



# BRAVÖ

Bodenfruchtbarkeit vieharmen Ökobetriebe

EIP-Projekt

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



[mepl.landwirtschaft-bw.de/](http://mepl.landwirtschaft-bw.de/)



Das Projekt wurde von Landwirten, Demeter Baden-Württemberg, dem Forschungsring e.V., Demeter Beratung e.V., sowie der Universität Hohenheim und der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen ins Leben gerufen. Gemeinsam sollten die Innovationen genauer unter die Lupe genommen werden.



Europäischer Landwirtschaftsfonds für die  
Entwicklung des  
Ländlichen Raums (ELER)

Hier investiert Europa in die Ländlichen Ge-  
biete mitfinanziert durch das Land Baden-  
Württemberg



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LÄNDLICHEN RAUM  
UND VERBRAUCHERSCHUTZ



## **IMPRESSUM**

### **Herausgeber**

OPG BRAVÖ, Lead-Partner Demeter  
Baden-Württemberg, Hauptstraße 82,  
70771 Leinfelden-Echterdingen

Redaktion und Ansprechpartnerin:

Meike Oltmanns  
Forschungsring e.V.

Brandschneise 5  
64295 Darmstadt

Tel. +49 6155 8421-13  
Fax +49 6155 8421-33

Mail: [oltmanns@forschungsring.de](mailto:oltmanns@forschungsring.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>EINLEITUNG</b>	<b>Seite 4 - 5</b>
Verantwortliche Autoren	
<b>METHODEN</b>	<b>Seite 6 - 17</b>
• Nährstoffbilanz	
• Hofbilanz	
• Bodenbilanz	
• Nährstoffflussdiagramme	
• Humusbilanzierung	
• Ökobilanzierung	
• Ziel & Untersuchungsrahmen	
• Sachbilanz	
• Wirkungsabschätzung	
• Auswertung und interpretation	
• Ökonomie	
• Leistungs - und Kostenrechnung	
• Herausforderung der Ökonomischen Bewertung allgemein	
<b>BETRIEB 1 : LEGUMINOSENDICHTSAAT</b>	<b>Seite 18 - 29</b>
<b>BETRIEB 2 : KLEEGRASTRANSFER</b>	<b>Seite 30 - 41</b>
<b>BETRIEB 3 : KOMPOST EIGENE HERSTELLUNG</b>	<b>Seite 42 - 53</b>
<b>BETRIEB 4 : ZUKAUFT VOM KOMPOSTWERK</b>	<b>Seite 54 - 65</b>
<b>BETRIEB 5 : INTENSIVER ZWISCHENFRUCHTANBAU MIT FERMENT</b>	<b>Seite 66 - 77</b>
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>Seite 78 - 79</b>
<b>AKTEURE IM PROJEKT</b>	<b>Seite 80 - 81</b>
<b>QUELLENVERZEICHNIS</b>	<b>Seite 82 - 83</b>

## Einleitung

Das viehlose oder vieharme Anbausystem unterscheidet sich in mehreren Aspekten von dem eines Gemischtbetriebs mit Wiederkäuern, welcher im Ökolandbau weithin als idealer Betriebstyp gesehen wird. Tierische Wirtschaftsdünger stehen im vieharmen und viehlosen Betrieb nicht oder kaum zur Verfügung und das für die Bodenfruchtbarkeit essentielle Klee gras kann nicht direkt als Futter genutzt werden. Als Folge wird der Klee grasanbau häufig reduziert und der Aufwuchs gemulcht. Die positive Wirkung durch Nährstoff- und Humuszufuhr, Beikrautunterdrückung sowie phytosanitäre Wirkung auf den Boden wird dadurch stark vermindert.

**Um die Bodenfruchtbarkeit dennoch zu erhalten entwickeln Landwirte und Landwirtinnen vielfältige alternative Lösungsansätze.**

Genau hier setzt das EIP-Projekt „BRAVÖ“ an, das Ziel des Projektes war die Untersuchung und Bewertung verschiedener Innovationen zur Erhaltung und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, die bereits auf viehlosen oder vieharmen Öko-Betrieben eingesetzt werden. Das Projekt wurde von Landwirten, Demeter Baden-Württemberg, dem Forschungsring e.V., Demeter Beratung e.V., sowie der Universität Hohenheim und der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen ins Leben gerufen. Gemeinsam sollten die Innovationen genauer unter die Lupe genommen werden.

**Das Projekt bestand aus vier Teilen:**

- 1) Bewertung bestehender Praktiken („Innovationen“) zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, die von den teilnehmenden Betrieben in der Regel selbst entwickelt wurden, um auch in viehlosen oder vieharmen Betrieben die Bodenfruchtbarkeit auf hohem Niveau zu erhalten.
- 2) Feldversuch zur Bewertung von Klee grasdüngern

- 3) On-Farm-Versuche zum besseren Verständnis der angewandten Innovationen.

- 4) Wissenstransfer zwischen den „Innovations“- und Testbetrieben, d.h. den „Neuanfängern“, die sich für eine der Innovationen interessierten und diese auf ihren Betrieben ausprobieren wollten.

Dieses praxisnahe Projekt lebte vom Austausch auf öffentlichen Feldtagen, auf denen die Landwirte zusammen mit der Beratung ihre standortangepassten Ansätze zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit vorstellten. Dabei entstand immer eine rege Diskussion zwischen Praxis, Beratung und Wissenschaft.

In dieser Broschüre werden die Ergebnisse der ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit vorgestellt. Die Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen erforschte wie sich die Maßnahmen auf die Nährstoff-, Humus- und Ökobilanzen auswirken. Die Universität Hohenheim ging der Frage nach, welche Kosten und Leistungen die Maßnahmen erbringen können.

Betrachtet wurden unter anderem Leguminosendichtsart (als Alternative zu Hornmehl), Klee gras transfer (als Alternative zu einer Futter-Mist-Kooperation) und eigene Kompostierung bzw. Zukauf von Kompost (als Alternative zu Rindermistzukauf).

Ich möchte mich bei allen Projektbeteiligten für die stets gute Zusammenarbeit bedanken und hoffe, dass Impulse für die Weiterentwicklung des Ökologischen Landbaus mitgenommen werden konnten.

*Meike Oltmanns*

# Die verantwortlichen Autoren der Broschüre waren:

## Ökologische Nachhaltigkeit der fünf Betriebe:

Prof. Dr. Maria Müller-Lindenlauf  
Dipl. Geoökol. Jutta Will  
M. Sc. Daniel Villwock  
M. Sc. Mara Bonney  
Institut für Angewandte Agrarforschung

## Ökonomische Bewertung der auf den landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführten Innovationen zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit:

M. Sc. Sabrina Francksen  
Dr. Barbara Engler  
Zentrum Ökologischer Landbau  
Universität Hohenheim, Stuttgart

## Einleitung

Meike Oltmanns  
Forschungsring e.V.

„Das Projekt wurde gefördert im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (EIP-AGRI). Die Fördermaßnahme ist eine Maßnahme des Maßnahmen- und Entwicklungsplan Ländlicher Raum Baden-Württemberg 2014-2020 (MEPL III). Das Projekt wird durch das Land Baden-Württemberg und über den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des Ländlichen Raums (ELER) finanziert.“



**Improving soil fertility on biodynamic and organic farms with low stocking densities or no animal husbandry?**  
Oltmanns<sup>1</sup>, M.; Zickel<sup>2</sup>, S.; Rieps<sup>2</sup>, A.-M.; Müller-Lindenlauf<sup>1</sup>, M.; Engler<sup>3</sup>, B.; Ell-Schnurr<sup>4</sup>, J.; Hampf<sup>5</sup>, U.

- 1. Evaluation of existing practices to maintain soil fertility**  
Innovations from „inventors“
- 2. Field trial on the assessment of clover grass based fertilizers**
- 3. On-farm trials for a better understanding of innovations applied by the „inventors“**
- 4. Knowledge transfer between the „inventors“ and test farms.**  
The project includes an intensive networking (P2P learning)

**10 + 10 FARMS**

**10 „inventor“ farms**  
(6 Demeter and 4 Bioland farms)

- Use of clover grass based fertilizers
- Methods of composting of organic matter from the farm
- Combination of new green manures (including the application of fermented plant materials)
- Modified soil tillage systems
- Selected innovations should be highly sustainable
- The purchase of organic and nitrogenous fertilizers is limited

They present their practices for maintaining soil fertility in field days to other farmers.

**10 test farms**

- They are interested in the adoption of these innovations
- The test farms will be supported during the introduction of the innovations by advisors and the „inventors“

The ten test farms have the possibility to **try out one or more of these innovations on their farms from the second year onwards.**

**Sustainability Analysis**  
life cycle assessment, humus balance and economic evaluation

- A sustainability analysis of the „inventor“ farms will be carried out
- Based on that, recommendations for the farms will be given by advisors and researchers.
- A sustainability analysis in the 3rd year will monitor the success of the farm development.

**On-farm trials**  
Focus: fertilization with compost, use of green manures

E.g. high density seeding of field beans (Vicia faba) in vegetable production and the use of fermented plant materials after tillage of the green manures.

**Field trial**  
Clover grass based-fertilizers produced on farm or on neighboring farms

- Resulting in higher N-fixation
- Can serve as transfer fertilizers for crops with high nutrient demand (e.g. field vegetables or maize)

**Assessed in potatoes:**

1. Clover grass silage with two different application times
2. Biogas residues from clover grass
3. Clover grass pallets
4. Fresh cut-and-carry clover grass biomass
5. Composted manure
6. Horse grit
7. Unfertilized control

The applied N for the different fertilizers is 100 kg ha<sup>-1</sup>. In addition, the carry-over effect of the fertilizers to the following crop is assessed in summer wheat.

Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des Ländlichen Raums (ELER)  
 Hier investieren Europas in die Ländlichen Gebiete  
 mit Unterstützung durch das Land Baden-Württemberg

Baden-Württemberg  
 MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM UND UMWELT/SCHUTZ DER NATUR

Forschungsring e.V.  
 Ökologische Hochschulen  
 Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürting-Geislingen  
 Fachhochschule Ost  
 Fernstudienzentrum  
 Beratungszentrum Ökologischer Landbau Ulm e.V.

## Methoden

Die **ökologische Bewertung** der innovativen Maßnahmen zur **Steigerung der Bodenfruchtbarkeit** im EIP-Agri Projekt BRAVÖ basiert auf den folgende Analysen:

- **Nährstoffbilanzen** (Hoftorbilanzen, Bodenbilanzen, Nährstoffflussdiagramme)
- **Humusbilanzen** (nach VDLUFA)
- **Ökobilanzen** (ausgewählte Wirkungskategorien)

## Nährstoffbilanzierung

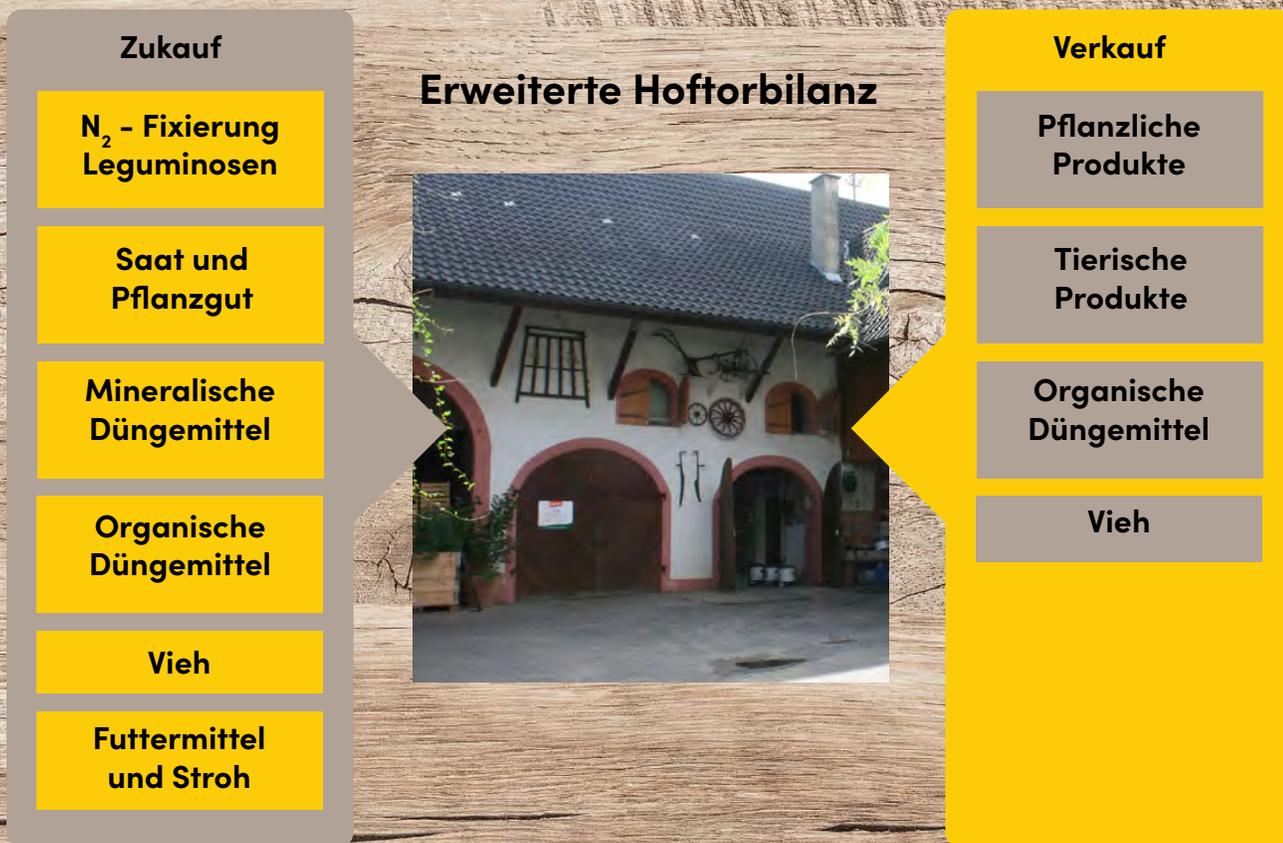
Die **Nährstoffbilanzen** wurden auf Grundlage von **betriebsbezogenen Aufzeichnungen der Innovationsbetriebe aus den Jahren 2015 bis 2017 berechnet**. Zur Ermittlung der umgeschlagenen Mengen an Erntegütern, Düngemitteln etc. wurden Befragungen der Betriebsleiter durchgeführt sowie Acker Schlagkarteien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

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

## Hoftorbilanz

**Abbildung 1** gibt einen Überblick über die in der Hoftorbilanz berücksichtigten Nährstoffimporte und -exporte. Wie der Name „Hoftorbilanz“ andeutet, werden diejenigen **Nährstoffzugänge und -abgänge saldiert, die - anschaulich betrachtet - durch das Hoftor des Gesamtbetriebes gehen**. Dabei ist es unerheblich, aus welchem Bereich des Betriebs die Nährstoffe zu- oder abfließen – sei es dem Acker, dem Grünland, dem Stall oder anderen Nährstoffspeichern wie Komposte, Mist oder Silage. **Im Rahmen dieser Studie wurden neben den zugekauften Nährstoffmengen auch die von den Leguminosen aus der Luft fixierten Stickstoffmengen als „Zukauf“ in der Hoftorbilanz berücksichtigt.**

Diffuse Ein- und Austräge wie gasförmige Stickstoffverluste oder die atmosphärische Stickstoffdeposition wurden jedoch nicht berücksichtigt. **Ausgeglichene Hoftorbilanzen** sind ein Zeichen für eine **nachhaltige Betriebsführung**. In diesem Fall ist weder mit hohen Umwelt-



belastungen zu rechnen noch mit einer langfristigen Abnahme der Bodenfruchtbarkeit. Stark negative wie auch stark positive Hoftorbilanzen sagen aus, dass ein Betrieb mittel- bis langfristige Probleme im Nährstoffhaushalt haben kann. In diesen Fällen sollte die Betriebsleitung tiefer in die Analyse einsteigen und die Ursachen und möglichen Folgen der Defizite oder Überschüsse untersuchen. Negative Hoftorbilanzen können beispielsweise langfristig zur Verarmung der Böden führen, positive Hoftorbilanzen zu Überdüngung und Verlusten. Hoftorbilanzen sind aus mehreren Gründen nicht in dem Maße aussagekräftig, dass sie als einzige Grundlage für betriebliche Entscheidungen herangezogen werden können.

Zum einen bezieht sich das Ergebnis auf die Gesamtheit des Betriebes und gibt somit keinen Aufschluss über die Bilanz einzelner Bereiche wie Acker, Grünland oder Stall. Insbesondere im ökologischen Landbau häufig auftretende innerbetriebliche Ver-

lagerungen von Nährstoffen, typischerweise vom Grünland auf die Ackerflächen, werden somit in der Hoftorbilanz nicht sichtbar. Zum anderen werden diffuse Ein- und Austräge von Nährstoffen nicht berücksichtigt, wie beispielsweise Stickstoffverluste bei der Lagerung und Ausbringung von organischen Düngemitteln.

**Zur tieferen Analyse dieser „unsichtbaren Größen“ dienen die Stoffflussdiagramme und die Bodenbilanz.** Beide umfassen sämtliche In- und Outputs, **die Stoffflussdiagramme allerdings auf gesamtbetrieblicher Ebene, die Bodenbilanzen hingegen mit Fokus auf die Ackerflächen.**

**Abbildung 1:  
Im Projekt BRAVÖ  
berücksichtigte  
Nährstoffimporte  
und -exporte der  
Hoftorbilanz**

## Bodenbilanz

Abbildung 2 zeigt die Nährstoffzuflüsse und -abflüsse, die in der Bodenbilanz saldiert werden. Die **Bodenbilanz** wurde **nur für die Ackerflächen** erstellt und **berücksichtigt** neben den außerbetrieblich zugekauften und verkauften Nährstoffmengen **auch innerbetrieblich zu- und abgeführten Nährstoffe sowie Verluste aus Denitrifikation und Depositionen aus der Luft**. Nicht berücksichtigt wurden die schwer mess- und schätzbaren Ein- und Austräge innerhalb der Bodensubstanz wie Mineralisation und Immobilisation von Nährstoffen sowie Verluste durch Auswaschung und Erosion.

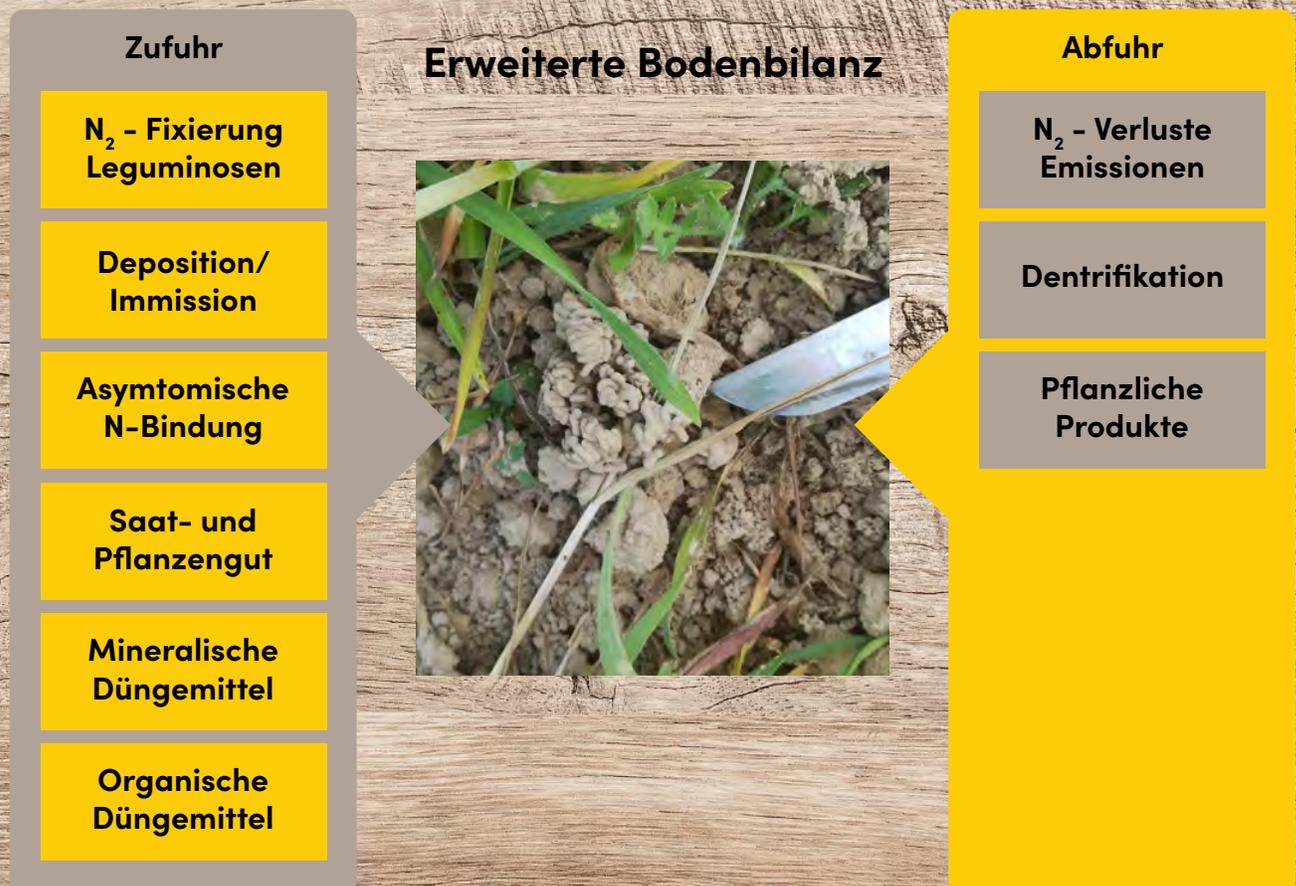
**Ausgeglichene Bodenbilanzen** können in der Regel als positiv bewertet werden. Sie sagen aus, dass im Betrachtungszeitraum die **Summe aller dem Ackerboden abgeführten und „verlorenen“ Nährstoffe** durch die **Summe aller zugeführten und „gewonnenen“ Nährstoffe** ausgeglichen wurde. Stark negative und

stark positive Bodenbilanzen zeigen an, dass der Ackerboden im Durchschnitt mit Nährstoffen unterversorgt- oder angereichert wurde.

In jedem Fall lohnt sich eine genauere Analyse und insbesondere auch ein Blick auf einzelne Schläge. Auf Schlagebene kann ein Nährstoffdefizit kurz- bis mittelfristig durch eine entsprechende Fruchtfolge oder betriebliche Maßnahmen bedenkenlos kompensiert werden. Langfristig führen negative Bodenbilanzen jedoch zur Verarmung der Böden, weshalb die Betriebsleitung langfristig die Nährstoffzufuhr erhöhen oder den Entzug senken sollte. Eine Überversorgung der Böden mit Nährstoffen kann kurzfristig und langfristig zu Problemen führen, die im ökologischen und ökonomischen Sinne vermieden werden sollten.

Insbesondere hohe Düngemittelüberschüsse auf einzelnen Schlägen können kurzfristig

**Abbildung 2: Im Projekt BRAVÖ berücksichtigte Nährstoffzuflüsse und -abflüsse der Bodenbilanz**





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

## Nährstoffflussdiagramme

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

wie groß der Einfluss einzelner Flüsse auf die Nährstoffbilanzen ist.

## Humusbilanzierung

**Abbildung 3** zeigt das Prinzip der Humusbilanzierung. Diese schätzt die Veränderungen der Humusvorräte im Ackerboden unter den jeweiligen Pflanzenproduktionssystemen. Sie soll dazu dienen, optimale Humusvorräte zu sichern und möglichst produktive Anbausysteme zu erzielen. Es gibt einige unterschiedliche Methoden der Humusbilanzierung, von komplexen Modellen, die sehr viele Daten und Parameter benötigen, bis hin zu einfachen Modellen, die mit wenigen Daten auskommen. Je mehr Daten verarbeitet werden und je komplexer die Modelle sind, desto höher ist in der Regel die Aussagekraft über die Veränderung der Humusvorräte im Boden. Nur wenige Modelle können die absoluten Veränderungen der Humusvorräte im Boden abschätzen.

Da diese Modelle jedoch mit sehr vielen Daten zu Boden, Klima, Humus-Ausgangsmenge sowie zu den angebauten Kulturen gespeist werden müssen, sind derartige Bilanzierungen ohne aufwendige Analysen nicht möglich.

In dieser Studie wurde zunächst mit der Humusbilanzierung nach HU-MOD (Brock et al. 2012) begonnen, die speziell für den Ökolandbau entwickelt wurde. Dieses Modell kann zwar nicht die absolute Veränderung der Humusvorräte berechnen, jedoch zumin-

**Abbildung 3: Prinzip der Humusbilanzierung (Leithold et al. 2007)**

dest die relative Veränderung, d.h. ob sich die Humusvorräte verringert oder vergrößert haben. Da jedoch für einige der in den Projektbetrieben angebauten Kulturen, insbesondere für in den Innovationsbetrieben häufig vorkommende Sonderkulturen und Zwischenfrüchte, keine Parameter vorlagen, wurde letztendlich mit der einfacheren Humusbilanzierung nach VDLUFA (2014) gearbeitet.

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

Die Humusbilanzierung nach VDLUFA gliedert sich in zwei Schritte. Im Ersten Schritt wird der sogenannte Humusreproduktionsbedarf durch die angebauten Kulturen ermittelt. Die meisten Marktfrüchte wie Getreide, Kartoffeln und Gemüse haben nach Festlegung der VDLUFA eine humuszehrende Wirkung, also einen positiven Humusreproduktionsbedarf. Hierbei wird zusätzlich zur Kulturart auch unterschieden, auf welchen Böden bzw. in welchen Bewirtschaftungsintensitäten die Kulturen angebaut werden. **„Untere Werte“ stehen für Böden in einem guten Kulturzustand, deren Bodenfruchtbarkeit lediglich erhalten werden soll, oder für ertragsschwache Standorte. Mittlere Werte stehen für Böden, deren Funktionen gefördert und deren Fruchtbarkeit aufgebaut werden soll. Obere Werte stehen für Böden in schlechtem Kulturzustand, deren Funktionen und Fruchtbarkeit stark gefördert werden sollen, oder Anbausysteme mit hohem Humusbedarf ohne mineralische**

Stickstoffdüngung, z.B. Ökologischer Landbau bei hohem Ertragsniveau. Je höher die Nutzungsintensität oder der Verbesserungsbedarf der Humusvorräte im Boden, desto stärker humuszehrend werden die Kulturen eingestuft, und desto mehr organische Düngung muss aufgewendet werden, um eine ausgeglichene Humusbilanz zu erzielen.

Einige Kulturen, wie beispielsweise Leguminosen und Gründüngung, haben eine humusmehrende Wirkung, also einen negativen Humusreproduktionsbedarf, auch Humusreproduktionsleistung genannt. Auch auf dem Feld verbleibende Nebenprodukte einiger Kulturen werden mit einer Humusreproduktionsleistung mit einberechnet. Im Saldo aller angebauten Kulturen ergibt sich in aller Regel ein positiver Humusreproduktionsbedarf, also ein potentieller Abtrag organischer Bodensubstanz.

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



## Ökobilanzierung

Die Ökobilanzierung ist ein wichtiges Instrument zu Einschätzung von ökologischen Wirkungen eines Produktes bzw. einer Dienstleistung während dessen gesamten Lebensweges. Mit Hilfe der Ökobilanz können u.a. Möglichkeiten zur Verbesserung der Umwelteigenschaften von Produkten und Dienstleistungen in den verschiedenen Phasen ihres Lebensweges aufgezeigt werden. Entscheidungsträger in Politik und Industrie können sie zu Hilfe nehmen aber auch interessierte Privatpersonen können sie zur Entscheidungsfindung z.B. in ihrem Konsumverhalten nutzen. **In der vorliegenden Studie wurden sogenannte Übersichtsökobilanzen durchgeführt.** Die Durchführung erfolgt angelehnt an die internationalen Normen für Produkt-Ökobilanzen ISO 14040 & 14044. Es wurde allerdings keine ISO-konforme Ökobilanz durchgeführt, für diese wäre u. a. ein externer Review notwendig.

### Ziel & Untersuchungsrahmen

Eine Ökobilanzierung erfolgt in vier Stufen. In der ersten Phase werden das Ziel und der Untersuchungsrahmen festgelegt. Dabei wird entschieden, was untersucht werden soll und in welchem Umfang. Bei dieser Entscheidung fließen die Gründe für die Studiendurchführung ebenso ein wie die anzusprechende Zielgruppe und die beabsichtigte Anwendung. Die vorliegende Studie soll als Entscheidungshilfe in der ökologischen Landwirtschaft dienen.

Ihr Ziel ist es, Landwirten die Umwelteinflüsse verschiedener innovativer Maßnahmen zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit im Vergleich zu alternativen Methoden, so genannten Referenzverfahren, im Hinblick auf Treibhausgasemissionen, Eutrophierung und Primärenergiebedarf zu verdeutlichen. **Referenzverfahren werden benötigt um Ökobilanzen beurteilen zu können. Es sind Verfahren, die anstatt der innovativen Maßnah-**

**men durchgeführt werden könnten. Bei der Auswahl der Referenzverfahren ist darauf zu achten, dass sie eine ähnliche Wirkung auf z.B. Bodenfruchtbarkeit und Düngewirkung haben wie die innovative Maßnahme.**

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

**Die Ergebnisse der weiteren Varianten sind in den Diagrammen als schwarze Linien eingetragen.** Sie stellen die maximal und minimal zu erwartenden Emissionen der Verfahren dar. Die bei der Herstellung von Hornmehl (Verarbeitung und Vertrieb) und Kompost entstehenden Emissionen fließen in die Bilanzen ein und sind in den Abbildungen im Materialverbrauch enthalten.

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

Verfahren	Referenzverfahren
Leguminosendichtsaat	Hornmehl
Kleegrastransfer (Cut & Carry)	Rindergülle
Silagedüngung	Rindergülle
Kompost aus eigener Kompostierung	Gärreste
Kompost vom Kompostwerk	Rindermist
Intensiver Zwischenfruchtanbau	Geflügelmist

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

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

Als Basis der Ökobilanz dient eine Vergleichseinheit, die so genannte funktionelle Einheit. Sie wurde in dieser Studie auf einen Hektar festgelegt. Das bedeutet, dass sich die Stoffflüsse der einzelnen Maßnahmen jeweils auf einen Hektar Anbaufläche beziehen. Jede Methode und jedes Referenzverfahren wurde demzufolge so berechnet, als würde jeweils ein Hektar Fläche mit diesem Verfahren „gedüngt“. Zur besseren Vergleichbarkeit der Methoden wurden alle Verfahren, außer Zwischenfruchtanbau und dessen Referenzmethode Geflügelmist, auf das Düngeäquivalent 50 kg N pro Hektar bezogen. Die hervorzuhebende Düngewirkung vom Zwischenfruchtanbau ist in diesem Fall die Phosphorfreisetzung aus der nicht pflanzenverfügbaren Phosphorreserve des Bodens.

Deshalb wird für diese Innovation mit einem Düngeäquivalent von 5 kg P pro Hektar gerechnet. Als Referenzverfahren wird eine Düngung mit Geflügelmist angesetzt.

**In allen Verfahren wird also so vorgegangen, dass jede Fläche (1 ha) mit 50 kg N bzw. 5 kg P gedüngt wird.** Aufgrund der Datenverfügbarkeit, des Arbeitsaufwandes und des daraus zu erwartenden Nutzens, wurde bei der Festlegung des Untersuchungsrahmens entschieden, die Herstellung der Arbeitsgeräte nicht in die Bilanzierung einfließen zu lassen. Diese Festlegung gilt für alle in diesem Projekt betrachteten Verfahren und ist eine in Ökobilanzen übliche Vorgehensweise.

## Sachbilanz

Nach der Festlegung des Untersuchungsrahmens erfolgt in der zweiten Phase der Ökobilanz die Zusammenstellung und Quantifizierung von Inputs und Outputs in einer Sachbilanz. Dazu werden in einem ersten Schritt **für jedes Verfahren die einzelnen Arbeitsschritte und eingesetzten Maschinen bestimmt. Daraus errechnet sich der Kraftstoff- und Materialverbrauch.** Auch für alle weiteren Betriebsmittel, z.B. Silofolie, werden die benötigten Materialmengen bestimmt. In einem zweiten Schritt werden dann zu jedem verbrauchten Betriebsmittel die dazugehörigen Emissionen und Ressourcenaufwendungen ermittelt. Diese so genannten „Ökobilanzdatensätze“ erhält man aus Ökobilanzdatenbanken. Hier wurden die Datenbank ecoinvent Version 3.6 verwendet. So erhält man aus der Datenbank z.B. eine Liste aller Stoffe (Rohstoffe, Stoffgruppen, Einzelstoffe) die bei der Herstellung und bei der Verbrennung eines Kilogramm Diesels eingesetzt werden, sowie alle Emissionen (z.B. CO<sub>2</sub>, Stickoxide u.a.) die dabei entstehen.

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

## Wirkungsabschätzung

In der dritten Phase, der Wirkungsabschätzung werden die verschiedenen In- und Outputgrößen zu so genannten Wirkungskategorien zusammengefasst. So werden z.B. alle Treibhausgasemissionen in der Kategorie „Treibhauseffekt“ zusammengefasst. Dazu werden die Emissionen nach ihrer jeweiligen Klimawirksamkeit in so genannte CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechnet und aufaddiert. Die in BRAVÖ berechneten Wirkungskategorien sind in **Tabelle 3** aufgeführt.

Der Primärenergiebedarf umfasst sowohl den direkten Energiebedarf als auch den indirekten Energiebedarf aus vorgelagerten Prozessen, wie Energiegewinnung, -umwandlung und -verteilung. In der Wirkungskategorie Treibhauseffekt werden alle klimarelevanten Gase zusammengefasst. Diese Gase führen in der Atmosphäre zu einer Veränderung der Strahlungsbilanz und damit zu einer Erhöhung der Temperatur. Bei der terrestrischen bzw. aquatischen Eutrophierung werden die Stoffe zusammengefasst, die zu einer Überdüngung von Land- und Wasserökosystemen führen. Diese Überdüngung führt in den Gewässern zu einem erhöhten Algenwachstum, was wiederum zu einem Verlust der Biodiversität führen kann.

In Landökosystemen kann Eutrophierung ebenfalls zu einer Gefährdung der biologischen Vielfalt führen, da dadurch nährstoffliebende Pflanze bevorzugt werden. **Die terrestrische Eutrophierungswirkung ergibt sich aus gasförmigen Emissionen – insbesondere Ammoniak und Stickoxide – die über die Luft**

Tabelle 3: Im Projekt BRAVÖ untersuchte Wirkungskategorien der Ökobilanzierung

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

transportiert werden und sich über natürlichen Ökosystemen absetzen. Aquatische Eutrophierung entsteht überwiegend durch die Auswaschung von Nitrat und die Abschwemmung von löslichen Phosphorverbindungen. Da sowohl die Nitratemissionen als auch die Phosphorauswaschung in starkem Maße vom gesamtbetrieblichen Management abhängen und nicht einer einzelnen Kultur oder einem Düngerverfahren zugeordnet werden können, wurde entschieden, die Ergebnisse für diese Wirkungskategorie im Folgenden nicht auszuweisen.

Die sich unmittelbar aus den betrachteten Verfahren resultierenden Ergebnisse für diese Wirkungskategorie sind nicht aussagekräftig, da sie nur einen Bruchteil der tatsächlich durch den Ackerbau verursachten aquatischen Eutrophierung abbilden.

## Auswertung und Interpretation

Auf Grundlage dieser gesamten Betrachtungen und Berechnungen können die Ergebnisse dann im vierten Schritt der Ökobilanz ausgewertet und interpretiert werden. Bei der Interpretation ist es wichtig auch zu bedenken, welche Auswirkungen die Unsicherheiten in den Datengrundlagen oder die methodischen Festlegungen auf das Ergebnis haben können. Grundsätzlich kann man sagen: Absolute Ergebnisse aus verschiedenen Ökobilanzstudien sind nur eingeschränkt vergleichbar.

Die Relation zweier Verfahren aus der gleichen Untersuchung ist jedoch relativ sicher. Die Ökobilanzen im Projekt BRAVÖ beziehen sich - anders als die Nährstoffbilanzen - nur auf die innovative Methode des Betriebes, nicht auf den Gesamtbetrieb.





## Ökonomie

### Leistungs- und Kostenrechnung

Die für diese Analyse angewandte Leistungs- und Kostenrechnung ist eine Teilkostenrechnung. Es gehen somit nur Leistungen und Kosten in die Berechnungen mit ein, die der innovativen Maßnahme oder deren Alternative direkt zugeordnet werden können.

Die Rentabilität kann durch den Deckungsbeitrag (DB) oder durch die direkt- und arbeits erledigungsfreien Leistung (DAL) ausgedrückt werden.

Gemäß der Definition des Deckungsbeitrags, bei dem nur variable Kosten vom Erlös abgezogen werden, werden die Arbeitsstunden vom festangestellten Personal auf dem Betrieb nicht berücksichtigt. Die Lohnkosten für festangestellte Mitarbeiter, sowie die Arbeitsstunden des Betriebsleiters/der Betriebsleiterin sind fixe Kosten und werden nicht in den Deckungsbeitrag einberechnet.

Die Summe aus fixen Lohnkosten und fixen Maschinenkosten ergeben die Arbeits- und Erledigungskosten. Werden diese vom

Deckungsbeitrag abgezogen, ergibt dies die direkt- und arbeits erledigungskostenfreie Leistung.

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

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



marktfähigen Gutes, werden der DB und die DAL des Zwischenprodukts zum Vergleich herangezogen.

In der Webanwendung „Leistung-Kostenrechner“ des KTBL (2019) werden die jeweiligen Produktionsverfahren ausgewählt, angepasst und als Exceldatei heruntergeladen. Stehen die innovativen Verfahren nicht zur Auswahl, wird dasjenige Verfahren ausgewählt, das der Innovation am ähnlichsten ist. Die ausgegebene Exceldatei wird anschließend mit den vom Betriebsleiter verfügbaren Daten erneut angepasst. Dabei werden, wenn möglich, die voreingestellten Erträge, Saatgutkosten und Verkaufspreise sowie Arbeitsvorgänge mit den Angaben des Landwirts ersetzt. Die Summe der Leistungen, sowohl der Innovation als auch der gewählten Alternative, setzen sich, soweit vorhanden, aus dem Verkaufserlös des marktfähigen Produkts und den berechneten Ersatzwerten für die Düngerleistung zusammen. Als Direktkosten sind die direkt verbrauchten materiellen Aufwendungen zu verstehen (z.B. Saatgut). Zu den variablen Kosten

werden die variablen Lohn- und Maschinenkosten, zuzüglich Zinsansatz für gebundenes Kapital gezählt.

Um die innovative Maßnahme vergleichen zu können wird jedem Verfahren eine Alternative nach Absprache mit den Projektbetrieben zugeordnet.

## Herausforderung der Ökonomischen Bewertung allgemein:

Die Förderung der Bodenfruchtbarkeit und eine damit einhergehende Ertragssteigerung ist nur langfristig messbar und kann daher in die ökonomische Bewertungen zu einem großen Teil nicht mit eingehen. Vorteile die nicht monetär in den Berechnungen berücksichtigt werden konnten, müssen bei der Interpretation der Ergebnisse dennoch mit eingehen.



# 1

**„Schone den Boden in seiner Struktur, bearbeite ihn so wenig wie nötig und nur beim richtigen Feuchtezustand.“**

*Statement Betriebsleiter*

## Betrieb 1: Leguminosendichtsaa

Im Zentrum der Innovation Leguminosendichtsaa steht der Anbau und die anschließende Einarbeitung von Körnerleguminosen. Hierfür werden im Frühjahr Ackerbohnen mit einer erhöhten Saatstärke von 700-800 kg/ha ausgesät. Im Betrieb werden zudem Wintererbsen oder Winterackbohnen als Gründüngung mit einer Aussaatstärke von 200 kg/ha angebaut. Je kürzer die Vegetationszeit, desto höher sollte die Aussaatstärke sein. Der Aufwuchs wird ca. 2 Wochen vor der Pflanzung mit Scheibenegge oder Fräse gemulcht und die Fläche anschließend flach oder tief mit einem Grubber bearbeitet.

Im Projekt BRAVÖ wurden Ackerbohnen als Frühjahrszwischenfrucht vor Brokkoli durchgeführt. Das Ziel ist hierbei, ein Jahr des Futterleguminosenanbaus (2. Klee grasjahr) durch die Dichtsaa einer Körnerleguminose zu ersetzen. Auf dem Betrieb existieren zwei Fruchtfolgen, eine rein ackerbauliche und eine Gemüsefruchtfolge. In der Ackerbaufruchtfolge werden die Körnerleguminosen angebaut, die dann als Saatgut für den Zwischenfruchtanbau in der Gemüsefruchtfolge genutzt werden. Dadurch bleibt der Stickstoff im Betriebskreislauf und es findet ein Transfer von K und P von der Ackerbaufruchtfolge in die Gemüsebaufruchtfolge statt.

Durch die Leguminosendichtsaa wird zusätzlicher Stickstoff fixiert und damit in den Betrieb eingebracht.



Betriebsportrait für das Jahr 2017

**Betrieb Leguminosendichtsaa**

**22,5  
ha**

**Ackerbau**

**15  
ha**

**Grünland**

**24  
GV**

**Großvieheinheiten**

**Anbau von:**

- Getreide (ca. 10 ha)
- Kartoffeln (ca. 5 ha)
- Klee gras (3 ha)
- Ackerbohnen (ca. 1,5 ha)
- Feldgemüse (ca. 3 ha)

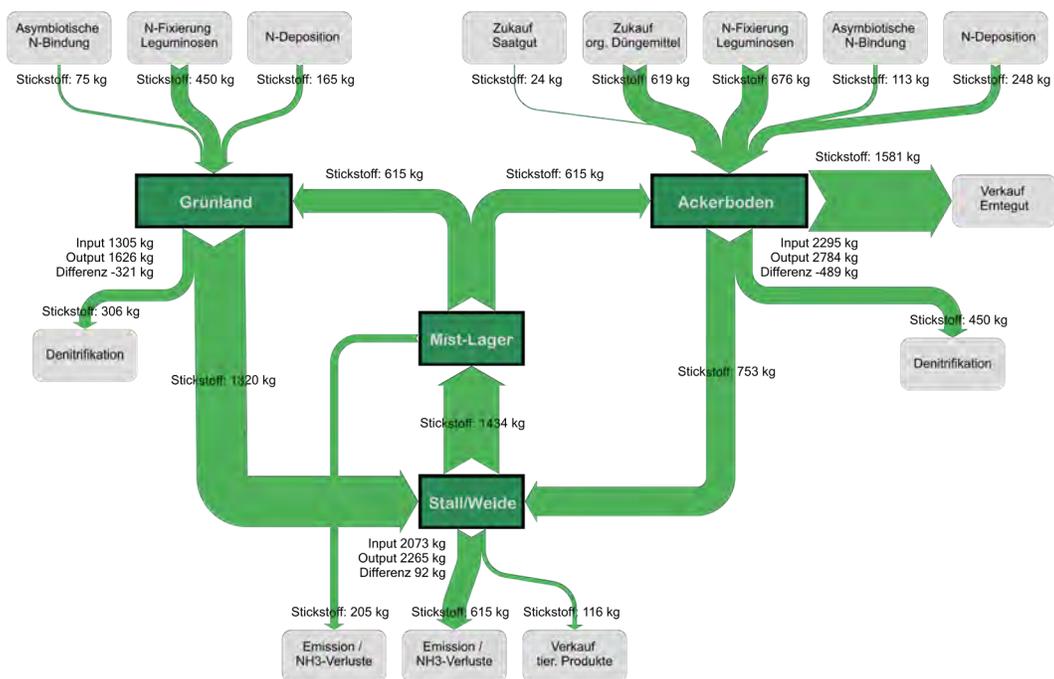
**Wie wird gedüngt?**

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

**Tierbestand**

(0,65 GV je Hektar):  
Mutterkühe und  
Nachzucht,  
Pferde

**Nährstoffflüsse im Jahr 2017**



**Abbildung 4: Stickstoffflüsse** des Innovationsbetriebs „Leguminosendichtsaa“ im Jahr 2017

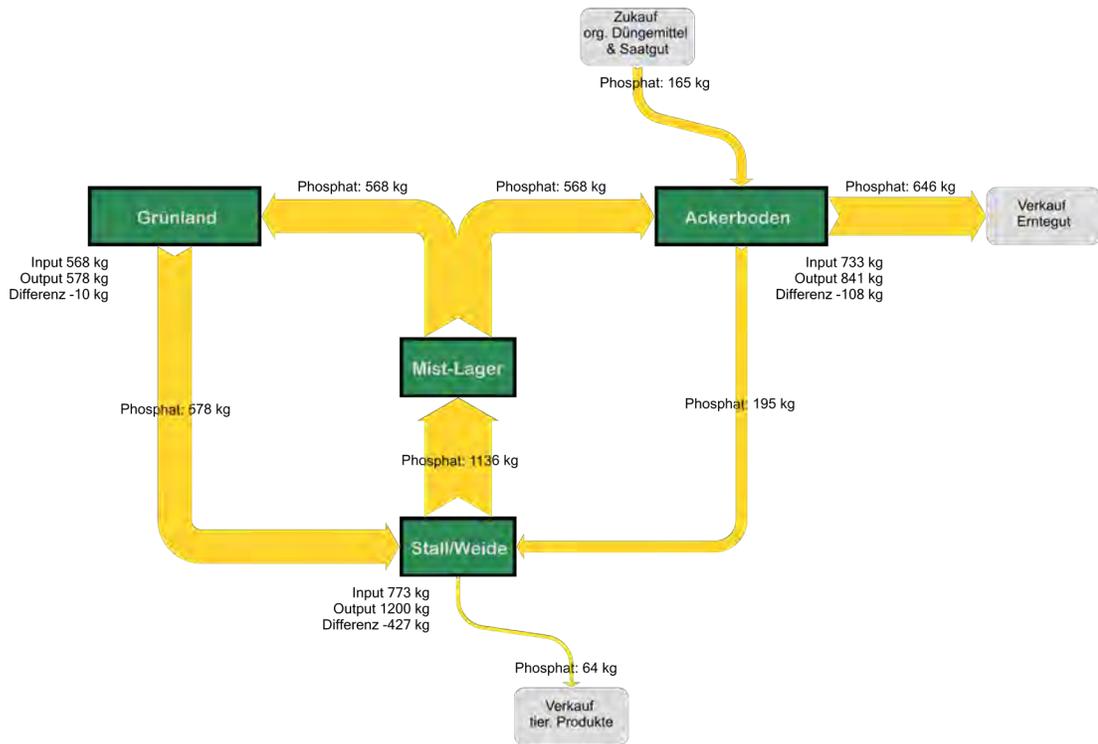


Abbildung 5: Phosphorflüsse des Innovationsbetriebs „Leguminosendichtsart“ im Jahr 2017

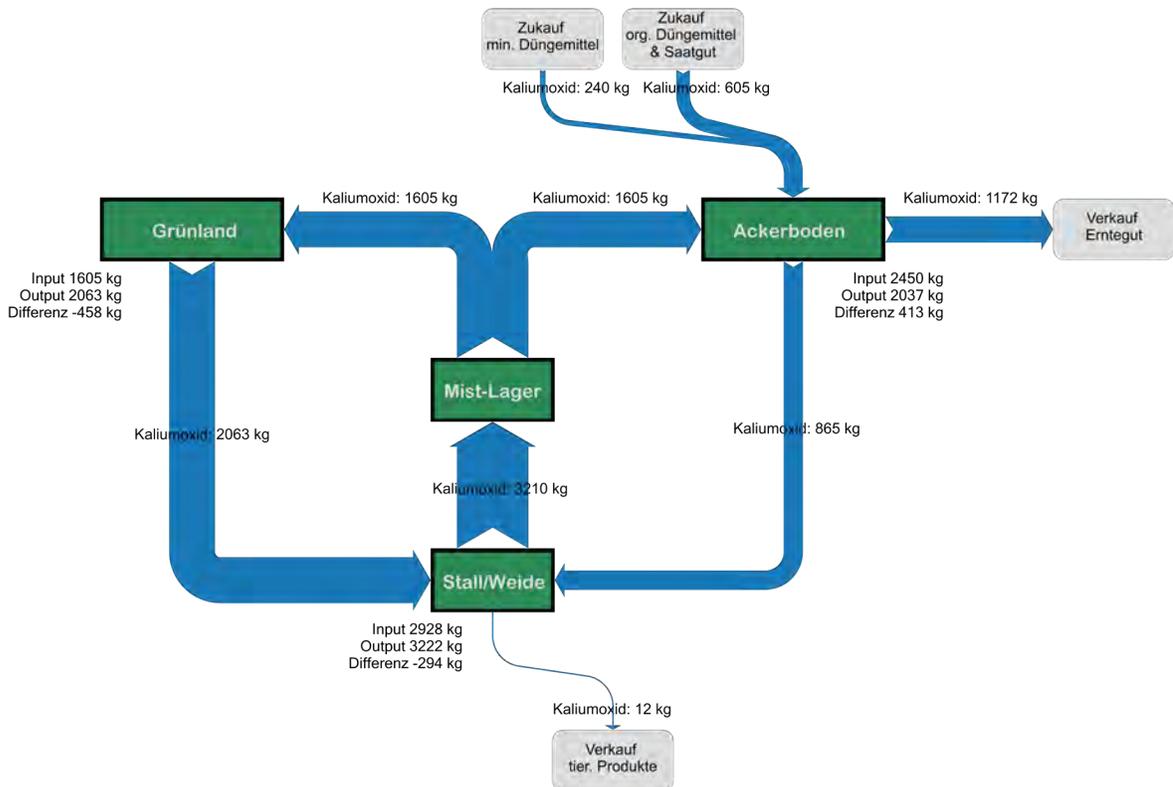


Abbildung 6: Kaliumflüsse des Innovationsbetriebs „Leguminosendichtsart“ im Jahr 2017

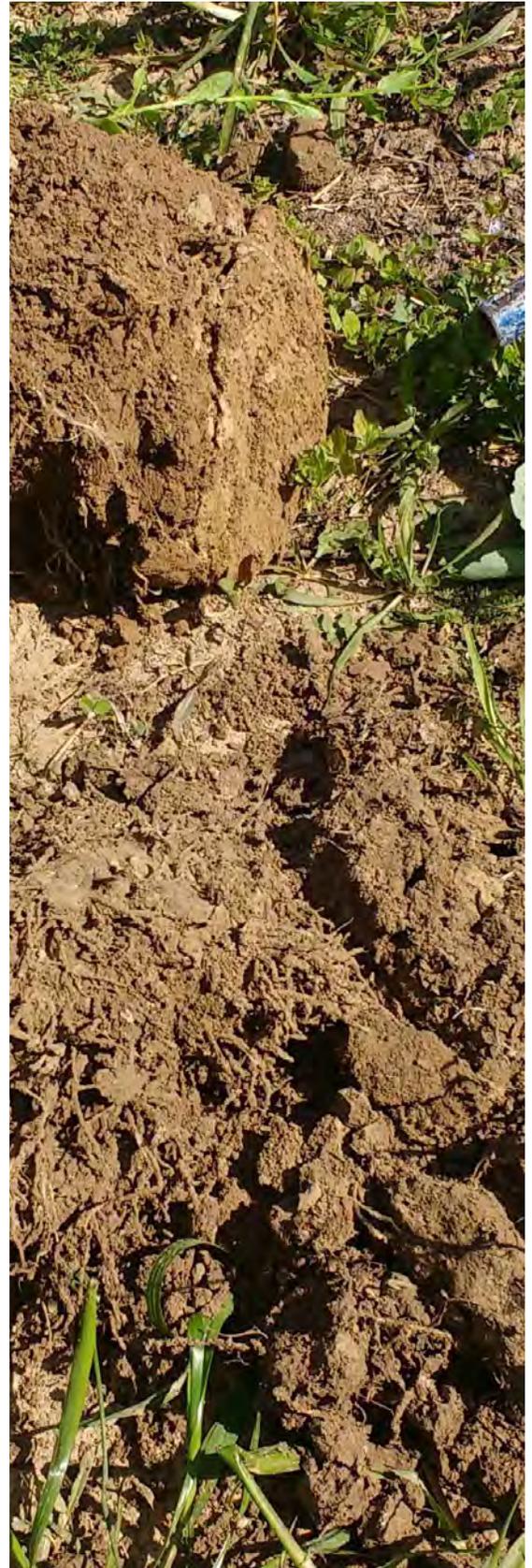
Die **Abbildungen 4 bis 6** zeigen die Nährstoffflüsse des Innovationsbetriebes beispielhaft für das Jahr 2017. Man sieht: Sowohl im Grünland als auch im Ackerbau gibt es rechnerisch ein Stickstoffdefizit.

Die Stickstoffbilanzen im Grünland sind jedoch sehr unsicher. Sowohl die Fixierungsleistung der Leguminosen als auch die Stickstoffgehalte im Erntegut schwanken stark. Die Verluste liegen in der Größenordnung der Denitrifikationsverluste, die ebenfalls sehr unsicher sind. Fachlich besteht hier also noch kein Grund zur Sorge. Auch das Bilanzdefizit im Ackerbau liegt noch im Rahmen der Unsicherheit. Bilanzen bis +/- 20 kg N/ha können als annähernd ausgeglichen gelten.

Dennoch ist Achtsamkeit geboten: Die hohen Nährstoffexporte aus dem Betrieb werden trotz vielfältiger Düngemittelzufuhr nicht ganz ausgeglichen. Hier sollte der Betriebsleiter einen wachen Blick auf die Ertragsentwicklung haben.

Typisch für tierhaltende ökologische Betriebe ist der auch hier zu sehende Transfer von Nährstoffen aus dem Grünland über den Stall auf den Acker. So wird ein Teil des Bilanzdefizits im Ackerbau ausgeglichen, allerdings zu Lasten des Grünlandes. Die größte Stickstoffquelle des Ackerbodens ist die Stickstofffixierung durch Leguminosen.

Der Anbau von 1,5 ha Ackerbohnen trägt dazu aber mit nur etwa 200 kg Stickstoff relativ wenig bei. Mit etwa 500 kg Stickstoff liegt die Fixierungsleistung der 3 ha Klee gras deutlich höher. Eine weitere Nährstoffquelle sind organische Zukaufsdünger wie Horn gries, Vinasse und externer Pferd emist, die die Ackerflächen mit etwa 600 kg Stickstoff anreichern.



## Hof- und Bodenbilanz

**Tabelle 4** zeigt die Hof- und Bodenbilanz des Innovationsbetriebes als Mittelwert aus den Jahren 2015 und 2017. Die Hofbilanz des Innovationsbetriebes erreicht einen positiven Saldo von 13 kg N/ha. Die Bodenbilanz ist jedoch mit -28 kg N/ha deutlich negativ. Dies liegt daran, dass innerbetriebliche Nährstoffverluste auftreten. In diesem Fall – und das ist typisch – vor allem im Stall und in der Mistlagerung. Für Phosphor und Kalium sind sowohl die Hofbilanzen als auch die Bodenbilanzen deutlich negativ. Der Output durch den Verkauf der Produkte wird kaum durch Inputs in Form von Düngemittelzukauf ausgeglichen. Anders als bei Stickstoff besteht für Phosphor und Kalium keine Möglichkeit, Nährstoffe aus der Luft in den Betrieb zu bringen. Die zugekauften Düngemittel sind im Falle dieses Betriebes vor allem organische Stickstoffdünger mit nur geringen Phosphor- und Kaliumgehalten.

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

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

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

## Humusbilanz

Je nach Zustand der Böden schwankt die Humusbilanz des Betriebes im Mittel der Jahre 2015 und 2017 zwischen 131 und -145 Häq/ha/a. Die Humusbilanz ist dadurch im Mittel leicht negativ. Um eine Humuszehrung unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus sicher zu vermeiden, sollte eine positive Humusbilanz auch im mittleren und oberen Bereich angestrebt werden.

Im Jahr 2017 kommt es durch den überwiegenden Anbau stark humuszehrender Kulturen wie Getreide, Kartoffeln und Gemüse zu einem Humusreproduktionsbedarf von -11.554 Häq/a auf mittleren Böden. Dem gegenüber steht eine eher geringe Humusreproduktionsleistung von 2.153 Häq/a durch den Anbau humusmehrender Kulturen in Form von Ackerfutter- und Körnerleguminosen. Durch die angebauten Kulturen ergibt sich somit ein Saldo von -9.401 Häq/a, was bezogen auf die gesamte Ackerfläche von 22,5 ha eine Humuszehrung von -418 Häq/ha/a ergibt. Durch die Düngung der Ackerflächen mit Pferde und Rindermist kommt es zu einem erheblichen Eintrag organischer Substanz von 10.248 Häq/a bzw. 455 Häq/ha/a. In der gesamten Humusbilanz kommt es letztendlich zu einem Saldo von 38 Häq/ha/a auf mittleren Böden.

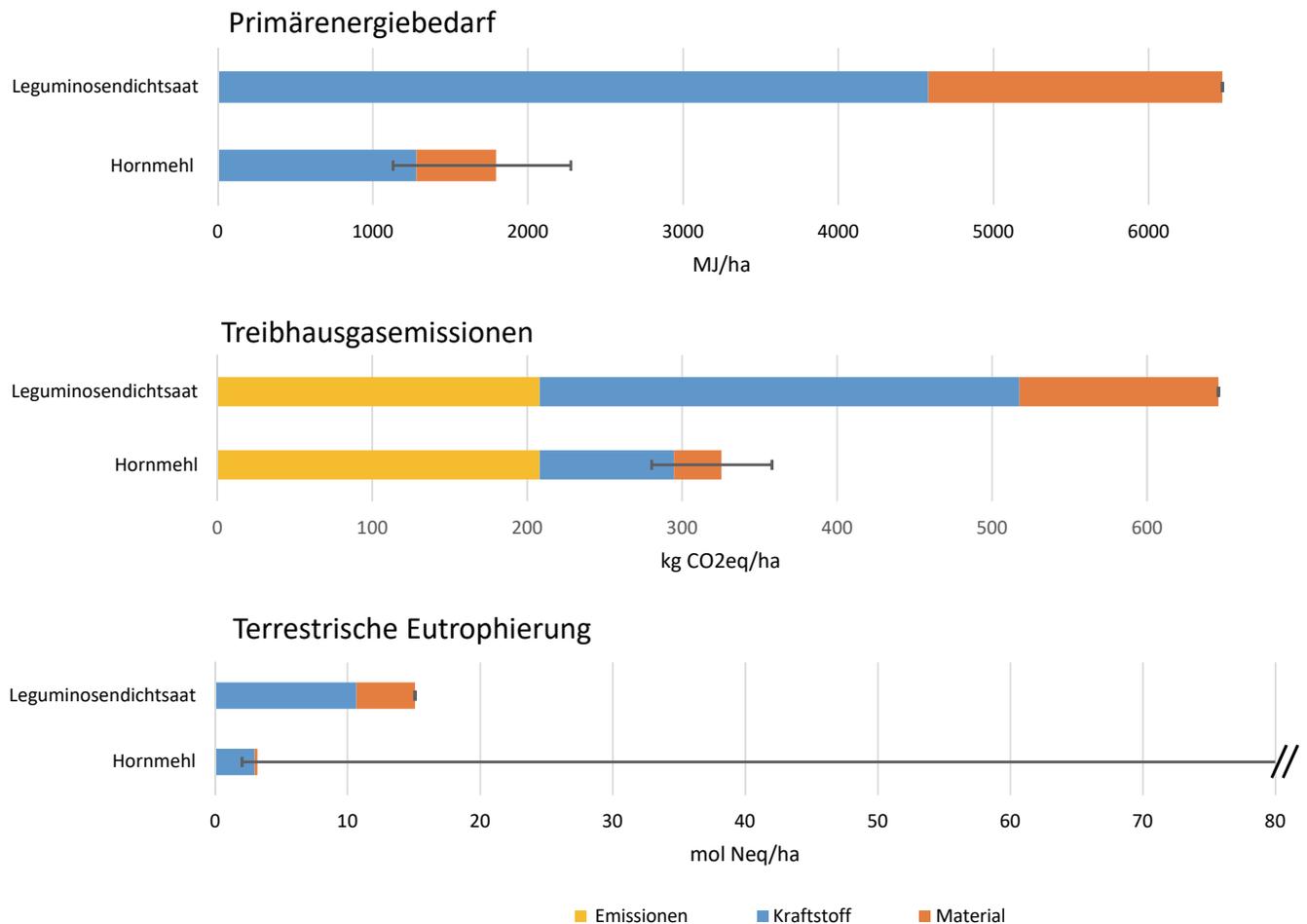
**Tabelle 5:** Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Leguminosendichtsaat I“ nach VDLUFA

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

## Ökobilanz

**Abbildung 7** zeigt die Ergebnisse der Ökobilanzierung einer Düngung mit 50 kg N durch Leguminosendichtsaaat im Vergleich zu einer Düngung mit Hornmehl (Referenzmethode). Dabei wurden unterschiedliche Varianten der Referenzmethode untersucht um die Einflüsse auf die Ökobilanz sichtbar zu machen. Die Ergebnisse der Varianten sind in den Grafiken als schwarze Linien an den Balken von Hornmehl dargestellt.

Die Leguminosendichtsaaat besteht aus zwei getrennten Schritten, dem Leguminosenanbau zur Bereitstellung des Saatguts und der Dichtsaaat. Beide Arbeitsschritte benötigen mehrere Arbeitsgänge, die einen im Vergleich zur Referenzmethode hohen Kraftstoffverbrauch verursachen. Hornmehl ist als Reststoff aus der Tierhaltung nur mit einer geringen Vorkette belastet. Die blauen Balken in den Diagrammen bezeichnen die Emissionen bzw. den Energiebedarf beim Leguminosenanbau resp. bei der Herstellung des Hornmehls. Die orangenen Balken spiegeln die Emissionen bzw. den Energiebedarf durch den Kraftstoffverbrauch. Die gelben Balken bezeichnen die direkten Emissionen aus dem ausgebrachten Hornmehl bzw. den ausgebrachten und eingearbeiteten Ackerbohnen.



**Abbildung 7:** Ergebnisse der Ökobilanzierung einer Düngung mit 50 kg N durch Leguminosendichtsaaat im Vergleich zu einer Düngung mit Hornmehl.

## Primärenergiebedarf

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

## Treibhausgasemissionen

Die Leguminosendichtsaat hat durch den erhöhten Kraftstoffverbrauch einen höheren CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Dieser bedingt ein höheres Treibhauspotential. Zusätzlich sind bei beiden Düngemitteln Lachgasemissionen zu beachten (gelber Balken). Allerdings sind diese Emissionen in beiden Verfahren mit sehr großen Unsicherheiten behaftet.

## Terrestrische Eutrophierung

Die Terrestrische Eutrophierung der Leguminosendichtsaat ist im Vergleich zu einer Düngung mit Hornmehl deutlich höher. In dieser Wirkungskategorie ist das Ergebnis für Leguminosendichtsaat und Hornmehlausbringung nach der Standartmethode ausschließlich durch den Kraftstoffverbrauch und den daraus resultierenden NO<sub>x</sub>-Emissionen bedingt. Wird allerdings von maximalen direkten Emission bei der Hornmehlausbringung ausgegangen (Ausbringung mit Breitverteiler, keine Einarbeitung der Pellets, warme Witterung) resultieren daraus hohe Ammoniak-Emissionen. In dem Fall ist die terrestrische Eutrophierung durch die Düngung mit Hornmehl deutlich höher als bei einer Düngung mit Leguminosendichtsaat.

## Flächenbedarf

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



## Fazit

- In diesem Innovationsbetrieb hatte der Anbau von Ackerbohnen aufgrund seines geringen Flächenanteils nur einen sehr geringen Einfluss auf die Nährstoff- und Humusbilanzen des Betriebes.
- Die Stickstoffbilanz des Betriebes ist auf Hoftorebene leicht positiv, die Bodenbilanz der Ackerflächen ist jedoch negativ. Dies liegt daran, dass Nährstoffe im Betrieb verloren gehen, insbesondere durch Emissionen aus Stall- und Wirtschaftsdünger. Allerdings unterliegt die Stickstoffbilanz einer hohen Unsicherheit. Stickstoffgehalte im Erntegut, Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger und auch die Fixierungsleistung der Leguminosen können in der Praxis stark schwanken.
- Die Phosphor- und Kaliumbilanzen sind deutlich negativ. Der Betrieb exportiert erhebliche Nährstoffmengen mit dem Erntegut, importiert über Düngemittelzukauf aber nur sehr geringe Mengen. Es besteht daher das Risiko, dass es langfristig zu einer Mangelsituation kommt, da die Mineralisierung aus dem Ausgangsgestein die hohen Verluste nicht mehr ausgleichen kann.
- Leguminosendichtsaaat ist eine Option, verlustarm Leguminosenstickstoff nicht legumen Ackerkulturen zur Verfügung zu stellen. Durch den hohen Flächenbedarf ist die betriebliche Anbaufläche jedoch in diesem Fall gering, und damit auch der Einfluss auf die gesamtbetrieblichen Nährstoffbilanzen.
- Die Ökobilanz der Leguminosendichtsaaat fällt gegenüber alternativen organischen Düngern (hier: Hornmehl) negativ aus. Dies liegt daran, dass es sich bei Hornmehl um ein Nebenprodukt der Tierhaltung handelt, das nicht extra erzeugt, sondern nur aufbereitet werden muss. Es ist allerdings zu bedenken, dass Hornmehl nur in begrenzten Mengen verfügbar ist. Außerdem ist zu bedenken, dass Hornmehl ein Nebenprodukt konventioneller und oft industrieller Tierhaltung ist.

## Ökonomie

### Leistungs- und Kostenrechnung

Verglichen wird:

**Innovation (V1):** Leguminosendichtsaaat als Frühjahrswischnfrucht vor Brokkoli.

- Als Gründüngung werden im Frühjahr Ackerbohnen in Dichtsaaat angebaut und vor der Pflanzung von Intensivgemüse untergearbeitet.

**Alternative (V2):** Erweiterte Düngung mit Handelsdüngemittel

- Der N-Bedarf des Intensivgemüses wird durch eine höhere Gabe Handelsdüngemittel gedeckt.

## Ergebnis

Insgesamt weisen sowohl die Innovation als auch die Alternative einen negativen Deckungsbeitrag auf (DB V1: -140 €/ha; V2: -229€/ha).

Die Differenz des DB in Höhe von 92 €/ha zu Gunsten der Innovation ist als relativ niedrig zu bewerten (Tabelle 6). Die Leistung der Leguminosendichtsaaat in Form von N, P, K- und Humusersatzwerten übersteigt die Leistung der erweiterten Düngung. Die variablen Kosten in V1 sind jedoch fast doppelt so hoch wie die variablen Kosten in V2. Da die höhere Leistung in V1 die höheren Kosten mehr als aufwiegt ist V1 mit einem um 92 €/ha höheren DB im Vergleich mit V2 als ökonomisch rentabler zu bewerten. Die fixen Maschinen- und Lohnkosten sind in V1 höher als in V2. Die DAL in V2 übersteigt die DAL in V1 um 57 €/ha. Vor dem Hintergrund einer Vielzahl geschätzter Daten ist diese Differenz zu vernachlässigen. Insgesamt sind beide Verfahren als gleich rentabel zu bewerten

**Tabelle 6:** Leguminosendichtsaat als Frühjahrswischenfrucht: Leistungen- und Kosten im Vergleich.

	Innovation V1	Alternative V2	Differenz V1-V2	
Summe Leistung	924	201	724	€/ha
Summe Direktkosten	967	430	537	€/ha
Direktkostenfreie Leistung	-43	-229	186	€/ha
Summe variable Kosten	1.064	433	631	€/ha
Deckungsbeitrag	-140	-232	92	€/ha
Fixe Maschinenkosten	70	4	66	€/ha
Fixe Lohnkosten	91	8	83	€/ha
Summe Direkt- und Arbeits- erledigungskosten	1.226	445	781	€/ha
Direkt- und arbeitserledi- gungskostenfreie Leistung	-301	-244	-57	€/ha
Arbeitserledigungskosten	259	15	244	€/ha

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

## Beurteilung/Diskussion

Nicht alle Nährstoff- und Humusersatzwerte sind für die beiden untersuchten Varianten verfügbar und so konnte der Humusersatzwert des Saatguts der Ackerbohnen sowie der Haarmehlpellets nicht berücksichtigt werden.

Der monetäre Wert des Ackerbohnen Saatguts aus Eigenherstellung konnte in diesem Betrieb aufgrund des schwankenden Anbauerfolgs nicht berechnet werden.

Die folgenden positiven Auswirkungen (Hubbard et al. 2013) konnten nicht in die Berechnungen eingehen:

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

Die Vorteilhaftigkeit wurde auch vom Betriebsleiter hervorgehoben.

## Übertragbarkeit auf andere Betriebe

Voraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung der Maßnahme ist das Wissen um die Standorteigenschaften sowie um die Besonderheiten des Ackerbohnenanbaus. Laut Betriebsleiter ist die Methode im Allgemeinen als eher schwierig und die Umsetzung als herausfordernd zu bewerten.

Ein regelmäßiges Monitoring des Leguminosenbestandes hilft, die Entwicklung der Maßnahme bewerten und gegebenenfalls anpassen zu können.

Klimatisch sind vor allem eine gute Wasserversorgung der Leguminosen während Blüte und Ansatz der Hülsen wichtig und diese sollte wie bei allen Zwischenfrüchten auch für die nachfolgende Frucht gewährleistet sein. Die benötigten Maschinen sind auf einem durchschnittlichen Ökobetrieb vorhanden.

Die Saatgutverfügbarkeit von Ackerbohnen ist unsicher.

Eine erfolgreiche Eigenproduktion des Ackerbohnen Saatguts würde sich positiv auf die Leistungs- und Kostenrechnung auswirken, sodass die Innovation auf günstigen Standorten ökonomisch rentabel sein kann.

Die Übertragbarkeit auf andere ökologische Ackerbaubetriebe ist als eher schwierig zu bewerten.







# 2

„Die Auswirkungen der organischen Düngung sind erst später, in der Folgekultur zu sehen, Silage ist allerdings teuer und arbeitsaufwändig.

Mist ist allerdings doch der bessere Dünger - wir werden zunehmend Futter-Mist-Kooperationen machen.“

*Statement Betriebsleiter*

## Betrieb 2: Kleegrastransfer

**Da die Nutzung der Klee grasbiomasse als Futter in viehlosen Betrieben nicht gefragt ist, wird das Klee gras häufig nicht geschnitten und abgefahren sondern gemulcht.**

Allerdings kann durch den Mulch und dessen Zersetzung die N-Fixierleistung des Klees reduziert werden (Helmert et al. 2003; Stinner et al. 2008) und zu höheren Lachgasemissionen führen (Helmert et al. 2004), allerdings konnte dies in anderen Studien (Brozyna et al. 2013) nicht belegt werden.

Durch ein Abfahren des Mulches und einer alternativen Nutzung können Verluste verhindert werden so dass der betriebliche Nettozuwinn an Stickstoff gesteigert werden kann (Möller 2018; Fragstein und Niemsdorff 2018).

Daher sind sinnvolle alternative Nutzungsmöglichkeiten von Futterleguminosen als mobiler Dünger für vieharme und viehlose Betriebe interessant.

Als innovative Maßnahme wurde im Rahmen des Projektes ein Betrieb untersucht der Klee gras anbaut und mit dem Aufwuchs als Frischmasse (Frühjahr) oder als Silage (Herbst) düngt. Das Klee gras (Verhältnis Leguminosen zu Gras 70:30) wird auf etwa 10 ha überjählig angebaut und zu 100 % im Betrieb verwendet.

Für die innovative Maßnahme wird Klee gras als Untersaat mittels Schneckenkornstreuer in eine bereits gesäte Hafer oder Dinkelkultur ausgebracht.

Der erste Schnitt wird Ende April durchgeführt und der Ertrag beträgt etwa 100 dt FM. Es folgt der Arbeitsvorgang Schwaden und die Bergung auf einen Ladewagen. Anschließend werden mit einem Frontlader drei Miststreuer beladen und der frische Klee gras aufwuchs wird direkt auf die nahe gelegenen Weizenschläge ausgebracht. Hierfür werden zwei bis drei Arbeitskräfte (AK) benötigt. Für die Ausbringung werden insgesamt fünf bis sechs

Stunden benötigt.

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

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

Betriebsportrait für das Jahr 2017

**Betrieb Kleegrastransfer**

**75  
ha**

**Ackerbau**

**34  
ha**

**Grünland**

**8  
GV**

**Großvieheinheiten**

**Anbau von:**

- Getreide (ca. 43,5 ha),
- Sonnenblumen (ca. 11 ha),
- Erbsen (ca. 10 ha),
- Klee gras (ca. 10 ha)
- Körnersenf (ca. 0,6 ha)
- Weidel gras (ca. 0,15 ha)

**Wie wird gedüngt?**

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

**Tierbestand**

(0,07 GV je Hektar):  
Mastputen

**Nährstoffflüsse im Jahr 2017**

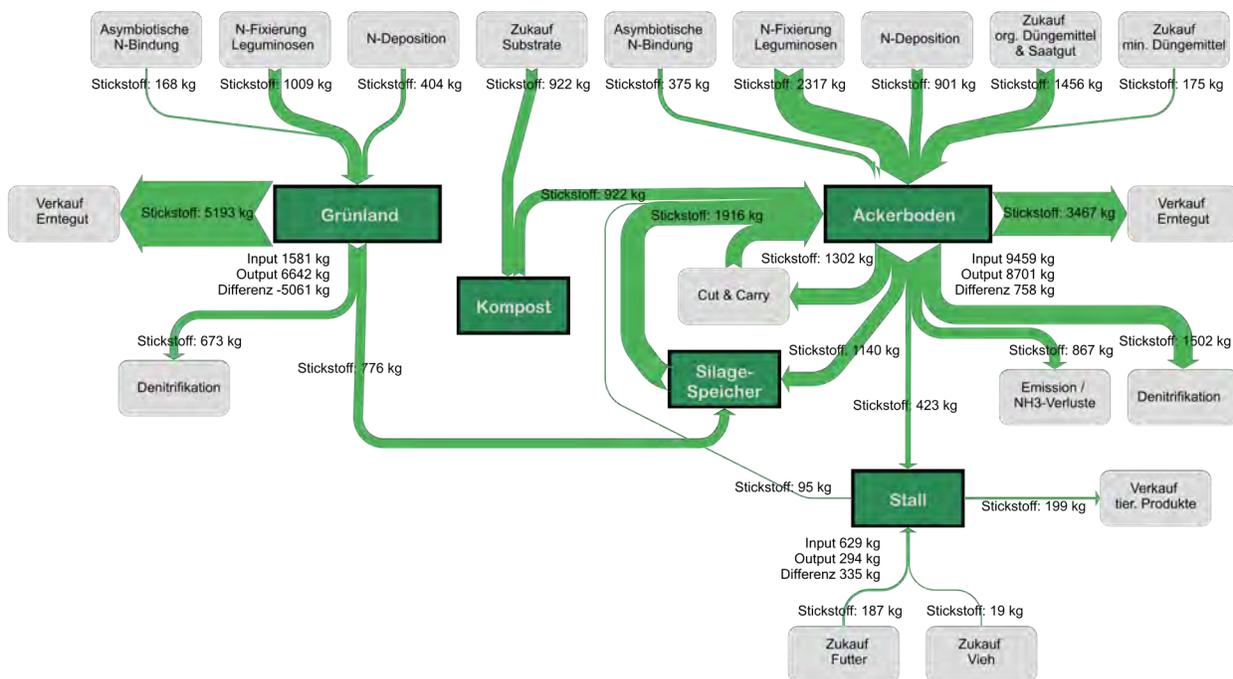


Abbildung 8: Stickstoffflüsse des Innovationsbetriebs „Kleegrastransfer“ im Jahr 2017.

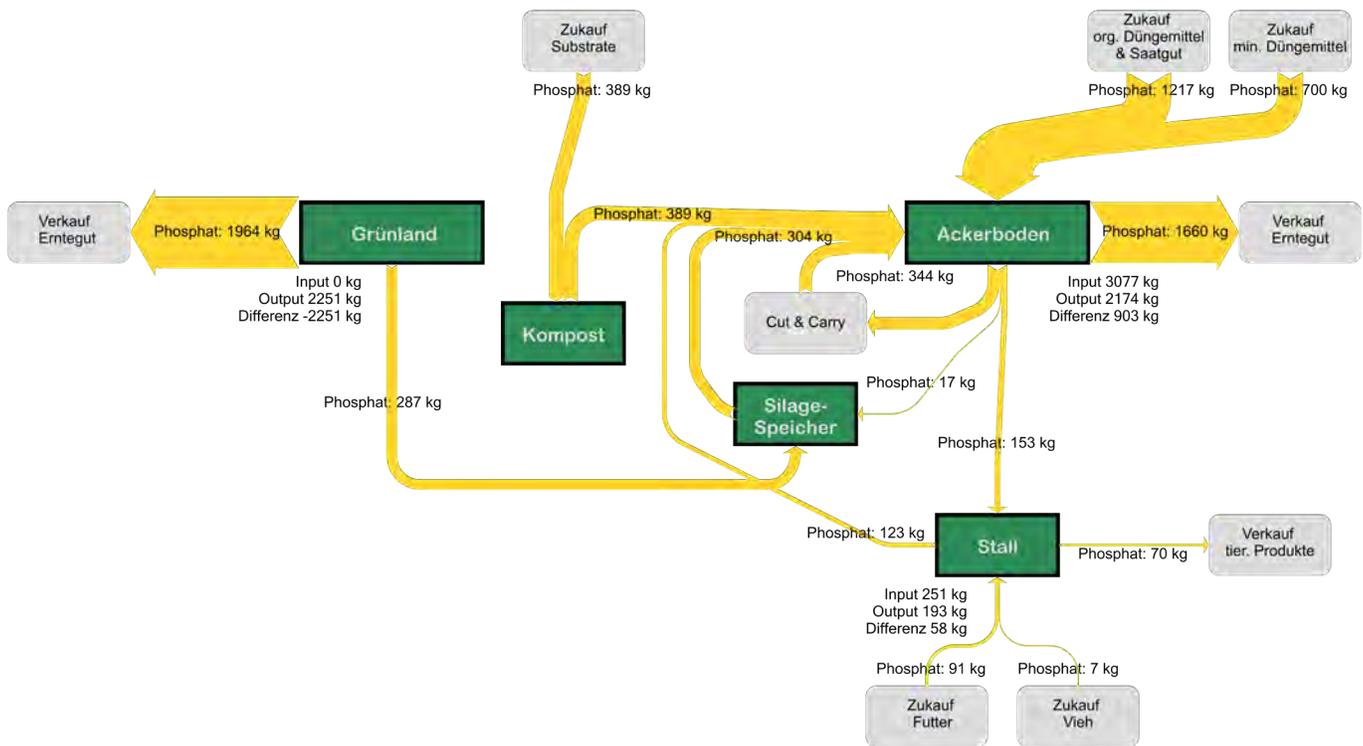


Abbildung 9: Phosphorflüsse des Innovationsbetriebs „Kleegrastransfer“ im Jahr 2017.

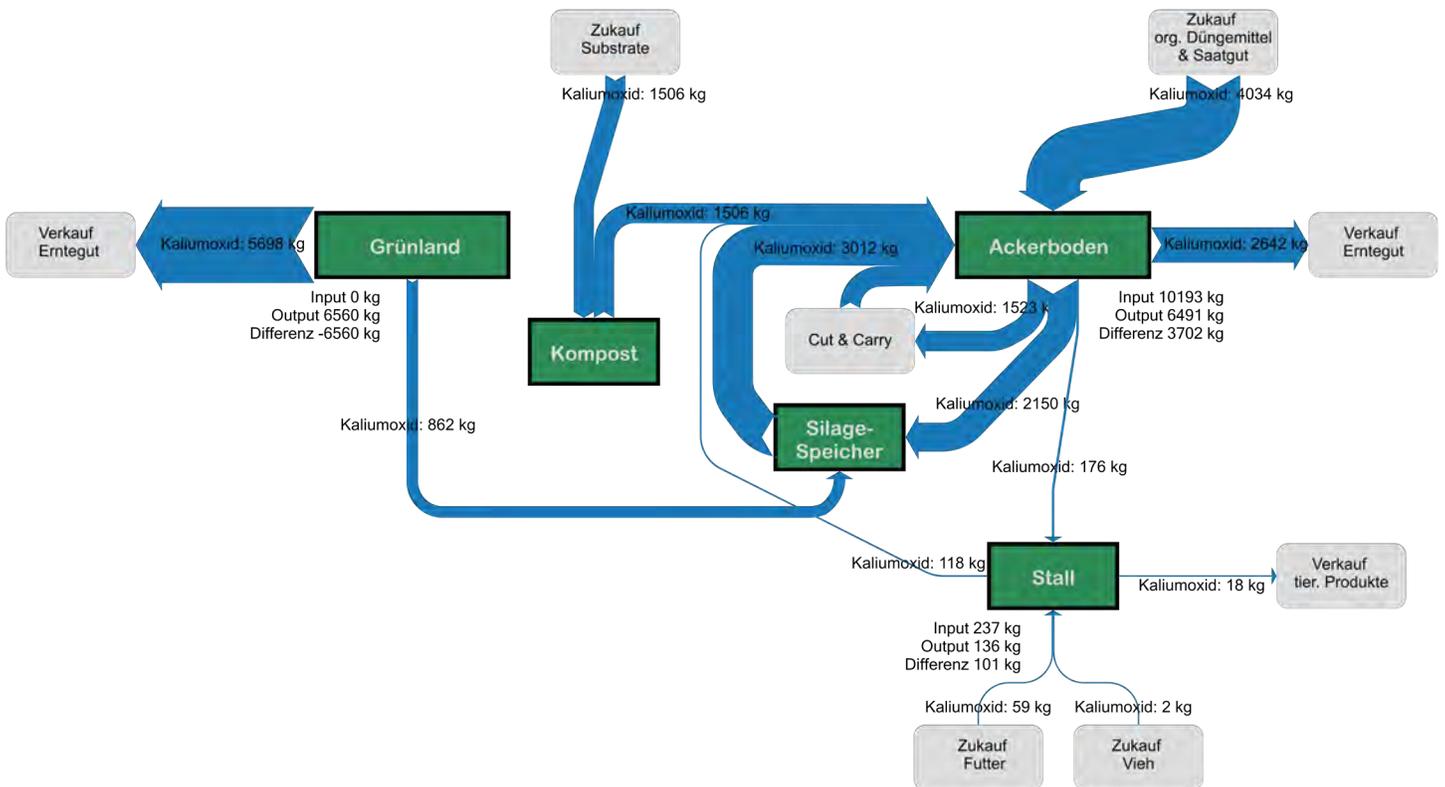


Abbildung 10: Kaliumflüsse des Innovationsbetriebs „Kleegrastransfer“ im Jahr 2017.

Die **Abbildungen 8 bis 10** zeigen die Nährstoffflüsse des Innovationsbetriebes beispielhaft für das Jahr 2017. Im Grünland gibt es rechnerisch große Nährstoffdefizite. Grund dafür ist, dass große Nährstoffmengen mit dem Erntegut abgefahren werden und das Grünland nicht gedüngt wird.

Die Stickstofffixierung der Leguminosen im Grünland beträgt nur etwa 1/5 der abgefahrenen Stickstoffmenge und kann die Abfuhr somit nicht kompensieren. Hier besteht jedoch eine hohe Datenunsicherheit, da sowohl die N-Gehalte im Erntegut als auch die N-Fixierung durch Leguminosen stark schwanken können. Gesichert ist jedoch das Defizit in Bezug auf Kalium und Phosphor. Langfristig kommt es zu einer Verarmung des Grünlandes.

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



## Hof- und Bodenbilanz

**Tabelle 7:** Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Kleegrastransfer“. Die Salden der Hof- und Bodenbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine bessere Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.

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

**Tabelle 7** zeigt die Hof- und Bodenbilanz des Innovationsbetriebes als Mittelwert aus den Jahren 2015 bis 2017. Die Hofbilanzen aller drei bilanzierten Nährstoffe sind auf diesem Betrieb stark negativ. Grund dafür ist der Verkauf eines Großteils des Ernteguts auf Seiten des Grünlands. Etwa 85 % der im Grünland-Erntegut enthaltenen Nährstoffmenge wird verkauft und lediglich 15 % über die Silage dem Ackerland zugeführt. Eine gesteigerte interne Verwendung des Grünlandaufwuchses, z.B. als Silagedünger, oder ein Import von Wirtschaftsdünger in der Größenordnung des verkauften Grünlandaufwuchses, würden die Hofbilanz verbessern.

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

## Humusbilanz

**Tabelle 8:** Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Kleegrastransfer“ nach VDLUFA.

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

**Tabelle 8** zeigt die Humusbilanz des Innovationsbetriebes nach VDLUFA. Je nach Zustand der Böden schwankt die Humusbilanz des Betriebes im Mittel der Jahre 2015 und 2017 zwischen 638 und 437 Häq/ha/a und ist damit in einem stark positiven Bereich. Ein Humusaufbau ist langfristig zu erwarten.

Im Jahr 2017 kommt es durch den großflächigen Anbau humuszehrender Kulturen wie Getreide und Sonnenblumen zu einem erheblichen Abbau organischer Bodensubstanz (-22.128 Häq/a auf mittleren Böden). Dem gegenüber steht jedoch die Zufuhr organischer Bodensubstanz durch den Anbau humusmehrender Kulturen in Form von Ackerfutter- und Körnerleguminosen sowie Winterzwischenfrüchten (10.518 Häq/a). Durch die angebauten Kulturen ergibt sich somit ein Saldo von -11.610 Häq/a, was bezogen auf die gesamte Ackerfläche von 75 ha eine Humuszehrung von -155 Häq/ha/a ergibt. Da bei vielen Kulturen jedoch Nebenprodukte auf dem Feld verbleiben, insbesondere bei den 11 ha Sonnenblumen, werden 17.959 Häq/a bzw. 239 Häq/ha/a gutgeschrieben. Durch die Düngung der Ackerflächen mit Klee gras und insbesondere den stark humusmehrenden Düngemitteln Pferdemit und Kompost kommt es zu einer Humusproduktionsleistung von 35.768 Häq/a bzw. 477 Häq/ha/a. In der gesamten Humusbilanz kommt es letztendlich zu einem Saldo von 562 Häq/ha/a auf mittleren Böden.

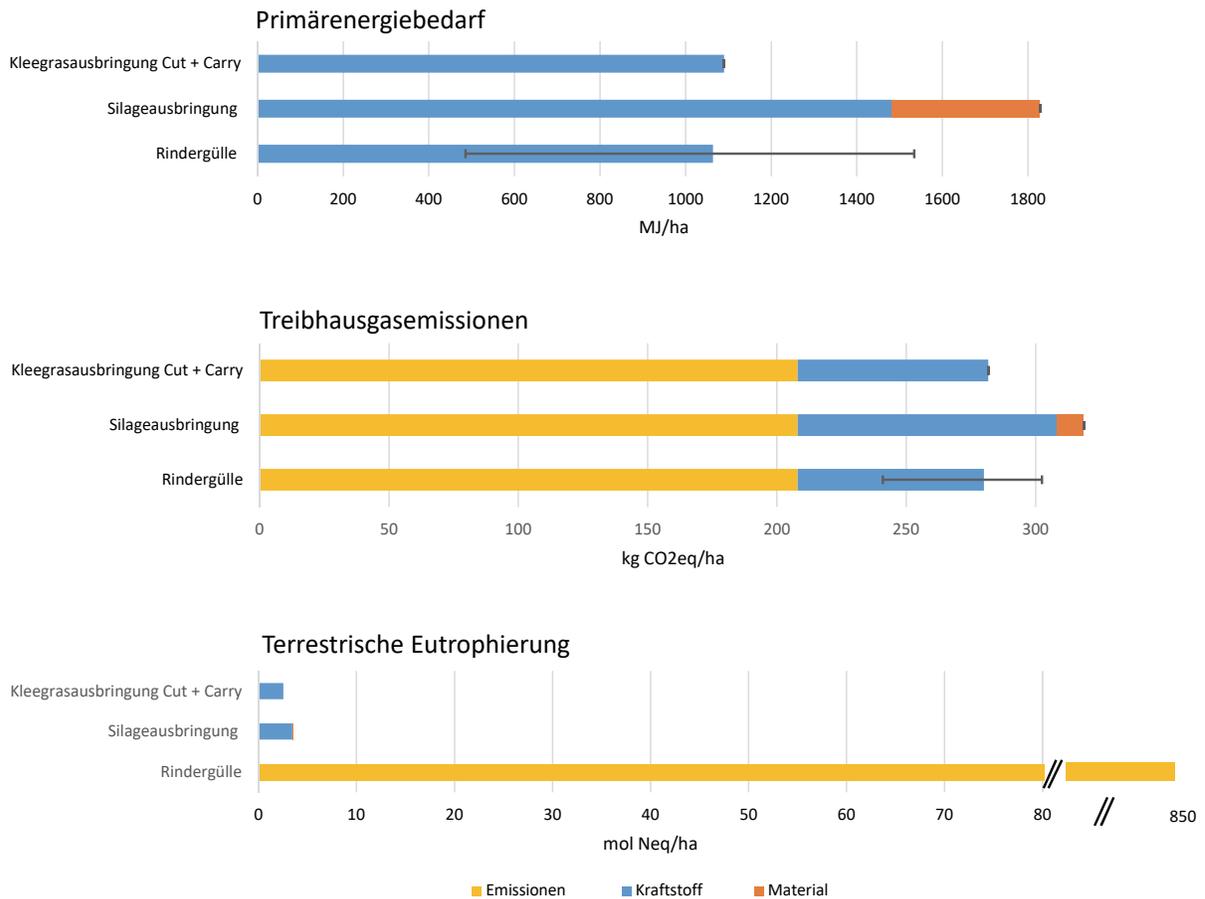
## Ökobilanz

**Abbildung 11** zeigt die Ergebnisse der Ökobilanzierung einer Düngung mit 50 kg N/ha durch Cut & Carry von Klee gras bzw. Silagedüngung im Vergleich zu einer Düngung mit Rindergülle (Referenzmethode). Bei der Referenzmethode wurden verschiedene Transportstrecken zur Anlieferung der Gülle als auch unterschiedliche Ausbringungsmethoden untersucht (siehe **Tabelle 2**) um deren Einfluss auf die Ökobilanz zu verdeutlichen. Für die Variante mit maximalen Ammoniak-Emissionen bei der Ausbringung wurde der Breitverteiler angesetzt, bei der Variante mit minimalen Emissionen die Ausbringung mit dem Güllegrubber. Als typisches Verfahren wurde die Ausbringung mit dem Schleppschlauch angesetzt.

Die Verringerung der Emissionen bei der Ausbringung von Rindergülle führt allerdings zu einer Erhöhung des Kraftstoffverbrauchs und den damit verbundenen Emissionen. In den Grafiken veranschaulichen die schwarzen Balken die Bandbreite der Ergebnisse der berechneten Varianten der Referenzmethode Rindergülle. Kleinster und größter Wert liegen teilweise weit auseinander. Rindergülle ist ein Reststoff aus der Tierhaltung und deshalb mit einer geringen Vorkette belastet. Die bei der Tierhaltung entstehenden Emissionen werden nicht der Gülle angerechnet.

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

Beim Klee grassanbau wird von einer viermaligen Nutzung durch vier Schnitte, die unterschiedlich verwendet werden, ausgegangen. Dem ersten Schnitt folgt das Kreiseln, das Schwaden und die Bergung auf einen



**Abbildung 11:** Ergebnisse der Ökobilanzierung einer Düngung mit 50 kg N/ha durch Cut & Carry Kleegras bzw. Silagedüngung im Vergleich zu einer Düngung mit Rindergülle.

Ladewagen. Mit Miststreuern wird der frische Kleegrasaufwuchs auf zu düngende Schläge ausgebracht (Cut & Carry). Der zweite Schnitt wird siliert. Dabei erfolgt nach der Mahd das Kreiseln, das Schwaden und die Ablage in ein Silo mit Festfahren und Verdichten.

Die Silage wird mit Silofolie und Schutzgitter abgedeckt. Die Ausbringung dieser Silage auf die zu düngenden Schläge erfolgt mit Miststreuern. Schnitt drei und vier werden für Cut & Carry verwendet und wurden wie Schnitt eins berechnet.

## Primärenergiebedarf

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

## Treibhauspotential

Das Treibhauspotential ist für frisches Klee gras und für Silagedüngung ähnlich der Re ferenzmethode Gölledüngung, wobei die Silagedüngung aufgrund des höheren Kraft stoff- und Materialverbrauchs etwas höher liegt. Entscheidend beim Treibhauseffekt dieser Maßnahmen sind die Lachgasemissio nen. Diese sind mit hohen Unsicherheiten be haftet. Bei den zur Berechnung verwendeten Werten handelt es sich um Faustzahlen, die tatsächlichen Werte können sich je nach vor herrschenden Bedingungen unterscheiden. Da keine Emissionsmessungen durchgeführt wurden, können keine genauen Aussagen zu den  $N_2O$ -Emissionen gemacht werden.

## Terrestrische Eutrophierung

Düngung mit frischem Klee gras und Silage düngung haben im Vergleich zur Düngung mit Rindergülle sehr geringe Auswirkungen auf die terrestrische Eutrophierung. Da bei der Ausbringung von Rindergülle hohe Ammoniak emissionen entstehen, sind selbst bei einer Ausbringung mit dem Injektionsgrubber Am moniakemissionen in Höhe von 75 mol Neq/ ha zu erwarten.

## Flächenbedarf

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

## Fazit

- Der Anbau von Klee gras trägt in diesem Innovationsbetrieb aufgrund des hohen Flächenanteils maßgeblich zur Stickstoff- und Humusbilanz des Betriebes bei.
- Die Hoftorbilanzen aller drei bilanzier ten Nährstoffe sind auf diesem Betrieb stark negativ. Grund dafür ist der Verkauf von 85 % der im Erntegut des Grünlands enthaltenen Nährstoffmengen. Die anderen 15 % werden über die Silage auf die Ackerflächen transferiert.
- Die Bodenbilanzen der Ackerflächen sind ausgeglichen (Stickstoff und Phosphor) oder stark positiv (Kalium). Dies ist auf den Import verschiedener Zukaufsdünger zurückzuführen. Besonders der Pferdemit enthält sehr viel Kalium.
- Die innerbetriebliche Nutzung von Klee gras über Cut & Carry und Silage ist eine gute Möglichkeit um Leguminosenstickstoff in den Betrieb zu bringen und ihn zu verschiedenen Zeitpunkten im Jahr auf verschiedene Flächen zu verteilen. Der Innovationsbetrieb nutzt diese Düngemethode in Kombination mit vielen anderen Düngemitteln, um positive Boden- und Humusbilanzen zu erzielen.
- Die Ökobilanz von Cut & Carry Klee gras fällt sowohl beim Primärenergiebedarf als auch beim Treibhauspotential ähnlich aus wie die Düngung mit Rindergülle aus der Region. Überregional bezogene Gülle fällt schlechter aus. Die terrestrische Eutrophierung ist bei Cut & Carry deutlich besser als beim Referenzverfahren.
- Die Ökobilanz der Silagedüngung fällt für die terrestrische Eutrophierung deutlich besser aus als das Referenzverfahren. Das Treibhauspotential liegt bei der Silagedüngung etwas höher als bei der Gölledüngung. Lediglich beim Primärenergiebedarf fällt die Silagedüngung aufgrund des Einsatzes von Silofolie und Siloschutzgitter schlechter aus als das Referenzverfahren. Würde hier anstatt der Folie und des Gitters eine Abdeckung mit Naturmaterial vorgenommen, würde dieser Wert geringer ausfallen.
- Die relativ gute Ökobilanz der Rindergölle ist darauf zurückzuführen, dass es sich um ein Nebenprodukt ohne Vorkette handelt (Aufwendungen für die Futtermittelerzeugung werden den tierischen Produkten zugerechnet, nicht dem Wirtschaftsdünger). Zu bedenken ist, dass bei einer Ausweitung des viehlosen Ackerbaus Gülle nicht in hinreichendem Ausmaß zur Verfügung steht.
- Für die Erzeugung von frischem Klee gras oder Klee grassilage wird eine erhebliche Fläche benötigt, die in der Ökobilanz vollständig der gedüngten Kultur zuzurechnen ist. Für die Düngung von 50 kg N pro Hektar mit Silage oder frischem Klee gras werden etwa 0,16 ha zusätzliche Fläche benötigt.

## Ökonomie Leistungs- und Kostenrechnung

Verglichen wird die Wirtschaftlichkeit folgender Maßnahmen:

### Innovation (V1): Kleegrastransfer (Cut & Carry)

- Der Kleegrasaufwuchs von zwei Schnitten wird frisch oder in silierter Form als Dünger auf Getreidekulturen ausgebracht.

### Alternative (V2): Futter-Mist-Kooperation

- Der Kleegrasaufwuchs von zwei Schnitten wird gegen Rindermist getauscht und dieser als Dünger auf Getreidekulturen ausgebracht.

## Ergebnis

**Tabelle 9:** Kleegrastransfer: Leistungen- und Kosten im Vergleich

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

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

Kurzfristig betrachtet ist die innovative Maßnahme V1 mit einem DB von 1.420 €/ha wirtschaftlich als rentabel zu beurteilen. Die Leistung in Form der monetären N, P, K- und Humusersatzwerte wiegt die variablen Kosten mehr als auf. Die Leistung in V2 setzt sich zusammen aus N, P, K- und Humusersatzwerte des Kleegrasanbaus und der Rindermistdüngung. Die gesamte Leistung in V2 ist mit 1.969 €/ha um 155 € höher als die Leistung der Innovation V1. Die variablen Kosten der Innovation V1 sind zudem etwas höher als in V2, sodass insgesamt ein um 178 €/ha ge-

ringerer Deckungsbeitrag berechnet wird. Die Alternative V2 ist kurzfristig betrachtet mit einem Deckungsbeitrag von 1.598 €/ha ebenfalls rentabel.

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

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

## Beurteilung/Diskussion

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

Der Betrieb ist mit Maschinen mit hoher Leistungsstärke ausgestattet, die nicht zwingend notwendig ist und die Fixkosten in dieser Berechnung erhöhen.

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

- Förderung des Bodenlebens
- verbesserter Wärme- und Wasserhaushalt in der Krume
- Unkrautunterdrückung durch Ausbringung des Kleegrasaufwuchses
- kurzfristige N-Verfügbarkeit

## Übertragbarkeit auf andere Betriebe

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

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

Klimatisch stellt der Anbau von Klee gras keine besonderen Ansprüche. Für den durchschnittlichen Ackerbaubetrieb ist die Methode des Kleegrastransfers relativ einfach zu übernehmen.

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





*„Vom Begriff Kompost müssten wir wegkommen – ich fühle mich beleidigt, wenn mein lebendiger Kompost mit dem toten Kompost aus einer großen Kompostierungsanlage gleichgesetzt wird!“*

*„Durch den Humusaufbau werden die Pflanzen „selbständiger“ – sie sind weniger anfällig und ich muss weniger eingreifen.“*

*Statement Betriebsleiter*

## Betrieb 3: Kompost eigenen Herstellung

Die Düngung mit Kompost hat vielfältige Effekte auf die Bodenfruchtbarkeit. Vor allem fördert die Düngung mit Kompost die Bodenstruktur durch Humusaufbau, da der Kompost einen hohen Anteil an stabiler organischer Substanz besitzt. Dies erhöht außerdem die Kationenaustauschkapazität des Bodens, da der organische Kohlenstoff negativ geladen ist (Bhattacharya et al. 2016).

Die Kompostausbringung erhöht zudem die Aggregatstabilität und Wasserhaltekapazität des Bodens was wiederum zu einer Reduzierung des Erosionsrisikos führt (Diacono und Montemurro 2010; Jörgensen 2018; Bhattacharya et al. 2016). Des Weiteren erhöht die Düngung mit Kompost die Aktivität der Bodenorganismen (Jörgensen 2018), denen das organische Material als Nahrung dient. Durch diesen Abbau von organischer Substanz werden zu dem Nährstoffe aus dem Kompost freigesetzt.

Auf diesem Projektbetrieb wird aus diesen Gründen seit fast 30 Jahren professio-

nell Kompost für den Eigenbedarf und zum Verkauf hergestellt. Als Ausgangssubstrate dienen Pferde- und Rindermist, Gemüseputzabfälle, Grünschnitt, Heu oder Stroh und Traubentrester. Die Anteile der im Kompost genutzten Substrate variieren je nach Jahreszeit. So fallen von den insgesamt ca. 200 m<sup>3</sup> Gemüseputzabfälle ca. 70 % im Sommer an.

Der Kompost wird auf alle Kulturen des Betriebs ausgebracht. Die Ausgangssubstrate werden zum Feldrand sowie zu einem befestigten Kompostplatz transportiert und als ca. 100m lange Mieten abgelegt. Insgesamt wird eine Menge von ca. 2.600 m<sup>3</sup> pflanzlichem oder tierischem Material sowie Erde benötigt, welches mittels Kompostierung zu insgesamt ca. 1.300m<sup>3</sup> fertigem Kompost verarbeitet wird. Eine Miete steht acht Wochen und wird intensiv nach der Methode „gelenkte Rotte“ nach Lübke kontrolliert und je nach Temperatur und Sauerstoffgehalt gewendet.



Betriebsportrait für das Jahr 2017

**Betrieb Kompost Eigene Herstellung**

**15  
ha**

**Ackerbau &  
Sonderkulturen**

**0  
ha**

**Grünland**

**0  
GV**

**Großvieheinheiten**

**Anbau von:**  
**Gemüse** (ca. 5,5 ha)  
**Spargel** (ca. 5 ha)  
**Kernobst** (ca. 3,5 ha)  
**Trauben** (ca. 0,6 ha)  
**Johannisbeeren** (0,4 ha)

Wie wird gedüngt?

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

**Tierbestand:**  
**Keine Tierhaltung**

**Nährstoffflüsse im Jahr 2017**

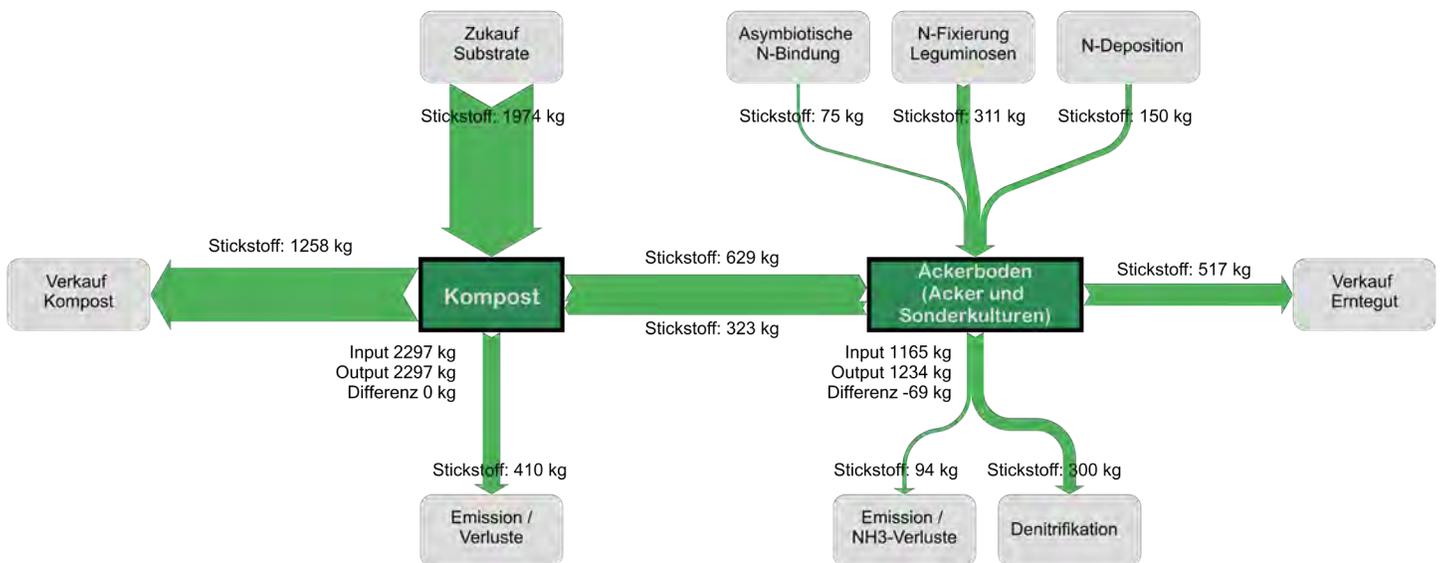


Abbildung 12: Stickstoffflüsse des Innovationsbetriebs „Kompost: Eigene Herstellung“ im Jahr 2017.

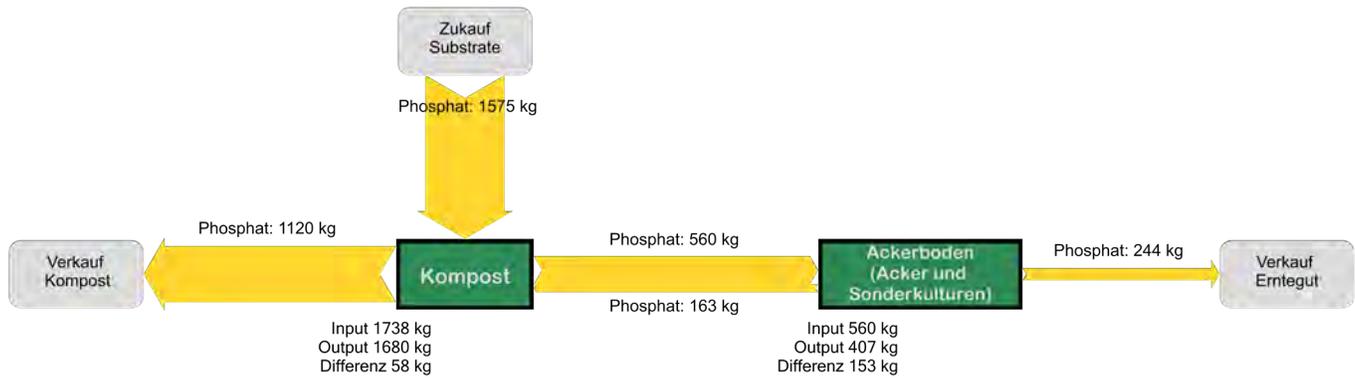


Abbildung 13: Phosphorflüsse des Innovationsbetriebs „Kompost: Eigene Herstellung“ im Jahr 2017.

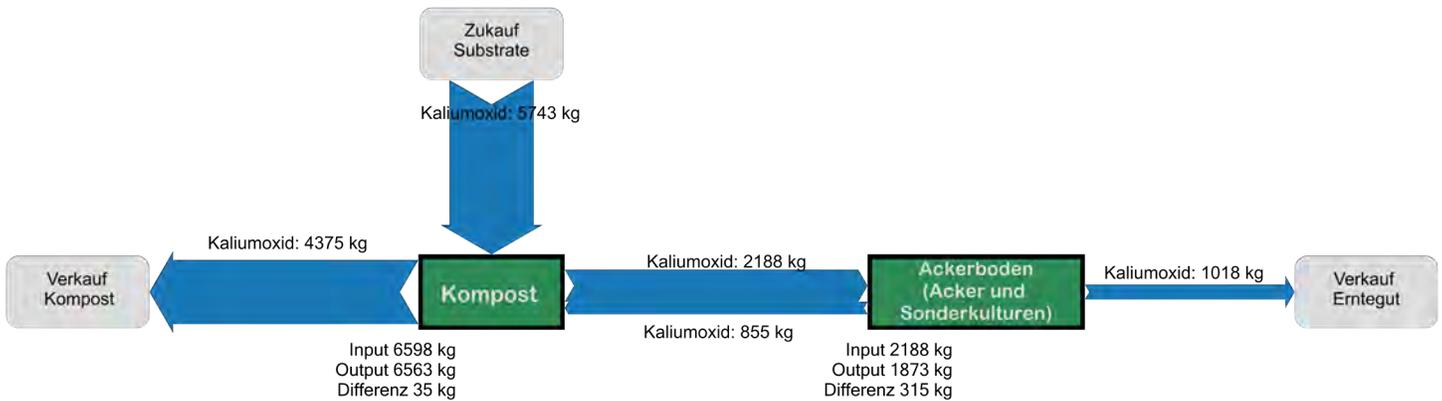


Abbildung 14: Kaliumflüsse des Innovationsbetriebs „Kompost: Eigene Herstellung“ im Jahr 2017.

## Ergebnisse

Die **Abbildungen 12 bis 14** zeigen die Nährstoffflüsse des Innovationsbetriebes für die Jahre 2015 bis 2017, da der Betrieb über diese Jahre stets dieselben Kulturen und Maßnahmen aufwies. Der auf dem Betrieb hergestellte Kompost erweist sich als Hauptumschlagplatz für Nährstoffe. Zuflüsse sind der Zukauf von äußerst nährstoffreichen Substraten wie Pferde- und Rindermist sowie Grünschnitthäcksel und Gemüseputzabfälle. Dazu kommen eigene Substrate wie die Nebenprodukte der Gemüse- und Kernobsterzeugung, die verhältnismäßig wenig Nährstoffe enthalten. Der Großteil des fertigen Kompostes wird verkauft, ein kleiner Teil geht auf die Ackerflächen. Somit „bezuschusst“ der Kompost-Betrieb den Ackerbau mit importierten Nährstoffen. Neben Stickstoffverlusten von 15 – 20 % der im zugeführten Substrat und gedüngten Kompost enthaltenen Stickstoffmenge wurden keine weiteren Nährstoffverluste vom Kompost kalkuliert. Die tatsächlichen Nährstoffverluste im Kompostierungsprozess unterliegen großen Schwankungen und können auch deutlich höher ausfallen. Durch Auswaschungsverluste können auch erhebliche Mengen Kalium dem Betrieb verloren gehen. Auf Seite des Ackerbodens gibt es neben der Kompostdüngung keine weiteren Düngemittel. Beim Stickstoff kommt noch die Stickstofffixierung der Leguminosen, einer Zwischenfrucht und einer Brauche hinzu. Ansonsten werden die Bodenbilanzen aller drei Nährstoffe maßgeblich durch die Differenz von Kompostdüngung und abgefahrenem Erntegut sowie der Nebenprodukte bestimmt.



## Hoftor- und Bodenbilanz

**Tabelle 10** zeigt die Hoftor- und Bodenbilanz des Innovationsbetriebes der Jahre 2015 bis 2017. In der Hoftorbilanz ergibt sich für alle drei bilanzierten Nährstoffe ein positiver Saldo. Dies liegt daran, dass der Betrieb besonders nährstoffreiche Substrate für die Kompostherstellung zukaufte und eine geringere Menge eines etwas weniger nährstoffreichen Kompostes verkaufte. Dadurch werden erhebliche Nährstoffmengen von außerhalb in den Betrieb gebracht. Die Stickstofffixierung durch Leguminosen trägt noch einen kleinen Teil zur positiven Hoftorbilanz bei.

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

## Humusbilanz

**Tabelle 11** zeigt die Humusbilanz des Innovationsbetriebs nach VDLUFA für die annuellen Kulturen. Für die Sonderkulturen Kernobst, Trauben und Johannisbeeren sowie Spargel liegen keine Parameter vor. Je nach Zustand der Böden schwankt die Humusbilanz des Betriebes zwischen 1.111 und 911 Häq/ha/a. Die Humusbilanz ist dadurch sehr stark positiv. Ein langfristiger Aufbau organischer Bodensubstanz ist wahrscheinlich. Langfristig sind hohe Nährstoffnachlieferungen aus der organischen Bodensubstanz zu erwarten.

In den Jahren 2015 bis 2017 ergibt sich aus den Anbau von humuszehrendem Gemüse ein Humusreproduktionsbedarf von -3.800 Häq/a auf mittleren Böden. Die Humusreproduktionsleistung der Zwischenfrucht und Brauche steht dem mit 2.310 Häq/a entgegen. Aus den berücksichtigten Kulturen ergibt sich somit ein Saldo von -1.490 Häq/a, was bezogen auf die Ackerfläche der annuellen Kulturen von 10 ha einen Humusreproduktionsbedarf von -149 Häq/ha/a ergibt. Durch die Kompostdüngung kommt es zu einer Humusreproduktionsleistung von 11.600 Häq/a bzw. 1160 Häq/ha/a. In der gesamten Humusbilanz kommt es letztendlich zu einem Saldo von 10.110 Häq/a bzw. 1.011 Häq/ha/a auf mittleren Böden.

**Tabelle 10:** Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Kompost: Eigene Herstellung“.

Die Salden der Hoftorbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine besserer Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.

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

**Tabelle 11:** Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Kompost: Eigene Herstellung“ nach VDLUFA

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

## Ökobilanz

**Abbildung 15** zeigt die Ergebnisse der Ökobilanz einer Düngung von 50 kg N/ha mit Kompost im Vergleich zu einer Düngung mit Gärresten. Eigenschaften des Ausgangsmaterials (C/N-Verhältnis, Nährstoffe, Wassergehalt, Struktur), des Verfahrenstyps (Aufbau der Miete, offene oder geschlossene Kompostierung) sowie die Behandlung während der Kompostierung (Rotteführung: Auf- und Umsetzen, Belüftung, Bewässerung) sind entscheidend für die Emissionen aus der Kompostierung.

Da diese Faktoren von Hof zu Hof aber auch innerhalb des gleichen Hofes z.B. bei unterschiedlichen Ausgangsmaterialien stark variieren, wurde bei der Ökobilanzierung des Komposts mit einem Datensatz gerechnet, der einen Mischwert aus unterschiedlichen Kompostarten und -verfahren darstellt. Berücksichtigt wurden in diesem Datensatz Garten-, Küchen- und Bioabfälle, die sowohl in Mischung als auch als Einzelkomponenten in industriellen Kompostierungsanlagen, heimischen Komposthaufen und Kompostcontainer kompostiert wurden.

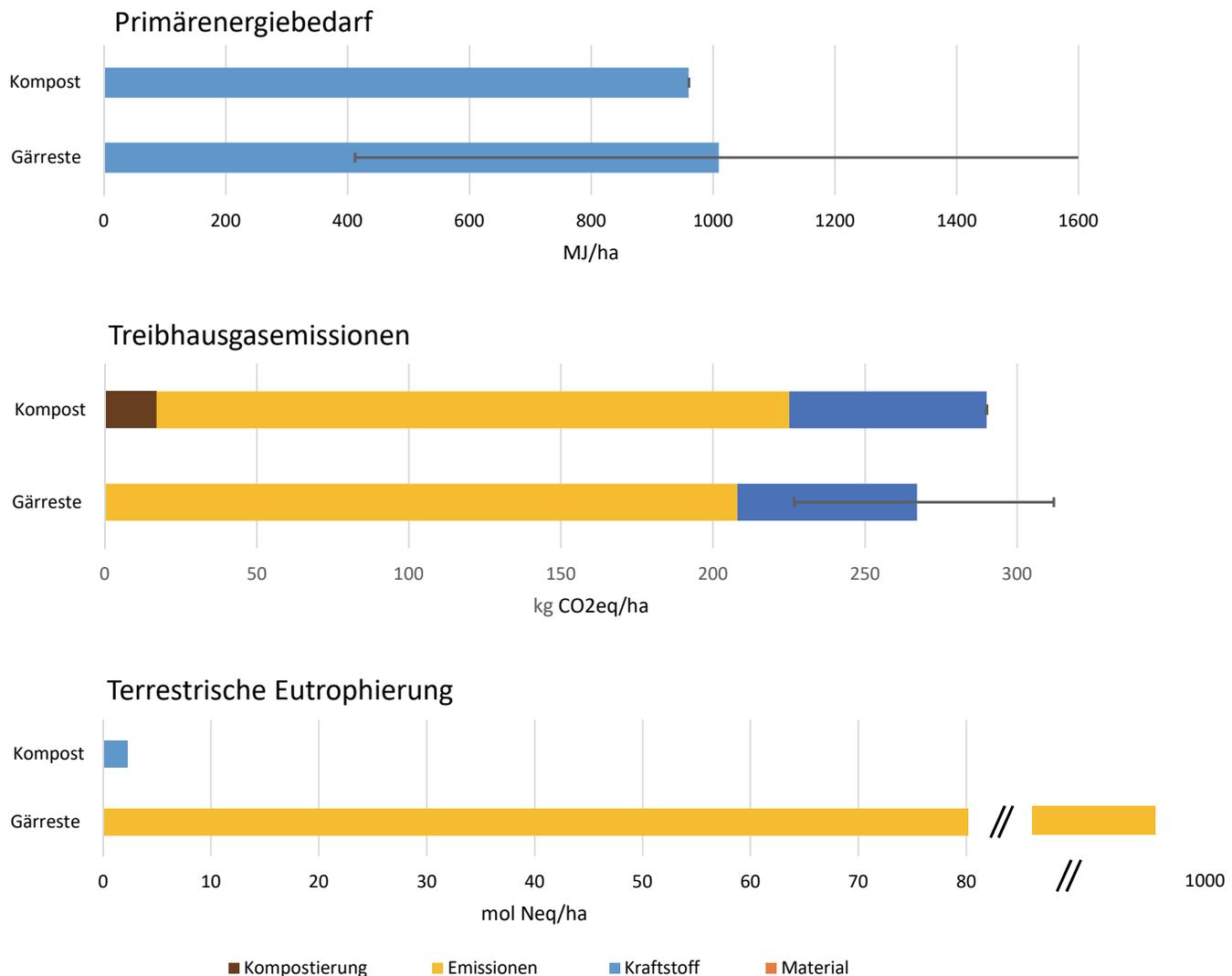
Als Referenzmethode zur internen Kompostierung wurde die Düngung mit Gärresten gewählt. Diese wurden aus einer Entfernung von 15 km mit dem Traktor zum Feld transportiert. Gärreste haben einen hohen Wassergehalt. Für eine Düngung von 50 kg N/ha werden ca. 10 t Gärreste oder lediglich 5 t Kompost gebraucht. Der Vergleich mit Gärresten wurde deshalb gewählt, weil die Vergärung eine mögliche Alternative zur Kompostierung von Gemüseabfällen darstellt.

Für die Variante mit maximalen Ammoniak-Emissionen wurde von einer Ausbringung auf Stroh bei 25°C ohne Einarbeitung ausgegangen. Die Variante mit den geringsten Ammoniak-Emissionen beinhaltet eine Einarbeitung der Gärreste und nimmt eine Temperatur von 5°C an. Die schwarzen Linien an den Balken zeigen die Unterschiede der Ergebnisse durch die verschiedenen Varianten. Die Einarbeitung der Gärreste führt durch den höheren Kraft-

stoffverbrauch zu höheren Treibhausgasemissionen und höherem Primärenergiebedarf als bei Varianten ohne Einarbeitung. Die blauen Balken in den Diagrammen bezeichnen die Emissionen bzw. dem Energiebedarf der durch den Kraftstoffverbrauch bedingt ist. Die gelben Balken bezeichnen die Emissionen bei der Ausbringung von Gärresten. Die braunen Balken spiegeln die Emissionen bei der Kompostierung wider.

## Primärenergiebedarf

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



**Abbildung 15:** Ergebnisse der Ökobilanz einer Düngung von 50 kg N/ha mit Kompost im Vergleich zu einer Düngung mit Gärresten.

## Treibhausgasemissionen

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

## Terrestrische Eutrophierung

Die Terrestrische Eutrophierung ist bei der Kompost-Düngung geringer als bei der Düngung mit Gärresten. Das liegt an den direkten Emissionen bei der Ausbringung von Gärresten. Die Höhe der direkten Emissionen können aber schwanken. Sind die Gärreste dünnflüssiger, werden sie eingearbeitet und herrschen niedrige Temperaturen, entsteht weniger Ammoniak. Bei der Ausbringung von Kompost wird von reifem Kompost ausgegangen, von welchem keine Ammoniakemissionen zu erwarten sind.

## Fazit

- In diesem Innovationsbetrieb spielt der Kompost als Hauptumschlagplatz für Nährstoffe und einziges Düngemittel die entscheidende Rolle bei den Nährstoff- und Humusbilanzen des Betriebes.
- Die Hoftorbilanzen sind allesamt positiv. Dies liegt daran, dass der Betrieb besonders nährstoffreiche Substrate für die Kompostherstellung zukaft und eine geringere Menge eines etwas weniger nährstoffreichen Kompostes verkauft. Dadurch werden erhebliche Nährstoffmengen von außerhalb in den Betrieb gebracht.
- Die Bodenbilanzen für Stickstoff und Phosphor sind ausgeglichen, da die im Erntegut abgefahrenen Nährstoffmengen durch die Kompostdüngung ausreichend kompensiert werden. Für Kalium ergibt sich eine stark positive Bodenbilanz, da der Kompost sehr reich an Kalium ist.
- Die Humusbilanz ist stark positiv. Allerdings ist zu beachten, dass die Humusbilanz nur für die annualen Kulturen berechnet wurde. Spargel, Reben, Johannisbeeren und Obstbau wurden nicht berücksichtigt, da keine Parameter vorlagen.
- Eigene Kompostherstellung mit Zukaufsubstraten ist eine gute Option, um Nährstoffe innerbetrieblich sinnvoll zu verwerten und weitere Nährstoffe von außerhalb zu importieren. Die Applikation kann zeitlich und örtlich zielgerichtet erfolgen. Der Flächenbedarf ist gering.
- Der Primärenergiebedarf und das Treibhauspotential sind bei der Düngung mit Kompost ähnlich dem der Düngung mit Gärresten, im Einzelfall hängt die Bilanz stark von den Transportentfernungen, dem Verfahrenstyp, der Rotteführung sowie der Abwärmenutzung ab.
- Die Terrestrische Eutrophierung ist bei der Kompostdüngung deutlich besser als bei der Düngung mit Gärresten, das niedrigere Ammoniakemissionen zu erwarten sind.

## Ökonomie Leistungs- und Kostenrechnung

### Kompost: Eigene Herstellung

Verglichen wird die Wirtschaftlichkeit folgender Maßnahmen:

#### Innovation (V1): Kompostherstellung und –ausbringung

- Auf dem Betrieb wird seit ca. 30 Jahren professionell Kompost hergestellt und auf alle Kulturen ausgebracht.

#### Alternative (V2): Zukauf und Ausbringung von Rindermist

- Rindermist wird zugekauft und auf alle Kulturen ausgebracht.

## Ergebnis

**Tabelle 12:** Kompost: Eigene Herstellung: Kosten und Leistungen im Vergleich.

	Innovation V1	Alternative V2	Differenz V1-V2	
Ausbringungsmenge je ha	11,33	3,36		m <sup>3</sup>
Summe Leistung	658	234	424	€/ha
Summe Direktkosten	26	10	16	€/ha
Direktkostenfreie Leistung	632	224	408	€/ha
variable Kosten	26	23	3	€/ha
Deckungsbeitrag	632	211	421	€/ha
Gesamte Maschinenkosten	125	14	110	€/ha
Fixe Lohnkosten	100	12	88	€/ha
Summe Direkt- und Arbeits- erledigungskosten	251	50	201	€/ha
Direkt- und arbeitserledi- gungskostenfreie Leistung	434	184	250	€/ha
Arbeitserledigungskosten	225	39,80	184,73	€/ha

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

Der betrachtete Betrieb ist auf die Nutzung von Kompost eingestellt und angepasst. Bei einer Gesamtmenge von 170 m<sup>3</sup> Kompost/Jahr und 15 ha Nutzfläche werden durchschnittlich 11,33 m<sup>3</sup>/ha ausgebracht. Die Ausbringungsmenge der fiktiven Alternative wird über den Stickstoffgehalt berechnet. In V1 werden 20,37 kg N/ha in Form von 11,33 m<sup>3</sup> Kompost/ha ausgebracht. In V2 wird dieselbe Menge Stickstoff in

Form von 3,36 m<sup>3</sup> Rindermist/ha ausgebracht (StoffBilV 2017).

Im innovativen Verfahren wird insgesamt eine um 424 €/ha höhere Leistung in Form von Humus- und Nährstoffersatzwerten erbracht (siehe Tabelle 12). Die DAL der beiden Maßnahmen ist positiv. Die Herstellung und Ausbringung von Kompost ist also langfristig um 250 €/ha rentabler als der Zukauf von Rindermist.

## Beurteilung/Diskussion

- Die tatsächliche Anwendung der alternativen Maßnahme ist unwahrscheinlich.
- Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit der Maßnahmen sehr unterschiedlich.
- Rindermist besitzt keinen einheitlichen Marktwert.
- Aufgrund der langjährigen professionellen Kompostherstellung wurden keine Investitionskosten berücksichtigt. Dies trägt zur Vorteilhaftigkeit der innovativen Maßnahme bei.

Folgende nicht-monetären Vorzüge der V1 (Kompostherstellung und -ausbringung) werden bei der Berechnung nicht oder nur unvollständig berücksichtigt (Diacono und Montemurro 2010):

- Förderung einer günstigen Bodenstruktur
- Förderung des Bodenlebens
- Humusaufbau

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

## Übertragbarkeit auf andere Betriebe

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

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

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





4

***„Dem Boden muss  
man Gutes tun, damit  
Gutes rauskommt!“***

*Statement Betriebsleiter*

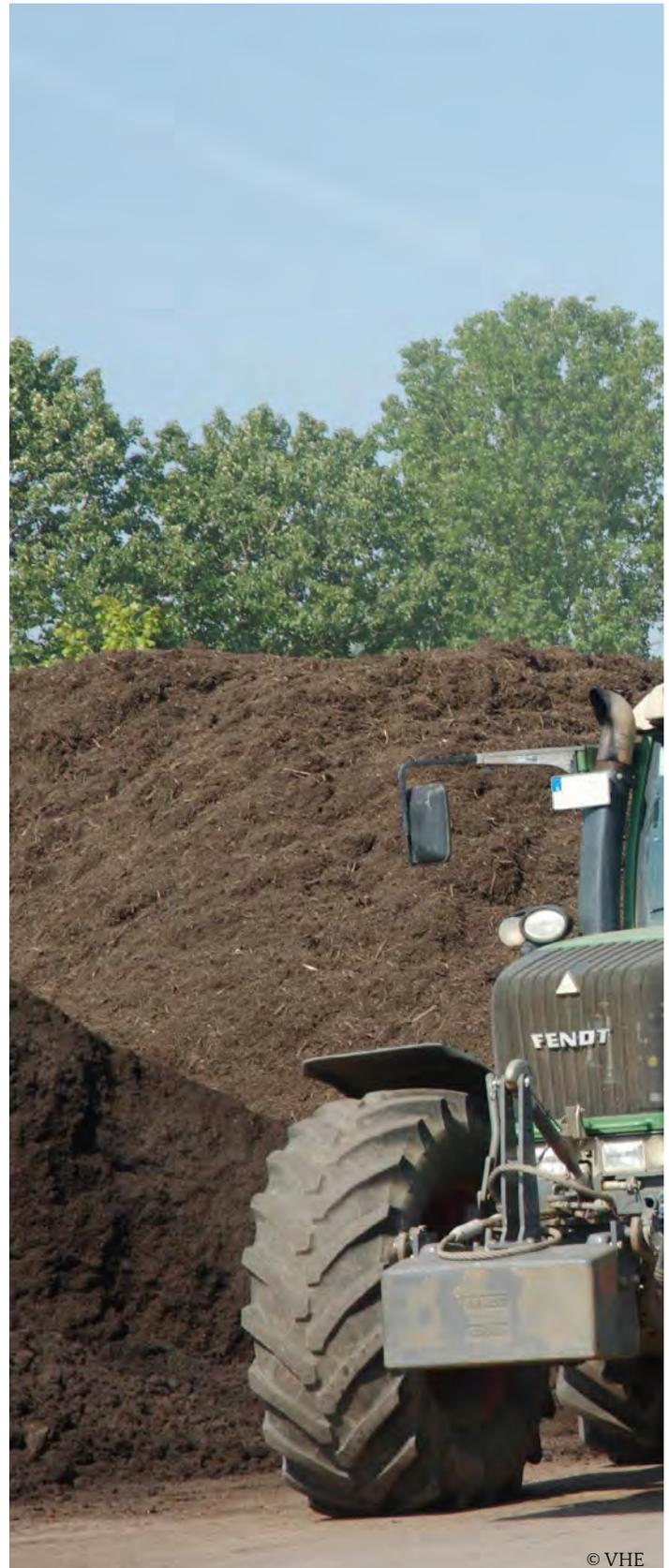
## Betrieb 4: Zukauf vom Kompostwerk

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

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

Die Luzerne wird nach der Dinkelernte vom Betriebsleiter gesät. Alle weiteren Arbeitsschritte inklusive fünfmaligem Schnitt, Ernte und Verkauf werden von einem Lohnunternehmen durchgeführt. Der Grünschnittkompost wird fertig für 11 €/t frei Feld über den Maschinenring gekauft.

Die Hauptmenge des Komposts wird im Herbst vor der Aussaat des Winterweizens und des Dinkels ausgebracht und durch die anschließende Bodenbearbeitung eingearbeitet.



Betriebsportrait für das Jahr 2017

Betrieb Kompost Zukauf vom Kompostwerk

**28  
ha**

**Ackerbau**

**5  
ha**

**Grünland**

**5  
GV**

**Großvieheinheiten**

**Anbau von:**  
**Getreide** (ca. 12,5 ha)  
**Luzeerne** (ca. 10,5 ha)  
**Ackerbohne** (ca. 5 ha)

**Wie wird gedüngt?**

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

**Tierbestand**  
 (0,15 GV je Hektar):  
 Rinder

Nährstoffflüsse im Jahr 2017

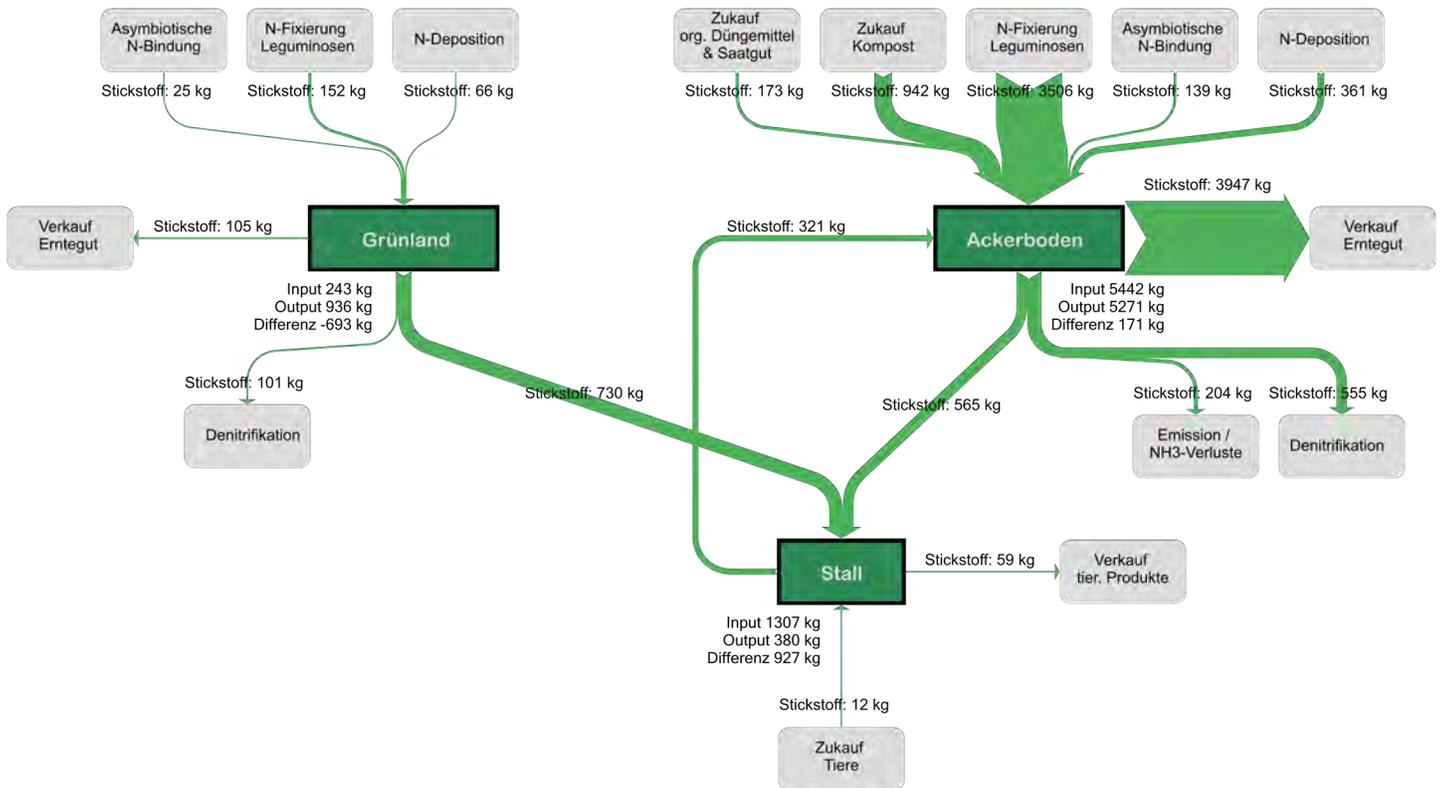


Abbildung 16: Stickstoffflüsse des Innovationsbetriebs „Kompost: Zukauf vom Kompostwerk“ im Jahr 2017.

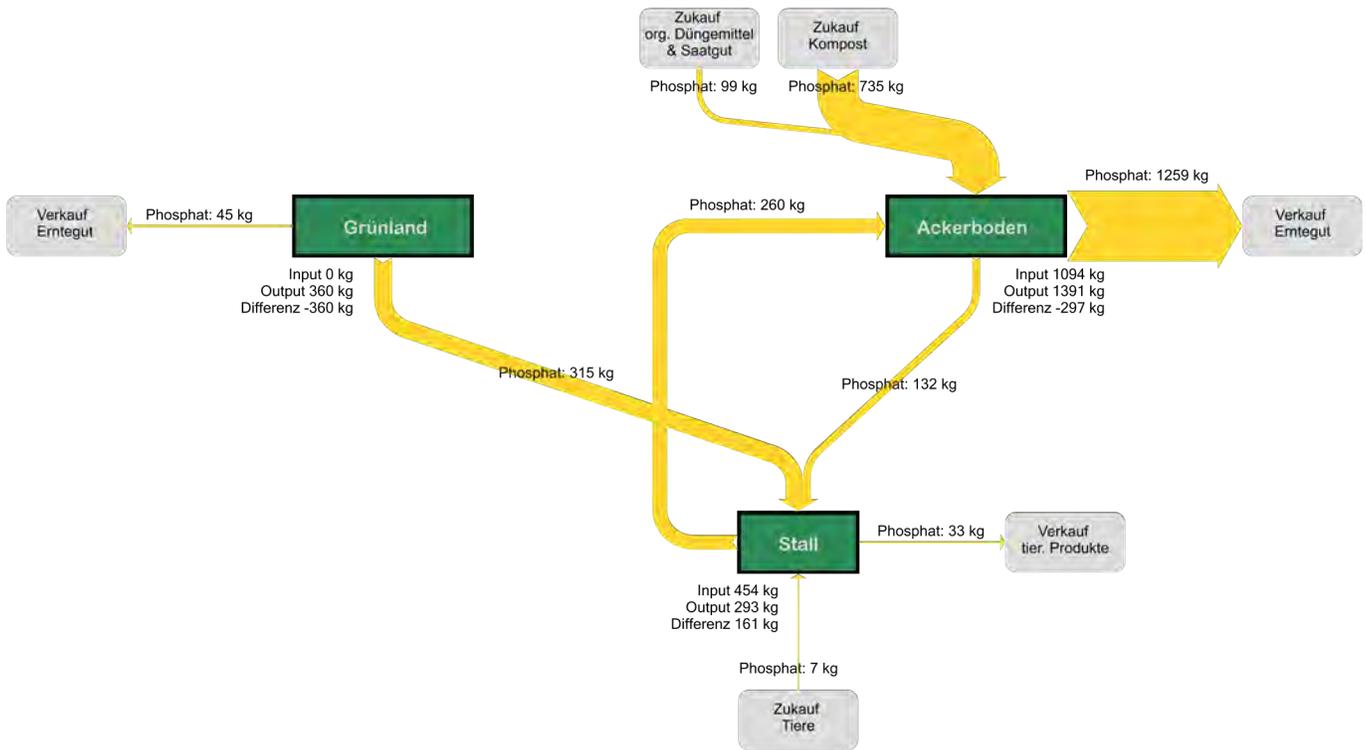


Abbildung 17: **Phosphorflüsse** des Innovationsbetriebs „Kompost: Zukauf vom Kompostwerk“ im Jahr 2017.

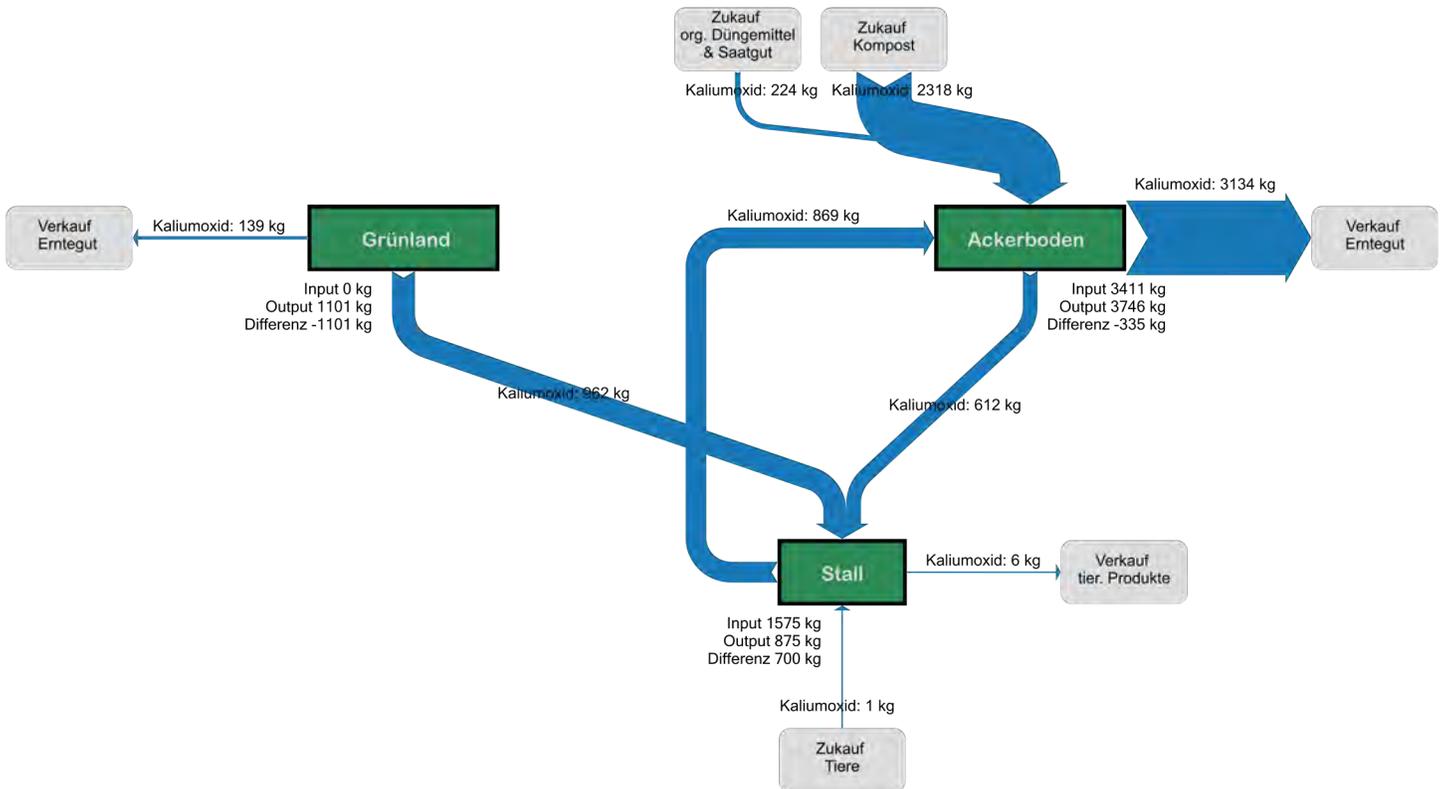
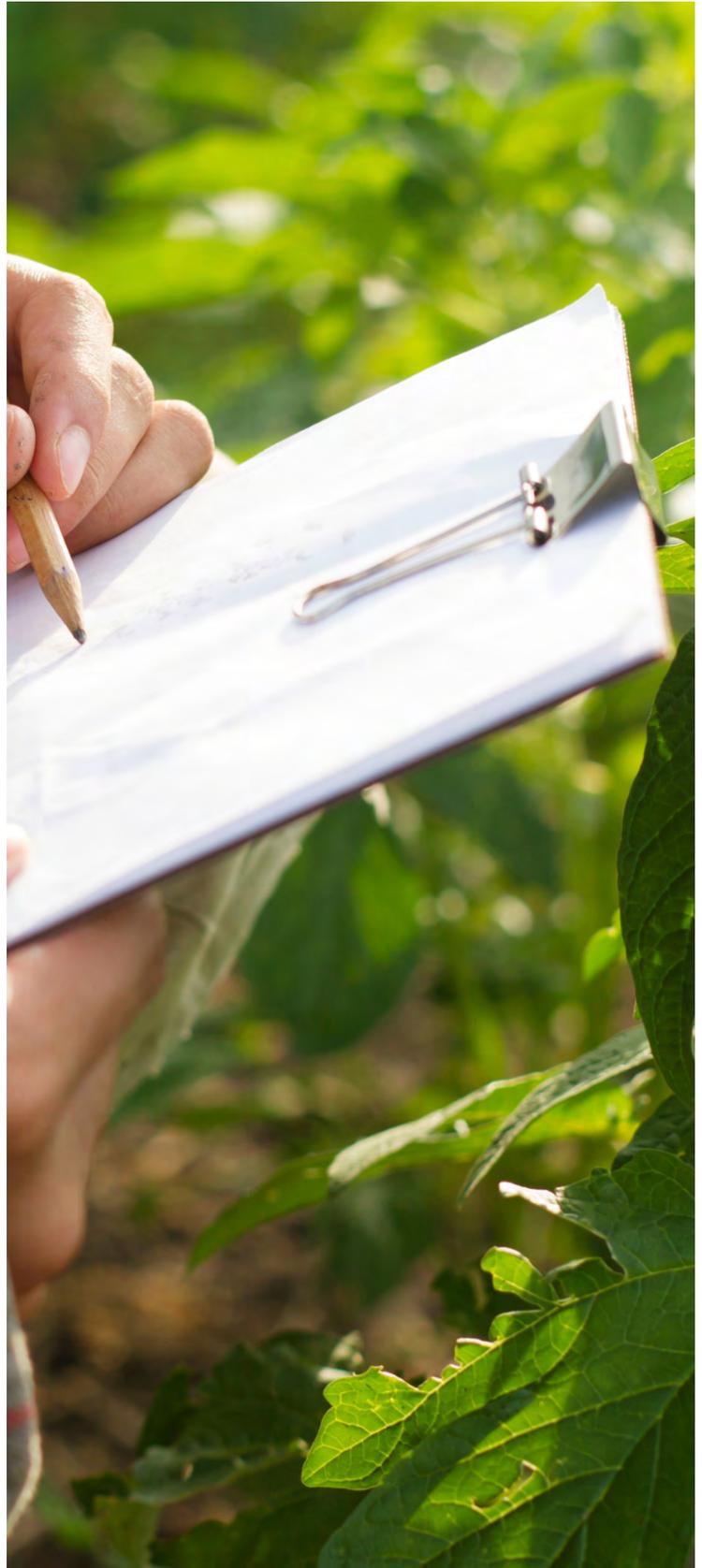


Abbildung 18: **Kaliumflüsse** des Innovationsbetriebs „Kompost: Zukauf vom Kompostwerk“ im Jahr 2017.

## Ergebnisse

Die **Abbildungen 16 bis 18** zeigen die Nährstoffflüsse des Innovationsbetriebes beispielhaft für das Jahr 2017. Auf dem Grünland gibt es rechnerisch Nährstoffdefizite, da die Abfuhr des Ernteguts nicht durch Düngung ausgeglichen wird. Eine langfristige Verarmung der Grünlandflächen wäre die Folge. Der Großteil der im Erntegut des Grünlands enthaltenen Nährstoffe wird über den Stall auf die Ackerflächen transferiert. Der Stall hat in dieser Berechnung stark positive Bilanzen. Wahrscheinlich handelt es sich dabei jedoch nicht um Verluste von Nährstoffen, sondern um unter- oder überschätzte Mengenangaben. Vermutlich wurde die Menge an Rindermist und Gülle zur Düngung der Ackerflächen um den Differenzbetrag unterschätzt.

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



## Hof- und Bodenbilanz

**Tabelle 13** zeigt die Hof- und Bodenbilanz des Innovationsbetriebes als Mittelwert aus den Jahren 2015 bis 2017. Die Hofbilanz des Innovationsbetriebes erreicht im Mittel der Jahre 2015 bis 2017 einen leicht positiven Saldo für Stickstoff und Phosphor, einen negativen für Kalium. Durch den hohen Export von Nährstoffen mit dem Erntegut, insbesondere über die nährstoffreiche Luzerne, ist eine ausreichende Nachlieferung durch Düngung wichtig.

Auffällig ist, dass die Hofbilanz über die Jahre hinweg extrem variiert, da die Nährstoffgehalte im zugekauften Kompost stark schwanken. Die Betriebsleitung sollte die Nährstoffgehalte des Kompostes gut im Auge behalten und etwaige Defizite, insbesondere für Phosphor und Kalium, durch alternative Nährstoffquellen ausgleichen.

Eine verstärkte interne Nutzung der Luzerne oder ein größerer Import von Stallmist würde zur Entlastung der Nährstoffbilanzen beitragen.

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

**Tabelle 13:** Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Kompost: Zukauf vom Kompostwerk“. Die Salden der Hofbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine besserer Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.

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

## Humusbilanz

**Tabelle 14:** Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Kompost: Zukauf vom Kompostwerk“ nach VDLUFA.

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



**Tabelle 14** zeigt die Humusbilanz des Innovationsbetriebs nach VDLUFA. Je nach Zustand der Böden schwankt die Humusbilanz des Betriebes im Mittel der Jahre 2015 und 2017 zwischen 1.413 und 1.305 Häq/ha/a. Die Humusbilanz ist dadurch sehr stark positiv. Eine langfristige Erhöhung des Humusgehalts ist zu erwarten. Bei langfristig gleichbleibender Bewirtschaftung ist mit einer starken Nährstoffnachlieferung aus der organischen Bodensubstanz zu rechnen.

Im Jahr 2017 kommt es durch den humuszehrenden Anbau von Getreide zu einem Humusreproduktionsbedarf von -4.960 Häq/a auf mittleren Böden. Dem gegenüber steht eine Humusreproduktionsleistung von 8.930 Häq/a durch den Anbau humusmehrender Ackerfutter- und Körnerleguminosen, insbesondere verursacht durch die Luzerne. Durch die angebauten Kulturen ergibt sich somit ein Saldo von 3.970 Häq/a, was bezogen auf die gesamte Ackerfläche von 28 ha eine Humusreproduktionsleistung von 142 Häq/ha/a ergibt. Weitere Humusreproduktionsleistungen entstehen durch auf dem Feld verbleibendes Getreidestroh (4.278 Häq/a bzw. 153 Häq/ha/a) und die organische Düngung mit Stallmist und Kompost (28.169 Häq/a bzw. 1006 Häq/ha/a). Beim Kompost entstehen durch die Verwendung von Richtwerten beim Feuchte- und Kohlenstoffgehalt jedoch erhebliche Unsicherheiten.



## Ökobilanz

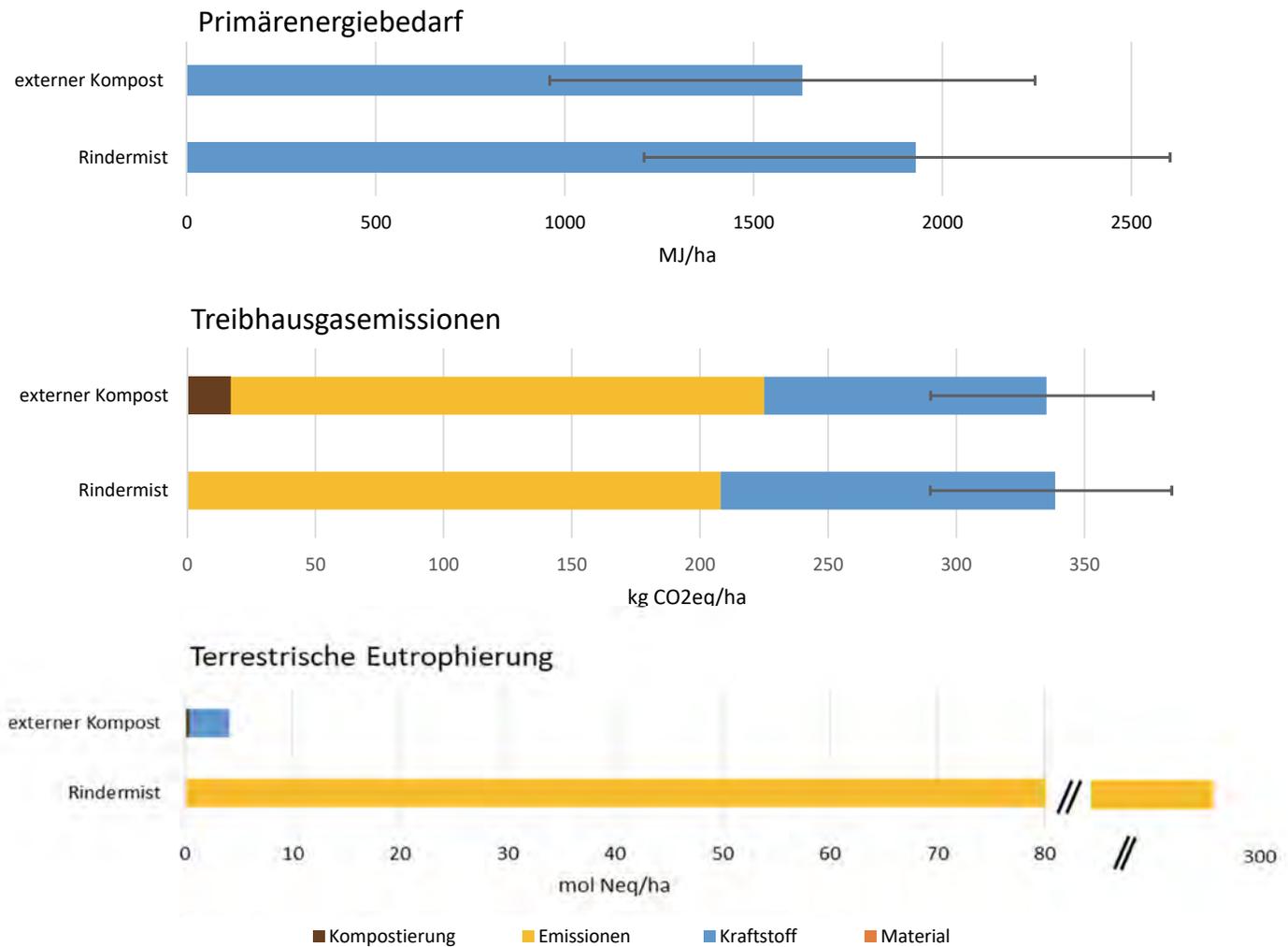
**Abbildung 19** (nächste Seite) zeigt die Ergebnisse der Ökobilanz einer Düngung von 50 kg N/ha mit Kompost im Vergleich zu einer Düngung mit Rindermist. Die Ökobilanz bezieht sich anders als die Nährstoffbilanzen nur auf die innovative Methode des Betriebes, nicht auf den Gesamtbetrieb. Diese wird mit alternativen Möglichkeiten der Düngung verglichen. Beim Kompostierungsprozess entstehen neben anderen Emissionen auch Gase, welche klimarelevant sind (Treibhausgase) und welche, die zu terrestrischer Eutrophierung führen (Ammoniak). Die Menge der bei der Kompostierung entstehenden Emissionen hängt von unterschiedlichen Faktoren ab:

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

Das bedeutet, dass die Menge und Art der Emissionen bei der Kompostierung sehr unterschiedlich sein können. In der vorliegenden Berechnung für externen Kompost wurde ein Datensatz verwendet, der aus einer Mischung unterschiedlicher Verfahren und Materialien berechnet wurde. Berücksichtigt wurden in diesem Datensatz Garten-, Küchen- und Bioabfälle, die sowohl in Mischung als auch als Einzelkomponenten in industriellen Kompostierungsanlagen, heimischen Komposthaufen und Kompostcontainern kompostiert wurden. Die tatsächlichen Werte können demnach variieren. CO<sub>2</sub>-Emissionen, die bei der Kom-

postierung entstehen (mikrobieller Abbau der organischen Substanz) werden bei der Bilanzierung nicht berücksichtigt, da nur so viel CO<sub>2</sub> entsteht, wie zuvor beim Aufwuchs der Substanzen aus der Luft gezogen wurde. Sie sind also nicht fossilen Ursprungs. Für die Ökobilanzierung relevante CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen beim Transport und Bearbeitung des Komposts.

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



**Abbildung 19:** Ergebnisse der Ökobilanz einer Düngung von 50 kg N/ha mit externem Kompost im Vergleich zu einer Düngung mit Rindermist.

## Primärenergiebedarf

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

## Treibhausgasemissionen

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

## Terrestrische Eutrophierung

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

## Fazit

- Der Zukauf von Kompost hat einen starken Einfluss auf die Nährstoff- und Humusbilanzen des Betriebes.
- Die Hoftorbilanzen des Betriebes sind im Mittel der Jahre annähernd ausgeglichen. Über den Verkauf des Ernteguts der Ackerflächen, insbesondere über die nährstoffreiche Luzerne, werden verhältnismäßig große Mengen an Nährstoffen exportiert. Daher ist eine ausreichende Düngung der Ackerflächen wichtig. Die Nährstoffgehalte des zugekauften Kompostes schwanken jedoch von Jahr zu Jahr stark. Die Betriebsleitung sollte die Nährstoffgehalte des Kompostes gut im Auge behalten und etwaige Defizite, insbesondere für Phosphor und Kalium, durch alternative Nährstoffquellen ausgleichen.
- Typisch für tierhaltende Betriebe ist, dass über den Stallmist Nährstoffe vom Grünland auf die Ackerflächen übertragen werden. Dadurch fällt die Bodenbilanz der Ackerflächen in Bezug auf Phosphor und Kalium etwas besser aus als die Hoftorbilanz.
- Zukauf von Fertigungskompost ist eine gute Option, Nährstoffe und organische Substanz zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit zu importieren. Die Nährstoffgehalte können jedoch erheblich schwanken und sollten stets überwacht werden.
- Die Ökobilanz der Düngung mit Kompost fällt im Vergleich zu einer Düngung mit Rindermist in allen drei berechneten Wirkungskategorien besser aus. Zu bedenken ist jedoch, dass die Ökobilanz der Kompostierung in der Praxis je nach Kompostierungsverfahren und eingesetzten Substraten sehr stark schwanken kann. Die Ökobilanz fällt vor allem deswegen besser aus, weil weniger Ammoniak entsteht (N-ärmere Substrate!) und weil eine professionelle Kompostierung Emissionen reduzieren kann.

## Ökonomie Leistungs- und Kostenrechnung

Verglichen werden:

**Innovation (V1):** Luzerneanbau, -verkauf und Kompostzukauf

- Ein Teil des Luzerneanbaus wird an ein Lohnunternehmen ausgelagert, der Luzerneaufwuchs wird vollständig verkauft und dafür Kompost zugekauft und ausgebracht.

**Alternative (V2):** Luzerneanbau und Luzernetransfer (auch Cut & Carry)

- Der Luzerneaufwuchs von zwei Schnitten wird frisch oder in silierter Form als Dünger auf andere Kulturen ausgebracht.

**Tabelle 15:** Kompost: Zukauf vom Kompostwerk: Leistungen und Kosten im Vergleich.

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

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

Bei der Alternative handelt es sich um ein Verfahren, das mit der Kultur Klee gras in einem weiteren Projektbetrieb durchgeführt wird und das vom Betriebsleiter als priorisierte Alternative angegeben wurde. Da für diese Innovation keine allgemein gültigen Daten bzw. standardmäßig durchgeführte Verfahren vorliegen, wurde auf die Daten des Partner-Projektbetriebs zurückgegriffen (siehe 2.2).

In der vorliegenden Betrachtung ist die bereits durchgeführte Innovation kurz- als auch langfristig weniger rentabel als die Alternative (Differenz DB: 1.521 €/ha). Die bedeutend höhere Zufuhr an Nährstoffen und Humus-C durch das Cut & Carry - Verfahren (Alternative V2) gegenüber der V1 sind ausschlaggebend für den positiven Deckungsbeitrag.

Obwohl bei der Alternative V2 kein direkter Erlös erwirtschaftet wird, wird durch die Berücksichtigung der Nährstoff- und Humuserstattleistungen ein Deckungsbeitrag von 1.887 €/ha berechnet (Tabelle 15).

## Beurteilung/Diskussion

Die Masse an zugeführtem organischem Material in V1 ist mit 4,5 t Kompost/ha viel geringer als in V2 mit insgesamt 25 t Luzerneaufwuchs als Frischmasse bzw. Silage. Umgerechnet in Trockenmasse stehen den 2,88 t Kompost insgesamt 6,5 t Luzerneaufwuchs gegenüber.

Die Humus- und Nährstoffzufuhr durch den Kompost kann die Abfuhr der Nährstoffe und des Humus-C im Luzerneaufwuchs nicht aufwiegen. Es besteht theoretisch die Möglichkeit, durch einen erhöhten Zukauf von Kompost ebenso viel Trockenmasse wie durch den Luzerneanbau zuzuführen.

Die langsame N-Verfügbarkeit des Komposts ist eine Herausforderung und das Risiko von v.a. kurzfristigen Ertragseinbußen muss berücksichtigt werden.

Die nicht-monetären Vorzüge der Innovation (Luzerneanbau, -verkauf und Kompostzukauf)

sind u.a. nach Einschätzung des Betriebsleiters zu sehen in:

- Höhere Humusreproduktionsleistung je t Frischmasse
- Förderung der Bodengesundheit
- Förderung des Bodenlebens
- Entzerrung von Arbeitsspitzen

## Übertragbarkeit auf andere Betriebe

Die Verfügbarkeit des günstigen Grünschnittkomposts und die Möglichkeit der Auslagerung eines Großteils des Luzerneanbaus an ein Lohnunternehmen, mit einem Erlös von 500 €/ha sind gute Voraussetzungen für das innovative Verfahren. Eine Erweiterung des Kompostzukaufs um auf die gleiche Menge an Trockenmasse zu kommen wie in der Alternative ist möglich und für den vorliegenden Betrieb kostengünstig zu realisieren.

Die Verfügbarkeit eines Kompostwerkes in geringer Entfernung zum Betrieb ist von Bedeutung, um den Kostenpunkt des Transports gering zu halten. Von kritischer Bedeutung ist die Qualität des Komposts und der Verrotungsgrad. Die Möglichkeit der Auslagerung des Luzerneanbaus in Verbindung mit der gesicherten und wirtschaftlich vorteilhaften Abnahme des Aufwuchses ist unverzichtbar für die Rentabilität des Verfahrens. Technisch und klimatisch gibt es keine besonderen Anforderungen an die Durchführung der Innovation und die benötigten Maschinen sind im Maschinenpark eines durchschnittlichen Ackerbaubetriebs vorhanden.



**„Ich wollte Entwicklungshelfer werden, um gegen den Welthunger etwas zu machen – aber ich habe gesehen, dass wir auch hier etwas für die Bodenfruchtbarkeit tun müssen.“**

*Statement Betriebsleiter*

## Betrieb 5: Zwischenfrüchte mit Rottelenkung durch Fermente

Die Flächenrotte und der Anbau von Zwischenfrüchten sind generell als positiv für das Bodenleben und den Humusaufbau zu werten. Zwischenfrüchte reduzieren durch den Aufwuchs im Herbst eine N-Auswaschung über den Winter und können zusätzlich Stickstoff binden, sofern Leguminosen als Zwischenfrucht angebaut werden. Außerdem schützen sie vor Erosion und fördern durch ihre Biomasse, die oft auf dem Feld verbleibt, die Humusbildung.

Ob die Mikroorganismen in den Fermenten die Zersetzungsprozesse fördern, ist momentan jedoch nicht eindeutig wissenschaftlich belegt. Der Einfluss des Substrats (Kompost, Molasse) scheint eine größere Rolle zu spielen als die Mikroorganismen.

Der Projektbetrieb führt die Innovation folgenderweise durch:

Ein Zwischenfruchtgemenge (Biodiversitätsmischung mit Kreuzblütlern, Leguminosen und Gräsern) wird 3-4 cm flach eingefräst.

Im Vorderanbau wird eine Spritze angebracht, mit der das Ferment auf den Boden ausgebracht wird (ca. 100 l ha<sup>-1</sup>), im gleichen Arbeitsgang wird das Ferment mit der im Heck angebrachten Fräse (Celli Fräse) eingearbeitet. Die Fräse läuft mit mindestens 300 Umdrehungen pro Minute. Das schnelle Rotieren und die flache Einarbeitung sind wichtig für eine feine Bodenstruktur, die für eine schnelle Zersetzung der Biomasse der Zwischenfrucht vorteilhaft ist.

Das Ferment wird auf dem eigenen Betrieb hergestellt und besteht aus einem zugekauften Ausgangsprodukt, in dem verschiedene Mikroorganismen enthalten sind und das mit Wasser, Melasse, Meersalz und Kräutern vom eigenen Betrieb versetzt wird.

Der Einsatz des Ferments soll die Aktivität des Bodenlebens stimulieren und so die Zersetzung des Pflanzenmaterials beschleunigen. Die Biomasse der Zwischenfrucht dient als „Futter“ für die Bodenlebewesen und soll die Bodenfruchtbarkeit fördern und den Humusanteil erhöhen. Nach 10 Tagen Flächenrotte kommt der Grubber zum Einsatz (8-10 cm tief), um ggfs. Durchwuchs aus dem ersten Arbeitsgang einzuarbeiten. Danach wird ausgesät.



Betriebsportrait für das Jahr 2017

## Betrieb Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment

**156 ha**

**Ackerbau**

**20 ha**

**Grünland**

**38 GV**

**Großvieheinheiten**

**Anbau von:**

- Getreide (ca. 113 ha)
- Kleegrass (ca. 11,5 ha)
- Ackerbohne (ca. 8,5 ha)
- Zuckerrüben (ca. 2,3 ha)
- Gemüse (ca. 0,05 ha)

**Wie wird gedüngt?**

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

**Tierbestand**

(0,22 GV je Hektar):  
Mutterkühe und Nachzucht, Schafe, Legehennen

### Nährstoffflüsse im Jahr 2017

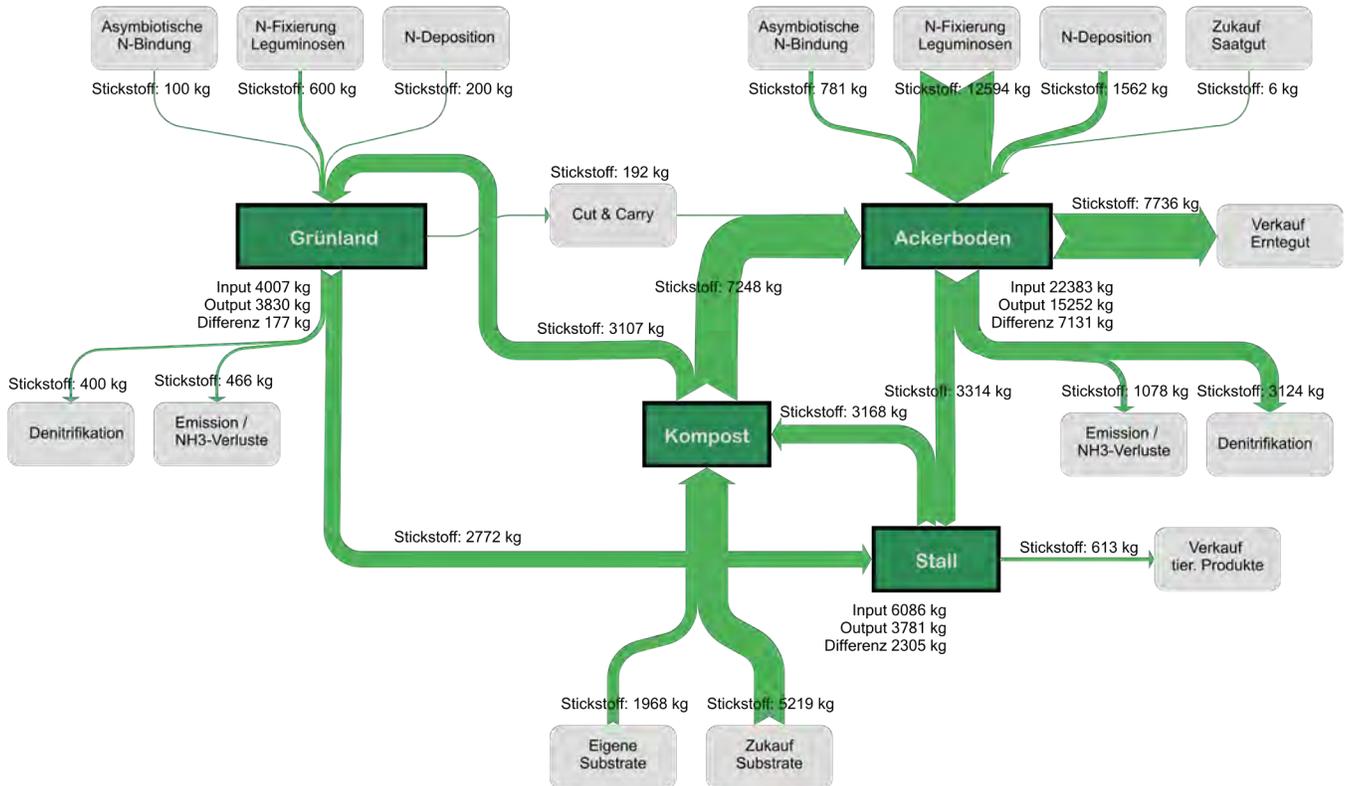


Abbildung 20: Stickstoffflüsse des Innovationsbetriebs „Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment“ im Jahr 2017.

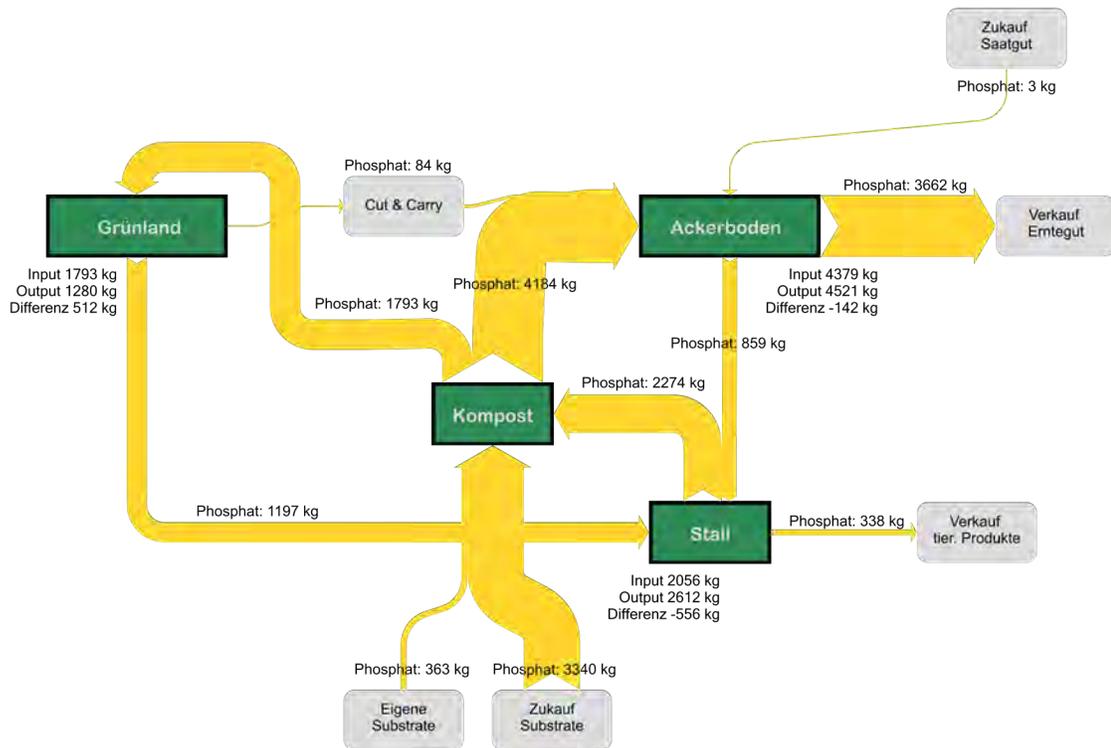


Abbildung 21: Phosphorflüsse des Innovationsbetriebs „Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment“ im Jahr 2017.

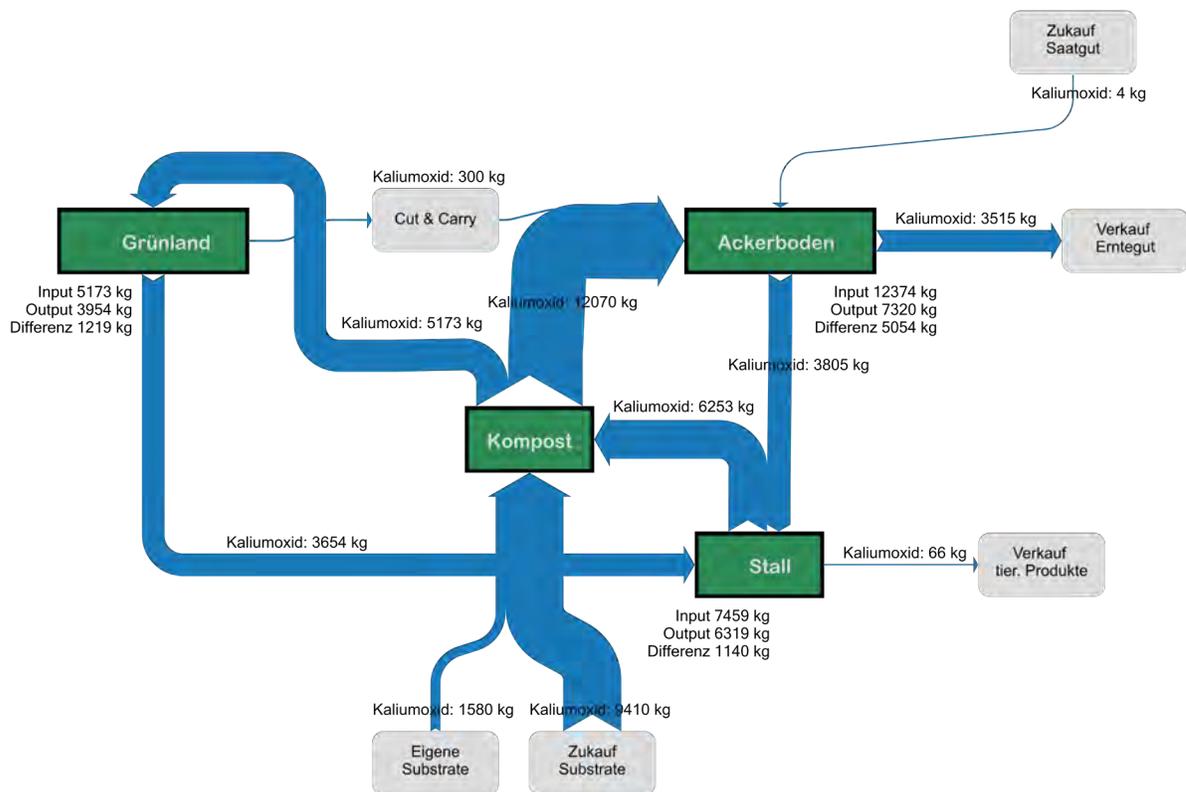


Abbildung 22: Kaliumflüsse des Innovationsbetriebs „Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment“ im Jahr 2017.

## Ergebnisse

Die **Abbildungen 20 bis 22** zeigen die Nährstoffflüsse des Innovationsbetriebes beispielhaft für das Jahr 2017. Auf dem Grünland wird der Nährstoffentzug des Ernteguts durch die Kompostdüngung in etwa ausgeglichen. Im Stall sollten rechnerisch ausgeglichene Salden entstehen. Die stark positive Stickstoffbilanz im Stall lässt sich durch eine Unterschätzung von gasförmigen Emissionen und Futterverlusten erklären. Gerade kleine Tierbestände, die wirtschaftlich nicht im Fokus der Betriebsleitung stehen, weisen eher unausgeglichene Bilanzen auf.

Das Phosphordefizit und der Kaliumüberschuss sind nicht allzu groß und liegen im Rahmen der Unsicherheit, die durch die Verwendung von Richtwerten bei der Berechnung entstehen. Der Kompost stellt für Phosphor und Kalium den größten Umschlagplatz dar. Zu sehen ist, dass die Substrate, insbesondere der zugekaufte und eigene Rindermist, sehr hohe Phosphor- und Kaliumgehalte haben. Aufgrund von vorgelagerten Stickstoffverlusten im Stall und der Zwischenlagerung enthält der Stallmist keine allzu großen Stickstoffmengen.

Der Großteil dieser Nährstoffe wird in Form des fertigen Komposts auf die Ackerflächen ausgebracht. Während die Bodenbilanzen der Ackerflächen für Phosphor und Kalium maßgeblich durch diese Kompostdüngung und die Abfuhr des Ernteguts bestimmt sind, kommt es beim Stickstoff durch die Fixierung der Leguminosen, insbesondere der Zwischenfrüchte, zu einem erheblichen Import.

Dem gegenüber stehen geringe Stickstoffverluste. Die Bodenbilanz für Stickstoff ist dadurch stark positiv. Für Phosphor ist sie annähernd ausgeglichen, für Kalium dagegen positiv.



## Hof- und Bodenbilanz

**Tabelle 16** zeigt die Hof- und Bodenbilanz des Innovationsbetriebes als Mittelwert aus den Jahren 2015 bis 2017. Die Hofbilanz des Innovationsbetriebes erreicht einen stark positiven Stickstoffsaldo, der maßgeblich durch den enormen Stickstoffinput der Zwischenfrüchte zu erklären ist. Die Bodenbilanz ist ebenfalls positiv, aber nicht ganz so stark. Dies liegt daran, dass innerbetrieblich Stickstoffverluste auftreten. In diesem Fall vor allem im Stall und in der Mistlagerung.

Für Phosphor und Kalium sind sowohl die Hofbilanzen als auch die Bodenbilanzen deutlich negativ. Im Jahr 2017 wurde eine verhältnismäßig geringe Fläche an nährstoffreichem Klee gras angebaut (11,5 ha) und dieses komplett innerbetrieblich verwertet. Dadurch war der Nährstoffexport durch den Verkauf des Ernteguts nicht allzu hoch und konnte durch den Zukauf nährstoffreicher Kompostsubstrate, insbesondere Rindermist, ausgegli-

chen werden. Hingegen wurde in den beiden Vorjahren viel größere Flächen an Klee gras angebaut (36 und 73 ha) und der Großteil der Ernte verkauft. Dadurch kam es im Vergleich zum Jahr 2017 zu deutlich höheren Exporten bei Phosphor und Kalium, die bei ähnlicher Düngemenge zu stark negativen Bilanzsalden führten. Beim Stickstoff wurde dieser Effekt durch die gesteigerte Stickstofffixierung bei gesteigerter Anbaufläche abgefedert. Anders als bei Stickstoff besteht für Phosphor und Kalium keine Möglichkeit, Nährstoffe aus der Luft in den Betrieb zu bringen. Negative Phosphor- und Kalium-Salden können innerbetrieblich nur durch die Verwitterung des Ausgangsgesteins ausgeglichen werden. Die Freisetzung von pflanzenverfügbaren Nährstoffen aus dem Ausgangsgestein ist allerdings sehr gering und auch nicht dauerhaft möglich. Daher ist zu empfehlen, die Phosphor- und Kalium-Defizite durch das Schließen regionaler Stoffkreisläufe auszugleichen.

**Tabelle 16:** Nährstoffbilanzen des Innovationsbetriebs „Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment“. Die Salden der Hofbilanz wurden nur auf die Ackerfläche bezogen, um eine besserer Vergleichbarkeit mit der Bodenbilanz zu erreichen.

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

## Humusbilanz

**Tabelle 17:** Humusbilanz des Innovationsbetriebs „Intensiver Zwischenfruchtanbau mit Ferment“ nach VDLUFA.

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



**Tabelle 17** zeigt die Humusbilanz des Innovationsbetriebs nach VDLUFA. Je nach Zustand der Böden schwankt die Humusbilanz des Betriebes im Mittel der Jahre 2015 und 2017 zwischen 950 und 815 Häq/ha/a. Die Humusbilanz ist dadurch sehr stark positiv. Ein Humusaufbau ist wahrscheinlich. Langfristig sind hohe Nährstoffnachlieferungen aus der organischen Bodensubstanz zu erwarten.

Im Jahr 2017 kommt es durch den überwiegenden Anbau stark humuszehrender Kulturen wie Getreide, Kartoffeln, Zuckerrüben und Gemüse zu einem erheblichen Humusreproduktionsbedarf von -48.156 Häq/a auf mittleren Böden. Durch den Anbau humusmehrender Kulturen in Form von Zwischenfrüchten sowie Ackerfutter- und Körnerleguminosen kommt es zu einer Humusreproduktionsleistung von 55.624 Häq/a.

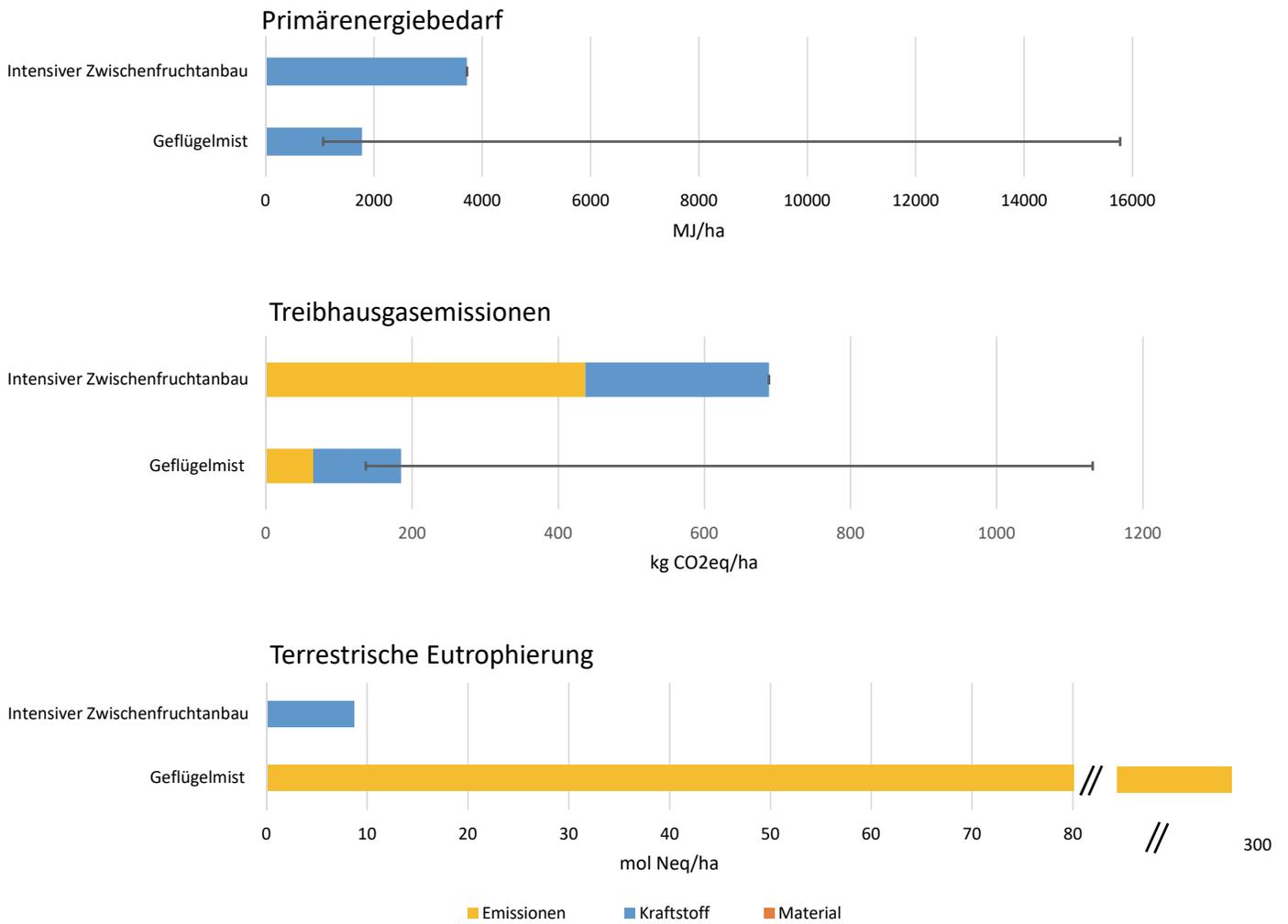
Die Bilanzierung der Zwischenfrüchte ist allerdings mit Unsicherheiten verbunden, da die Einordnung der hier angewendeten Kulturen schwierig war. Durch die angebauten Kulturen ergibt sich somit ein Saldo von 7.468 Häq/a, was bezogen auf die gesamte Ackerfläche von 156 ha eine Humuszehrung von 48 Häq/ha/a ergibt. Weitere Humusreproduktionsleistungen entstehen durch auf dem Feld verbleibendes Stroh und Rübenblatt (38.916 Häq/a bzw. 250 Häq/ha/a) und die Düngung der Ackerflächen mit Kompost (68.206 Häq/a bzw. 437 Häq/ha/a). Auch hieraus ergibt sich eine Unsicherheit, da die Humusreproduktionsleistung vom Kompost maßgeblich von dessen Feuchte- und Kohlenstoffgehalt abhängt und hierfür Richtwerte genutzt wurden. In der gesamten Humusbilanz kommt es letztendlich zu einem Saldo von 735 Häq/ha/a auf mittleren Böden.

## Ökobilanz

**Abbildung 23** zeigt die Ergebnisse der Ökobilanzierung des intensiven Zwischenfruchtanbaus im Vergleich zu einer Düngung mit 5 kg P/ha durch Geflügelmist. Neben der Stickstoffdüngung spielt beim intensiven Zwischenfruchtanbau auch die Phosphormobilisierung eine große Rolle. Ob und in welchem Umfang eine nennenswerte Erschließung von Phosphor Reserven durch den Anbau von Zwischenfrüchten möglich ist, ist umstritten.

Dennoch wurde hier eine Mobilisierung von 5 kg N angesetzt. Das Verfahren wurde mit der Düngung mit Geflügelmist verglichen, welcher ebenfalls als Phosphor-Lieferant dient. Es wurden verschiedene Varianten der Geflügelmistdüngung berechnet, der Einfluss dieser Varianten auf die Ökobilanz sind in den Graphiken als schwarze Linien auf den Balken der Referenzmethode sichtbar.

Die blauen Balken in den Diagrammen bezeichnen die Emissionen bzw. dem Energiebedarf beim intensiven Zwischenfruchtanbau resp. bei der Düngung mit Geflügelmist. Die orangen Balken spiegeln die Emissionen bzw. den Energiebedarf durch den Kraftstoffverbrauch wider. Die gelben Balken bezeichnen die direkten Emissionen, die bei der Einarbeitung der Zwischenfrucht bzw. bei der Ausbringung von Geflügelmist entstehen.



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



## Primärenergiebedarf

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

## Treibhausbilanz

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

## Terrestrische Eutrophierung

Der Zwischenfruchtanbau ist im Vergleich zur Geflügelmistausbringung deutlich vorteilhafter im Hinblick auf die Eutrophierung von Landökosystemen. Zwar hat der Zwischenfruchtanbau durch den höheren Kraftstoffverbrauch auch höhere  $\text{NO}_x$ -Emissionen, diese werden allerdings durch die hohen Ammoniak-Emissionen bei der Geflügelmistausbringung deutlich übertroffen. Selbst wenn von minimalen Emissionen bei der Geflügelmistausbringung ausgegangen wird (Einarbeitung in einem extra Arbeitsschritt), schneidet der intensive Zwischenfruchtanbau in Hinblick auf die terrestrische Eutrophierung besser ab.



## Fazit

- In diesem Innovationsbetrieb hatte der intensive Zwischenfruchtanbau aufgrund seines hohen Flächenanteils einen maßgeblichen Einfluss auf die Stickstoff- und die Humusbilanz des Betriebes.
- Die Hoftorbilanz des Innovationsbetriebes erreicht einen stark positiven Stickstoffsaldo, der maßgeblich durch den enormen Stickstoffinput der Zwischenfrüchte zu erklären ist. Die Bodenbilanz ist ebenfalls positiv, aber nicht ganz so stark. Dies liegt daran, dass innerbetrieblich Stickstoffverluste auftreten, in diesem Fall vor allem im Stall und in der Mistlagerung.
- Für Phosphor und Kalium sind sowohl die Hoftorbilanzen als auch die Bodenbilanzen deutlich negativ. Der Betrieb exportiert erhebliche Nährstoffmengen mit dem Erntegut, die über den Zukauf der Kompostsubstrate nicht ausgeglichen werden können. Es besteht daher das Risiko, dass es langfristig zu einer Mangelsituation kommt, da die Mineralisierung aus dem Ausgangsgestein die hohen Verluste nicht mehr ausgleichen kann.
- Intensiver Zwischenfruchtanbau ist eine Option, verlustarm Leguminosenstickstoff nicht legumen Ackerkulturen zur Verfügung zu stellen und die Humusbilanz zu verbessern.
- Die Ökobilanz des intensiven Zwischenfruchtanbaus fällt in der Wirkungskategorie Primärenergiebedarf und Treibhauspotential schlechter aus als die des Referenzverfahrens. Das liegt vor allem am höheren Kraftstoffverbrauch beim Zwischenfruchtanbau. Bei dem Referenzverfahren Geflügelmist handelt es sich um ein Nebenprodukt der Tierhaltung, für das keine Erzeugungsaufwendungen, sondern nur Transport- und Ausbringungsaufwendungen anfallen.
- Aufgrund der hohen Ammoniak-Emissionen bei der Geflügelmistausbringung fällt in der Wirkungskategorie terrestrische Eutrophierung die Bilanz für den intensiven Zwischenfruchtanbau deutlich beaus.

## Ökonomie Leistungs- und Kostenrechnung

Verglichen werden:

**Innovation 1 (V 1.1):** Zwischenfruchtanbau mit Flächenrotte und Ausbringung von Ferment aus Eigenherstellung

**Innovation 2 (V 1.2):** Zwischenfruchtanbau mit Flächenrotte und Ausbringung von zugekauftem Ferment  
„Die Lösung: Herbst“

**Alternative (V2):** Zwischenfruchtanbau mit Flächenrotte

## Ergebnis

**Tabelle 18:** Zwischenfruchtanbau mit Flächenrotte und Ausbringung von Ferment: Leistungen- und Kosten im Vergleich.

	Innovation		Alternative	Differenz		
	V1.1	V1.2	V2	V1.1-V2	V1.2-V2	
Summe Leistung	319	319	319	0	0	€/ha
Summe Direktkosten	159	163	146	13	17	€/ha
Direktkostenfreie Leistung	160	156	173	-13	-17	€/ha
Summe variable Kosten	213	217	200	13	17	€/ha
Deckungsbeitrag	106	102	119	-13	-17	€/ha
Fixe Maschinenkosten	73	73	73	0	0	€/ha
Fixe Lohnkosten	46	46	41	5	5	€/ha
Summe Direkt- und Arbeits- erledigungskosten	332	336	314	18	22	€/ha
Direkt- und arbeitserledi- gungskostenfreie Leistung	-13	-17	5	-18	-22	€/ha
Arbeitserledigungskosten	173	173	168	5	5	€/ha

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

Das verwendete Pflanzenstärkungsmittel „Die Lösung: Herbst“ der AGROTO GmbH wurde kostenlos zu Verfügung gestellt, wird aber im Vergleich mit dem aktuellen Verkaufspreis von 178,5 €/10 l (AGROTO GmbH 2019) berechnet. Der Deckungsbeitrag (DB) des Zwischenfruchtanbaus ohne Berücksichtigung der Folgekultur ist naturgemäß negativ und unterscheidet sich zwischen den Varianten nur durch die Kosten der Produktionsmittel

(Tabelle 18). Die Ausbringung des Ferments wird in Kombination mit dem Arbeitsgang „Einfräsen“ durchgeführt. Dieser Arbeitsgang wird bereits beim Zwischenfruchtanbau berücksichtigt, daher fallen keine Maschinenkosten für die Ausbringung des Ferments an. Die Mehrkosten gegenüber V2 entstehen bei V1.1 durch die arbeitsaufwendige Herstellung und bei V1.2 durch den Kauf des Ferments. Kurzfristig betrachtet sind die beiden

Varianten der innovativen Maßnahme V1.1 und V1.2 mit einem DB von 106 €/ha bzw. 136 €/ha wirtschaftlich als rentabel zu beurteilen (Tabelle 18). Die Leistung in Form der monetären Humusersatzwerte wiegt die variablen Kosten mehr als auf. Die Leistung in V2 besteht ebenfalls nur aus Humusersatzwert der Gründüngung und ist gleich hoch wie in V1.1 und V1.2. Durch die Anwendung der Fermente selbst in V1.1 und V1.2 konnte keine monetäre Leistung, durch z.B. Nährstoffzufuhr oder Förderung des Bodenlebens berücksichtigt werden. Die variablen Kosten der Varianten V1.1 und V1.2 sind etwas höher als in V2, sodass insgesamt ein um 13 €/ha bzw. 17 €/ha geringerer Deckungsbeitrag berechnet wird.

Langfristig betrachtet sind beide Maßnahmen ökonomisch nicht rentabel, wobei eine Vielzahl positiver Auswirkungen nicht berücksichtigt werden konnte.

## Beurteilung/Diskussion

Die monetäre Bewertung der Herstellung des Ferments ist schwierig. Die Daten sind zum Teil geschätzt und eine genauere Dokumentation aller Kosten wäre sehr aufwendig. Der Betriebsleiter nutzt zur Vermischung und Behandlung des Ferments zwei alte Milchtanks in einem Raum der ebenfalls bereits vorhanden war. Außerdem wurde der Ab- und Aufbau des Fermenttanks auf den Schlepper nicht berücksichtigt. Ein höherer Ertrag in den Streifen, auf denen das Ferment ausgebracht wurde, konnte im Versuchszeitraum nicht beobachtet werden.

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

- Förderung des Bodenlebens
- Schnellere Verrottung des Mulchmaterials
- Veränderter Humusaufbau
- Geringerer N-Verlust nach Einfräsen
- Geringere N<sub>2</sub>-Emissionen

Das in V 1.2 genutzte Produkt „Die Lösung: Herbst“ unterscheidet sich in seiner Zusammenstellung vom selbsthergestellten Ferment. „Die Lösung: Herbst“ besteht aus verschiedenen Kräutern, biologisch aktivem Kalk und Hornmistpräparat und wird ebenfalls fermentiert. Die genaue Rezeptur und Herstellungsweise ist nicht bekannt und eine eventuell höhere Ertragssteigerung konnte ebenfalls nicht berücksichtigt werden.

## Übertragbarkeit auf andere Betriebe

Klimatisch ist der Anbau von Zwischenfrüchten immer an eine ausreichende Wasserversorgung gebunden um bei der Folgefrucht keine Ertragseinbußen durch Wasserknappheit zu bewirken. Der betrachtete Betrieb ist technisch sehr breit aufgestellt und nutzt für die Durchführung des Versuchs u.a. Methoden des Precision Farming. Diese technische Ausstattung ist jedoch nicht zwingend notwendig und für die Ausbringung der Fermente sind die Maschinen, die standardmäßig auf einem durchschnittlichen Ackerbaubetrieb vorhanden sind, ausreichend. Für die Herstellung des Ferments sind ein Raum, große, isolierte Behälter sowie geeignete Werkzeuge zur Durchmischung nötig. Ebenso muss genügend Arbeitskapazität, handwerkliches Geschick und Experimentierfreude vorhanden sein. Die Fermentation hat die Vermehrung gewünschter Mikroorganismen zum Ziel. Dies macht eine hygienische Arbeitsweise erforderlich. Sind diese Voraussetzungen erfüllt, ist die Maßnahme gut auf andere Betriebe übertragbar.

## Zusammenfassung

**Auf den vieharm oder viehlos wirtschaftenden Innovationsbetrieben hatten die innovativen Methoden aufgrund ihres meist geringen Umfangs oft nur geringen Einfluss auf die Nährstoff- und Humusbilanzen. Es konnten jedoch einige wiederkehrende Muster bei den Nährstoffflüssen der Betriebe festgestellt werden, die großen Einfluss auf die Nährstoff- und Humusbilanzen haben.**

Dazu gehört, dass die Mehrzahl der Betriebe dazu neigt, große Mengen an Nährstoffen durch den Export von Grünlandaufwuchs und Ackerfutterleguminosen zu verlieren. Aufgrund von hohen Stickstoffeinträgen durch die Leguminosen sind die Stickstoffbilanzen trotzdem meist positiv oder zumindest ausgeglichen. Problematisch wird der Export der nährstoffreichen Erntegüter jedoch für Phosphor und Kalium.

Hier sind die Bilanzen bei den meisten Betrieben leicht bis stark negativ, da der Export nur unzureichend durch importierte Düngemittel kompensiert wird. Um langfristig Mangelsituationen vorzubeugen, wird eine gesteigerte innerbetriebliche Nutzung der Ackerfutterleguminosen, beispielsweise in Form von Silage oder Cut and Carry, empfohlen. Dadurch gehen die darin enthaltenen Nährstoffe dem Betrieb nicht verloren.

Gleichzeitig besteht die Möglichkeit einer innerbetrieblichen Umverteilung von Nährstoffen, um kritische Nährstoffbilanzen auf Schlagebene zu vermeiden. Der Import von Phosphor und Kalium in relevantem Umfang konnte in dieser Studie nur über den Import von Kompost, Kompostsubstraten und Mist geleistet werden.

Es wird daher empfohlen, dass sich vieharm oder viehlos wirtschaftende Betriebe durch Schließung regionaler Stoffkreisläufe ausreichend mit Nährstoffimporten versorgen. Außerdem wird die Politik aufgefordert, Maßnahmen zur Steigerung der Verfügbarkeit und Qualität von Komposten zu ergreifen. Zusätzlich sollte verstärkt in Erwägung gezogen

werden, weitere Nährstoffquellen für den Ökolandbau zu erschließen. Hier ist insbesondere an Produkte aus Klärschlamm zu denken. Auch hier ist die Politik gefordert.

Für die Bewertung der Ökobilanzen, vor allem in den Wirkungskategorien Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen ist der Kraftstoffverbrauch ausschlaggebend. Dieser ist abhängig von den Transportstrecken, Arbeitsaufwand und Motorenleistung. Da die innovativen Maßnahmen oft auch einen hohen Arbeitsaufwand mit sich bringen, haben diese meist auch einen höheren Kraftstoffbedarf. Die Referenzsubstrate sind dagegen „Abfall“-Produkte ohne Vorkette und daher mit geringen Energieaufwendungen belastet.

Die relativen Nachteile der Innovationen gegenüber den Referenzdüngern Mist, Gülle und Hornmehl sinken jedoch, wenn die Dünger tierischen Ursprungs nicht in räumlicher Nähe verfügbar sind. Denn bei den Referenzsubstraten ist die Transportstrecke ausschlaggebend.

Werden die Substrate über größere Strecken transportiert schneiden die innovativen Maßnahmen in der Bilanzierung besser ab als die Referenzszenarien. Durch den Einsatz optimaler Motorenleistung kann der Kraftstoffverbrauch der innovativen Maßnahmen verringert und damit die Ökobilanz verbessert werden.

Bei der terrestrischen Eutrophierung schneiden die innovativen Maßnahmen deutlich besser ab als die Referenzverfahren. Die Höhe der Ammoniak-Emissionen ist in dieser Wirkungskategorie ausschlaggebend, diese sind abhängig von der Ammonium-N-Konzentration der Substrate.

Die innovativen Maßnahmen wurden bezüglich ihrer Kosten und Leistungen untersucht. Die direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) der untersuchten Innovationen Kleeagrastransfer, Kompost und

Zwischenfruchtanbau sind absolut gesehen ökonomisch rentabel. Die durch Nährstoff- und Humuszufuhr entstandenen Leistungen gleichen die Kosten mindestens aus.

Ob eine Maßnahme wirtschaftlich ist, ist zudem sehr von betriebsspezifischen Voraussetzungen wie z.B. der regionalen Verfügbarkeit von Ausgangssubstraten und der Mechanisierung des Betriebes abhängig.

Die innovativen Maßnahmen waren dem Referenzverfahren meist unterlegen. Zwei der drei Referenzverfahren, welche tierische Dünger enthalten - Futter-Mist-Kooperation und verstärkte Hornmehldüngung - sind hierbei ökonomisch vorteilhafter als die damit verglichenen Innovationen - Klee-grastransfer und Leguminosendichtsaa-t.

Insgesamt ist zu bedenken, dass eine Vielzahl der Daten geschätzt werden mussten, was eine exakte Berechnung erschwert. Dies führt dazu, dass die Ergebnisse generell nur als Tendenzen interpretiert werden können.

**Tabelle 19:** Bewertung der innovativen Maßnahmen (Ext bedeutet externer Kompostzukauf; Int bedeutet eigene Kompostherstellung).

Maßnahme	Leguminosen-dichtsaa-t		Klee-gras-transfer		Kompost		intensiver ZF-Anbau
<b>Bewertung</b>							
<b>Ökologie</b>							
Bodenfruchtbarkeit	positiv		stark positiv		positiv		positiv
Sicherung N-Versorgung	positiv		stark positiv		Ext	Int	positiv
Sicherung P- und K-Versorgung	positiv		neutral		Ext	Int	positiv
Ökobilanz - Energiebedarf	negativ		Frisch	Siliert	neutral		negativ
Ökobilanz - Treibhausgase	negativ		Frisch	Siliert	neutral		negativ
Ökobilanz - Eutrophierung	neutral		stark positiv		stark positiv		stark positiv
<b>Ökonomie</b>							
Absolut (DAL)	400 kg	800 kg	stark positiv		stark positiv		neutral
Vergleich mit Standardverfahren	negativ		negativ		positiv		neutral
<span style="background-color: #c00000; color: white; padding: 2px;">negativ</span> <span style="background-color: #e0e0e0; padding: 2px;">neutral</span> <span style="background-color: #90ee90; padding: 2px;">positiv</span> <span style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px;">stark positiv</span>							

## Wer waren die Akteure im Projekt?



Demeter Baden-Württemberg e.V.



Demeter Beratungsverein e.V.



Forschungsring e.V.



Universität Hohenheim



Hochschule für Wirtschaft und Umwelt  
Nürtingen-Geislingen

Assoziierte Partner:

Landwirtschaftliches Technologiezentrum

Bioland Landesverband Baden-Württemberg  
e.V.

Naturland Baden-Württemberg e.V.

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

## Quellenverzeichnis

- AGROTO GmbH (2019): Die Lösung. <https://dieloesung.bio/produkt/die-loesung-herbst/> (abgerufen am 30.07.2019)
- Alpers, G. (2014): Düngen und Mulchen mit Grünmasse, 15.03.2014, S. 33–34.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL, 2018): Basisdaten für die Umsetzung der Düngeverordnung, für die Beratung und Planung, zur Berechnung des Düngebedarfs, des Nährstoffvergleichs, der 170 kg Grenze Ngesamt, des Lager-raums für organische Dünger, der Stoffstrombilanz. Stand Juli 2018.
- BGK e.V. (2013): Humus- und Düngewert von Kompost und Gärprodukten - [https://www.kompost.de/fileadmin/user\\_upload/Dateien/Themen\\_Positionen/5\\_3\\_3\\_Thema\\_Humus-\\_und\\_Duengewert\\_2013.pdf](https://www.kompost.de/fileadmin/user_upload/Dateien/Themen_Positionen/5_3_3_Thema_Humus-_und_Duengewert_2013.pdf) (abgerufen am 10.03.2020)
- Bhattacharya, S. S.; Kim, K.-H.; Das, S.; Uchimiya, M.; Jeon, B. H.; Kwon, E.; Szulejko, J. E. (2016): A review on the role of organic inputs in maintaining the soil carbon pool of the terrestrial ecosystem. In: *Journal of environmental management* 167, S. 214–227. DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.09.042.
- Bonney, M. und Müller-Lindenlauf, M. (2018): Arbeitspapier - Nürtingen\_FragebogenEIP\_BRAVÖ\_2018\_10\_08. Nürtingen.
- Brock C., Hoyer U., Leithold G., Hülsbergen K.-J. (2012): The humus balance model (HU-MOD): a simple tool for the assessment of management change impact on soil organic matter levels in arable soils. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 92, 239–254.
- Brozyna, M. A.; Petersen, S. O.; Chirinda, N.; Olesen, J. E. (2013): Effects of grass-clover management and cover crops on nitrogen cycling and nitrous oxide emissions in a stockless organic crop rotation. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 181, S. 115–126. DOI: 10.1016/j.agee.2013.09.013.
- Bruns, C., Schüler, C., und Waldow, F., (2003): Einsatz suppressiver Grünabfallkomposte zur Kulturstabilisierung gegenüber bodenbürtigen Schaderregern im ökologischen Gartenbau. In: Freyer, B. (Hrsg.): Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau: Ökologischer Landbau der Zukunft. Inst. f organischen Landbau, Universität f. Bodenkultur, Wien, S. 539ff
- Cuhls C., Mähl B., Clemens J. (2015): Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen. UBA Texte 39/2015.
- Diacono, M.; Montemurro, F. (2010): Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. In: *Agron. Sustain. Dev.* 30 (2), S. 401–422. DOI: 10.1051/agro/2009040.
- Düngeverordnung (2017): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen - Düngeverordnung (DüV) vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 28. April 2020 (BGBl. I S. 846) geändert worden ist.
- Flessa H., Greef J.M., Dittert K., Ruser R., Osterburg B., Poddey E., Wulf S., Pacholski A.S. (2014): Minderung von Stickstoff-Emissionen aus der Landwirtschaft: Empfehlungen für die Praxis und aktuelle Fragen an die Wissenschaft. Berlin: Senat der Bundesforschungsinstitute des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft, 63 p, ForschungThemenheft 1/2014.
- Fragstein und Niemsdorff, P. von (2018): Feldgemüsebau. In: M. Wachendorf, A. Bürkert und R. Graß (Hg.): *Ökologische Landwirtschaft*. 1. Aufl. Stuttgart: Eugen Ulmer, S. 154–157.
- Helmert, M.; Heuwinkel, H.; Pommer, G.; Gutser, R.; Schmidhalter, U. (2003): N-Flüsse in gemulchtem und geschnittenem Klee gras: Warum Klee gras-Brache im Ökologischen Landbau (OL) die Erträge der Folgefrucht nicht erhöht. In:

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft (102), S. 347. Online verfügbar unter 248.

Helmert, M.; Heuwinkel, H.; Pommer, G.; Gutser, R.; Schmidhalter, U. (2004): Management effects in organically grown clover-grass on nitrous-oxide emissions: comparison of mulching and cutting. In: A. Weiske (Hg.): Proceedings of the Int. Conference, Greenhouse Gas Emissions from Agriculture - Mitigation Options and Strategies, S. 218–219.

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

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

Jörgensen, R. (2018): Nährstoffmanagement und Humuswirtschaft. In: M. Wachendorf, A. Bürkert und R. Graß (Hg.): *Ökologische Landwirtschaft*. 1. Aufl. Stuttgart: Eugen Ulmer, S. 52–68.

KTBL (2019): Webanwendung Leistungs-Kostenrechner <https://www.ktbl.de/webanwendungen/leistungs-kostenrechnung-pflanzenbau/> (Zugriff Januar bis September 2019)

Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume (LEL; 2016): Stammdaten aus dem Excel-Programm „Nährstoffvergleich, Feld-Stall-Vergleich“ in der Version 6.1 L vom 01.04.2016.

Leithold G., Brock C., Hoyer U., Hülsbergen K.-J. (2007): Anpassung der Humusbilanzierung an die Bedingungen des ökologischen Landbaus. In: KTBL (Hrsg.): *Bewertung ökologischer Betriebssysteme*. KTBL, Darmstadt: 24–50.

LEL Schwäbisch Gmünd (2018): Infodienst - LEL Schwäbisch Gmünd - Downloads. [https://lel.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lel/Abteilung\\_2/Oekonomik\\_der\\_Betriebszweige/Pflanzenbau/D%C3%BCngung\\_N%C3%A4hrstoffe/extern/Downloads/Duengebedarf.xlsx?attachment=true](https://lel.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lel/Abteilung_2/Oekonomik_der_Betriebszweige/Pflanzenbau/D%C3%BCngung_N%C3%A4hrstoffe/extern/Downloads/Duengebedarf.xlsx?attachment=true) (abgerufen am 22. Oktober 2019).

Möller, D. (2018): Betriebswirtschaft. In: M. Wachendorf, A. Bürkert und R. Graß (Hg.): *Ökologische Landwirtschaft*. 1. Aufl. Stuttgart: Eugen Ulmer, S. 282–296.

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG, 2011): Detaillierter GV-Schlüssel.

Stinner, W.; Möller, K.; Leithold, G. (2008): Effects of biogas digestion of clover/grass-leys, cover crops and crop residues on nitrogen cycle and crop yield in organic stockless farming systems. In: *European Journal of Agronomy* 29 (2-3), S. 125–134. DOI: 10.1016/j.eja.2008.04.006.

StoffBilV (2017) - Stoffstrombilanzverordnung vom 14. Dezember 2017 (BGBl. I S. 3942; 2018 I S. 360), Verordnung über den Umgang mit Nährstoffen im Betrieb und betriebliche Stoffstrombilanzen (Stoffstrombilanzverordnung - StoffBilV)

VDLUFA (2014): Humusbilanzierung. Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. Standpunkt des VDLUFA.

VDLUFA (2014): Humusbilanzierung. Standpunkt des VDLUFA. <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/11-Humusbilanzierung.pdf>, (Abruf 27.07.2019).



**BRAVÖ**

*Bodenfruchtbarkeit vieharter Ökobetriebe*

[www.bravö.de](http://www.bravö.de)

