1,5
1 ha ZF Klee gras Sommer	0,8
1 t Klee grassilage herstellen AF	124,1
1 t Vollgärrest herstellen & düngen AF	116,8
1 t Grüngutkompost GF	11,6
1 t Vinasse GF	6,7

Auf den Ackerbauflächen geschieht die Rückführung von Humus und Stickstoff vor allem durch den Zwischenfruchtanbau und der Düngung von größtenteils daraus produziertem Gärrest. Bei den Gemüsebauflächen wird vor allem auf Grüngutkompost und Vinasse zurück gegriffen. Die Salden von Humus und Stickstoff befinden sich innerhalb der engen vorgegebenen Grenzen. Dabei kann aus den Angaben der Ansprüche bzw. Restkapazitäten auf deren Knappheit geschlossen werden. Die Humusbegrenzung, die einen minimalen Saldo des gesamten Produktionsprogramms von 0 kg Humus-C a<sup>-1</sup> erlaubt wird bei den AF wie auch bei den GF voll ausgeschöpft. Beim Stickstoff ist die Kapazität von 0 kg N auf den AF knapp. Auf den GF hingegen wird ein Überschuss an N produziert. Der Sensitivitätsbericht gibt zudem Aufschluss über Schattenpreise der Humus- und Stickstoffbilanzen. Hier verwundert vor allem die Tatsache, dass die Humusbegrenzung bei den GF keinen Schattenpreis besitzt obwohl der Saldo genau null beträgt, also exakt an der erlaubten Grenze liegt. Der hohe Wert der zulässigen Zunahme dieser Nebenbedingung zeugt außerdem von einer hohen Stabilität.

Da die Bilanzen von Phosphor und Kalium nicht als Nebenbedingung beachtet werden entsteht wie erwartet ein starker Unterschuss. Langfristig bedeutet ein solches Produktionsprogramm also einen Rückgang an diesen Nährstoffen, sobald die natürliche Nachlieferung des aus Lösslehm entstandenen Bodens nicht mehr ausreicht. Aufgrund des Ausschlusses aus der Optimierung treten sie im Sensitivitätsbericht nicht auf.

#### 4.4 Szenario C: Lockerung der Fruchtfolgebegrenzungen

Aufgrund der besagten fehlenden wirtschaftlichen Verwertung wird im viehlosen Anbau oft versucht die Fruchtfolge ohne Klee gras im Hauptfruchtanbau zu gestalten. Außerdem wurden die Fruchtfolgebegrenzungen aufgrund des im bio-veganen Anbau erwünschten Verzichts auf Pflanzenschutzmittel sehr vorsichtig gewählt. Bei Angabe von Anbaupausen innerhalb von Grenzen, wurde jeweils die höchste Grenze bzw. die geringste erlaubte Anbaukonzentration programmiert. Im bio-veganen Anbau gibt es jedoch eine Reihe von Empfehlungen die alternativ zur Vorbeugung gegen Krankheiten und Schädlinge und anstelle von Pflanzenschutzmitteln gewählt werden können. Auch ist die Angabe von Grenzbereichen auf unterschiedliche Standortgegebenheiten zurückzuführen, die einen Befall mit einer spezifischen Krankheit oder Schädling wahrscheinlicher und voraussagbar machen. Für den Modellbetrieb soll von keinen erhöhten Risiken eines Befalls ausgegangen werden.

Ein Szenario des Modells ohne Mindestklee grasanbau sowie mit möglichst niedrigen Werten der Fruchtfolgebegrenzung soll ein Bild über ein weiteres mögliches optimales Produktionsprogramm geben. Dafür wird das LP-Modell von Szenario A übernommen und die eingestellten Anbaukonzentrationen durch den jeweils niedrigsten Wert getauscht. Tabelle 12 zeigt das veränderte optimale Produktionsprogramm mit einem Deckungsbeitrag von **116.273 €**.

Das Verfahren Klee grasanbau ist mit so hohen Kosten verbunden, dass es im optimalen Produktionsprogramm des Szenarios ohne Mindestanbau nur minimal vorkommt. Im Ackerbau nimmt außerdem der Anbau von Silomais, Kartoffeln, Sommerhafer und Dinkel zu. Im Gemüsebau der von Weißkohl, Möhren und Emmer. Als Düngerverfahren werden Vollgärrest, Grüngutkompost und Maltaflorgewählt, dessen hohe Kosten mit dem Deckungsbeitrag in das Modell eingehen. Damit kann eine vier- bzw. dreigliedrige Fruchtfolge gestaltet werden wobei ein großer Anteil der Nährstoffe und organischen Materials über den Import von Grüngutkompost gedeckt wird.

Die reduzierten Kosten der Verfahren befinden sich noch immer allesamt auf einem hohen Niveau. Klee gras wird in der Ackerbaufruchtfolge mit reduzierten Kosten von 245€ ha<sup>-1</sup> nicht angebaut. Wie bereits erwähnt stellen die reduzierten Kosten bei Nichtrealisierung eines Verfahrens gleichzeitig die zulässige Zunahme des Zielkoeffizienten dar. In diesem Fall muss der negative Deckungsbeitrag des Klee grasanbaus um mindesten diesen Betrag steigen, um in die Lösung aufgenommen zu werden. Analog verhält es sich bei den anderen nicht realisierten Verfahren. Auch die Schattenpreise der Fruchtfolgebegrenzungen sind trotz der allgemeinen Lockerung noch sehr hoch. Die Begrenzung des Weißkohlanbaus besitzt den höchsten Schattenpreis. Dieser beträgt 19.595€ ha<sup>-1</sup>, jedoch nur für die nächsten 1,75 ha.

**Tabelle 12:** Sensitivitätsbericht, oberer Teil, Szenario C

Veränderbare Zellen

Zelle	Name	Lösung Endwert	Reduzierter Kosten	Ziel- Koeffizient	Zulässige Zunahme	Zulässige Abnahme
\$F\$2	1 ha Fruchtfolgeakt. AF	24,0	0,0	0,00	2,30E+16	2540,28
\$G\$2	1 ha Klee gras	0,0	-245,6	-561,95	245,58	1E+30
\$H\$2	1 ha Winterweizen	0,0	-122,1	1165,63	122,14	1E+30
\$I\$2	1 ha Silomais	0,1	0,0	-837,48	0,00	0
\$J\$2	1 ha Kartoffeln	6,0	0,0	8787,67	1,02E+18	9989,10
\$K\$2	1 ha Sommerhafer	0,4	0,0	460,95	0,00	0
\$L\$2	1 ha Ackerbohne	0,0	0,0	-488,92	6732,13	1E+30
\$M\$2	1 ha Soja	0,0	-3985,3	1259,56	3985,28	1E+30
\$N\$2	1 ha Dinkel	8,0	0,0	801,51	7,31E+17	129,14
\$O\$2	1 ha Roggen	0,00	-890,69	909,24	890,69	1E+30
\$P\$2	1 ha ZF Klee gras Sommer	2,30	0,00	-150,03	0,00	0
\$Q\$2	1 ha ZF Klee gras Winter	0,00	0,00	-150,03	0,00	1E+30
\$R\$2	1 ha Fruchtfolgeakt. GF	9,0	0,0	0,00	3,93E+16	0
\$S\$2	1 ha Klee gras	0,0	-205,4	-561,95	205,40	1E+30
\$T\$2	1 ha Weißkohl	1,8	0,0	19725,58	4,98E+09	21951,37
\$U\$2	1 ha Sommerweizen	0,0	-423,8	1197,53	423,83	1E+30
\$V\$2	1 ha Möhren	2,3	0,0	4910,78	3,44E+17	5973,86
\$W\$2	1 ha Emmer	4,5	0,0	801,51	8,73E+16	389,68
\$X\$2	1 ha ZF Klee gras Sommer	0,2	0,0	-150,03	413,66	0
\$Y\$2	1 ha ZF Klee gras Winter	0,0	0,0	-150,03	0,00	1E+30
\$Z\$2	1 ZA mit Zuschlag 50 Euro/ha	23,1	0,0	210,91	0,00	0
\$AA\$2	1 ZA mit Zuschlag 30 Euro/ha	0,0	-20,0	190,91	20,00	1E+30
\$AB\$2	1 ZA ohne Zuschlag	0,0	-50,0	160,91	50,00	1E+30
\$AC\$2	1 ha Öko-Prämie (FAKT)	23,1	0,0	230,00	0,00	0
\$AD\$2	1 ha ÖkoKontrollnachweis FAKT	10,0	0,0	60,00	1,00E+30	60
\$AE\$2	1 t Klee grassilage herstellen AF	0,0	0,0	0,00	0,00	1E+30
\$AF\$2	1 t Klee grassilage düngen AF	0,0	-413,2	-1,43	413,17	1E+30
\$AG\$2	1 t Vollgärrest herst & düngen AF	21,0	0,0	26,77	0,00	0
\$AH\$2	1 t FM Ackerbohnen AF	0,0	-1879,3	-18,30	1879,32	1E+30
\$AI\$2	1 t Grüngutkompost AF	44,6	0,0	-12,00	0,00	0
\$AJ\$2	1 t Vinsasse AF	9,2	0,0	-383,35	0,00	0
\$AK\$2	1 t Maltaflor AF	0,0	-547,1	-589,96	547,12	1E+30
\$AL\$2	1 t Biosol AF	0,0	-1163,9	-610,00	1163,87	1E+30
\$AM\$2	1 t Klee grassilage herstellen GF	22,3	0,0	0,00	51,30	0
\$AN\$2	1 t Klee grassilage düngen GF	0,0	-457,5	0,00	457,55	1E+30
\$AO\$2	1 t Vollgärrest herst & düngen GF	0,0	-47,1	0,00	47,07	1E+30
\$AP\$2	1 t FM Ackerbohnen GF	0,0	-1948,5	0,00	1948,47	1E+30
\$AQ\$2	1 t Grüngutkompost GF	31,6	0,0	0,00	0,00	161,93
\$AR\$2	1 t Vinsasse GF	7,5	0,0	0,00	766,09	0
\$AS\$2	1 t Maltaflor GF	0,9	0,0	0,00	884,81	0
\$AT\$2	1 t Biosol GF	0,0	-726,5	0,00	726,50	1E+30

Wie sich der Schattenpreis danach verhält kann durch Parametrisierung untersucht werden. Hierbei

wird die Fruchtfolgebegrenzung schrittweise verringert und damit der Weißkohlanbau erhöht. Dies kann im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht umfassend für alle Produktionsverfahren dargestellt werden. Trotz der erweiterten Grenzen und auch ohne Mindestanbau von Klee gras, werden weder in der Ackerbaufruchtfolge noch in der Gemüsebaufruchtfolge die verfügbaren Flächen voll ausgenutzt. Eine Erweiterung des Anbaus lohnt sich unter den gegebenen Umständen nicht, da die Befriedigung der jeweiligen Nährstoffansprüche der zusätzlich angebauten Kultur, deren positiven Deckungsbeitrag übersteigt. Ein Betrieb, der sich an die gegebenen engen Grenzen hält, könnte die übrigen Flächen verpachten. In der Realität würden diese jedoch wahrscheinlich trotz des negativen Deckungsbeitrags der zur Auswahl gestellten Verfahren bewirtschaftet, da bei dieser Frage viele weitere Faktoren eine Rolle spielen. Vor allem die Fixkosten des Betriebs verteilen sich auf eine größeren Anzahl realisierter Verfahren. Auch alternative Produktionsverfahren, die in diesem Modell nicht eingehen, spielen eine erhebliche Rolle aber auch persönliche Neigung des Betriebsleiters sowie Handelsbeziehungen, die aufrecht erhalten werden wollen, gehen in die Entscheidung ein. Des Weiteren bedeutet ein nicht bewirtschafteter Acker auch Kosten in Form von gebundenem Kapital.

#### **4.5 Szenario D: Vernachlässigung der Humus- und Nährstoffbilanzen**

Lässt man versuchsweise die Nebenbedingungen aller Humus- und Nährstoffbilanzen unbeachtet, d.h. man nimmt diese Nebenbedingungen vollständig aus der Programmierung heraus, so verändert sich das optimale Produktionsprogramm wie in Tabelle 13 ersichtlich, erwartungsgemäß ebenfalls radikal und erreicht einen Gesamtdeckungsbeitrag von **116.031 €**. Ohne Begrenzung der Bilanzen ergibt sich bei der Ackerbaufruchtfolge ein Unterschuss von 1441 kg Humus-C sowie 831 kg Stickstoff. Die Salden von Phosphor und Kalium tendieren in die gleiche Richtung. Bei der Gemüsebaufruchtfolge hingegen fällt ein Überschuss von 1040 kg Humus-C bzw. 382 kg Stickstoff an. Über beide Fruchtfolgen gesehen würde eine solche Produktion also zu einem Rückgang des Humus sowie des Stickstoffs im Boden führen.

Die erlaubten Anbaukonzentrationen von Winterweizen, Kartoffeln, Soja und Roggen sowie Weißkohl, Sommerweizen, Möhren und Emmer werden vollständig ausgenutzt. Da der Anbau von Klee gras als Zwischenfrucht verhältnismäßig günstiger ist und keine zusätzliche Fläche verbraucht, wird diese zu einem großen Teil zur Erreichung des Mindestanbaus von 20% realisiert. Durch den Verkauf des Klee gras für 27 € t<sup>-1</sup> an eine Biogasanlage, ist das Verfahren bei Nichtberücksichtigung der Bilanzen wirtschaftlicher geworden (KTBL Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas, 2015). In der Acker- sowie in der Gemüsefruchtfolge übersteigen die Erträge, die das Verfahren Klee gras erbringt scheinbar dessen Kosten. Dies ist jedoch zurückzuführen auf die Formulierung des Mindestanbaus und der Verbindung von Zwischenfruchtanbau und Hauptfruchtanbau. Sie können

jeweils nur nach bestimmten Hauptfrüchten angebaut werden. Eine alleinige Deckung des Mindestanbaus von 20% durch Zwischenfrüchte nicht zu bewerkstelligen.

**Tabelle 13:** Sensitivitätsbericht, oberer Teil, Szenario D

Veränderbare Zellen

Zelle	Name	Lösung Endwert	Reduzierter Kosten	Ziel- Koeffizient	Zulässige Zunahme	Zulässige Abnahme
\$F\$2	1 ha Fruchtfolgeakt. AF	24,0	0,0	0	6,0824E+17	2989,80
\$G\$2	1 ha Klee gras	1,3	0,0	-561,95	818,96	48,41
\$H\$2	1 ha Winterweizen	8,0	0,0	1165,63	1E+30	256,39
\$I\$2	1 ha Silomais	1,1	0,0	-837,48	48,41	3378,31
\$J\$2	1 ha Kartoffeln	4,8	0,0	8787,67	1E+30	8584,70
\$K\$2	1 ha Sommerhafer	0,0	-448,3	460,95	448,29	1E+30
\$L\$2	1 ha Ackerbohne	0,0	0,0	-488,92	691,89	1E+30
\$M\$2	1 ha Soja	4,8	0,0	1259,56	1E+30	1056,59
\$N\$2	1 ha Dinkel	0,0	-107,7	801,51	107,73	1E+30
\$O\$2	1 ha Roggen	4,01	0,00	909,24	256,39	107,73
\$P\$2	1 ha ZF Klee gras Sommer	0,00	0,00	-150,03	0,00	1E+30
\$Q\$2	1 ha ZF Klee gras Winter	7,01	0,00	-150,03	1,95	0,00
\$R\$2	1 ha Fruchtfolgeakt. GF	9,0	0,0	0	1E+30	4786,28
\$S\$2	1 ha Klee gras	1,4	0,0	-561,95	598,54	623,88
\$T\$2	1 ha Weißkohl	1,3	0,0	19725,58	1E+30	19522,61
\$U\$2	1 ha Sommerweizen	3,0	0,0	1197,53	1E+30	396,02
\$V\$2	1 ha Möhren	1,8	0,0	4910,78	1E+30	4707,81
\$W\$2	1 ha Emmer	1,5	0,0	801,51	396,02	598,54
\$X\$2	1 ha ZF Klee gras Sommer	0,0	0,0	-150,03	0,00	1E+30
\$Y\$2	1 ha ZF Klee gras Winter	0,8	0,0	-150,03	2,12	0
\$Z\$2	1 ZA mit Zuschlag 50 Euro/ha	30,0	0,0	210,91	1E+30	20
\$AA\$2	1 ZA mit Zuschlag 30 Euro/ha	3,0	0,0	190,91	20,00	30
\$AB\$2	1 ZA ohne Zuschlag	0,0	-30,0	160,91	30,00	1E+30
\$AC\$2	1 ha Öko-Prämie (FAKT)	33,0	0,0	230	7,5529E+11	230
\$AD\$2	1 ha ÖkoKontrollnachweis (FAKT)	10,0	0,0	60	3,66E+07	60
\$AE\$2	1 t Klee grassilage herstellen AF	0,0	0,0	0	0,00	1E+30
\$AF\$2	1 t Klee grassilage düngen AF	0,0	-18,1	-1,43	18,12	1E+30
\$AG\$2	1 t Vollgärrest herst & düngen AF	181,1	0,0	24,07	0,29	20,57
\$AH\$2	1 t FM Ackerbohnen AF	0,0	-203,3	-18,3	203,30	1E+30
\$AI\$2	1 t Grüngutkompost AF	0,0	-12,0	-12	12,00	1E+30
\$AJ\$2	1 t Vinasse AF	0,0	-383,4	-383,35	383,35	1E+30
\$AK\$2	1 t Maltaflor AF	0,0	-590,0	-589,96	589,96	1E+30
\$AL\$2	1 t Biosol AF	0,0	-610,0	-610	610,00	1E+30
\$AM\$2	1 t Klee grassilage herstellen GF	192,4	0,0	0	0,28	0
\$AN\$2	1 t Klee grassilage düngen GF	0,0	-16,7	0	16,69	1E+30
\$AO\$2	1 t Vollgärrest herst & düngen GF	0,0	-24,1	0	24,07	1E+30
\$AP\$2	1 t FM Ackerbohnen GF	0,0	-185,0	0	185,00	1E+30
\$AQ\$2	1 t Grüngutkompost GF	0,0	0,0	0	0	1E+30
\$AR\$2	1 t Vinasse GF	0,0	0,0	0	0	1E+30
\$AS\$2	1 t Maltaflor GF	0,0	0,0	0	0	1E+30
\$AT\$2	1 t Biosol GF	0,0	0,0	0	0	1E+30

Der untere Teil des Sensitivitätsberichts in Tabelle 14 gibt Auskunft über Schattenpreise der Begrenzungen.

**Tabelle 14:** Sensitivitätsberichts, unterer Teil, Szenario D

Nebenbedingungen

Zelle	Name	Lösung	Schatten	Nebenbed.	Zulässige	Zulässige
		Endwert	Schattenpreis	Rechte Seite	Zunahme	Abnahme
\$AV\$4	Ackerfläche verfügbar -	24	2989,80	24	0	3,00
\$AV\$5	Ackerfläche genutzt -	-2,16E-11	623,88	0	0	1,50
\$AV\$6	Kleegras Acker min. 20% -	-3,55E-12	4,24	0	3,22	2,00
\$AV\$7	Getreide max. 50% - -	-1,78E-15	706,27	0	0,86	4,01
\$AV\$8	Winterweizen max. 33,3% -	-6,22E-15	256,39	0	4,01	3,98
\$AV\$9	Mais max. 20% -	-7,92	0,00	0	1E+30	7,92
\$AV\$10	Kartoffeln max. 20 % - -	-4,44E-15	8584,70	0	0,88	4,06
\$AV\$11	Sommerhafer 16,7% - -	-4,008	0,00	0	1E+30	4,01
\$AV\$12	Ackerbohne max. 16,7% - -	-4,008	0,00	0	1E+30	4,01
\$AV\$13	Soja max. 20% - -	-7,11E-15	1056,59	0	0	4,06
\$AV\$14	Körnerleg. max 20% -	-6,22E-15	0,00	0	1E+30	0,00
\$AV\$15	Dinkel max. 25% - -	-6	0,00	0	1E+30	6,00
\$AV\$16	Roggen max. 33,3% - -	-3,984	0,00	0	1E+30	3,98
\$AV\$17	Gemüsefläche verfügbar - -	9	4786,28	9	0	3,00
\$AV\$18	Gemüsefläche genutzt - -	-1,11E-15	623,88	0	0	1,41
\$AV\$19	Kleegras Gemüse min. 20%	-1,33E-11	4,24	0	0,39	2,00
\$AV\$20	Weißkohl max. 14,3% - -	2,22E-16	19522,61	0	1,41	0,39
\$AV\$21	Getreide max. 50% - -	-6,66E-16	598,54	0	1,41	0,39
\$AV\$22	Sommerweizen max. 33,3%	-8,88E-16	396,02	0	1,53	2,97
\$AV\$23	Möhren max. 20% - -	2,22E-16	4707,81	0	1,41	0,39
\$AV\$24	ZF Sommer max. -	-13,53	0,00	0	1E+30	13,53
\$AV\$25	ZF Winter max. -	-4,180395	0,00	0	1E+30	4,18
\$AV\$26	ZA verfügbar -	33	0,00	33	1E+30	0,00
\$AV\$27	ZA 1.-30. ha -	30	20,00	30	3,00	13,00
\$AV\$28	ZA 31.-46. ha -	3	0,00	16	1E+30	13,00
\$AV\$29	Aktivierungsfläche der ZA -	-2,6E-11	190,91	0	0	3,00
\$AV\$30	FAKT: Ökoprämie -	-2,6E-11	230,00	0	1E+30	33,00
\$AV\$31	FAKT: Kontrollnachweis -	-23	0,00	0	1E+30	23,00
\$AV\$32	Öko-Kontrollnachweis max.	10	60,00	10	23,00	10,00
\$AV\$33	Ertrag Kleegras -	-1,26E-10	10,57	0	237,48	352,57
\$AV\$34	Ertrag Kleegrassilage -	-4,2E-11	16,69	0	150,30	223,15
\$AV\$35	Ertrag Maissilage -	0	33,78	0	39,38	26,52
\$AV\$36	Ertrag Ackerbohne -	-2,42E-15	185,00	0	0	0,00

Der Schattenpreis der Weißkohlbegrenzung ist hier mit 19.522 € je zusätzlichem ha am höchsten. Dies entspricht etwas weniger als dessen Deckungsbeitrag. Die Ackerfläche sowie Gemüsefläche besitzen einen Schattenpreis und sind somit knapp. Da ansonsten keine weiteren Kapazitäten, die vom Weißkohlanbau beansprucht werden knapp sind, gehen bei einer Erweiterung des Weißkohlanbaus um einen ha die Opportunitätskosten der Gemüsefläche in dessen Deckungsbeitrag



mit ein. Ein Nichtbeachten der Humus- und Nährstoffflüsse ist jedoch weder mit dem bio-veganen Landbau noch mit dem Ziel dieser Arbeit vereinbar und so müssen diese Restriktionen im Modell erhalten bleiben.

## 5 Diskussion

### 5.2 Aussagekraft des Modells

Bereits die allgemeine Datenbeschaffung und Datenaufbereitung birgt Unsicherheitsfaktoren, die in Kapitel 4.8 zusammengefasst wurden. Im Fall des vorliegenden Modellbetriebs wurden größtenteils auf Durchschnittsdaten aktueller Forschung zurückgegriffen, was eine Fehlerhebung mindert. Modelle können immer nur einen Teil der Wirklichkeit, nie jedoch alle vorhandenen Wechselwirkungen darstellen. Diese Vereinfachung und die damit verbundene Aufwandsminderung muss immer gegen den praktischen Nutzen des Modells abgewogen werden. Die im LP-Modell programmierten Einflussfaktoren zeigten sich im Verlauf der Arbeit als zu komplex, sodass Teile weggelassen und vereinfacht wurden. Deren tatsächliche Berücksichtigung hätte den Aufwand im Rahmen einer Bachelorarbeit überstiegen. Eine sinnvolle Abbildung der Realität erscheint mit dem vorliegenden Modell jedoch auch mit tatsächlichen Daten kaum möglich. Die Vereinfachungen sollen im Folgenden aufgegriffen werden.

Die Kosten, die in das LP-Modell eingehen, zählen allesamt zu den variablen Kosten. Dadurch sind **Fixkosten** aus der Planung ausgeklammert. Gewöhnlich geht es bei der optimalen Programmierung darum, die wirtschaftlich lohnenswertesten Verfahren zusammenzustellen, wobei nur die variablen Kosten von Bedeutung sind. In einem Szenario werden die Flächenkapazitäten zu einem großen Teil nicht ausgenutzt. Die Bereitstellung der Flächen verursacht jedoch hohe Fixkosten durch Pachtzahlung oder eventuell verpasste Pachteinnahmen. Diese Möglichkeiten wurden nicht programmiert, könnte jedoch zu Überlegungen führen, ein Verfahren trotz negativem Deckungsbeitrag zu realisieren.

Die programmierten **Düngeverfahren** stellen nur eine kleine Auswahl der theoretisch zur Verfügung stehenden Düngemittel dar. Zum Teil ist die Datenlage noch lückenhaft, so wurden für die Handelsdüngemittel Vinasse, Maltaflor und Biosol keine Angaben zur Humusreproduktionsleistung gefunden. Es ist aber davon auszugehen, dass sie sehr wohl zur Humusreproduktion beitragen und so wird bei Realisierung dieser Verfahren, der Humussaldo eventuell unterschätzt. Die Düngemittel wurden jedoch aufgrund ihres hohen Preises ohnehin kaum berücksichtigt. Neben weiteren Handelsdüngemitteln, die sich als zu teuer oder schlecht verfügbar erwiesen, sollten auch **Gärreste** aus den produzierten Kleegrasaufwüchsen als Düngemittel zur Auswahl gestellt werden. Da eine Vergärung aus Kleegras noch eher selten und wenig

wissenschaftlich erforscht ist, gibt es jedoch Unsicherheiten bei den Daten über Nährstoffveränderungen während dem Vergärungsprozess. Meist wird der Gärrest nach Fermentation separiert und liegt dann in flüssiger und fester Form vor. Dadurch ergeben sich mehrere Vorteile. Zum einen ist die Ausbringung durch die Änderung der Stoffeigenschaften einfacher. Die separierte Flüssigphase verstopft Schläuche nicht so schnell und der Feststoff kann ähnlich wie Stallmist ausgebracht werden. Außerdem unterscheiden sich die beiden Stoffe in ihrer Humusreproduktionswirksamkeit sowie in ihrer Nährstoffzusammensetzung. Dadurch können Nährstoffbedürfnisse der Kulturen gezielter befriedigt und einseitige Nährstoffbilanzen aus der Grunddüngung ausgeglichen werden (Möller und Schultheiß, 2014). Diese Vorteile konnten aufgrund fehlender Datenlage im vorliegenden Modell nicht ausgenutzt werden. Auch die Frage nach dem Deckungsbeitrag eines solchen Verfahrens gestaltete sich aufgrund fehlender Datenlage als schwierig. Laut Miller (2011), Miteigner der Biogasanlage Schmiechen, sind Vergärungsanlagen die auf Klee gras basieren arbeiten aufgrund des hohen Proteingehalts und des fasserreichen Substrats anders als Anlagen, die vor allem Mist oder Mais vergären. Dadurch unterscheiden sich Investitionskosten sowie laufende Kosten erheblich, sodass eine Programmierung in das LP-Modell eher willkürlich erscheint. Hinzu kommt, dass im LP-Modell auf Grundlage des Wirtschaftlichkeitsrechners Biogas mit einem Abnahmepreis von  $27 \text{ € t}^{-1}$  gerechnet wird. In der Praxis aber weniger bis überhaupt nichts für die Klee grassilage gezahlt wird, sondern nur der Gärrest als Dünger als Entschädigung erhalten wird. Aufgrund dieser Unsicherheiten ist eine monetäre Bewertung sehr schwierig. Die Möglichkeit der Biogaserzeugung birgt jedoch ein hohes Potenzial und kann eine bio-vegane Bewirtschaftung am Standort Kleinhohenheim wirtschaftlich enorm unterstützen.

Auch das Verfahren Zwischenfruchtanbau als Winterung oder Sommerung muss differenzierter betrachtet werden. Daten dieses Verfahrens stammen aus dem Berechnungsprogramm Leistung-/Kostenrechner der KTBL. Hier wird bei der Sommerung vorausgesetzt, dass von Juli bis September Erträge von  $14 \text{ t ha}^{-1}$  erwirtschaftet werden. Die Saatbettbereitung für Klee gras muss jedoch sehr gründlich erfolgen, was bereits eines hohen Zeitaufwands bedarf. Zudem ist der Standort Kleinhohenheim relativ trocken, sodass auch die Wasserversorgung eine Ernte verhindert, die beispielsweise für die Biogaserzeugung genutzt werden könnte.

Die Humus- und Nährstofflieferungen der ausgewählten Düngeverfahren stammen größtenteils aus aktueller Literatur (Möller und Schultheiß, 2014) oder wurden über Ergebnisse des Bilanzierungsprogramms Öko-BEFU abgeleitet. Dabei wurde nur das gesamte Vorkommen der jeweiligen Stoffe berücksichtigt, nicht jedoch ihre Verfügbarkeit im Anwendungsjahr sowie dieser zuzüglich der Summe der Nachwirkungen in den Folgejahren. Die **N-Verfügbarkeit** und **-Effizienz**

wird maßgeblich vom C/N-Verhältnis,  $\text{NH}_4^+$ -Gehalt sowie  $\text{CaCl}_2$ -Gehaltebeeinflusst. International wird meist das **C/N-Verhältnis** als Basis verwendet (Körschens et al., 2004). Ein weites C/N-Verhältnis von 19 zu 1 im **Grüngutkompost** deutet auf eine geringe N-Wirkung im Jahr der Ausbringung, die bei Netto-N-Immobilisierung sogar negativ wirken kann. Über einen längeren Zeitraum von bis zu 40 Jahren wird die N-Effizienz auf 40% geschätzt (Möller und Schultheiß, 2014). Da der Grüngutkompost als sehr günstiger Dünger ins Programm eingeht wird zu einem großen Teil auf diesen zurückgegriffen. Würde ein Betrieb seine Nährstoffentzüge tatsächlich über dieses Düngemittel rückführen wollen, würde bereits im Anwendungsjahr ein N-Mangel an den angebauten Kulturen sichtbar werden. Auch die N-Effizienz der anderen Düngeverfahren gehen nicht in das Modell ein. Die verwendete Vinasse hat eine viel günstigere N-Effizienz von 70% (Möller und Schultheiß, 2014), was einen Vergleich mit der Nährstofflieferung des Grüngutkomposts schwierig macht.

Auch bei den Nährstoffen Phosphor und Kalium unterliegt eine Bilanzierung einigen Unsicherheitsfaktoren. Phosphor ist wenig auswaschungsgefährdet und die Phosphorzufuhr kann langfristig zu 100% angerechnet werden. Die Versorgung mit pflanzenverfügbarem Phosphor aus der Mineralisierung hingegen wird zu einem großen Teil durch das Ausgangsgestein beeinflusst, indem es vor allem als Apatit vorliegt. Kalium ist etwas mehr auswaschungsgefährdet. Daten zur Nachlieferung aus dem K- und P-Pool der Gesteine sind widersprüchlich und wurden im LP-Modell nicht berücksichtigt (Scheffer und Schachtschabel, 2010).

Die Begrenzung der Produktionsplanung durch **Humus- und Nährstoffhaushalte** ist in Grenzen angegeben, die in der Literatur als gerade noch ausgeglichen angesehen werden. Die Datenlage ist zum Teil unsicher und so könnten auch diese Grenzen erweitert werden, wobei bei den Nährstoffen voraussichtlich die Grenzen nach oben ausgenutzt würden. Dies birgt aber auch die Gefahr einer weiteren Entfernung von der Realität. Die **Fruchtfolgebegrenzungen** wurden für den Modellbetrieb wie beschrieben eher streng gewählt, sodass der Verzicht auf Pflanzenschutzmittel durch eine möglichst weite Fruchtfolge aufgefangen werden kann. Der extensivere Anbau wäre nur durch gleichzeitigen Preisanstieg zu realisieren. Die Gefahr eines Befalls ist aber von Standort zu Standort unterschiedlich und wird von Faktoren wie Bodenart, Temperatur und Niederschlag beeinflusst. Das Risiko des Auftretens der Kohlhernie bei Kopfkohl wird u.a. von der Sortenwahl, Bodenqualität und Nähe zu anderen Kreuzblütlern beeinflusst (Entrup und Schäfer, 2011). Bei einem realen Betrieb müssten diese Fruchtfolgebegrenzungen nach jeweiliger Einschätzung der Standorteigenschaften getroffen werden. Desweiteren werden im bio-veganen Anbau Alternativen zu direkten Pflanzenschutzmitteln empfohlen, deren Auswirkungen praktisch erprobt jedoch noch wenig wissenschaftlich erforscht sind. So ist die Bekämpfung von Krankheiten und Schädlingen

laut Richtlinie 11.1 der Stockfree Organic Standards vor allem eine Frage der Vorbeugung (2007). Auch wird davon ausgegangen, dass gesunde Pflanzen in optimalen Bodenbedingungen und mit einer ausgewogenen Ernährung widerstandsfähig genug sind um Krankheiten und Schädlingen abzuwehren. In einer dem natürlichen Ökosystem nahe Bewirtschaftung sollen Schädlings- und Nützlingspopulationen einander die Waage halten (Hall und Tolhurst, 2006). Neben diesen allgemeinen Empfehlungen werden im bio-vegane Anbau vor allem physische Begrenzungen als Schädlingsabwehr angebracht. All diese Methoden könnten eine engere Fruchtfolge möglich machen, konnten aber im Modell aufgrund fehlender Daten bzw. zu aufwendiger Datenbeschaffung nicht einfließen. Eine engere Fruchtfolge ohne Ertragseinbußen kann eine wirtschaftlich tragbare bio-vegane Bewirtschaftung wahrscheinlicher machen. Die Humusbilanzierung des Computerprogramms BEFU mittels standortangepasster Methode geht vor allem beim Verfahren Kleegrasanbau sowie bei Düngung von Grüngutkompost von einer hohen Humusreproduktionsleistung aus. Diese wurde im Rahmen der Gütesicherung der Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) ermittelt und im Zertifikat ausgegeben. Der Anteil an leicht löslichem N liegt bei etwas über 1% der Gesamt-N-Menge und damit unterhalb der 10% Grenze (BGK, 2014). Durch die niedrigen Kosten von 12 € je Tonne samt Transport und Ausbringung wird zu einem großen Teil auf dieses Düngemittel zurückgegriffen. Die Humusgehalte im Feldversuch des Gladbacherhofs wurden jedoch nicht über eine Humusbilanzierung sondern durch direkte Messung ermittelt. Unter Umständen resultieren aus den beiden Methoden verschiedene Ergebnisse. Laut Hülsbergen ergeben sich aus der Jahresdynamik der Humusgehalte Unsicherheiten außerdem können bis zu 10 Jahre vergehen, bis eine Änderung der Bewirtschaftung messbare Auswirkungen für den Humusgehalt ermittelt werden können (2003). Bei anderen Feldversuchen vergeht sogar eine Zeitspanne von über 30 Jahren (Leithold et al, 2007).

### **5.3 Bewertung der bio-vegane Wirtschaftsweise**

Wie auch insgesamt im ökologischen Landbau gibt es viele unterschiedliche Möglichkeiten einen bio-vegane Betrieb zu führen. Zusammen mit den unterschiedlichen Standorteigenschaften wie Boden, Klima, Infrastruktur, vorhandene Anlagen oder Nähe zur Stadt ergibt sich eine Vielzahl an Ausprägungen. Deren Wechselwirkung beeinflusst die Möglichkeit zur bio-vegane Bewirtschaftung und können nicht anhand eines einzelnen Modellbetriebs bewertet werden. Auch aufgrund der beschriebenen Schwierigkeiten die Komplexität eines bio-vegane wirtschaftenden Betriebes als LP-Modell zu erfassen, kann keine allgemeine Bewertung einer solchen Wirtschaftsweise gemacht werden. Wohl aber wird deutlich, dass ein hohes Maß an Wissen, Planungskompetenz und Experimentierfreude erforderlich ist, um für die spezifischen Probleme

Lösungen zu finden. Hier stechen vor allem wirtschaftliche Herausforderungen hervor, die sich bei Einhaltung der Humus- und Nährstoffbilanzen und einer durch Verzicht auf Pflanzenschutzmitteln weiten Fruchtfolge ergeben. Zudem stellte es sich als schwierig heraus, gleichzeitig ausgeglichene Humus- und Nährstoffbilanzen zu erhalten. Damit deckt sich das Ergebnis des LP-Modells zum Teil mit denen aktueller Forschungsprojekte zum Thema viehloser Ökolandbau. Der auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof 1998 angelegte Dauerfeldversuch soll Fragen zu Auswirkung viehloser Bewirtschaftung sowie zur Bodenbearbeitung klären. Laut Schulz wurden auch hier bei ausgeglichenen N-Salden negative P- und K-Salden bilanziert wohingegen die Humusvorräte bei der viehlosen Variante abnahmen (2012). Im LP-Modell dieser Arbeit waren jedoch die oberen Grenzen, der Humus- und Stickstoffbilanzen knapp, was bedeutet, dass das erhaltene Produktionsprogramm eher zu Überschuss dieser beiden Stoffe neigt.

Im Modell wurden **Verkaufspreise** auf Basis des KTBL Leistung-Kostenrechners und damit auf Basis aktueller Datensätze für Erzeugerpreise landwirtschaftlicher Produkte des ökologischen Landbaus gewählt. Die **Mehrpreisbereitschaft** der Konsumenten liegt bei Öko-Konsumenten bei 10-20% (Hamzaoui-Essoussi und Zahaf, 2012). Eine solche Mehrpreisbereitschaft wäre auch bei Konsumenten denkbar, die sich ökologische Lebensmittel aus veganer Produktion wünschen. Als Zielgruppe zählen Menschen mit veganem Lebensstil, die knapp 1% der Bevölkerung in Deutschland ausmachen (Kerschke-Risch, 2014) aber auch die Konsumenten, die sich aus unterschiedlichen Gründen bewusst für eine Ernährung mit wenig tierischen Lebensmitteln entscheiden. Stuttgart zählt laut PETA (2015) mit seinen drei veganen Lebensmittelläden und einer Vielzahl veganer Restaurants zu den zehn vegan freundlichsten Städten Deutschlands. Gute Absatzwege sind für einen bio-vegan wirtschaftenden Betrieb am Standort Kleinhohenheim also gegeben. Für Betriebe in eher ländlichen Gegenden wird sich eine Nachfrage nach bio-veganen Produkten wahrscheinlich weniger bemerkbar machen.

Steigt der Anteil von Menschen mit veganer Lebenseinstellung weiterhin, ist eine zunehmende Nachfrage nach bio-veganen Lebensmitteln wahrscheinlich. Damit könnte die erwähnte Mehrpreisbereitschaft abgeschöpft werden. Um den Konsumenten die Möglichkeit zu geben diese erkennen und erwerben zu können, ist die Gründung eines Anbauverbandes mit eigener Zertifizierung denkbar. Auch die Absatzwege sind momentan noch nicht entwickelt. Die Verarbeitung der Lebensmittel müsste konsequenterweise getrennt erfolgen, was sich als schwierig erweisen könnte. Informationen über bio-veganen Anbau innerhalb der Verbraucher sowie der potenziellen Produzenten noch rar und so ist auch hier noch Entwicklungspotenzial gegeben.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Die biologisch-vegane Landwirtschaft vereint Ansprüche des Veganismus mit denen einer ökologischen Bewirtschaftungsweise. Die Vermeidung von Ausbeutung und Grausamkeit gegenüber Tieren setzt unter anderem ein Verzicht auf Tierhaltung voraus. Aus dieser Motivation resultieren auch die Unterschiede zur viehlosen Wirtschaftsweise, die im Zuge des Strukturwandels an Bedeutung gewinnt. Neben den bereits vielfach untersuchten Herausforderungen des viehlosen Landbaus bringen die Ansprüche des bio-vegane Landbaus zusätzliche Schwierigkeiten wirtschaftlicher und pflanzenbaulicher Art mit sich. Deren Grundlage bilden die im Vereinigten Königreich bereits etablierten Richtlinien zum bio-vegane Landbau, die Stockfree Organic Standards. Risiken finden sich vor allem im Bereich der Pflanzenernährung, Befall durch Schädlinge und Krankheiten, Unkrautdruck, Bodenstruktur und Ökonomie. In dieser Arbeit wurde untersucht, ob ein ausgeglichener Nährstoff- und Humushaushalt bei positivem Gesamtdeckungsbeitrag erreicht werden kann und welche Probleme dabei auftreten. Um die pflanzenbauliche und wirtschaftliche Dimension zusammenzubringen, wurde auf die lineare Programmierung zurückgegriffen. Hier können neben der Optimierung des Produktionsprogramms zusätzlich Informationen über Stabilität des Modells bei Änderung der einzelnen Faktoren erhalten werden. Dafür wurde ein Modellbetrieb erstellt, der auf Standorteigenschaften der Versuchstation Kleinhohenheim der Universität Hohenheim basiert. Die Daten wurden teilweise im Gespräch mit dem Betriebsleiter erfasst. Zum größeren Teil handelt es sich um Durchschnittsdaten aus einschlägiger Literatur, wie der Datensammlung für die Betriebsplanung der KTBL. Als Produktionsverfahren wurden die des Betriebs Kleinhohenheim übernommen und vereinfacht sowie an eine bio-vegane Wirtschaftsweise angepasst. Die Nebenbedingungen des Modells spiegeln die Ansprüche an die Bewirtschaftung wider. Verschiedene Szenarien sollen den Einfluss einzelner Faktoren auf das optimale Produktionsprogramm verdeutlichen. Die Ergebnisse von Szenario A deuten darauf hin, dass eine wirtschaftlich tragbare bio-vegane Bewirtschaftung mit den bereitgestellten Produktionsverfahren und Nebenbedingungen nicht zufriedenstellend möglich ist. In den verschiedenen Szenarien wurde deutlich, dass vor allem die Einschränkung durch den Anspruch auf ausgeglichene Humus- und Nährstoffbilanzen begrenzend wirkt, da diese mit den gegebenen Düngerverfahren nicht kostengünstig genug und nicht gleichzeitig erreicht werden können. Dabei zeigt vor allem die Vergärung von Klee gras hohes Potenzial, das in diesem LP-Modell aufgrund fehlender Daten zu Nährstoffentwicklung bei der Separierung nicht voll ausgeschöpft werden konnte. Da in diesem Gebiet bereits seit einiger Zeit geforscht wird, kann mit weiteren Studien und Datensammlungen gerechnet werden anhand derer eine verlässlichere Berechnung getroffen werden kann. Einige Bereiche der zugrunde gelegten Richtlinien für den bio-

veganen Anbau zeigten zudem Verbesserungspotenzial. So könnte sich das Verbot von Klärschlamm im bio-veganen Anbau wie auch im gesamten Bio-Anbau im Hinblick auf die Phosphorversorgung in Zukunft als schwer haltbar erweisen.

## 7 Literaturverzeichnis

- Debruck, J. (2003). In: D. Kauter, A. Kämpf und Claupein, W. und Diepenbrock, W. (Hg.): Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 15. 46. Jahrestagung vom 25. bis 27. September 2003 in Gießen Kurzfassungen der Vorträge und Poster. Stuttgart, S. 63–66.
- Achilles, W. et al. (2010): Ökologischer Landbau. Daten für die Betriebsplanung ; KTBL-Datensammlung. 1. Ausg. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL-Datensammlung).
- Alvermann G. (2004): "Viehloser Ackerbau" im ökologischen Öko-Ackerbau. In: H. Schmidt (Hg.): Viehloser Öko-Ackerbau. Beiträge, Beispiele, Kommentare // Beiträge, Beispiele, Kommentare ; [Bundesprogramm ökologischer Landbau]. 1. Aufl. Berlin: Köster (Wissenschaftliche Schriftenreihe ökologischer Landbau, Bd. 2), S. 12–14.
- Bauernverband (2015): GAP-Prämienschätzer für Landwirte bis 2019. Online verfügbar unter <http://www.bauernverband.de/praemienschaetzer>.
- Baumgärtel, G.; Breitschuh, G.; Ebertseder, T.; Eckert, H.; Gutser, R.; Hege, U.; Herold, L., Wiesler, F. und Zorn, W. (2007): Nährstoffbilanzierung im landwirtschaftlichen Betrieb.
- Bio-Veganes Netzwerk: Wir über uns. Online verfügbar unter <http://biovegan.org/wir-ueber-uns/>, zuletzt geprüft am 07.08.2015.
- Bundesgütegemeinschaft Kompost (2014): RAL Prüfzeugnis. HändlesGrüngut Qualitätskompost. Online verfügbar unter <http://www.haendle-kompost.de/images/Zertifizierungen/PruefzeugnisKompost1.pdf>.
- BÖLW (2013): Umsatz mit als vegan deklarierten Artikeln im Biofachhandel in Deutschland in den Jahren 2010/11 bis 2012/13 (in Millionen Euro). Statista. Online verfügbar unter <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/372668/umfrage/umsatz-mit-als-vegan-deklarierten-artikeln-im-biofachhandel-in-deutschland/>, zuletzt geprüft am 19.08.2015.
- Debruck, J. (2003): Der viehlose Ökobetrieb. die Problematik um Fruchtfolge und N-Kreislauf. In: D. Kauter, A. Kämpf und Claupein, W. und Diepenbrock, W. (Hg.): Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 15. 46. Jahrestagung vom 25. bis 27. September 2003 in Gießen Kurzfassungen der Vorträge und Poster. Stuttgart, S. 63–66.
- Doluschitz, R.; Morath, C. und Pape, J. (2011): Agrarmanagement. Unternehmensführung in Landwirtschaft und Agribusiness. 1., neue Ausg. Stuttgart: UTB (Grundwissen Bachelor, 3587 : Agrarwissenschaften).
- Dreymann, S.; Loges, R. und Taube, F. (2003): Einfluss der Klee gras-Nutzung auf die N-Versorgung und Ertragsleistung marktfähiger Folgefrüchte. In: D. Kauter, A. Kämpf und Claupein, W. und Diepenbrock, W. (Hg.): Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 15. 46. Jahrestagung vom 25. bis 27. September 2003 in Gießen Kurzfassungen der Vorträge und Poster. Stuttgart, S. 83–86.
- Entrup, N.L. und Oehmichen, J. (Hg.) (2006): Lehrbuch des Pflanzenbaues. Band 1: Grundlagen. AgroConcept GmbH. 2 Bände. Bonn: AgroConcept (1).
- Entrup, N.L. und Schäfer, B.C. (Hg.) (2011): Kulturpflanzen. 3. Aufl. Bonn: AgroConcept (Lehrbuch des Pflanzenbaues, / Hrsg.: Norbert LütkeEntrup ... ; Bd. 2).
- Europäische Kommission (2008): *eur. Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der Kommission vom 5. September 2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von*



*ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsich.*, 05. 09 2008. Online verfügbar unter [eur-lex.europa.eu](http://eur-lex.europa.eu)., zuletzt geprüft am 11.08.2015.

- Europäische Kommission (2013): Informationen zur Zukunft der Agrarpolitik. Überblick über die Reform der GAP 2014-2020. Europäische Kommission. Online verfügbar unter [http://ec.europa.eu/agriculture/policy-perspectives/policy-briefs/05\\_de.pdf](http://ec.europa.eu/agriculture/policy-perspectives/policy-briefs/05_de.pdf).
- Europäische Kommission (2015): Landwirtschaft und Bodenschutz - Landwirtschaft und ländliche Entwicklung. Online verfügbar unter [http://ec.europa.eu/agriculture/envir/soil/index\\_de.htm](http://ec.europa.eu/agriculture/envir/soil/index_de.htm), zuletzt aktualisiert am 22.04.2015, zuletzt geprüft am 11.08.2015.
- Freyer, B. (2003): Fruchtfolgen. Stuttgart: Eugen Ulmer.
- Funk R.; Zikeli S. (2009): -Kleinhohenheim-. Universität Kleinhohenheim. Online verfügbar unter [http://orgprints.org/15756/3/Text\\_Organic\\_Eprints\\_Kleinhohenheim\\_deutsch\\_Endfassung.pdf](http://orgprints.org/15756/3/Text_Organic_Eprints_Kleinhohenheim_deutsch_Endfassung.pdf).
- Gerlach, F.; Grieb, B. und Zerger, U. (2013): Nachhaltige Biogaserzeugung. Ein Handbuch für Biolandwirte.
- Hall, J. und Tolhurst, I. (2007): Growing green. Animal-free organic techniques. White River Junction, Vt.: Chelsea Green Pub.
- Hanzaoui-Essoussi, L. und Zahaf, M. (2012): The Organic Food Market: Opportunities an Challenges: INTECH Open Access Publisher. Online verfügbar unter <http://www.intechopen.com/books/organic-food-andagriculture-new-trends-and-developments-in-the-social-sciences/the-organic-food-market-opportunities-andchallenges>.
- Helmert, M.; Heuwinkel, H.; Pommer, G.; Gutser, R. und Schmidhalter, U. (2003): N-Flüsse in gemulchtem und geschnittenem Klee gras: Warum Klee gras-Brache im Ökologischen Landbau (OL) die Erträge der Folgefrucht nicht erhöht. In: Hugenroth (Hg.): Mitteilung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft (102), S. 347–348.
- Hübner, O. (2015): [Befragte Person] Francksen, S. Befragung zu Ertragsniveau und Standorteigenschaften Versuchsstation Kleinhohenheim.
- Hülsbergen, K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Aachen: Shaker (Berichte aus der Agrarwissenschaft).
- Kerschke-Risch, P. (2014), Studie "Wer will's schon vegan?" (2014); YouGov Deutschland AG, Onlinebefragung Universität Hamburg "Geschlechtsspezifische Aspekte bei der Lebensmittelwahl",
- Kolbe, H. (2007): BEFU - Teil ökologischer Landbau. Methoden der Bilanzierung und Düngungsbemessung, Verfahrensbeschreibung und PC-Anleitung. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Online verfügbar unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13446/documents/29349>.
- Kolbe, H. (2009): Fruchtfolgegrundsätze im Ökologischen Landbau. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Online verfügbar unter <http://orgprints.org/15100/>, zuletzt aktualisiert am 01.01.2008, zuletzt geprüft am 10.08.2015.
- Kolbe, H.; Karalus, W.; Hänsel, M.; Grünbeck, A.; Gramm, M.; Arp, B.; Krelling, B. (2002): Körnerleguminosen im Ökologischen Landbau. Informationen für Beratung und Praxis. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Online verfügbar unter <http://orgprints.org/15102/3/Koernerleguminosen.pdf>,zuletzt geprüft am 10.08.2015.

- Kolbe, H.; Köhler, B. (2008): Erstellung und Beschreibung des PC-Programms BEFU, Teil Ökologischer Landbau - Verfahren der Grunddüngung, legumen N-Bindung, Nährstoff- und Humusbilanzierung.
- Köpke U. (2011): Ökologischer Landbau. In: Entrup, N.L. und Schäfer, B.C. (Hg.): Kulturpflanzen. 3. Aufl. Bonn: AgroConcept (Lehrbuch des Pflanzenbaues, / Hrsg.: Norbert LütkeEntrup ... ; Bd. 2), S. 907–966.
- Körschens, M.; Rogasik, J. und Schulz, E. (2004): Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Online verfügbar unter <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/08-humusbilanzierung.pdf>.
- KTBL (2015a): Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau. Online verfügbar unter [http://daten.ktbl.de/dslkrpflanze/?tx\\_ktblsso\\_checktoken\[token\]=](http://daten.ktbl.de/dslkrpflanze/?tx_ktblsso_checktoken[token]=), zuletzt geprüft am 10.08.2015.
- 2015b: Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas. Online verfügbar unter <http://daten.ktbl.de/biogas/startseite.do;jsessionid=68459130C9DB0B1C0BCF9C208CE40FE6>, zuletzt geprüft am 10.08.2015
- KTBL (2007): Bewertung ökologischer Betriebssysteme. Bodenfruchtbarkeit, Stoffkreisläufe, Biodiversität. Darmstadt: KTBL (KTBL-Schrift, 458).Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Freistaat Sachsen (2012): Landwirtschaft in Sachsen hat Zukunft - Diversifizierung, Ökologischer Landbau und Gemeinwohlmarkt.
- Larsson, L.; Ferm, M.; Kasimir-Klemetsson A.; Klemetsson, L. (1998) : Ammonia and nitrous oxide emissions from grass and alfalfa mulches. NutrientCycling in Agroecosystems, S. 41–46.
- Leithold, G.; Brock, C.; Hoyer, U. und Hülsbergen, K.-J. (2007): Anpassung der Humusbilanzierung an die Bedingungen des ökologischen Landbaus. In: Bewertung ökologischer Betriebssysteme, 24-50. Darmstadt.
- Leithold, G.; Hülsenberger, K.-J.; Michel, D. und Schönmeier H. (1997): Humusbilanzierung. Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. Osnabrück: Zeller. In: Initiativen zum Umweltschutz 5.
- Linderman, R. G. (1989): Organic amendments and soilborne diseases. S.180-183.
- Lippert, C. (2014): Vorlesungsunterlagen "Betriebliche Planungsmethoden". Wintersemester 2014/2015.
- Loges R. und Heuwinkel, H. (2004): Mulchen oder Schnittnutzung von Klee gras. Auswirkung der Bewirtschaftung von Klee grasbeständen auf den N-Haushalt von Fruchtfolgen. In: H. Schmidt (Hg.): Viehloser Öko-Ackerbau. Beiträge, Beispiele, Kommentare // Beiträge, Beispiele, Kommentare ; [Bundesprogramm ökologischer Landbau]. 1. Aufl. Berlin: Köster (Wissenschaftliche Schriftenreihe ökologischer Landbau, Bd. 2), S. 21–25.
- Miller, H. (2011): Biolandwirt vergärt Klee gras. AgrarHeute. Online verfügbar unter <http://joule.agrarheute.com/biolandwirt-vergaert-klee-gras>, zuletzt geprüft am 10.08.2015.
- Möller, K. und Schultheiß, U. (2014): Organische Handelsdüngemittel im ökologischen Landbau. Charakterisierung und Empfehlungen für die Praxis. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft.
- Mußhoff, O. und Hirschauer, N. (2013): Modernes Agrarmanagement. Betriebswirtschaftliche Analyse- und Planungsverfahren. 3. Aufl. München: Vahlen.

- Oehmichen, J.; Jacobs, G. und Weyer T. (2006): Pflanzenernährung und Düngung. In: Entrup, N.L. und Oehmichen, J. (Hg.): Lehrbuch des Pflanzenbaues. Band 1: Grundlagen. 2 Bände. Bonn: AgroConcept (1).
- PETA (2013): PETAs Top 10 der vegan-freundlichsten Städte Deutschlands 2013. Online verfügbar unter <http://www.peta.de/veganfreundlichstestaedte2013#.VczKHPntmko>, zuletzt geprüft am 10.08.2015.
- Scheffer, W. und Schachtschabel, P. (2010): Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Aufl. Heidelberg, Berlin: Spektrum, Akad. Verl. (Spektrum Lehrbuch).
- Scheller E. (2002): Eweißstoffwechsel im Boden und Humusaufbau. In: Lebendige Erde(3), S. 40–43.
- Schmidt, H. (Hg.) (2004): Viehloser Öko-Ackerbau. Beiträge, Beispiele, Kommentare // Beiträge, Beispiele, Kommentare ; [Bundesprogramm ökologischer Landbau]. 1. Aufl. Berlin: Köster (Wissenschaftliche Schriftenreihe ökologischer Landbau, Bd. 2).
- Schmidt, H. (Hg.) (2010): Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Praxisbeispiele & Forschungsergebnisse. 1. Aufl. Berlin: Köster (Wissenschaftliche Schriftenreihe ökologischer Landbau, 6).
- Schmidt R. (2004): Die Rolle der Tierhaltung für den Ökobetrieb. In: H. Schmidt (Hg.): Viehloser Öko-Ackerbau. Beiträge, Beispiele, Kommentare // Beiträge, Beispiele, Kommentare ; [Bundesprogramm ökologischer Landbau]. 1. Aufl. Berlin: Köster (Wissenschaftliche Schriftenreihe ökologischer Landbau, Bd. 2).
- Schulz, F. (2012): Vergleich ökologischer Betriebssysteme mit und ohne Viehhaltung bei unterschiedlicher Intensität der Grundbodenbearbeitung. Effekte auf Flächenproduktivität, Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit. 1. Aufl. Berlin: Köster (Giessener Schriften zum Ökologischen Landbau, 5).
- Soil Association (2015): About Us. Our History. Online verfügbar unter <http://www.soilassociation.org/Aboutus/Ourhistory>, zuletzt geprüft am 10.08.2015.
- Stein-Bachinger, K.; Bachinger, J. und Schmitt L. (2004): Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau. Ein Handbuch für Beratung und Praxis ; Berechnungsgrundlagen, Faustzahlen, Schätzverfahren zur Erstellung von Nährstoffbilanzen ; Handlungsempfehlungen zum effizienten Umgang mit innerbetrieblichen Nährstoffressourcen, insbesondere Stickstoff. Münster: Landwirtschaftsverl. (KTBL-Schriften, 423).
- Stockfree Organic Services: Grower-to-Grower-Certification. Stockfree Organic Services. Online verfügbar unter <http://www.stockfreeorganic.net/stockfree-grower-to-grower-certification-facebook-scheme/>, zuletzt geprüft am 06.08.2015.
- The Vegan Society (2014): Memorandum Of Association Of The Vegan Society. Birmingham. Online verfügbar unter <https://www.vegansociety.com/sites/default/files/The%20Vegan%20Society%20Memorandum%20and%20Articles%20of%20Association%202014.pdf>, zuletzt geprüft am 06.08.2015.
- VDLUFA (2014): Humusbilanzierung. Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Online verfügbar unter <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/11-Humusbilanzierung.pdf>, zuletzt geprüft am 11.08.2015.
- Vegan Organic Network (2015): About Us. An Introduction to Vegan-Organics. Vegan Organic Network. Online verfügbar unter <http://veganorganic.net/about-us/>, zuletzt geprüft am 06.08.2015.

- Vegan Organic Network (2007): Stockfree Organic Standards. Online verfügbar unter [http://veganorganic.net/wp-content/uploads/2012/06/standards\\_jan2007.pdf](http://veganorganic.net/wp-content/uploads/2012/06/standards_jan2007.pdf), zuletzt geprüft am 14.08.2015.
- VeganicAgriculture Network (2011): Certified Veganic - U.S. Online verfügbar unter <http://www.goveganic.net/article106.html?lang=en>, zuletzt geprüft am 07.08.2015.
- Weber, A.; Gutser, R.; Schmidhalter, U. und Henkelmann, G. (2000): Unvermeidbare NH<sub>3</sub>-Emissionen aus mineralischer Düngung (Harnstoff) und Pflanzenmulch unter Verwendung einer modifizierten Messtechnik. In: VDLUFA (Hg.): Kongressband 2000, S. 175–182.
- Zikeli, S. (2015): [Befragte Person] Francksen, S. Besprechung zur Überarbeitung der Bachelorarbeit.

## **8 Danksagung**

Bedanken möchte ich mich bei Frau Dr. Zikeli für die Überlassung des Themas sowie die Unterstützung und gleichzeitig den Freiraum bei der Erstellung der Bachelorarbeit. Außerdem bedanke ich mich bei Herrn Hübner für Informationen über Kleinhohenheim und Hinweise zur Bewertung der Bewirtschaftungsweise und Herrn Lippert für die Hilfe bei der Erstellung des LP-Modells. Danke auch an Frau Bonzheim und Herrn Mettke vom bio-veganen Netzwerk für Tipps und Informationsmaterial sowie an meine Eltern, die mir das Studium ermöglicht und mich immer unterstützt haben. Besonders möchte ich auch meinem Mann Eike danken, der mir den Rücken freigehalten hat und ihm und unserem Sohn Falk für das Verständnis und Vertrauen.

## Eidesstattlich Erklärung\*

Hiermit erkläre ich,

**Name, Vorname:** Francksen, geb. Del Basso, Sabrina

**Geboren am:** 11.07.1989

**Matrikelnummer:** 525378

an Eides statt, dass die vorliegende, an diese Erklärung angefügte Bachelor-Arbeit selbständig und ausschließlich unter Zuhilfenahme der im Literaturverzeichnis genannten Quellen angefertigt wurde und noch an keiner anderen Stelle vorgelegt wurde. Alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen oder aus anderen fremden Mitteilungen entnommen wurden, sind als solche einzeln kenntlich gemacht.

**Betreuende/r Dozent/in:** Dr. agr. Sabine Zikeli

**Thema der Arbeit:** Lineare Optimierung eines biologisch-vegan wirtschaftenden Modellbetriebs am Standort Kleinhohenheim

**Semester:** SS 2015

Ich erkläre weiterhin, dass der betreuenden Dozentin/dem betreuenden Dozenten ein unverschlüsseltes digitales Textdokument (in einem der Formate doc, docx, odt, pdf, rtf) der Arbeit übermittelt wurde, das in Inhalt und Wortlaut ausnahmslos der gedruckten Ausfertigung entspricht. Mir ist bekannt, dass diese digitale Version anhand einer Analyse-Software auf Plagiate überprüft werden kann.

### Ort, Datum, Unterschrift

Stuttgart,

\* Diese Erklärung ist der eigenständig erstellten Arbeit als Anhang beizufügen. Arbeiten ohne diese Erklärung werden nicht angenommen. Auf die strafrechtliche Relevanz einer falschen eidesstattlichen Erklärung wird hiermit hingewiesen



















## Anhang 5: Deckungsbeitragsrechnung der Produktionsverfahren

### Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau

Ackerbohnen, wendend, ohne Düngung, ökologisch, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, mittlerer Boden, 67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 1 km

#### Leistungen und Kosten

Leistungs-/Kostenart	Menge	Preis	Betrag
Ackerbohnen, ökologisch	3,74 t/ha	406,50 €/t	1.520,31 €/ha
ME 12,66 MJ/kg	24,94 GJ/ha		
<b>Summe Leistung</b>			<b>1.520,31 €/ha</b>
Z-Saatgut, ökologisch	110,00 kg/ha	0,92 €/kg	101,20 €/ha
Z-Saatgut, ökologisch	110,00 kg/ha	0,92 €/kg	101,20 €/ha
Kohlensaurer Kalk	1,00 t/ha	53,50 €/t	53,50 €/ha
Hagelversicherung	1.520,00 €/ha	19,15 €/1000 €	29,11 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	71,25 €/ha	0,04 €/€	2,85 €/ha
<b>Summe Direktkosten</b>			<b>287,86 €/ha</b>
<b>Direktkostenfreie Leistung</b>			<b>1.232,45 €/ha</b>
Variable Maschinenkosten			199,07 €/ha
Variable Lohnkosten	0,00 AKh/ha	8,00 €/Akh	0,00 €/ha
Dienstleistungen			0,00 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	49,77 €/ha	0,04 €/€	1,99 €/ha
<b>Summe variable Kosten</b>			<b>488,92 €/ha</b>
<b>Deckungsbeitrag</b>			<b>1.031,39 €/ha</b>
Fixe Maschinenkosten			203,25 €/ha
Fixe Lohnkosten	8,32 AKh/ha	17,50 €/Akh	145,60 €/ha
<b>Summe Direkt- und Arbeiterledigungskosten</b>			<b>837,77 €/ha</b>
<b>Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung</b>			<b>682,54 €/ha</b>
Arbeiterledigungskosten			549,91 €/ha

## Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau

Dinkel - Backdinkel, wendend, ökologisch, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel,  
mittlerer Boden,  
67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 1  
km

### Leistungen und Kosten

Leistungs-/Kostenart	Menge	Preis	Betrag
Dinkel mit Spelz, ökologisch	2,96 t/ha	436,00 €/t	1.290,56 €/ha
<b>Summe Leistung</b>			<b>1.290,56 €/ha</b>
Z-Saatgut, ökologisch	220,00 kg/ha	1,18 €/kg	259,60 €/ha
Kohlensaurer Kalk	1,00 t/ha	53,50 €/t	53,50 €/ha
Hagelversicherung	1.290,00 €/ha	8,51 €/1000 €	10,98 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	81,02 €/ha	0,04 €/€	3,24 €/ha
<b>Summe Direktkosten</b>			<b>327,32 €/ha</b>
<b>Direktkostenfreie Leistung</b>			<b>963,24 €/ha</b>
Variable Maschinenkosten			159,64 €/ha
Variable Lohnkosten	0,00 AKh/ha	8,00 €/Akh	0,00 €/ha
Dienstleistungen			0,00 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	52,25 €/ha	0,04 €/€	2,09 €/ha
<b>Summe variable Kosten</b>			<b>489,05 €/ha</b>
<b>Deckungsbeitrag</b>			<b>801,51 €/ha</b>
Fixe Maschinenkosten			184,89 €/ha
Fixe Lohnkosten	9,41 AKh/ha	17,50 €/Akh	164,68 €/ha
<b>Summe Direkt- und Arbeiterledigungskosten</b>			<b>838,62 €/ha</b>
<b>Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung</b>			<b>451,94 €/ha</b>
Arbeiterledigungskosten			511,30 €/ha



## Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau

Speisekartoffeln, wendend, ökologisch, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, mittlerer Boden,  
67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 1 km

### Leistungen und Kosten

Leistungs-/Kostenart	Menge	Preis	Betrag
Speisekartoffeln, ökologisch	25,00 t/ha	480,00 €/t	12.000,00 €/ha
ME 3,3 MJ/kg	82,50 GJ/ha		
<b>Summe Leistung</b>			<b>12.000,00 €/ha</b>
Z-Pflanzgut, lose, ökologisch	2,50 t/ha	859,00 €/t	2.147,50 €/ha
Kohlensaurer Kalk	1,00 t/ha	53,50 €/t	53,50 €/ha
Wasser	1,50 m³/ha	1,80 €/m³	2,70 €/ha
Hagelversicherung	12.000,00 €/ha	8,51 €/1000 €	102,12 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	640,21 €/ha	0,04 €/€	25,61 €/ha
<b>Summe Direktkosten</b>			<b>2.331,43 €/ha</b>
<b>Direktkostenfreie Leistung</b>			<b>9.668,57 €/ha</b>
Variable Maschinenkosten			508,02 €/ha
Variable Lohnkosten	15,60 AKh/ha	8,00 €/Akh	124,80 €/ha
Dienstleistungen			0,00 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	183,75 €/ha	0,04 €/€	7,35 €/ha
<b>Summe variable Kosten</b>			<b>2.971,60 €/ha</b>
<b>Deckungsbeitrag</b>			<b>9.028,40 €/ha</b>
Fixe Maschinenkosten			2.017,52 €/ha
Fixe Lohnkosten	26,56 AKh/ha	17,50 €/Akh	464,80 €/ha
<b>Summe Direkt- und Arbeitserledigungskosten</b>			<b>5.453,92 €/ha</b>
<b>Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung</b>			<b>6.546,08 €/ha</b>
Arbeitserledigungskosten			3.115,14 €/ha

## Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau

Mais - Silomais, wendend, ökologisch, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, mittlerer Boden,

67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 1 km

### Leistungen und Kosten

Leistungs-/Kostenart	Menge	Preis	Betrag
Maissilage, abgesetzt im Flachsilo, ökologisch	30,80 t/ha	45,00 €/t	1.386,00 €/ha
NEL 2,26 MJ/kg	69,61 GJ/ha		
ME 3,75 MJ/kg	115,50 GJ/ha		
<b>Summe Leistung</b>			<b>1.386,00 €/ha</b>
Hybrid-Saatgut, ökologisch	2,20 U/ha	120,00 €/U	264,00 €/ha
Kohlensaurer Kalk	1,00 t/ha	53,50 €/t	53,50 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	79,38 €/ha	0,04 €/€	3,18 €/ha
<b>Summe Direktkosten</b>			<b>320,68 €/ha</b>
<b>Direktkostenfreie Leistung</b>			<b>1.065,32 €/ha</b>
Variable Maschinenkosten			192,93 €/ha
Variable Lohnkosten	0,00 AKh/ha	8,00 €/Akh	0,00 €/ha
Dienstleistungen			320,00 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	137,10 €/ha	0,04 €/€	5,48 €/ha
<b>Summe variable Kosten</b>			<b>839,09 €/ha</b>
<b>Deckungsbeitrag</b>			<b>546,91 €/ha</b>
Fixe Maschinenkosten			290,55 €/ha
Fixe Lohnkosten	10,72 AKh/ha	17,50 €/Akh	187,60 €/ha
<b>Summe Direkt- und Arbeiterledigungskosten</b>			<b>1.317,24 €/ha</b>
<b>Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung</b>			<b>68,76 €/ha</b>
Arbeiterledigungskosten			996,56 €/ha

## Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau

Möhren, Frischmarktware, Waschmöhre, Beetanbau, Vermarktung in Großkiste an Packbetrieb, ökologisch, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, mittlerer Boden, 67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 1 km

### Leistungen und Kosten

Leistungs-/Kostenart	Menge	Preis	Betrag
Waschmöhren, Frischmarktware, Großhandel, ökologisch	35,00 t/ha	275,00 €/t	9.625,00 €/ha
<b>Summe Leistung</b>			<b>9.625,00 €/ha</b>
Saatgut, ökologisch (U = 100 000 Korn)	18,00 U/ha	100,00 €/U	1.800,00 €/ha
Wasser	0,60 m³/ha	1,80 €/m³	1,08 €/ha
Beregnungswasser	1.000,00 m³/ha	0,23 €/m³	230,00 €/ha
Hagelversicherung	9.630,00 €/ha	30,02 €/1000 €	289,09 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	723,05 €/ha	0,04 €/€	28,92 €/ha
<b>Summe Direktkosten</b>			<b>2.349,09 €/ha</b>
<b>Direktkostenfreie Leistung</b>			<b>7.275,91 €/ha</b>
Variable Maschinenkosten			626,46 €/ha
Variable Lohnkosten	185,77 AKh/ha	8,00 €/Akh	1.486,16 €/ha
Dienstleistungen			0,00 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	567,51 €/ha	0,04 €/€	22,70 €/ha
<b>Summe variable Kosten</b>			<b>4.484,41 €/ha</b>
<b>Deckungsbeitrag</b>			<b>5.140,59 €/ha</b>
Fixe Maschinenkosten			828,92 €/ha
Fixe Lohnkosten	60,89 AKh/ha	17,50 €/Akh	1.065,58 €/ha
<b>Summe Direkt- und Arbeitserledigungskosten</b>			<b>6.378,91 €/ha</b>
<b>Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung</b>			<b>3.246,10 €/ha</b>
Arbeitserledigungskosten			4.029,82 €/ha

## Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau

Sojabohnen - Speisequalität, wendend, ökologisch, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, mittlerer Boden,

67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 1 km

### Leistungen und Kosten

Leistungs-/Kostenart	Menge	Preis	Betrag
Sojabohnen, Speiseware, ökologisch	2,60 t/ha	736,00 €/t	1.913,60 €/ha
NEL 7,59 MJ/kg	17,46 GJ/ha		
ME 12,1 MJ/kg	27,83 GJ/ha		
<b>Summe Leistung</b>			<b>1.913,60 €/ha</b>
Z-Saatgut, ökologisch	120,00 kg/ha	2,49 €/kg	298,80 €/ha
Kohlensaurer Kalk	1,00 t/ha	53,50 €/t	53,50 €/ha
Hagelversicherung	1.910,00 €/ha	19,15 €/1000 €	36,58 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	119,97 €/ha	0,04 €/€	4,80 €/ha
<b>Summe Direktkosten</b>			<b>393,68 €/ha</b>
<b>Direktkostenfreie Leistung</b>			<b>1.519,92 €/ha</b>
Variable Maschinenkosten			221,54 €/ha
Variable Lohnkosten	4,53 AKh/ha	8,00 €/AKh	36,24 €/ha
Dienstleistungen			0,00 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	64,45 €/ha	0,04 €/€	2,58 €/ha
<b>Summe variable Kosten</b>			<b>654,04 €/ha</b>
<b>Deckungsbeitrag</b>			<b>1.259,56 €/ha</b>
Fixe Maschinenkosten			215,22 €/ha
Fixe Lohnkosten	9,83 AKh/ha	17,50 €/AKh	172,03 €/ha
<b>Summe Direkt- und Arbeitserledigungskosten</b>			<b>1.041,29 €/ha</b>
<b>Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung</b>			<b>872,32 €/ha</b>
Arbeitserledigungskosten			647,61 €/ha

## Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau

Sommerhafer - Futterhafer, wendend, Festmist, ökologisch, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, mittlerer Boden, 67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 1 km

### Leistungen und Kosten

Leistungs-/Kostenart	Menge	Preis	Betrag
Futterhafer, ökologisch	2,96 t/ha	270,00 €/t	799,20 €/ha
NEL 6,13 MJ/kg	18,14 GJ/ha		
ME 10,1 MJ/kg	29,90 GJ/ha		
<b>Summe Leistung</b>			<b>799,20 €/ha</b>
Z-Saatgut, ökologisch	140,00 kg/ha	0,75 €/kg	105,00 €/ha
Kohlensaurer Kalk	1,00 t/ha	53,50 €/t	53,50 €/ha
Hagelversicherung	800,00 €/ha	8,51 €/1000 €	6,81 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	41,33 €/ha	0,04 €/€	1,65 €/ha
<b>Summe Direktkosten</b>			<b>166,96 €/ha</b>
<b>Direktkostenfreie Leistung</b>			<b>632,24 €/ha</b>
Variable Maschinenkosten			169,10 €/ha
Variable Lohnkosten	0,00 AKh/ha	8,00 €/Akh	0,00 €/ha
Dienstleistungen			0,00 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	54,62 €/ha	0,04 €/€	2,19 €/ha
<b>Summe variable Kosten</b>			<b>338,25 €/ha</b>
<b>Deckungsbeitrag</b>			<b>460,95 €/ha</b>
Fixe Maschinenkosten			190,13 €/ha
Fixe Lohnkosten	9,74 AKh/ha	17,50 €/Akh	170,45 €/ha
<b>Summe Direkt- und Arbeiterledigungskosten</b>			<b>698,83 €/ha</b>
<b>Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung</b>			<b>100,37 €/ha</b>
Arbeiterledigungskosten			531,87 €/ha

## Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau

Sommerweizen - Futterweizen, wendend, Festmist, ökologisch, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, mittlerer Boden, 67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 1 km

### Leistungen und Kosten

Leistungs-/Kostenart	Menge	Preis	Betrag
Sommerweizen, ökologisch	3,94 t/ha	414,00 €/t	1.631,16 €/ha
NEL 7,52 MJ/kg	29,63 GJ/ha		
ME 11,83 MJ/kg	46,61 GJ/ha		
<b>Summe Leistung</b>			<b>1.631,16 €/ha</b>
Z-Saatgut, ökologisch	220,00 kg/ha	0,85 €/kg	187,00 €/ha
Kohlensaurer Kalk	1,00 t/ha	53,50 €/t	53,50 €/ha
Festmist	20,00 t/ha	0,00 €/t	0,00 €/ha
Hagelversicherung	1.630,00 €/ha	8,51 €/1000 €	13,87 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	63,59 €/ha	0,04 €/€	2,54 €/ha
<b>Summe Direktkosten</b>			<b>256,91 €/ha</b>
<b>Direktkostenfreie Leistung</b>			<b>1.374,25 €/ha</b>
Variable Maschinenkosten			174,48 €/ha
Variable Lohnkosten	0,00 AKh/ha	8,00 €/Akh	0,00 €/ha
Dienstleistungen			0,00 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	55,96 €/ha	0,04 €/€	2,24 €/ha
<b>Summe variable Kosten</b>			<b>433,63 €/ha</b>
<b>Deckungsbeitrag</b>			<b>1.197,53 €/ha</b>
Fixe Maschinenkosten			185,78 €/ha
Fixe Lohnkosten	10,04 AKh/ha	17,50 €/Akh	175,70 €/ha
<b>Summe Direkt- und Arbeiterledigungskosten</b>			<b>795,11 €/ha</b>
<b>Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung</b>			<b>836,05 €/ha</b>
Arbeiterledigungskosten			538,20 €/ha

## Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau

Winterroggen - Mahl- und Brotroggen, wendend, ökologisch, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, mittlerer Boden, 67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 1 km

### Leistungen und Kosten

Leistungs-/Kostenart	Menge	Preis	Betrag
Mahl- und Brotroggen, ökologisch	3,94 t/ha	325,00 €/t	1.280,50 €/ha
NEL 7,47 MJ/kg	29,43 GJ/ha		
ME 11,71 MJ/kg	46,14 GJ/ha		
<b>Summe Leistung</b>			<b>1.280,50 €/ha</b>
Hybrid-Saatgut, ökologisch	120,00 kg/ha	1,25 €/kg	150,00 €/ha
Kohlensaurer Kalk	1,00 t/ha	53,50 €/t	53,50 €/ha
Hagelversicherung	1.280,00 €/ha	8,51 €/1000 €	10,89 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	53,60 €/ha	0,04 €/€	2,14 €/ha
<b>Summe Direktkosten</b>			<b>216,53 €/ha</b>
<b>Direktkostenfreie Leistung</b>			<b>1.063,97 €/ha</b>
Variable Maschinenkosten			152,71 €/ha
Variable Lohnkosten	0,00 AKh/ha	8,00 €/Akh	0,00 €/ha
Dienstleistungen			0,00 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	50,52 €/ha	0,04 €/€	2,02 €/ha
<b>Summe variable Kosten</b>			<b>371,26 €/ha</b>
<b>Deckungsbeitrag</b>			<b>909,24 €/ha</b>
Fixe Maschinenkosten			176,87 €/ha
Fixe Lohnkosten	8,90 AKh/ha	17,50 €/Akh	155,75 €/ha
<b>Summe Direkt- und Arbeiterledigungskosten</b>			<b>703,88 €/ha</b>
<b>Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung</b>			<b>576,62 €/ha</b>
Arbeiterledigungskosten			485,33 €/ha

## Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau

Winterweizen - Brotweizen, wendend, ohne Düngung, ökologisch, Schlaggröße 2 ha, Ertragsniveau mittel, mittlerer Boden,  
67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 1 km

### Leistungen und Kosten

Leistungs-/Kostenart	Menge	Preis	Betrag
Backweizen, ökologisch	3,94 t/ha	391,00 €/t	1.540,54 €/ha
NEL 7,49 MJ/kg	29,51 GJ/ha		
ME 11,77 MJ/kg	46,37 GJ/ha		
<b>Summe Leistung</b>			<b>1.540,54 €/ha</b>
Z-Saatgut, ökologisch	180,00 kg/ha	0,81 €/kg	145,80 €/ha
Kohlensaurer Kalk	1,00 t/ha	53,50 €/t	53,50 €/ha
Hagelversicherung	1.540,00 €/ha	8,51 €/1000 €	13,11 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	53,10 €/ha	0,04 €/€	2,12 €/ha
<b>Summe Direktkosten</b>			<b>214,53 €/ha</b>
<b>Direktkostenfreie Leistung</b>			<b>1.326,01 €/ha</b>
Variable Maschinenkosten			158,79 €/ha
Variable Lohnkosten	0,00 AKh/ha	8,00 €/Akh	0,00 €/ha
Dienstleistungen			0,00 €/ha
Zinskosten (3 Monate)	39,70 €/ha	0,04 €/€	1,59 €/ha
<b>Summe variable Kosten</b>			<b>374,91 €/ha</b>
<b>Deckungsbeitrag</b>			<b>1.165,63 €/ha</b>
Fixe Maschinenkosten			178,59 €/ha
Fixe Lohnkosten	6,98 AKh/ha	17,50 €/Akh	122,15 €/ha
<b>Summe Direkt- und Arbeitserledigungskosten</b>			<b>675,65 €/ha</b>
<b>Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung</b>			<b>864,89 €/ha</b>
Arbeitserledigungskosten			461,12 €/ha

Quelle: KTBL Leistungs- und Kostenrechner (2015)



**Anhang 6: Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas**

Leistungen / Kosten	Einheit	Menge Einheit/ a	Preis €/Einheit	Betrag €/a	in % der Leistung
<b>Leistungen</b>					
Stromeinspeisung (EEG-Einspeisevergütung)	kWhel	207.065	0,223	46.175,00	94
Wärmeverkauf	kWhth	138.057	0,02	2.761,15	6
Gärrestverkauf	t	638	0	0	0
<b>Summe Leistungen</b>				<b>48.936,15</b>	<b>100</b>
<b>Variable Kosten</b>					
<b>Substrate</b>					
Kleegrassilage, 30% TM	t	800	0	0,00	0,00
Reparatur und Wartung				17.574,48	35,91
Betriebsstoffe				8.831,08	18,05
Laboranalysen	Anzahl			400	0,82
Zinskosten Umlaufvermögen	€	48.405,55	4,0 %, 6 Monate	968,11	1,98
<b>Summe variable Kosten</b>				<b>27.773,67</b>	<b>56,76</b>
<b>Deckungsbeitrag</b>				<b>21.162,48</b>	<b>43,25</b>
<b>Fixe Kosten</b>					
Abschreibung				40.759,34	83,29
Zinskosten				9.685,13	19,79
Versicherung (in % vom Investitionsbedarf)				2.201,17	4,5
Lohnkosten	AKh	529		9.254,00	18,91
<b>Summe fixe Kosten</b>				<b>61.899,64</b>	<b>126,49</b>
<b>Einzelkostenfreie Leistung</b>				<b>-40.737,16</b>	<b>-83,24</b>
<b>Gemeinkosten</b>					
Gemeinkosten, pauschal				261,45	0,53
<b>Kalkulatorischer Gewinnbeitrag</b>				<b>-40.998,61</b>	<b>-83,77</b>

Quelle: KTBL Wirtschaftlichkeitsrechner (2015b)

## Anhang 7: Aggregierte Verfahrensbilanz für Humus- und Nährstoffbilanzierung durch BEFU

Zu- und Abfuhr durch Anbau, Ernte, Wurzel- und Ernterückstände sowie Düngung

Verfahren	Humussaldo in kg Humus-C			Nährstoffe in kg/ha bzw. kg/t		
	Verfahren	Düngung	Saldo	N	P	K
			Org.			
Kleegras	600	0	600	108	-43	-374
Winterweizen	-280	299	19	-63	-14	-20
Silomais	-560	0	-560	-70	-15	-125
Kartoffeln	-760	42	-719	-119	-24	-130
Sommerhafer	-280	224	-56	-43	-10	-14
Ackerbohne	160	210	370	48	-16	-40
Soja	160	210	370	25	-14	-32
Dinkel	-280	262	-18	-68	-12	-26
Winterroggen	-280	354	74	-53	-14	-20
Zwischenfrucht	164	0	164	10	-8	-64
Kleegras	600	0	600	108	-43	-374
Kopfkohl	-760	0	-760	-120	-19	-156
Sommerweizen	-280	299	19	-68	-14	-20
Möhren	-560	0	-560	-46	-12	-122
Emmer	-280	224	-56	-68	-12	-26
Zwischenfrucht	164	0	164	10	-8	-64
Kleegrassilage düngen	0	0	12,5	6,88	0,9	7,79
Gärrest düngen	0	75	15,67	9,3	1,12	9,77
Ackerbohnen düngen	0	0	44,3	41	4,7	11,3
Grüngutkompost düngen	0	900	90	9,17	3,06	7,2
Vinasse düngen	0	0	0	40	2,2	61
Maltaflor düngen	0	0	0	40	4,4	4,15
Biosol düngen	0	0	0	70	4,4	8,3

## Anhang 8: Berechnung Kleegras Nährstoffentzüge/-lieferungen

	Kleegras		Kleegrassilage				Maissilage				Vollgärrest (85% Klee, 15% Mais)	
	Schnittnutzung		je t TM	je t FM	je t TM	je t FM	je t TM	je t FM	je t TM	je t FM	je t TM	je t FM
Masse	72,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
TM in t	-	1,00	0,20	1,00	0,30	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,38	1,00
Humus-C in kg	600,00	-	-	80,00	24,00	-	-	-	-	-	-	75,00
N in kg	330,00	22,92	4,58	22,92	6,88	18,29	6,4	22,92	8,62	22,92	8,62	8,62
P in kg	43,00	2,99	0,60	2,99	0,90	7,71	2,7	2,99	1,12	2,99	1,12	1,12
K in kg	374,00	25,97	5,19	25,97	7,79	31,14	10,9	25,97	9,77	25,97	9,77	9,77

Quelle: BEFU Computerprogramm (2015); Möller und Schultheiß (2014), S.115-135; KTBL Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas online (2015b).

## Anhang 9: Bewertung der Humussalden für ökologisch wirtschaftende Betriebe

Humussaldo		Bewertung	Empfehlung
Humusäquivalente (Häq) $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$	Klasse		
< - 200	A Sehr niedrig	Ungünstige Beeinflussung von Bodenfunktionen und Ertrags- leistung	Änderung der Fruchtartenwahl und/oder Erhöhung der Zufuhr organischer Dünger
- 200 bis - 1	B Niedrig	Mittelfristig nicht tolerierbar	Ausgeglichene Bilanz anstreben
0 bis 300	C Ausgeglichen	Humusabbau wird durch die Humuszufuhr in der Fruchtfolge ausgeglichen	keine
301 bis 500	D Hoch	Mittelfristig tolerierbar	Ausgeglichene Bilanz anstreben
> 500	E Sehr hoch	Erhöhung des Mineralisati- onspotenzials des Bodens (Mög- lichkeit erhöhter Verluste und verminderter Düngeeffizienz)	Auf Einhaltung des zulässigen N-Überschusses achten

Quelle: VDLUFA (2014)