



**Eine Untersuchung des Energieeinsatzes, der  
Humusversorgung und der CO<sub>2</sub>-Emissionen ausgewählter  
ökologisch und konventionell wirtschaftender  
Futterbaubetriebe.**

**Masterarbeit**

Verfasst von:

EVA MARIA MAIR

Betreuung:

Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. JÜRGEN KURT FRIEDEL

Institut für Ökologischen Landbau (IfÖL)

Department für Nachhaltige Agrarsysteme

Universität für Bodenkultur Wien

Wien, Mai 2013

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1. Frage- und Problemstellung .....	1
1.2. Ziele .....	3
<b>2. Stand der Forschung</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1. Humus / organische Bodensubstanz</b> .....	<b>4</b>
2.1.1. Zusammensetzung und Abbau .....	4
2.1.2. Ackerbauliche und ökologische Funktionen .....	5
2.1.3. Bedeutung der organischen Substanz im Ökologischen Landbau .....	6
<b>2.2. Humusbilanz</b> .....	<b>7</b>
2.2.1. Prinzip und Anwendungsbereich der Humusbilanzierung .....	7
2.2.2. Humusbilanzierungsmethoden .....	7
2.2.3. Bedarfs- und Reproduktionskoeffizienten der HE-Methode .....	8
2.2.4. Stärken und Grenzen der Humusbilanzierung .....	9
2.2.5. Humusbilanzen der konventionellen und biologischen Landwirtschaft im Vergleich .....	9
<b>2.3. Energieeinsatz in der Landwirtschaft</b> .....	<b>10</b>
<b>2.4. Energiebilanz</b> .....	<b>12</b>
2.4.1. Energiebilanzierungen in der Landwirtschaft .....	14
<b>2.5. Treibhausgasemissionen</b> .....	<b>15</b>
2.5.1. Abgasemissionen .....	16
2.5.2. Emissionen durch die Landwirtschaft .....	16
2.5.4. CO <sub>2</sub> -Emissionen der konventionellen und ökologischen Landwirtschaft im Vergleich .....	18
<b>3. Methoden</b> .....	<b>20</b>
<b>3.1. Forschungsregion</b> .....	<b>20</b>
3.1.1. Agrarstruktur Gemeinde Lengau .....	21
3.1.2. Agrarstruktur Gemeinde Munderfing .....	21
3.1.3. Klimatische Bedingungen .....	22
3.1.3.1. Lufttemperatur und Niederschlagsverteilung .....	22
3.1.4. Boden .....	24
<b>3.2. ForschungspartnerInnen</b> .....	<b>25</b>
<b>3.3. Datenerhebung</b> .....	<b>25</b>
3.3.1. Daten für die Humusbilanz .....	26
3.3.2. Daten für die Energiebilanz .....	26
3.3.2.1. Direkter Energieinput Diesel .....	26
3.3.2.2. Direkter Energieinput Strom .....	26
3.3.2.3. Indirekter Energieinput .....	26
3.3.2.4. Energieoutput .....	26
<b>3.4. Datenspeicherung</b> .....	<b>27</b>
<b>3.5. Datenanalyse</b> .....	<b>27</b>
3.5.1. Humusbilanz .....	27
3.5.2. Energiebilanz .....	29
3.5.2.1. Systemgrenze .....	29
3.5.2.2. Bezugsebene .....	30
3.5.2.3. Unberücksichtigte Energieinputfaktoren .....	31

3.5.3. CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	31
3.5.3.1. Systemgrenze .....	31
3.5.3.2. Bezugsebene .....	31
3.5.4. Energie- und Emissionsfaktoren der direkten Energieträger .....	31
3.5.5. Energie- und Emissionsfaktoren für den indirekten Energieeinsatz .....	33
3.5.5.1. Pflanzenschutzmittel .....	33
3.5.5.2. Mineraldünger .....	33
3.5.5.3. Zugekaufte Futtermittel .....	34
3.5.6. Bilanzauswertung .....	36
3.5.6.1. Humusbilanz und CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	36
3.5.6.2. Energiebilanz .....	36
<b>3.6. Statistische Methoden .....</b>	<b>37</b>
<b>4. Ergebnisse .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1. Betriebsbeschreibungen .....</b>	<b>37</b>
4.1.1. Ökologische Betriebe .....	37
4.1.1.1. Ökologischer Betrieb 1 (Öko_1) .....	38
4.1.1.2. Ökologischer Betrieb 2 (Öko_2) .....	39
4.1.1.3. Ökologischer Betrieb 3 (Öko_3) .....	41
<b>4.2. Konventionelle Betriebe .....</b>	<b>42</b>
4.2.1. Konventionelle Betriebe .....	42
4.2.1.1. Konventioneller Betrieb 1 (Konv_1) .....	42
4.2.1.2. Konventioneller Betrieb 2 (Konv_2) .....	44
4.2.1.3. Konventioneller Betrieb 3 (Konv_3) .....	45
<b>4.3. Humusbilanz .....</b>	<b>47</b>
4.3.1. Humusbedarf .....	47
4.3.2. Humusersatzleistung .....	47
4.3.3. Humussaldo und Humusversorgungsgrad .....	48
<b>4.4. Energiebilanz .....</b>	<b>49</b>
4.4.1. Energieinput (= Energieverbrauch) .....	49
4.4.1.1. Gegenüberstellung der Energieinputs der Betriebe Öko_1 und Konv_1 .....	49
4.4.1.2. Gegenüberstellung der Energieinputs der Betriebe Öko_2 und Konv_2 .....	50
4.4.1.3. Gegenüberstellung der Energieinputs der Betriebe Öko_3 und Konv_3 .....	51
4.4.1.4. Gegenüberstellung der Energieinputs aller sechs untersuchten Betriebe .....	52
4.4.2. Gegenüberstellung der Energieoutputs der sechs untersuchten Betriebe .....	54
4.4.3. Gegenüberstellung der Energiesaldos der sechs untersuchten Betriebe .....	56
4.4.4. Output / Input – Verhältnis (=Energieeffizienz) .....	57
4.4.5. Energiekennzahlen der sechs Betriebe im Vergleich .....	58
<b>4.5. CO<sub>2</sub>-Emissionen .....</b>	<b>59</b>
4.5.1. CO <sub>2</sub> -Emissionen-Gesamt .....	59
4.5.2. Gegenüberstellung der gesamtbetrieblichen CO <sub>2</sub> -Emissionen der Vergleichsbetriebspaare .....	61
4.5.3. CO <sub>2</sub> -Emissionen-Ackerbau .....	63
4.5.4. Gegenüberstellung des CO <sub>2</sub> -Bindungsvermögens im Boden des Ausstoßes von CO <sub>2</sub> durch den Ackerbau .....	64
<b>5. Diskussion .....</b>	<b>65</b>
<b>6. Schlussfolgerung und Ausblick .....</b>	<b>73</b>
<b>7. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>76</b>
<b>8. Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>81</b>
<b>9. Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>82</b>
<b>10. Anhang .....</b>	<b>83</b>
<b>11. Kurzzusammenfassung .....</b>	<b>98</b>
<b>12. Abstract .....</b>	<b>98</b>

## Abkürzungsverzeichnis

HE = Humuseinheit

VDLUFA = Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

GVE = Großvieheinheit

IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change

ZAMG = Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

TS = Trockensubstanz

TM = Trockenmasse

NEL = Netto – Energie - Laktation

## **Danksagung**

An dieser Stelle bedanke ich mich bei all jenen Personen, die mich im Laufe meiner Masterarbeit und meines Studiums unterstützt haben.

Ich bedanke mich bei den Bäuerinnen und Bauern die sich die Zeit zur Datenerfassung nahmen und mir ihre Daten zur Verfügung gestellt haben. Weiters bedanke ich mich bei meinem Betreuer Prof. Dr. Jürgen Kurt Friedel, der mir bei auftauchenden Fragen mit seinen präzisen und klaren Antworten eine große Hilfe war.

Ein besonderer Dank geht an meine Eltern, die mir das Studium ermöglicht haben und immer hinter mir gestanden sind. Ich bedanke mich auch bei meiner Schwester, dafür, dass sie für mich da war, wenn ich sie gebraucht habe. Schließlich bedanke ich mich noch meiner Freundin Lisa, die immer dann, wenn mir das weiterarbeiten schwer fiel, motivierende Worte für mich fand.

# 1. Einleitung

Die Sicherung nachhaltiger Bewirtschaftungssysteme stellt in der Landwirtschaft, die zur Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte neben der Sonnenenergie maßgeblich auf fossile Energieträger zurückgreift, eine große Herausforderung dar (ECKERT et al. 2000).

Durch den Einsatz von Mineraldüngern, Mineralölerzeugnissen und elektrischem Strom konnte die Nahrungsmittelproduktion in den letzten 100 Jahren enorm gesteigert werden. Besonders in den Jahren zwischen 1950 und 1970 ermöglichte das kostengünstige Energieangebot einen erhöhten Energieeinsatz und somit eine Beschleunigung des Produktionsfortschritts (WILLER und PONATH 1987).

Gleichzeitig spielt der steigende Fremdenergieeinsatz in der Landwirtschaft industrialisierter Länder mitunter eine Rolle in der Verschmutzung der Atmosphäre durch Kohlendioxid-Emissionen. Zu den wesentlichen Verursachern von Kohlendioxid zählt der Verbrauch fossiler Energieträger. Eine Reduktion der Kohlendioxid-Emissionen ist sowohl aufgrund deren Klimawirksamkeit als auch der Verknappung fossiler Ressourcen erstrebenswert (HAAS et al. 1995).

Jährlich werden 7,2 Mrd. t Kohlenstoff als CO<sub>2</sub> emittiert. Nur die Hälfte davon wird vor allem in Ozeanen und in Wäldern gebunden. Daraus ergibt sich ein jährlicher Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehalts der Atmosphäre von 3,6 Mrd. t (SCHIMEL et al. 2001).

In der Landwirtschaft bestehen mehrere Möglichkeiten, die zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Anstiegs in der Atmosphäre beitragen können, dazu zählt die Verringerung des Einsatzes fossiler Energie sowie die C-Speicherung im Humus landwirtschaftlich genutzter Böden (JANZEN 2004).

## 1.1. Frage- und Problemstellung

Im Zuge der Industrialisierung und Mechanisierung der Landwirtschaft ist die Produktion im landwirtschaftlichen Bereich beständig gestiegen. Gleichzeitig sind auch der Verbrauch von Ressourcen sowie die Belastung der Umwelt gewachsen. Die Menge an in Österreich erzeugten landwirtschaftlichen Produkten ist in den 90-er Jahren des 20igsten Jahrhunderts dreimal so groß wie jene im Jahr 1960. Die eingesetzten Düngermengen haben sich jedoch im gleichen Zeitraum versechsfacht, die ausgebrachten Mengen an Pflanzenschutzmitteln verachtfacht und der Energieeinsatz verzwölfacht (RAMHARTER, 1999).

Die Bereitstellung von Hilfs- und Betriebsmitteln, wie Mineraldünger, Pflanzenschutzmittel und Dieseltreibstoff, ist mit Energieeinsatz, Emissionen und Verbrauch von Ressourcen verbunden. Zu den besonders energieaufwendigen Prozessschritten in der Mineraldüngerproduktion zählt die Ammoniaksynthese, welche den grundlegenden Prozess in der Produktion von Düngemittel mit dem wichtigsten Nährstoff Stickstoff darstellt (PATYK und REINHART 1997).

Die Verknappung fossiler Energieträger und die Erwärmung der Atmosphäre durch die Freisetzung von klimarelevanten Spurengasen durch menschliche Aktivitäten erfordern einen schonenden Umgang der Ressourcen und einen effizienten Umgang mit Energie (VON WEIZSÄCKER et al. 2009).

Die ökologische Landwirtschaft steht für eine nachhaltige und umweltgerechte Landwirtschaftsform und verfolgt das Prinzip eines möglichst geschlossenen landwirtschaftlichen Systems. Der Einsatz von mineralischen Düngemitteln macht in der Pflanzenproduktion zwischen 40 und 50 % des gesamten Energieverbrauches aus. Der Verzicht auf synthetische Dünge- und Pflanzenschutzmittel in der ökologischen Landwirtschaft führt zu einem geringeren Energieeinsatz. Gleichzeitig kommt es in der ökologischen Landwirtschaft jedoch zu einem höheren Energieeinsatz durch einen erhöhten Kraftstoffaufwand aufgrund arbeitsintensiver Feldarbeitsgänge wie Pflügen oder mehrmalige mechanische Maßnahmen zur Beikrautregulierung. Untersuchungen der ökologischen Pflanzenproduktion zeigen dennoch ein Output / Input-Verhältnis zugunsten der ökologischen Landwirtschaft (RAMHARTER 1999).

Es stellt sich die Frage, inwieweit können ökologische Futterbaubetriebe den Anspruch an eine umweltverträgliche Landwirtschaftsform in einem höheren Ausmaß erfüllen als konventionelle Futterbaubetriebe.

Die Haupt-Forschungsfrage dieser Arbeit lautet:

Haben die untersuchten ökologischen Futterbaubetriebe der Gemeinde Lengau und Munderfing im Bereich der Humus- und Energiebilanz sowie im Bereich der CO<sub>2</sub>-Emissionen ein größeres Potential zur umweltverträglichen Bewirtschaftungsweise als die konventionell bewirtschafteten Futterbaubetriebe?

Daraus ergeben sich folgende Unterfragen:

- Haben die ökologischen Betriebe der Gemeinden Lengau und Munderfing einen höheren Humusaufbau als die konventionellen Betriebe?
- Haben die ökologischen Betriebe der Gemeinden Lengau und Munderfing einen höheren Energiesaldo als die konventionellen Betriebe?
- Ist die Bewirtschaftungsweise der ökologisch wirtschaftenden Betriebe der Gemeinden Lengau und Munderfing energieeffizienter als die der konventionellen? (Output / Input-Verhältnis)
- Haben die ökologisch wirtschaftenden Betriebe der Gemeinden Lengau und Munderfing geringere jährliche CO<sub>2</sub>-Emissionen als die konventionellen Betriebe?

## 1.2. Ziele

1. Bilanzierung des Humusreproduktionsniveaus der befragten ökologischen und konventionellen Landbaubetriebe in den Gemeinden Lengau und Munderfing.
2. Bilanzierung des Energieinputs und -outputs des Gesamtbetriebes der befragten ökologischen und konventionellen Landbaubetriebe in den Gemeinden Lengau und Munderfing.
3. Berechnung der Energieeffizienz der ökologischen und konventionellen Landbaubetriebe in den Gemeinden Lengau und Munderfing.
4. Vergleich der Humus- und Energiebilanz der befragten ökologisch und konventionell bewirtschafteten Landwirtschaftsbetriebe.
5. Gegenüberstellung der jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der befragten Betriebe.

## 2. Stand der Forschung

### 2.1. Humus / organische Bodensubstanz

Der Begriff Humus wird in dieser Arbeit synonym mit der Gesamtheit der organischen Substanz des Bodens verwendet.

#### 2.1.1. Zusammensetzung und Abbau

Die organische Substanz der Böden setzt sich aus abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffen sowie deren Umwandlungsprodukte zusammen, die sich in und auf dem Mineralboden befinden. Zu den organischen Ausgangsstoffen zählen die oberirdische Biomasse grüner Pflanzen, die nach dem Absterben als Streu auf den Boden fällt, abgestorbene Wurzeln, Bodentiere und Mikroorganismen sowie organische Ausscheidungsprodukte der Wurzeln und Mikroorganismen. In landwirtschaftlich genutzten Böden werden sowohl Ernterückstände in den Boden eingearbeitet als auch organische Stoffe durch Düngung und Abfallbeseitigung zugeführt (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002).

Die organischen Ausgangssubstanzen setzen sich aus Wasser, Mineralstoffen und organischen Verbindungen zusammen. Zu den organischen Verbindungen zählen

- Kohlenhydrate, die in Form von Zucker, Stärke, Pektin, Hemizellulose und Zellulose vorkommen
- Lignin und
- Stickstoffhaltige Verbindungen (BLUM 2012).

Der Abbau von organischer Substanz erfolgt in drei Phasen. In der ersten Phase erfolgt die hydrolytische Aufspaltung der Makromoleküle durch die Primärzersetzer, zu denen vor allem Pilze zählen. Aus dieser Phase gehen zerkleinerte Pflanzen- und Tierreste hervor, welche von den Sekundärzetzern, den Tieren der Mesofauna, in der zweiten Phase umgesetzt werden. In der letzten Phase wird die modifizierte organische Substanz von Pilzen und Bakterien mineralisiert. Als Mineralisierung bezeichnet man den vollständigen mikrobiellen Abbau organischer Stoffe in anorganische. Dabei werden die Pflanzennährelemente, welche die organischen Stoffe beinhalten, freigesetzt. Zum größten Teil besteht die organische Substanz aus Kohlenstoff, der durchschnittliche Kohlenstoffgehalt der einzelnen

Substanzklassen liegt bei 50 %. Die organische Substanz enthält zusätzlich Metalle und Nichtmetalle (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002).

Wenn organisches Material auf oder in den Boden gelangt, so erfolgt eine schnelle Mineralisierung. Mit zunehmender Verweildauer im Boden verlangsamt sich die rasche Abbaurrate durch Mineralisierung und die fortschreitende Humifizierung setzt ein. Unter Humifizierung versteht man eine Umwandlung in Huminstoffe, hochmolekulare Substanzen die gegen Mineralisierung stabilisiert sind. Huminstoffe werden in unlösliche, dazu zählen die Humine, und lösliche, dazu zählen die Huminsäuren und Fulvosäuren, eingeteilt (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002).

Zwischen 60 und 70 % des organischen Materials, das in den Boden gelangt, wird innerhalb eines Jahres abgebaut, wodurch Nährstoffe freigesetzt werden. Die Nährstoffzufuhr klingt aber, aufgrund des raschen Abbauprozesses, schnell wieder ab. Dieser Teil des Humus wird als „Nährhumus“ bezeichnet. Umwandlungsprozesse stabilisieren den Rest, den die sogenannten Huminstoffe darstellen. Unter europäischen Klimabedingungen sind sogar nach zehn Jahren noch 8 – 12 % des Kohlenstoffs, der in den organischen Resten und Düngern enthalten ist, im Boden vorhanden. Huminstoffe verbinden sich mit mineralischen Bestandteilen oder werden von diesen umhüllt und können in Abhängigkeit von Boden und Klima lange Zeiträume überdauern.

Bei einer regelmäßigen Zufuhr von organischem Dünger häuft sich diese langlebige Fraktion im Boden an, die als Nährstoffreservoir, wegen ihrer insgesamt großen Menge, nicht zu unterschätzen ist. Der Abbau und damit die Freisetzung von Nährstoffen erfolgt jedoch nur langsam (SAUERBECK 1992).

### **2.1.2. Ackerbauliche und ökologische Funktionen**

Eine bedeutende Funktion kommt dem Humus als Speicher und Transformator von Nährstoffen, vor allem für Stickstoff, Schwefel und Phosphor, zu.

Weiters ist die organische Substanz die Lebensgrundlage aller im Boden lebenden Organismen. Der erhöhte mikrobielle Umsatz und die Besiedelung durch die gute Humusversorgung bedingen die damit verbundene phytosanitäre Wirkung (LEITHOLD et al. 2007).

Auch das Bodengefüge wird vom Humus beeinflusst. Eine erhöhte Aggregatstabilität, gute Bodendurchlüftung, verbesserte Wasserspeicherung und Durchwurzelbarkeit, verminderte Bodenerosion durch geringere Verschlammungsneigung, höhere Infiltrationsrate und

geringerer Oberflächenabfluss sind maßgeblich vom Humusvorrat und der Zufuhr von organischer Substanz im Boden abhängig.

Zusätzlich stellt der Humus eine Puffer- und Filterfunktion toxischer Substanzen sowie eine Senkfunktion von CO<sub>2</sub> dar. Durch die Kohlenstoffspeicherung über die Photosynthese der Pflanze wird der CO<sub>2</sub>-Haushalt der Atmosphäre beeinflusst (LEITHOLD et al. 2007).

Eine zu hohe Humusversorgung kann jedoch aufgrund des hohen Mineralisierungspotentials die Ursache für Stickstoffausträge in die Hydro- und Atmosphäre sein. Es wird deshalb eine Humusversorgung angestrebt, welche die Sicherung der Produktivität eines landwirtschaftlichen Betriebes sowie den Umweltschutz berücksichtigt (KÖRSCHENS 2004).

### **2.1.3. Bedeutung der organischen Substanz im Ökologischen Landbau**

Die Wirkung, die eine ausreichende Humusversorgung auf landwirtschaftliche Böden ausübt, ist in allen Landbausystemen anzustreben. Besonders im ökologischen Landbau wird eine naturveranlagte Bodenfruchtbarkeit angestrebt, die im Wesentlichen vom Humusvorrat im Boden bestimmt wird.

Bei ökologischer Bewirtschaftungsweise konnte im Vergleich zur konventionellen Bewirtschaftungsweise ein höherer Humusgehalt in mehreren Untersuchungen festgestellt werden. Die Gründe hierfür liegen vor allem in der Einschränkung des Humuszehreranteils am Ackerflächenverhältnis, im vermehrten Anbau von humusmehrenden Leguminosen als Haupt- und Zwischenfrüchte sowie in einer besseren Versorgung der Humuszehrer mit organischen Düngern aus der Tierhaltung, die in einem Futterbaubetrieb anfallen (LEITHOLD 2004).

In den letzten Jahren hat sich aber in vielen ökologischen Betrieben eine Veränderung der Struktur, der Düngung und der Bewirtschaftungsintensität vollzogen. Spezialisierung, viehlose Bewirtschaftung und getreidebetonte Fruchtfolgen sind auch in der Ökologischen Landwirtschaft zu finden (LEITHOLD et al. 2007).

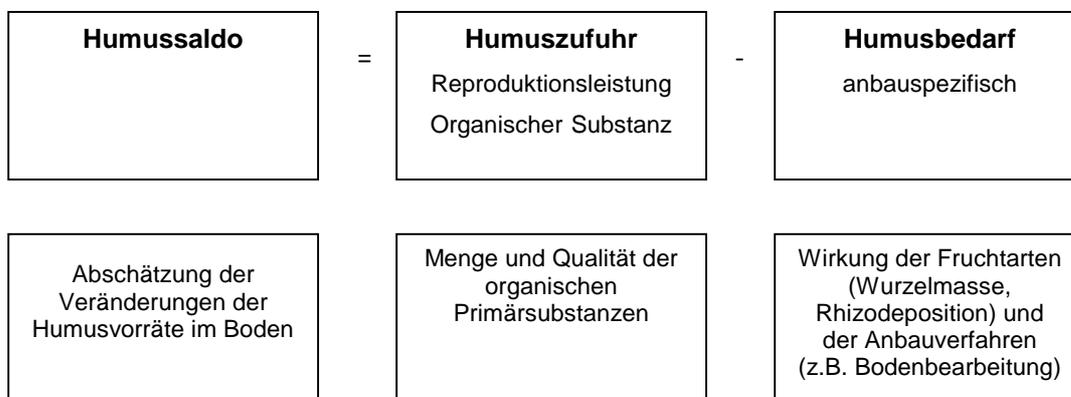
Eine mineralische Düngung ist, bis auf wenige Ausnahmen, im ökologischen Landbau nicht zugelassen. Die ökologische Landwirtschaft ist bei der Versorgung der Kulturpflanzen mit Mineralstoffen, vor allem mit Stickstoff, von der Mineralisierung der organischen Substanz abhängig (BROCK 2009).

## 2.2. Humusbilanz

Eine Humusbilanz ist keine Bestimmung absoluter Humusgehaltsänderung von Böden sondern eine indirekte Einschätzung des Humusversorgungsgrades.

### 2.2.1. Prinzip und Anwendungsbereich der Humusbilanzierung

Das Prinzip der Humusbilanzierung besteht in der Gegenüberstellung des Humusbedarfs, der durch den Anbau humuszehrender Fruchtarten verursacht wird, und der Humuszufuhr, die durch den Anbau humusmehrender Fruchtarten und organischer Düngung entsteht. Aus der Gegenüberstellung beider Faktoren ergibt sich der Humussaldo.



Quelle: KOLBE (2007)

Die Bilanzsalden ermöglichen eine Abschätzung von möglicherweise notwendigen Änderungen in der Bewirtschaftung, um eine standortangepasste Humusversorgung der Böden zu erhalten. Die bewirtschaftungsbedingten Veränderungen der Humusvorräte acker- und gartenbaulich genutzter Böden können dadurch abgeschätzt werden. Gleichzeitig kann mit organischer Düngung entsprechend reagiert und einer Über- oder Mangelversorgung entgegengewirkt werden. Ein Netto-Zuwachs oder Verlust von Humus wird von den angebauten Pflanzen über deren Wurzelsystem, der Wurzelmasse und Rhizodeposition, sowie über ihre spezifischen Anforderungen an die Bodenbearbeitung verursacht. Die Reproduktionsleistung der angebauten Pflanzen wird aus der Menge und Qualität der zugeführten Ernterückstände und organischen Dünger ermittelt (KÖRSCHENS 2004).

### 2.2.2. Humusbilanzierungsmethoden

Die ersten Bilanzierungsmethoden wurden für die Bedingungen der konventionellen Landwirtschaft erstellt, um den Bedarf an organischer Substanz zu ermitteln, die zum Erhalt der Humusversorgung auf Böden mit mineralisch-organischer Düngung notwendig ist. Zu

diesen Methoden zählt die ROS-Methode (Reproduktionswirksame organische Substanz) nach ASMUS und HERRMAN aus dem Jahr 1977.

Die erste Methode, die den unterschiedlichen Humusbedarf der ökologischen und konventionellen Landwirtschaft berücksichtigt, ist die statische HE-Methode nach LEITHOLD und HÜLSBERGEN aus dem Jahr 1998. Weiters gibt es die computergestützte, dynamische HE-Methode, in welcher folgende Einflussfaktoren berücksichtigt werden: die Betriebsstruktur, die Bewirtschaftungsintensität sowie die angewendeten Verfahren (HÜLSBERGEN und KÜSTERMANN 2007).

Im Jahr 2004 wurde die VDLUFA-Methode entwickelt. Diese Bilanzierungsmethode stellt einen Kompromiss der beteiligten Wissenschaftler dar. Es wird zwischen den unteren und den oberen Werten der VDLUFA-Methode unterschieden. Der Unterschied liegt in der Ableitung der Koeffizienten, die unteren Werte wurden aus den ROS-Koeffizienten abgeleitet, die oberen aus den HE-Koeffizienten (VDLUFA 2004).

### **2.2.3. Bedarfs- und Reproduktionskoeffizienten der HE-Methode**

Die Koeffizienten wurden aus langjährigen Dauerfeldversuchen, die einer genauen Erforschung der Beziehung zwischen Humus und Stickstoff im System Boden-Pflanze unterlagen, abgeleitet. Auch Koeffizienten früherer Bilanzmethoden wurden miteinbezogen.

Als Bilanzmaßstab wurde die Humuseinheit, welche einer Tonne Humus mit 50 kg N und 580 kg C entspricht, gewählt.

Zur Ableitung der Bedarfskoeffizienten für humuszehrende Kulturen wurden fruchtartenspezifische Stickstoffbilanzen verwendet. Anhand der Stickstoffbilanzen wurde auf die Netto-N-Mineralisation, den dabei entstehenden Humusverlust und um den Verlust auszugleichen, den Bedarf an organischer Substanz, geschlossen.

Die Reproduktionskoeffizienten der humusmehrenden Kulturen wurden über deren Kohlenstoff- und Stickstoffakkumulation im Boden in Langzeit-Feldexperimenten ermittelt (LEITHOLD und HÜLSBERGEN 1998).

Bei den organischen Düngern bestimmt die stoffliche Zusammensetzung maßgeblich den Abbau und die Humifizierung und somit die Humusersatzleistung. Der Rottegrad des Festmistes, die Tierart sowie der Trockensubstanzgehalt führen zu unterschiedlichen Werten (LEITHOLD 2007).

#### **2.2.4. Stärken und Grenzen der Humusbilanzierung**

Als Stärken der Humusbilanzierung gelten die leichte Anwendbarkeit und Datenverfügbarkeit, die Modelltauglichkeit, die leichte und kostengünstige Anwendbarkeit sowie die Transparenz der Aussagen (BROCK et al. 2008).

Diese Vorteile bedeuten aber auch Grenzen, zum Beispiel lässt die vereinfachende Beschreibung der Humusversorgung nur bedingt eine Aussage über tatsächliche Humusgehaltsänderungen zu und so kommt es zu unscharfen Aussagen. Dadurch, dass Differenzen der Standortbedingungen und Bewirtschaftungsmaßnahmen kaum berücksichtigt werden, verringert sich die Aussagekraft. Zusätzlich lässt die Linearität des Ansatzes kein Einschwingen auf ein Fließgleichgewicht zu (LEITHOLD 2007).

#### **2.2.5. Humusbilanzen der konventionellen und biologischen Landwirtschaft im Vergleich**

KASPER et al. (2012) berechneten die Humusbilanzen der vorherrschenden Betriebsformen (Futterbau, Marktfrucht, Veredelung und Dauerkultur) der österreichischen Hauptproduktionsgebiete unter konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung. Mit Ausnahme der Dauerkulturbetriebe waren die Humusbilanzen aller Betriebsformen positiv. Innerhalb der Betriebsform Futterbau wurde von zwölf Modellbetrieben, sechs konventionell und sechs ökologisch wirtschaftenden Betrieben, eine Humusbilanz nach der dynamischen HE-Methode berechnet.

In der Arbeit von KASPER et al. (2012) konnte festgestellt werden, dass vor allem Futterbaubetriebe einen hohen bis sehr hohen Humussaldo aufweisen. Vier der konventionellen und fünf der ökologischen Betriebe wiesen eine sehr hohe Anreicherung von über 300 kg Humus-Kohlenstoff je Hektar und Jahr auf. Der Humussaldo ist in fünf Hauptproduktionsgebieten bei den ökologischen Modelfutterbaubetrieben höher als bei den konventionellen Vergleichsbetrieben. Weiters ergaben die Untersuchungen bei ökologischen Betrieben eine höhere Humusersatzleistung als bei konventionellen. In fünf Hauptproduktionsgebieten von sechs, in denen Futterbaubetriebe vorkommen, erreichten die ökologischen Modellbetriebe eine höhere Humusersatzleistung als die konventionellen Vergleichsbetriebe. Zu einer höheren Humuszufuhr kam es durch einen vermehrten Anbau von Zwischenfrüchten und Leguminosen sowie einem höheren Humusmehreranteil in der Fruchtfolge der ökologischen Betriebe. Der Humusmehreranteil durch organische Düngung ist jedoch größtenteils bei konventionellen Betrieben höher. Die Ursache dafür liegt in der höheren GVE-Besatzungsdichte je Hektar.

Sowohl der ökologische als auch der konventionelle Modellfutterbaubetrieb des Hauptproduktionsgebietes Alpenvorland weisen einen Humussaldo von über 300 kg Humus-C  $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  auf und wurden somit der höchsten Versorgungsstufe E zugeordnet. Die Höhe der Humusersatzleistung unterscheidet sich bei den beiden Betrieben nur sehr gering. Beim konventionellem Betrieb stammt die Humusersatzleistung jedoch größtenteils aus der Zufuhr organischer Substanz, beim ökologischen Betrieb kommt die Humusersatzleistung zur Hälfte aus der Humusmehrerleistung und zur Hälfte aus der Zufuhr organischer Substanz (KASPER et al. 2012).

BREITSCHUH und GERNAND (2010) führte mit Daten aus den Jahren zwischen 1994 und 2010 von 385 Betrieben 629 Humusbilanzierungen durch. 580 Datensätze stammten von konventionell und 49 Datensätze von ökologisch wirtschaftenden Betrieben. Die untersuchten Betriebe stammten aus den Bundesländern Deutschlands und deckten alle Produktionsformen ab. Auch diese Untersuchungen führten zu ähnlichen Ergebnissen. Der Humussaldo lag bei den ökologisch bewirtschafteten Betrieben im Mittel etwas höher als bei den konventionell bewirtschafteten Betrieben. Der Unterschied in dieser Untersuchung war zwar sehr gering, die einzelnen Einflussgrößen variierten jedoch stark. In der ökologischen Landwirtschaft wirkte sich der vermehrte Anbau von Ackerfutter sowie Zwischenfrüchten positiv auf den Humussaldo aus. Eine höhere Tierbesatzdichte von etwa 0,3 GVE je Hektar, der Zukauf von Klärschlamm und Biokompostabfällen sowie mehr Koppelprodukte durch höhere Erträge in der konventionellen Landwirtschaft wirkten dem vermehrten Humusabbau durch den Anbau von humuszehrendem Mais entgegen.

Durch den steigenden Viehbesatz wächst auch die Zufuhr an organischem Dünger, der dem Acker zugeführt werden kann. Ab einer Tierbesatzdichte von  $> 2$  GVE je Hektar stammt der vermehrte Anfall an organischem Dünger verstärkt aus dem Zukauf organischer Substanz in Form von Futter. Tendenziell ergibt sich aus einem höheren Tierbesatz ein höherer Humussaldo (BREITSCHUH und GERNAND 2010).

### 2.3. Energieeinsatz in der Landwirtschaft

Unter Energie versteht man gespeicherte Arbeit, die mit der SI-Einheit „Joule“ ausgedrückt wird. Nach dem Energieerhaltungsgesetz kann Energie nicht gewonnen, sondern lediglich in einem System umgewandelt werden. Energie wird, ausgehend von ihren Umwandlungsprozessen, in vier Stufen eingeteilt, nämlich in die Primär-, Sekundär-, End- und Nutzenergie. Zwischen jeder dieser Stufen geht Energie durch Umwandlung in die

nächste Energieform verloren (DIEPENBROCK et al. 1995). In der Abbildung 1 werden die vier Energieformen und der jeweilige Energieverlust, der durch die Umwandlung in die nächste Energieform entsteht, dargestellt.

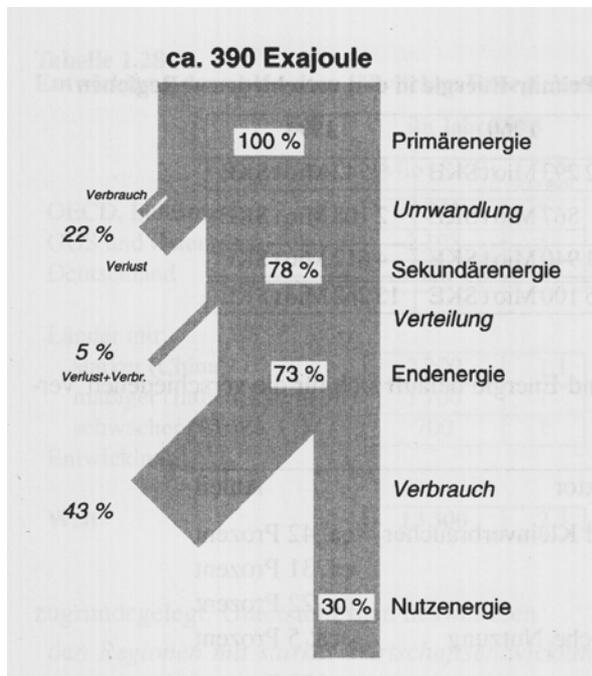


ABBILDUNG 1: Weltweiter Energiefluss von der Primärenergie über die Endenergie zur Nutzenergie. Quelle: HEINLOTH (2003)

Die Landwirtschaft zählt zur sogenannten Urproduktion. Der natürliche Wachstumsprozess der Pflanze wird vor allem durch die Sonnenenergie gesteuert. Durch zusätzlichen Fremdennergieeinsatz, wie zum Beispiel Düngung, Bodenbearbeitung oder Pflanzenschutz, hat sich der Mensch Methoden angeeignet, mit denen er den Wirkungsgrad der Sonne verstärken kann (WILLER und PONATH 1987).

Bis vor dem ersten Weltkrieg waren menschliche und tierische Muskelkraft mit einem Anteil von 90 % am gesamten Energieeinsatz die wichtigsten Formen von Nutzenergie in der Landwirtschaft. Mit dem Einsatz von Mineräldüngern, Mineralölerzeugnissen und elektrischem Strom konnte die Nahrungsmittelproduktion in den letzten 100 Jahren enorm gesteigert werden. Besonders in den Jahren zwischen 1950 und 1970 ermöglichte das kostengünstige Energieangebot eine Beschleunigung des Produktionsfortschrittes durch einen erhöhten Energieeinsatz (WILLER und PONATH 1987).

Der Einsatz von Mineräldünger, dessen Produktion ein energieintensiver Vorgang ist, ermöglicht eine, in Abhängigkeit der Kultur, 10 - 15 Mal höhere Energiebindung als durch die

Produktion des Düngemittels bis zur Ausbringung auf dem Feld aufgewendet wird (BRENTROP und KÜSTERS 2008).

Um die Jahrhundertwende vom 19. in das 20. Jahrhundert erzeugte ein Beschäftigter in der österreichischen Landwirtschaft den Nahrungsmittelbedarf von zwei Menschen, um 1950 von etwa fünf Personen, bis 1970 stieg die Relation auf etwa 1 : 16, 1987 auf 1 : 37 und 1998 erreichte sie ein Verhältnis von etwa 1 : 60-70 Personen. Durch die Produktionssteigerung, die der erhöhte Fremdenergieeinsatz ermöglichte, kam es zu einem Rückgang der Beschäftigten sowie zu einer veränderten Relation zwischen Nahrungsmittelproduzent und Konsument (SANDGRUBER 2002).

Steigende Energiepreise aufgrund der Energiekrise 1973/74 veranlasste den Agrarsektor zum ersten Mal, vermehrte Aufmerksamkeit auf eine energieeffiziente Landbewirtschaftung zu legen und über die unbegrenzte Verfügbarkeit fossiler Energieträger nachzudenken (WILLER und PONATH 1987).

Zahlreiche Studien wurden zu dieser Zeit, vorerst in Nordamerika, später dann auch in Europa, im Bereich der landwirtschaftlichen Produktionseffizienz durchgeführt. Gleichzeitig begann man auch, die zwei Produktionssysteme ökologisch und konventionell energetisch zu vergleichen.

## 2.4. Energiebilanz

Unter Energiebilanz versteht man eine quantitative Gegenüberstellung des Energieinputs und des Energieoutputs eines Systems. Innerhalb der Energieinputs wird zwischen direktem und indirektem Energieinput unterschieden.

Zum direkten Energieinput zählen nach WERSCHNITZKY et al. (1987) Energieträger, die unmittelbar im Produktionsprozess zur Erzeugung nutzbarer Energien verbraucht werden. Er führt Mineralölerzeugnisse, elektrischen Strom, Gas und Kohle an. Zu den Mineralölerzeugnissen zählt also unter anderem der Treibstoff, der für den Antrieb landwirtschaftlicher Maschinen eine bedeutende Rolle spielt.

Unter dem indirekten Energieeinsatz wird jene Energie verstanden, die zur Her- und Bereitstellung von Betriebsmitteln, wie Handelsdünger, Pflanzenschutzmittel, Maschinen und Gebäude, aufgewendet wird.

Nach WERSCHNITZKY et al. (1987) zählt der Energieeinsatz durch Schmierstoffe zum indirekten Energieeinsatz. HAAS et al. (1995) hingegen führt den Verbrauch von Treib- und Schmierstoffen unter dem direkten Energieeinsatz an.

In der Bilanzierung werden Verbrauchsmengen (kWh Strom, kg Diesel,...), Heizwerte der jeweiligen Energieträger sowie deren Bereitstellungsaufwand, darunter fallen Produktion und Transport, miteinbezogen. Werden alle Zahlen der Energieaufwendungen addiert, erhält man den Kumulierten Energieaufwand, der unter Tolerierung geringer Unschärfe auch als Aufwand der Primärenergie bezeichnet werden kann (MOERSCHNER 2000).

Zur Bewertung von direkter Energie wird in der Literatur zwischen zwei verschiedenen Ansätzen unterschieden:

- Den Ansatz der Endenergie: Dabei werden die Energieträger nur mit ihrem Heizwert, der für die Erzeugung von Nutzenergie zur Verfügung steht, bewertet. Unberücksichtigt bleiben dabei die Energieverluste, die bei der Transformation der Primärenergie über die Sekundärenergie in die Endenergieform, auftreten.
- Der Ansatz der Primärenergie: Alle in den Bereitstellungsprozess einfließenden Energieträger werden in Ansatz gebracht und in Energieäquivalente umgerechnet (DIEPENPROCK et al. 1995).

Die Energiebilanzierung kann nach HEGE und BRENNER (2004) auf drei verschiedenen Ebenen erfolgen. Auf der Ebene

- des Gesamtbetriebes,
- des Betriebszweiges Pflanzenbau und
- des Betriebszweiges Tierhaltung.

Bei Ersterem ergibt sich der Energiesaldo aus der Differenz zwischen dem Eintrag an fossiler Energie durch Diesel, Mineraldünger, Pflanzenschutzmittel und Prozessenergie für zugekaufte Futtermittel, und dem Energieoutput, also aller pflanzlichen und tierischen Marktprodukte, die den Betrieb verlassen. Von diesem Wert wird der Energiegehalt an zugekauften Vorleistungen, wie Futtermitteln, abgezogen.

Der Unterschied zur Bilanzierung auf dem Betriebszweig Tierhaltung besteht darin, dass sich sowohl der Input als auch der Saldo auf die Großvieheinheit und nicht auf den Hektar beziehen. Die Inputfaktoren Strom, Treibstoffe und die Prozessenergie für zugekaufte und selbst produzierte Futtermittel werden in die Bilanzierung miteinbezogen.

Der Energieinput eines Gesamtbetriebes schwankt, je nach Betriebsform und Grünlandanteil zwischen 1 und 70 GJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Für Betriebe mit Tierhaltung sollte der Energieinput nach den Kriterien der umweltverträglichen Landwirtschaft nicht höher als 35 GJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> sein. Der Energiesaldo eines tierhaltenden Betriebs kann je nach Tierbesatz auch negativ werden, ein Energieverlust von 20 GJ sollte jedoch nicht überschritten werden. Ein zu hoher Energieinput und ein verminderter Energiesaldo bewirken zum einen vermehrte CO<sub>2</sub>-Emissionen und stellen zum anderen eine unzureichende Faktoreffizienz dar und sollten daher weitgehend vermieden werden (HEGE und BRENNER 2004).

#### **2.4.1. Energiebilanzierungen in der Landwirtschaft**

Die Untersuchungen von RAMHARTER (1999) ergaben, dass das Verhältnis Energieeinsatz zu Energieaufwand in der biologischen Pflanzenproduktion immer günstiger ist als in der konventionellen. Das bedeutet, dass die Produktion einer Energieeinheit Nahrungsmittel in der biologischen Produktion weniger Energieaufwand benötigt als eine Energieeinheit Nahrungsmittel in der konventionellen. Der Energiegewinn je Flächeneinheit ist jedoch bei der biologischen Produktion geringer. In der biologischen Produktion wird demnach weniger Energie in Form von Nahrungsmitteln oder pflanzlichen Rohstoffen je Flächeneinheit produziert.

Innerhalb einer Studie von MOITZI und BOXBERGER (2011) wurden drei ökologische Milchviehbetriebe in Österreich untersucht. In der ökologischen Bewirtschaftungsweise machte der direkte Energieinput, in Form von Strom und Kraftstoff, den Hauptanteil an Energieaufwendungen aus. Der Indirekte Energieinput war durch den Verzicht auf Pflanzenschutzmittel und größtenteils mineralische Düngemittel geringer. Untersuchte Tierhaltungsbetriebe hatten einen relativ niedrigen Energieeinsatz pro Hektar, der Grund dafür lag vor allem an dem geringen Kraftfuttereinsatz in der ökologischen Landwirtschaft (MOITZI und BOXBERGER 2011).

Ein niederösterreichischer Ackerbaubetrieb wurde auf ökologische Bewirtschaftung umgestellt, in der Untersuchung von MOITZI und BOXBERGER (2011) wurde eine Energiebilanz vor und nach der Umstellung durchgeführt. Die Bewirtschaftung unterschied sich in der Fruchtfolge, die sich im ökologischen Betrieb diversifiziert und im konventionellen Betrieb vereinfacht gestaltete. Bei einer Umstellung auf ökologischen Landbau konnte der indirekte Energieeinsatz durch den Wegfall synthetischer Dünge- und Pflanzenschutzmittel zwar deutlich reduziert werden, der vermehrte Einsatz von direkter Energie durch kraftstoffintensivere Arbeitsgänge glich diese Einsparungen jedoch wieder aus. Die Summe

der Energieaufwendung lag sowohl bei der ökologischen sowie auch bei der konventionellen Bewirtschaftungsweise bei  $10,3 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (MOITZI und BOXBERGER 2011).

MOITZI et al. (2010) untersuchten den direkten Energieaufwand (Dieselkraftstoff und Elektrizität) von zwei österreichischen Milchviehbetrieben sowie den kumulierten Energieaufwand für zugekaufte Futtermittel. Die zwei Betriebe unterschieden sich hinsichtlich ihrer Bewirtschaftungsintensität. Der Energieaufwand durch die Elektrizität war bei dem intensiv bewirtschafteten Betrieb (High-Input-Betrieb) mehr als viermal so hoch als bei dem extensiv bewirtschafteten Betrieb (Low-Input-Betrieb). Der High-Input-Betrieb wies jedoch einen um das Dreifache höheren Einsatz an zugekauftem Kraftfutter auf. Der hohe Einsatz an zugekauftem Kraftfutter glich den Vorteil des geringen Energieaufwandes je kg Milch beinahe aus. Der gesamte, direkte Energieaufwand, inklusive des kumulierten Energieaufwandes durch zugekauftes Kraftfutter, des Low-Input Betriebes beträgt  $1,10 \text{ MJ kg}^{-1}$  Milch, der des High-Input Betriebes  $1,13 \text{ MJ kg}^{-1}$  Milch.

## 2.5. Treibhausgasemissionen

Bei den globalen Emissionen unterscheidet man zwischen natürlichen und anthropogenen, vom Mensch verursachten, Emissionen. Zu den natürlichen Emissionen zählen jene, welche durch Waldbrände oder Vulkane entstehen, Ursachen anthropogener Emissionen sind Energiebereitstellung, Verkehr, Industrie sowie Landwirtschaft.

Zu den wesentlichen Emissionen, welche zum anthropogenen Treibhauseffekt beitragen, zählen neben Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) vor allem Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ).  $\text{CO}_2$  ist mit einem Anteil von 77 % am anthropogen verursachten Treibhauseffekt beteiligt, das entspricht 34 Gt  $\text{CO}_2$  von insgesamt 44,2 Gt  $\text{CO}_2$ -Äquivalent. Im Jahr 2007 betrug der vom Menschen verursachte  $\text{CO}_2$ -Ausstoß durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe 29 Gt, das machte in etwa 85 % der gesamten  $\text{CO}_2$ -Emissionen aus (Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik 2010).

Die in Österreich emittierten Treibhausgase betragen im Jahr 2007 88 Millionen Tonnen  $\text{CO}_2$ -Äquivalente.  $\text{CO}_2$  trug mit einem Anteil von 84,3 % als hauptverantwortliches Treibhausgas zu den Gesamtemissionen bei. Im Jahr 2007 betrug die  $\text{CO}_2$ -Emission 74,2 Millionen Tonnen, im Vergleich zum Jahr 1990 kam es zu einem Anstieg von 19,5 % (ANDERL et al. 2009).

Durch Treibhausgase wird die Rückstrahlung eines Teiles der Wärmestrahlung der Sonne verhindert und erwärmt stattdessen die Erdoberfläche, welche dadurch eine durchschnittliche Temperatur von 15 °C aufweist. Zusätzlich, anthropogen verursachte, Treibhausgase stören das natürliche Gleichgewicht und verursachen eine Erwärmung des Klimasystems. Elf der zwölf Jahre zwischen 1995 und 2006 zählen zu den wärmsten Jahren seit Beginn der instrumentellen Messung der globalen Erdoberflächentemperatur, die seit 1850 durchgeführt wird (IPCC 2007).

### 2.5.1. Abgasemissionen

Abgasemissionen entstehen bei der Verbrennung von Kraftstoff wie Diesel oder Benzin. Ein Kilogramm Kraftstoff reagiert dabei mit etwa 14 kg Luft, wovon 3,4 kg Sauerstoff (O<sub>2</sub>) sind. Pro Kilogramm Kraftstoff entstehen bei der Verbrennung circa 3,15 kg CO<sub>2</sub> und 1,25 kg Wasser (H<sub>2</sub>O) in Form von Wasserdampf.

### 2.5.2. Emissionen durch die Landwirtschaft

Der Sektor Landwirtschaft trägt in Österreich mit 9 % zu den gesamten Treibhausgasen bei und steht somit an fünfter Stelle hinter Industrie, Verkehr, Energieversorgung und Kleinverbrauch, siehe Abbildung 2.

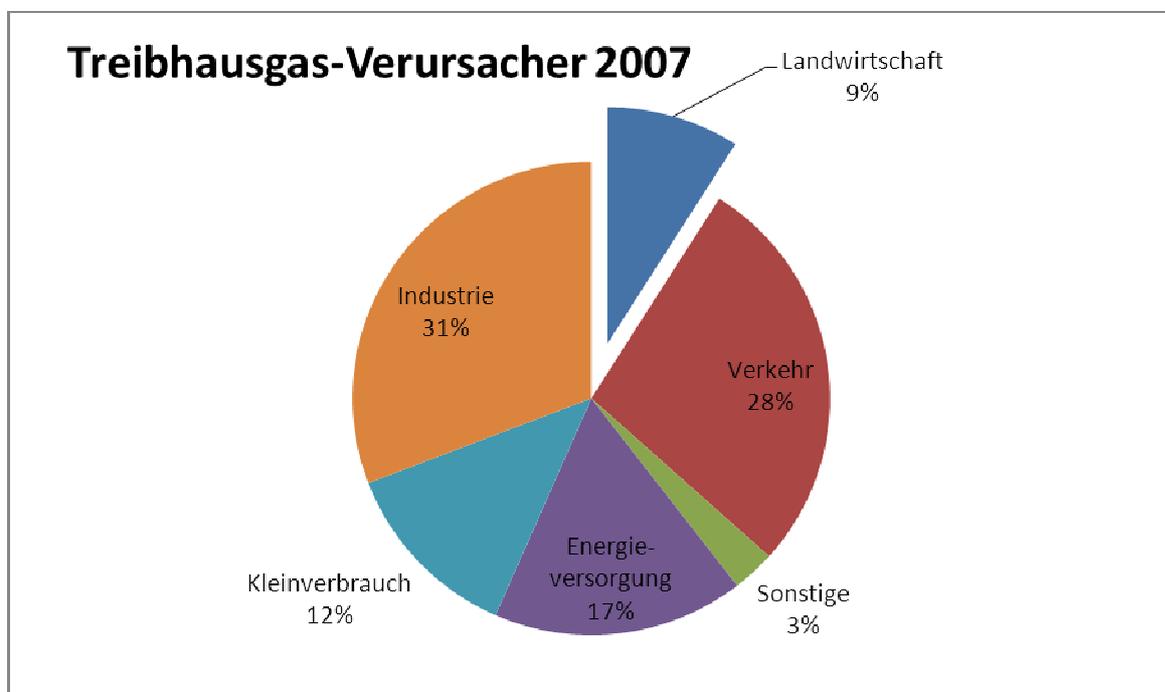


ABBILDUNG 2: Die Verursachersektoren der Treibhausgasemissionen in Österreich und deren Anteile an den gesamten Treibhausgasemissionen. (Quelle: ANDERL et al. 2009)

Es ist aber zu beachten, dass der Sektor Landwirtschaft lediglich Emissionen aus der Viehhaltung, Grünlandwirtschaft sowie den ackerbaulichen Tätigkeiten beinhaltet. Innerhalb dieser Kategorien werden lediglich die entstehenden CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O und NH<sub>3</sub>-Emissionen beachtet. Die Nutzung landwirtschaftlicher Geräte (Traktoren), bei welcher CO<sub>2</sub> entsteht, ist, laut IPCC-Systematik, Teil des Sektors Kleinverbrauch (ANDERL et al. 2009).

Durch den stark gestiegenen Betriebsmitteleinsatz ist die Landwirtschaft jedoch mitverantwortlich an der anthropogenen CO<sub>2</sub>-Freisetzung. Zu den wesentlichen Verursachern von Kohlendioxid in der Landwirtschaft industrialisierter Länder zählen innerhalb des direkten Verbrauchs fossiler Energieträger Diesel, Heizöl und Strom, innerhalb des indirekten Verbrauchs Mineraldünger, Pflanzenschutz, Futtermittel, Maschinen und Gebäude (HAAS et al. 1995).

In Österreich stammen 4,2 % der gesamten nationalen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Landwirtschaft. Der Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Landwirtschaft am nationalen Treibhauspotential Österreichs beträgt 29,5 % (DERSCH 2000).

### **2.5.3. Möglichkeiten zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen**

Menschliche Eingriffe spielen eine bedeutende Rolle in der Veränderung des Kreislaufes des globalen Ökosystems. CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Brennstoffen und die Verringerung der Kohlenstoffvorräte in den natürlichen Pflanzen- und Bodenbeständen zählen zu den wichtigsten Eingriffen bezüglich des vermehrten CO<sub>2</sub>-Gehalts in der Atmosphäre (SAUERBECK 2002).

Der Anteil von Kohlendioxid am anthropogenen Treibhauseffekt beträgt 60 %. Zwischen dem Jahre 1750 und 2005 hat sich der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre von 280 ppm auf 379 ppm, also um 35 %, erhöht (IPCC 2007).

Gründe für die Erhöhung des Kohlendioxidgehaltes in der Atmosphäre liegen im vermehrten Einsatz fossiler Energieträger und Landnutzungsänderungen (SCHIMMEL et al. 2001).

Um die von der Landwirtschaft selbst erzeugten CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren, werden von JANZEN (2004) folgende Möglichkeiten genannt:

- Die Speicherung von Kohlenstoff im Humus landwirtschaftlich genutzter Böden
- Die landwirtschaftliche Erzeugung von Biomasse womit fossile Energieträger ersetzt werden.
- Den fossilen Energieeinsatz verringern.

In der Photosynthese wird durch die Pflanzen Kohlendioxid aus der Luft gebunden. Ein Teil des gebundenen CO<sub>2</sub> gelangt über Wurzeln und Wurzelausscheidungen sowie Stroh, Stoppelrückstände oder über den zugefügten Wirtschaftsdünger in den Boden. Bodenorganismen zerlegen und mineralisieren diese mit Kohlendioxid aus der Atmosphäre angereicherten organischen Substanzen. Ein Teil der organischen Substanz wird innerhalb kurzer Zeit als Nährstoffe freigesetzt die den Pflanzen zur Verfügung stehen. Ein kleinerer Teil wird als die sogenannten Huminstoffe im Boden stabilisiert. Auf diese Weise wird CO<sub>2</sub> im Boden gespeichert (HÜLSBERGEN 2011).

Mit einem Kohlenstoffspeicherpotential von 0,4 bis 1,2 Gt C a<sup>-1</sup> durch die Speicherung im Humus kann diese Minderungsstrategie der Landwirtschaft nicht vernachlässigt werden.

Der Einsatz von landwirtschaftlich erzeugter Biomasse muss jedoch kritisch betrachtet werden. Das Potential beträgt weltweit > 0,8 Gt C a<sup>-1</sup>. Unbeachtet bleibt bei dieser Berechnung die Emission von CO<sub>2</sub> für die Produktion und Nutzung von Biomasse. Zusätzlich stellt die Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen eine Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung dar.

Den geringsten Beitrag zu einem weltweiten Rückgang von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre kann ein verringerter Energieeinsatz mit geschätzten < 0,05 Gt C a<sup>-1</sup> beitragen. Das liegt daran, dass der Anteil der Landwirtschaft am Gesamtenergieeinsatz gering ist. Somit ergibt sich ein begrenztes Einsparungspotential (HÜLSBERGEN 2008).

#### **2.5.4. CO<sub>2</sub>-Emissionen der konventionellen und ökologischen Landwirtschaft im Vergleich**

HAAS und KÖPKE (1996) führten eine Untersuchung durch, in der sie die Klimarelevanz konventioneller und ökologischer Haupterwerbsbetriebe Deutschlands analysierten und bewerteten. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die ökologischen Betriebe im Durchschnitt über die Hälfte an CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zu den konventionellen Betrieben einsparen konnten. In der Abbildung 3 wird dieses Ergebnis veranschaulicht, zusätzlich zeigt die Abbildung, zu welchem Anteil die jeweiligen Inputfaktoren an den Gesamtemissionen beteiligt sind. 51 % der entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen stammen in der ökologischen Landwirtschaft aus dem direkten Energieeinsatz. In der konventionellen Landwirtschaft dominierte der indirekte Energieeinsatz den Gesamtenergieverbrauch mit einem Anteil von 80 %.

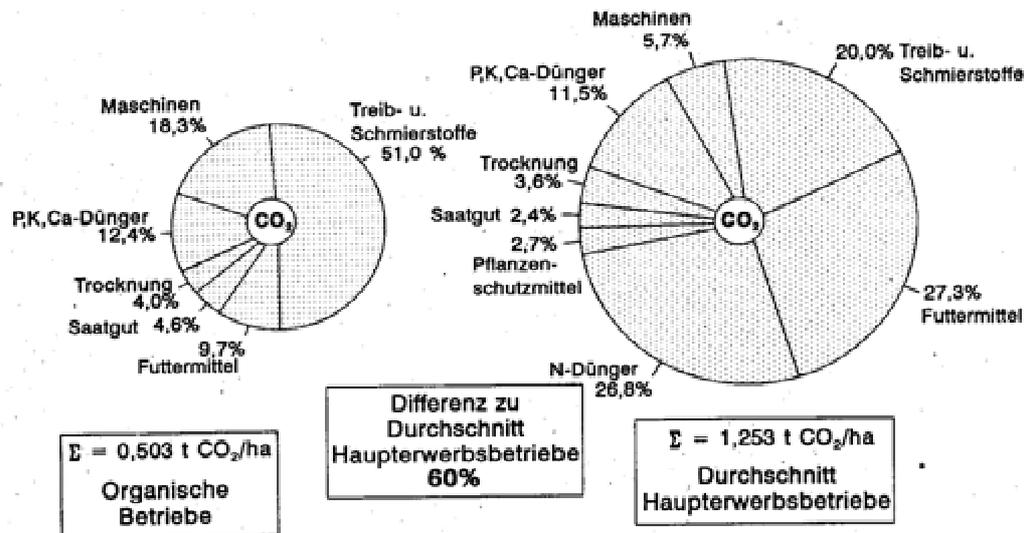


ABBILDUNG 3: Gegenüberstellung der CO<sub>2</sub>-Emissionen durchschnittlicher ökologischer und konventioneller Betriebe. (Quelle: HAAS & KÖPKE 1996)

In der Studie von HAAS und KÖPKE (1996) wurde auch die CO<sub>2</sub>-Bindung durch die Pflanze berechnet. Berücksichtigt wurde dabei die Bindung durch die Hauptfrüchte, die Zwischenfrüchte sowie durch die Untersaaten und die Begleitflora.

KASPER et al. (2012) berechneten die CO<sub>2</sub>-Emissionen konventioneller und ökologischer Betriebsformen der österreichischen Hauptproduktionsgebiete, die durch den Anbau verursacht wurden. Für die Betriebsform Futterbau im Hauptproduktionsgebiet Alpenvorland ergaben sich CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Höhe von 1 278 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> für den konventionellen Modellbetrieb und 818 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> für den biologischen Betrieb. Die Anwendung von Mineraldüngern trug zum größten Teil zu den höheren CO<sub>2</sub>-Emissionen beim konventionellen Betrieb bei. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den Dieselkraftstoff, das Saatgut sowie die Investitionsgüter verursacht wurden, unterschieden sich nur sehr gering.

HÜLSBERGEN (2011) untersuchte die verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen und die C-Bindung im Humus von 28 ökologischen und konventionellen Pflanzenbaubetrieben des Tertiärhügellandes in Bayern. Bezüglich der CO<sub>2</sub>-Emissionen berücksichtigte HÜLSBERGEN die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Einsatz fossiler Energie und die N<sub>2</sub>O-Emissionen in Abhängigkeit des Stickstoffeinsatzes. Er kam zu dem Ergebnis, dass die Ökobetriebe je Flächeneinheit (ha) weniger CO<sub>2</sub> als die konventionellen Betriebe emittierten.

HÜLSBERGEN, K.-J. und SCHMID, H. (2010) berechneten die Treibhausgasemissionen ökologisch und konventionell wirtschaftender Betriebe Deutschlands. Sie stellten die Treibhausgasemissionen dem Energieinput gegenüber. Es konnte ein linearer Zusammenhang zwischen Energieinput und Treibhausgaspotential festgestellt werden. Die

ökologischen Betriebe befanden sich unter den Betrieben mit einem tendenziell niedrigeren Energieinput je Hektar und damit gleichzeitig unter den Betrieben mit niedrigeren Treibhausgasemissionen. Zusätzlich ergaben die Berechnungen, dass in der ökologischen Landwirtschaft ein Potential zur C-Speicherung im Boden vorhanden ist, das sich vor allem durch den Anbau mehrjähriger Leguminosen und den Einsatz organischer Dünger ergibt.

## **3. Methoden**

### **3.1. Forschungsregion**

Fünf der Betriebe, von denen in dieser Arbeit Bewirtschaftungsdaten erhoben wurden, befinden sich in der Gemeinde Lengau, ein Betrieb befindet sich in der Gemeinde Munderfing. Die geographische Lage wird in der Abbildung 4 dargestellt. Beide Gemeinden sind Teil des politischen Bezirkes Braunau am Inn in Oberösterreich und liegen gemäß der Einteilung nach WAGNER (1990) im Hauptproduktionsgebiet Alpenvorland. Die Seehöhe des Hauptortes der Gemeinde Lengau liegt auf 530 Höhenmeter, die des Hauptortes der Gemeinde Munderfing auf 468 Höhenmeter (<http://doris.ooe.gv.at/geographie/geoinfo/gem/geminfo.asp?gemeinde=40418>, am 22.05.2012).



ABBILDUNG 4: Die geographische Lage der untersuchten Gemeinden Lengau und Munderfing. (Quelle: <http://www.mixmap-oesterreich.de/karte/0954.html> am 22.05.2012)

### **3.1.1. Agrarstruktur Gemeinde Lengau**

Die Agrarstrukturerhebung im Jahre 1999 zählte 137 Betriebe in der Gemeinde Lengau, wovon 79 im Haupterwerb geführt wurden, 103 der Betriebe waren Futterbaubetriebe. Die Betriebsgröße variierte zwischen kleiner als 5 ha und 50 ha, 38 Betriebe bewirtschafteten eine Fläche zwischen 10 und 20 ha, 46 Betriebe eine Fläche zwischen 20 und 50 ha ([http://www2.land-oberoesterreich.gv.at/statlandwirtschaft/StartLandwirtschaft\\_Gemeinde.jsp?GemNr=40418&kat=GEM&Gemeindeauswahl](http://www2.land-oberoesterreich.gv.at/statlandwirtschaft/StartLandwirtschaft_Gemeinde.jsp?GemNr=40418&kat=GEM&Gemeindeauswahl), am 10.4.2012).

### **3.1.2. Agrarstruktur Gemeinde Munderfing**

In der Gemeinde Munderfing wurden im Jahr 1999 insgesamt 69 Betriebe gezählt, davon wurden 44 Betriebe im Haupterwerb geführt. 59 Betriebe waren im Jahr 1999 Futterbaubetriebe. Es wurden keine Betriebe angeführt, die eine Fläche größer als 50 ha bewirtschafteten. Knapp die Hälfte der Betriebe, 31, bewirtschafteten eine Fläche zwischen 20 und 50 ha, 18 Betriebe eine Fläche zwischen 10 und 20 ha.

### 3.1.3. Klimatische Bedingungen

Die weiter unten angeführten Klimadaten stammen von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Sie stellen die Mittelwerte aus den Jahren 1971 bis 2000 der Wettermessstation Irrsdorf dar. Diese Messstation ist ungefähr zehn Kilometer von der Gemeinde Lengau entfernt und weist von den umgebenden Messstationen damit die geringste Entfernung zum Untersuchungsort auf.

#### 3.1.3.1. Lufttemperatur und Niederschlagsverteilung

Abbildung 5 und 6 sowie die Tabelle 1 stammen aus der Klimadatenzusammenstellung der ZAMG. Die Grafiken zeigen meteorologische Werte der Messstation Irrsdorf auf Basis der Zeitspanne 1971 bis 2000. In der Tabelle 1 sind die Abkürzungen zur Abbildung 5 angeführt.

#### Lufttemperatur

Die Abbildung 5 zeigt, dass im Monat Juni die höchste Tagesmitteltemperatur und im Monat Januar die niedrigsten Tagesmitteltemperatur gemessen wurde. Der Temperaturhöchstwert liegt bei 35,3 °C im Monat Juli, der niedrigste Temperaturwert beträgt -25,5 °C im Monat Januar. Die Temperatur erreicht im Juli ein Tagesmittel von 17,1 °C und im Januar ein Tagesmittel von -2 °C.

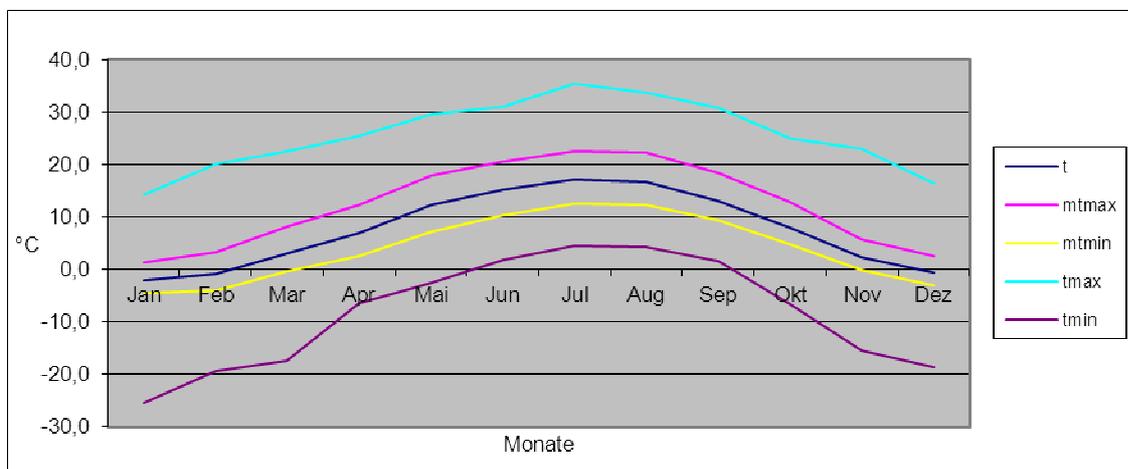


ABBILDUNG 5: Lufttemperatur der Messstation Irrsdorf (Quelle: [http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten\\_oesterreich\\_1971\\_frame1.htm](http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm) am 19.3.2012)

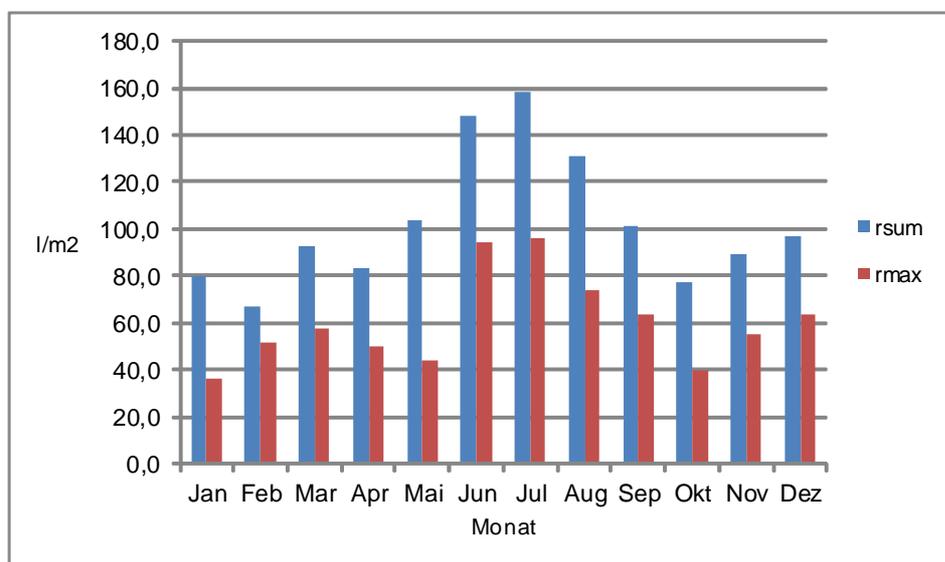
TABELLE 1: Kürzelbeschreibungen und deren Definitionen der Abbildung 5

Kürzel	Einheit	Element	Definition
t	°C	Tagesmittel	(7 Uhr Mittel + 19 Uhr Mittel + mittl. Maximum + mittl. Minimum) / 4
mtmax	°C	Mittel aller tägl. Maxima	Summe tägl. Maxima / Anzahl der Tage
mtmin	°C	Mittel aller tägl. Minima	Summe tägl. Minima / Anzahl der Tage
tmax	°C	absolutes Maximum	größtes Tagesmaximum
tmin	°C	absolutes Minimum	kleinstes Tagesminimum

Quelle: [http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten\\_oesterreich\\_1971\\_frame1.htm](http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm) am 19.3.2012

### Niederschlagsverteilung

Im Zeitraum 1971 bis 2000 beträgt die mittlere jährliche Niederschlagssumme 1229,6 mm. Zu den niederschlagsreichsten Monaten zählen die Sommermonate Juni, Juli und August, siehe Abbildung 6. Die höchste Niederschlagsmenge wird im Monat Juli erreicht, die mittlere Monatssumme des Niederschlags liegt hier bei 158,7 l/m<sup>2</sup>, die größte Niederschlagssumme in 24 Stunden bei 96 l/m<sup>2</sup>. Aus der Abbildung 6 geht hervor, dass Februar der niederschlagsärmste Monat, die mittlere Monatssumme des Niederschlags liegt bei 66,7l/m<sup>2</sup>.



rsum = Niederschlagssumme (l/m<sup>2</sup>): Mittlere Monatssumme des Niederschlags  
 rmax = größter Tagesniederschlag (l/m<sup>2</sup>): Größte Niederschlagssumme in 24 Stunden

ABBILDUNG 6: Niederschlagsverteilung der Messstation Irrsdorf. (Quelle: [http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten\\_oesterreich\\_1971\\_frame1.htm](http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm) am 19.3.2012 in das Abbildungsverzeichnis)

### 3.1.4. Boden

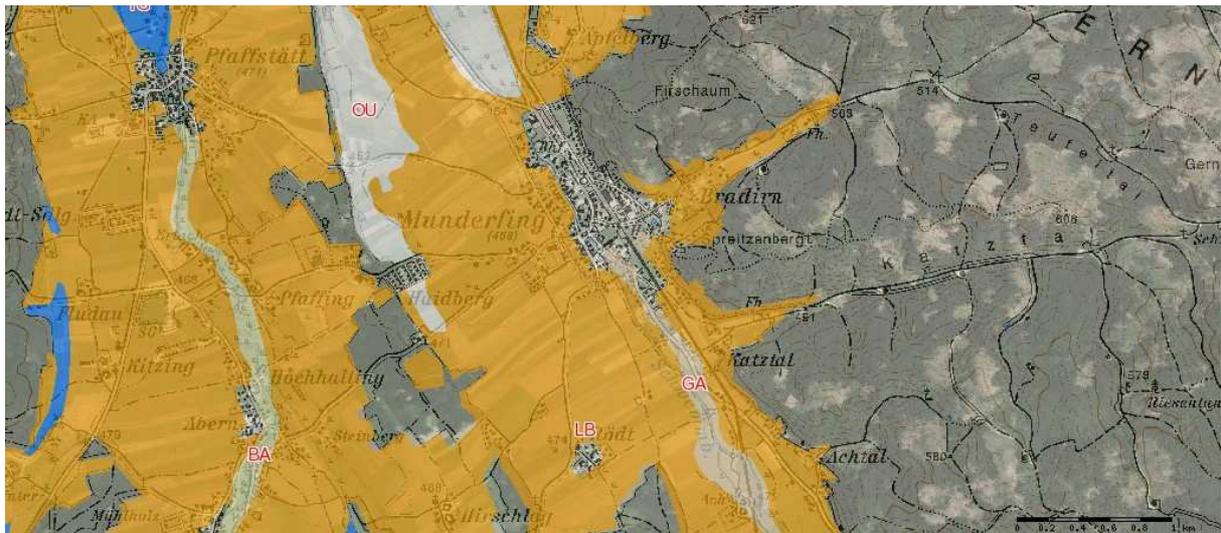


ABBILDUNG 7: Bodentypen der Gemeinde Munderfing (Quelle: [http://geoinfo.lfrz.at/eBOD/frames/index.php?PHPSESSID=b9de130c0f47b576ca150db47b863ab5&145=true&gui\\_id=eBOD](http://geoinfo.lfrz.at/eBOD/frames/index.php?PHPSESSID=b9de130c0f47b576ca150db47b863ab5&145=true&gui_id=eBOD) am 22.05.2012)

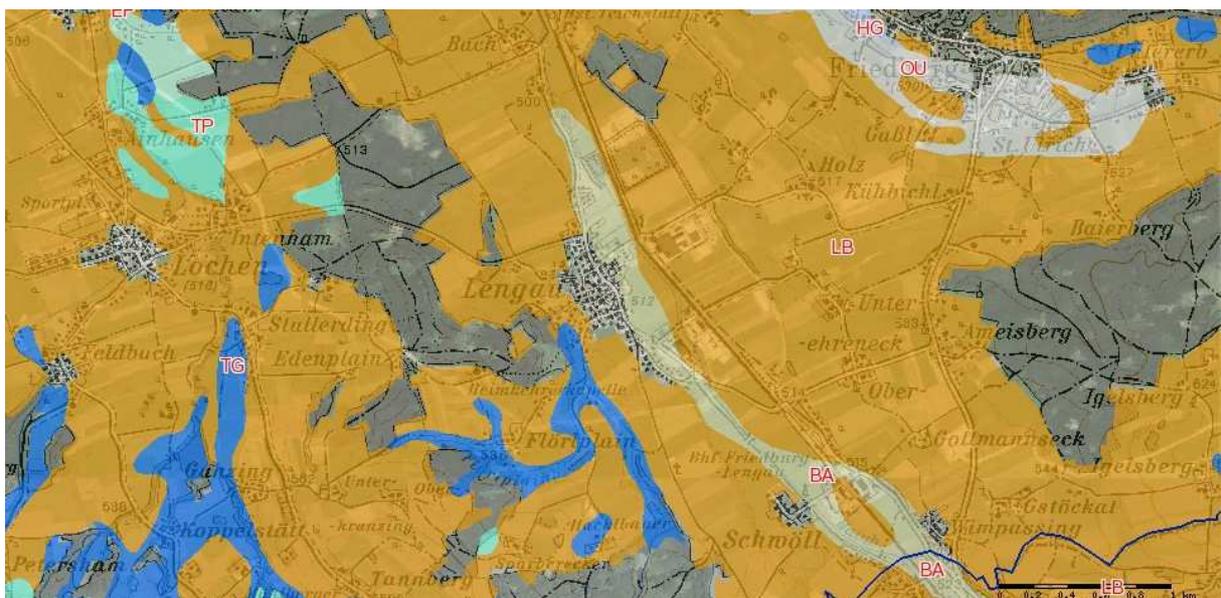


ABBILDUNG 8: Bodentypen der Gemeinde Lengau (Quelle: [http://geoinfo.lfrz.at/eBOD/frames/index.php?PHPSESSID=b9de130c0f47b576ca150db47b863ab5&145=true&gui\\_id=eBOD](http://geoinfo.lfrz.at/eBOD/frames/index.php?PHPSESSID=b9de130c0f47b576ca150db47b863ab5&145=true&gui_id=eBOD) am 22.05.2012)

Farbgebung	Bodentyp	Abkürzung
	Lockersediment-Braunerde	LB
	Typischer Gley	TG
	Brauner Auboden	BA
	Ortsboden	OU
	Grauer Auboden	GA

Die Abbildungen 7 und 8 veranschaulichen, dass, in der Gemeinde Lengau, sowie in der Gemeinde Munderfing, der vorherrschende Bodentyp die Lockersediment-Braunerde ist. Brauner und Grauer Auboden sowie Typischer Gley treten nur vereinzelt auf. Dunkelgrau gekennzeichnete Flächen in den Abbildungen 7 und 8, stellen bewaldetes Gebiet dar.

### 3.2. ForschungspartnerInnen

Zu den ForschungspartnerInnen zählen die Landwirte und Landwirtinnen der Gemeinde Lengau und Munderfing, die einen Feldfutterbaubetrieb bewirtschaften.

Auswahlkriterien:

- Die Betriebe müssen sich in der Gemeinde Lengau befinden oder in einer benachbarten Gemeinde mit gleicher oder ähnlicher Agrarstruktur.
- Die Größe der befragten Betriebe sollte der vorherrschenden Größe der Betriebe in der Gemeinde entsprechen.
- Jeweils ein konventioneller und ein ökologischer Betrieb sollten eine ähnliche Größe der bewirtschafteten Fläche aufweisen.
- Jeweils die Hälfte der Betriebe muss ökologisch bzw. konventionell bewirtschaftet werden.
- Es werden ausschließlich Futterbaubetriebe befragt.
- Die Betriebe müssen Getreide als Futterpflanze anbauen.

In der Gemeinde Lengau befanden sich, laut Ortsbauer der Gemeinde Lengau, drei ökologische und vier konventionelle Betriebe, die diesen Kriterien entsprechen. Da zwei konventionelle Betriebe keine Zeit für einen Interviewtermin hatten, zog ich einen konventionellen Betrieb aus der Gemeinde Munderfing hinzu.

### 3.3. Datenerhebung

Die jeweiligen Daten, die für die Berechnung und Validierung von Humus- und Energiebilanzen benötigt werden, wurden anhand eines teilstrukturierten Fragebogens

erhoben. Die Betriebe wurden von mir persönlich aufgesucht, nachdem ich zuvor telefonisch einen Termin vereinbart hatte.

### **3.3.1. Daten für die Humusbilanz**

- Fruchtfolge
- Zwischenfrüchte
- Ernterückstände
- Organische Düngung: Düngerform, Düngermenge
- Größe der Ackerfläche

### **3.3.2. Daten für die Energiebilanz**

#### **3.3.2.1. Direkter Energieinput Diesel**

- Arbeitsverfahren
- Maschineneinsatz/Maschinenkombination
- Schlaggröße
- Entfernung zum Hof

Direkter Energieinput Schmierstoffe

Die eingesetzte Menge des Energieinputfaktor Schmierstoffe leitet sich nach HAAS et al. (1995) vom Dieselmotoreinsatz ab.

#### **3.3.2.2. Direkter Energieinput Strom**

- Durchschnittliche Milchleistung je Kuh und Jahr
- Anzahl der Milchkühe je Betrieb

#### **3.3.2.3. Indirekter Energieinput**

- Menge der eingesetzten Betriebsmittel Stickstoff, Phosphor, Kalium, Kalk sowie Pflanzenschutzmittel, Schmierstoffe und zugekaufte Futtermittel

#### **3.3.2.4. Energieoutput**

- Tierische und pflanzlich Produkte

### 3.4. Datenspeicherung

Die Daten wurden handschriftlich von mir auf dem Datenerfassungsbogen festgehalten und nach dem Betriebsbesuch in ein Word Dokument übertragen.

### 3.5. Datenanalyse

#### 3.5.1. Humusbilanz

Die Datenanalyse für die Humusbilanz erfolgte mithilfe der statischen Humuseinheiten-Methode. Die Bedarfs- und Reproduktionskoeffizienten dieser Methoden wurden von LEITHOLD und HÜLSBERGEN (1997) anhand des Stickstoffhaushaltes in Feldexperimenten abgeleitet. Die folgenden Tabellen 2 und 3 enthalten die Kennziffern zur Humusbilanzierung nach LEITHOLD und HÜLSBERGEN (1997). Für die von den Betrieben eingeholten Daten zur Fruchtfolge, organischen Düngung und zu den Ackerflächen wurden in der vorliegenden Arbeit folgende Koeffizienten eingesetzt:

TABELLE 2: Kennziffern der Humuszehrenden Fruchtarten zur Humusbilanzierung in Humuseinheiten (HE) je Hektar

<b>Humuszehrende Fruchtarten</b>		
	ökologisch	konventionell
Rüben	-3,4	-2,3
Kartoffeln sowie 1. Gruppe Gemüse	-2,75	-1,8
Silomais sowie 2. Gruppe Gemüse	-2,05	-1,35
Getreide Ölfrüchte <sup>1)</sup> , Sonnenblumen, Körnermais, Faserpflanzen sowie 3. Gruppe Gemüse	-1,05	-0,7
1. Gruppe Gemüse: Porree, Spargel, Rhabarber, Gurke, Kürbis, Sellerie, Wirsingkohl, Blumen-, Rot- und Weißkohl		
2. Gruppe Gemüse: Chicoree, Kohlrübe, Möhren, Meerrettich, Schwarzwurzel, Tomaten		
3. Gruppe Gemüse: Feldsalat, Grünkohl, Kohlrabi, Kopfsalat, Radies, Rettich, Rote Rüben, Spinat, Zwiebeln, Schnittlauch, Petersilie		
<sup>1)</sup> Bedarfskoeffizienten bei Getreide und Raps nach Ernte von Korn und Stroh, bei restl. Kulturen dieser Gruppe ist Humusersatzleistung der Koppelprodukte berücksichtigt		

Quelle: LEITHOLD und HÜLSBERGEN (1997)

TABELLE 3: Kennziffern der humusmehrenden Fruchtarten, Zwischenfrüchte, Brachsysteme und Organische Dünger zur Humusbilanzierung in Humuseinheiten (HE) je Hektar

Humusmehrende Fruchtarten in Hauptfruchtstellung:		Zwischenfrüchte (Aberntung des Aufwuchses):	
Ackergras		Winterzwischenfrüchte	
je Hauptnutzungsjahr	1,5	Winterroggen	-0,3
je Ansaatjahr		Leguminosen-/Nichtleguminosengemenge	0,3
als Sommerblanksaat	0,2	(Wickroggen, Wickweidelgras)	
als Untersaat	0,35	Landsbergergemenge	0,5
Luzerne/Leguminosen-Grasgemenge			
im 1. Hauptnutzungsjahr	1,8 / 2,1	Stoppelfrüchte (Herbstumbruch bzw. abfrierend)	
im 2. Hauptnutzungsjahr	1,4 / 1,8	Leguminosen-/Nichtleguminosengemenge	0,2
im 3. Hauptnutzungsjahr	0,8 / 1,0	Gräsermischungen	0,2
im Ansaatjahr		Raps, Rübsen, Senf, Phacelia	0,15
als Frühjahrsblanksaat	1,2 / 1,4		
bei Gründeckfrucht	0,6 / 0,6		
als Einsaat in Getreide zur Körnernutzung	0,5 / 0,5		
als Sommerblanksaat	0,3 / 0,3		
		Untersaaten	
		bei Herbstumbruch	
		Gräsermischungen	0,3
		Leguminosen-/Nichtleguminosengemenge	0,6
Körnerleguminosen (Stroh abgeerntet)	0,35	bei Frühjahrsumbruch	
		bzw. nachfolgender Futternutzung	
		Gräsermischungen	0,5
		Leguminosen-/Nichtleguminosengemenge	0,7
		Grünhafer u. a. Nichtleguminosen zur Futternutzung (als Deckfrucht für Untersaaten)	-0,2
<b>Brachsysteme:</b>		<b>Organische Dünger / Faktoren zur Umrechnung von Frischmasse in Humuseinheiten (HE je t FM):</b>	
Rotationsbrache (einjährig)		Stallmist	
Selbstbegrünung		Frischmist	0,05
ab Herbst des Vorjahres	0,2	Rottemist	0,07
ab Frühjahr des Brachejahres	0,1	Mistkompost	0,1
gezielte Begrünung mit Leguminosen/		Gülle	
		Rind (je 10% TS)	0,022
Nichtleguminosen		Rind (je 5% TS)	0,011
ab Spätsommer/Herbst des Vorjahres	1,5	Schwein (je 10% TS)	0,018
ab Frühjahr des Brachejahres	1,2	Stroh	0,12
		Gründüngung	0,013
		Kompost	0,14
5-jährige Stilllegung			
Selbstbegrünung	2,5		
gezielte Begrünung	4,5		

Quelle: LEITHOLD und HÜLSBERGEN (1997)

### **3.5.2. Energiebilanz**

In dieser Arbeit werden die Energiebilanzen der sechs ausgewählten Realbetriebe-, auf der Ebene des Gesamtbetriebes erstellt. Folgende Betriebsmittel werden als Energieinputfaktoren in der Bilanzierung berücksichtigt:

- Diesel
- Schmierstoffe
- Strom
- Mineralische Düngemittel (Stickstoff, Phosphor, Kalium und Kalk)
- Pflanzenschutzmittel und
- zugekaufte Futtermittel

#### **3.5.2.1. Systemgrenze**

Als zeitlicher Rahmen wird in dieser Arbeit ein Bewirtschaftungsjahr gewählt.

Der Bilanzierungsrahmen bei Ackerkulturen beginnt nach der Ernte der vorhergehenden Hauptkultur und endet nach der Ernte der Hauptkultur.

Im Bereich der Grünlandbewirtschaftung beginnt das Bewirtschaftungsjahr mit der Grünlandpflege im Frühjahr und endet mit der letzten Düngung oder dem letzten Schnitt im Herbst desselben Jahres.

In der Abbildung 9 wird die Systemgrenze landwirtschaftlicher Produktionssysteme dargestellt. Die Energiebilanzen, der in der vorliegenden Arbeit untersuchten Betriebe, wurden unter einhalten dieser Systemgrenze berechnet.

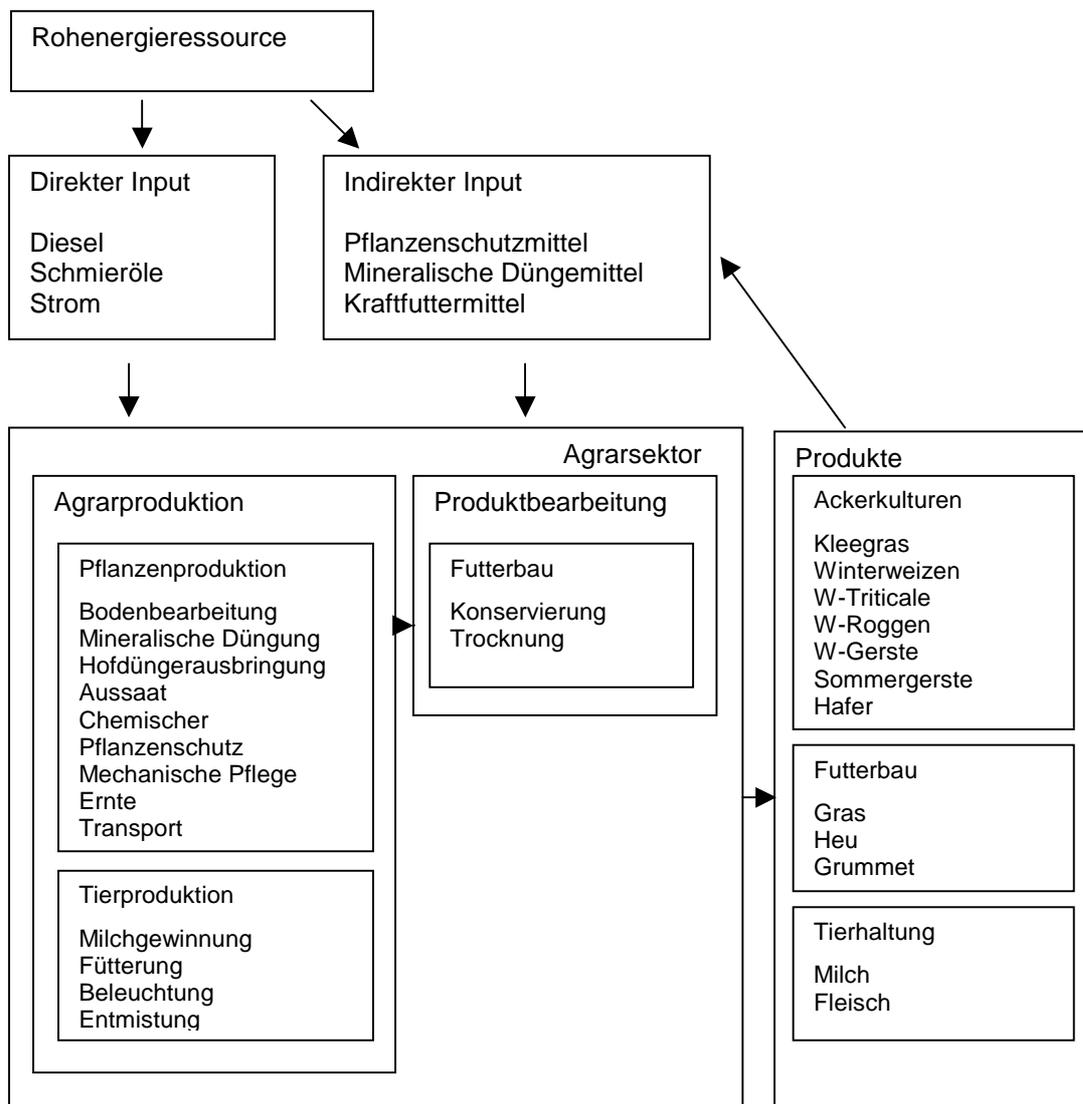


ABBILDUNG 9: Darstellung der Systemgrenze der Energiebilanz der landwirtschaftlichen Produktionssysteme (Quelle: KRÄNZLEIN und MACK, 2008 (verändert))

### 3.5.2.2. Bezugsebene

Der Energieeinsatz, der Energieertrag und der Energiesaldo beziehen sich auf die Fläche von einem Hektar und einem Bewirtschaftungsjahr ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ). Das Output / Input - Verhältnis stellt den gesamten Energieoutput dem gesamten Energieinput eines Betriebes innerhalb eines Bewirtschaftungsjahres gegenüber.

### **3.5.2.3. Unberücksichtigte Energieinputfaktoren**

In Anlehnung an KALK (1997) zählen zu den in dieser Arbeit unberücksichtigten Inputfaktoren, die menschliche Arbeitskraft, die in den meisten Bilanzen vernachlässigt wird, da kein anerkanntes Energieäquivalent definiert werden konnte sowie die Sonnenenergie, die mit ihrer etwa zehnfachen Größe, verglichen mit der fossilen Energie, eine Aussage erschweren würde.

Unbeachtet bleiben auch Heizöl, Saatgut und Investitionsgüter (Maschinen und Geräte). Heizöl spielt vor allem bei Gartenbaubetrieben zur Beheizung der Glashäuser eine Rolle. Die Emissionen, und folglich auch der Energieeinsatz, die durch Saatgut und Investitionsgüter entstehen, unterscheiden sich laut der Untersuchung zwischen konventionellen und ökologischen Betrieben von KASPER et al. (2012) nur gering.

### **3.5.3. CO<sub>2</sub>-Emissionen**

Die Höhe des Energieeinsatzes und die spezifischen Emissionsfaktoren dienen als Grundlage zur Berechnung der Kohlendioxidemissionen.

#### **3.5.3.1. Systemgrenze**

Bei der Betrachtung der Emissionen des gesamten Betriebes gleicht die Systemgrenze für die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Systemgrenze der Energiebilanz. Bei der Gegenüberstellung der CO<sub>2</sub>-Emissionen mit dem gebundenen Kohlenstoff durch den Ackerbau wurden lediglich die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den Anbau entstanden sind, berücksichtigt.

#### **3.5.3.2. Bezugsebene**

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen beziehen sich auf eine Produktionsfläche von einem Hektar und einem Bewirtschaftungsjahr ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ).

### **3.5.4. Energie- und Emissionsfaktoren der direkten Energieträger**

Dieselmotorkraftstoff und Strom

Der Dieselbedarf der jeweiligen Betriebe wird anhand des Dieselbedarfsrechners vom Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) berechnet. Um den Bedarf zu ermitteln, benötigt man die Verfahrensgruppe (z.B. Mähdrusch), das Arbeitsverfahren (z.B. Mähdrusch von Roggen), die Maschinenkombination (z.B. Komplex 2 Mähdrescher) sowie die Schlaggröße, die Bodenart, die Entfernung zum Hof, die Erntemenge und die Arbeitsbreite.

Für den Stromverbrauch in der Tierhaltung wird der Wert von ÖHLINGER et al. (2006) verwendet. ÖHLINGER et al. gehen von einem Stromverbrauch von etwa 400 kWh je Kuh und Jahr und von einem Strombedarf von 5 kWh/100 kg Milchmenge und Jahr aus. Die Milchgewinnung dominiert den Stromverbrauch mit einem Anteil von rund 80 %. Die übrigen 20 % setzen sich aus der Fütterung, der Beleuchtung und der Entmistung zusammen.

Zur Berechnung des Energieaufwandes der Energieträger Strom und Diesel werden die Faktoren aus der Tabelle 4 verwendet. Die CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für die Energieträger Strom und Diesel sind in der Tabelle 5 angegeben.

TABELLE 4: Primärenergetische Bewertung der Energieträger Diesel und Strom und Dichte von Dieselkraftstoff

	Spezif. Heizwert	Aufwand für die Bereitstellung	Primärenergieaufwand	Dichte
Diesel	42,96 MJ kg <sup>-1</sup>	4,96 MJ kg <sup>-1</sup>	47,82 MJ kg <sup>-1</sup>	0,83 kg l <sup>-1</sup>
Strom (EVU <sup>(1)</sup> )	3,6 MJ kWh <sup>-1</sup>	11,39 MJ kWh <sup>-1</sup>	11,39 MJ kWh <sup>-1</sup>	

Quelle: MOERSCHNER (2000)

<sup>(1)</sup>EVU = Energieversorgungsunternehmen stellen das durchschnittliche Stromangebot in Deutschland für den Endverbraucher zur Verfügung)

TABELLE 5: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für Diesel und Strom

	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor
Diesel	3,153 kg CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> <sup>(1)</sup>
Strom (ENERGIE AG OÖ)	195 g kWh <sup>-1</sup> <sup>(2)</sup>

Quelle: <sup>(1)</sup> HAUNSBERGER und SCHWINGSHACKEL (2011), <sup>(2)</sup> Stromrechnung der ENERGIE AG OÖ (2011)

#### Schmierstoffe

Für die Schmierstoffe wurde nach HAAS et al. (1995) ein Mengenaufwand von 4 % des Treibstoffverbrauch angenommen. HAAS et al. (1995) setzte in seiner Untersuchung den Energiegehalt und den Herstellungsaufwand von Schmierstoffen dem des Dieselkraftstoffs gleich. Daraus folgend wird in dieser Arbeit die CO<sub>2</sub>-Emissionskennziffer von Dieselkraftstoff für die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Schmierstoff eingesetzt.

### 3.5.5. Energie- und Emissionsfaktoren für den indirekten Energieeinsatz

#### 3.5.5.1. Pflanzenschutzmittel

Pflanzenschutzmittel werden, in Abhängigkeit ihres Anwendungsbereichs, in verschiedene Wirkungsklassen eingeteilt. Die drei Gruppen, die mengenmäßig am häufigsten angewendet werden, sind Herbizide, Fungizide und Insektizide. Die Bereitstellung von Pflanzenschutzmitteln schließt die Produktion der Wirkstoffe, deren Formulierung sowie die Verpackung und den Transport zum Landwirt ein. Unter Formulierung wird die Überführung der Wirkstoffe in handhabbare Präparate, die einfach auszubringen sind, verstanden (KALTSCHMITT und REINHARDT 1997).

KALTSCHMITT und REINHARDT (1997) differenzierten bei ihren Berechnungen des Energieeinsatzes für Pflanzenschutzmittel aufgrund unzureichender Datenlage die Pflanzenschutzmittel nicht in die drei, wie oben angeführten, Gruppen. Sie gaben an, dass vorhandene Daten zum Energieeinsatz relativ alt (aus den 1970er Jahren) und unklar abgegrenzt waren. In ihren Berechnungen stützten sie sich auf die Untersuchung von GREEN (1987). Nach diesen Werten ergaben sich, der in Tabelle 6 angegebene Primärenergieeinsatz, sowie die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Folgende Werte werden für eingesetzte Pflanzenschutzmittel in der vorliegenden Studie verwendet.

TABELLE 6: Benötigter Primärenergieeinsatz und entstehende CO<sub>2</sub>-Emissionen der Bereitstellung von Pflanzenschutzmitteln

	Primärenergieaufwand	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor
Pflanzenschutzmittel	263 MJ kg <sup>-1</sup>	4,92 kg CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup>

Quelle: (KALTSCHMITT und REINHART 1997)

#### 3.5.5.2. Mineraldünger

Die Düngemittelproduktion stellt besonders in der konventionellen Landwirtschaft einen wichtigen Abschnitt des gesamten Lebensweges der landwirtschaftlichen Produkte dar. Zum Lebensweg eines Produktes zählt die Gesamtheit aller Prozesse, die im Zusammenhang mit der Produktion und der Nutzung dessen stehen (PATYK und REINHARDT 1997).

Der N-Dünger ist das energieaufwendigste Düngemittel, da die Synthese die Fixierung des thermodynamischen extrem stabilen, elementaren Stickstoff (N<sub>2</sub>) erfordert. Die N<sub>2</sub>-Fixierung erfolgt zum überwiegenden Teil über die Synthese von Ammoniak (NH<sub>3</sub>) aus Wasserstoff

(H<sub>2</sub>) und Luftstickstoff nach dem Haber-Bosch-Verfahren. Kali- und Phosphatdüngemittel werden im Wesentlichen durch die Aufarbeitung von Erzen hergestellt.

Der Primärenergieeinsatz, und davon die Anteile der Lebenswegabschnitte Produktion und Transport der Betriebsmittel Stickstoff, Phosphor, Kalium und Kalk, wurde 1997 von PATYK und REINHARDT für die in der Bundesrepublik Deutschland abgesetzten Düngemittel berechnet. Zusätzlich wurden die durch Produktion und Transport entstehenden CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O-Emissionen abgeleitet. In der Tabelle 7 werden der Primärenergieeinsatz des jeweiligen Düngemittels sowie die dabei entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen angegeben, die auch in der vorliegenden Studie verwendet werden.

TABELLE 7: Primärenergieeinsatz und CO<sub>2</sub>-Emissionen der mineralischen Düngemittel: Stickstoff, Phosphor, Kalium und Kalk

	Primärenergieaufwand	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor
Stickstoff (Bezug: 1 t N)	49,1 GJ	2 829 kg CO <sub>2</sub>
Phosphor (Bezug: 1 t P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	17,7 GJ	1 117 kg CO <sub>2</sub>
Kalium (Bezug: 1 t K <sub>2</sub> O)	10,5 GJ	617 kg CO <sub>2</sub>
Kalk (Bezug: 1 t CaO)	2,39 GJ	284 kg CO <sub>2</sub>

Quelle: PATYK, A. und REINHARDT (1997)

### 3.5.5.3. Zugekaufte Futtermittel

Der Energieinput für die Kraftfutterproduktion beträgt, gemäß den Berechnungen von MOITZI et al. (2010), für ökologisch produziertes Kraftfutter 1,746 MJ kg<sup>-1</sup> Trockenmasse und für konventionell produziertes Kraftfutter 2,276 MJ kg<sup>-1</sup> Trockenmasse. Der Energieinput setzt sich in dieser Berechnung aus dem direkten und indirekten Energieverbrauch für die Getreideproduktion, die Verarbeitung zu Kraftfutter und den Transport über eine angenommene Strecke von 300 km zusammen.

Der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für ökologisch produziertes Futtermittel (Gerste) stammt aus einer Untersuchung von HÖRTENHUBER (2011), welche den Kraftstoffverbrauch, der durch die Produktion und den Transport verursacht wird, berücksichtigt. Bei dem konventionell produzierten Kraftfutter werden zusätzlich noch die CO<sub>2</sub>-Emissionen, welche durch die Produktion von aufgewendeten Dünge- und Pflanzenschutzmitteln anfallen, hinzugefügt. In der Tabelle 8 werden der Energieaufwand und die entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen je Kilogramm TM ökologischem und konventionell produziertem Kraftfutter dargestellt.

TABELLE 8: Energieeinsatz und CO<sub>2</sub>-Emissionen der Bereitstellung von Kraftfutter

	Energieaufwand <sup>(1)</sup>	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor <sup>(2)</sup>
ökologisch produziertes Kraftfutter	1,746 MJ kg <sup>-1</sup> TM	0,084 kg CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> TM
Konventionell produziertes Kraftfutter	2,276 MJ kg <sup>-1</sup> TM	0,247 kg CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> TM

Quelle: (1) MOITZI et al. (2010); (2) HÖRTENHUBER (2011)

Der Energiegehalt von Kraftfutter beträgt laut GRUBER et al. (2004)  $7,81 \pm 0,42$  MJ NEL kg<sup>-1</sup>. In dieser Arbeit rechne ich mit einem Wert von 7,9 MJ NEL je kg zugekauftem Kraftfutter. Energieoutput

Zum Energieoutput zählen Milch- und Fleischprodukte aus der tierischen Produktion. Eine GVE entspricht 500 kg. In der Tabelle 9 sind die Brennwertangaben und die GVE-Faktoren dargestellt, die in der vorliegenden Arbeit zum Einsatz kamen.

TABELLE 9: Zusammenstellung aller verwendeten Brennwertangaben und GVE-Faktoren

	Brennwert (MJ kg <sup>-1</sup> Frischgewicht)	GVE-Faktor
Zucht- und Nutztiere	12,9	1,3
Milchkühe	12,9	1,2
Kalbinnen	7,7	1,0 <sup>(1)</sup>
Jungvieh unter 2 Jahren	7,7	0,7
Kälber unter 3 Monaten	3,2	0,31
Rohmilch	3,1	

Quelle: DARGE (2002); <sup>(1)</sup>: Wert der in DARGE (2002) für Mutterkuh angegeben wurde

Ein weiterer Energieoutput-Faktor bei einem Betrieb ist die Produktion von Kartoffeln. Es wird der Energiegehalt von Kartoffeln nach KNOFLACHER et al. (1991) verwendet. KNOFLACHER et al. (1991) führen einen Brennwert von 16,9 MJ je kg TS und 23 % TS-Gehalt für Kartoffeln an. Keiner der sechs untersuchten Betriebe verkauft das produzierte Getreide, es entsteht daher kein Energieoutput durch den Getreideanbau.

### 3.5.6. Bilanzauswertung

#### 3.5.6.1. Humusbilanz und CO<sub>2</sub>-Emissionen

Die Humusbilanz wird anhand des Humusbedarfs, der Humusersatzleistung (Fruchtfolge und organische Düngung), des Humusversorgungsgrades und des Humussaldos in Humuseinheiten ausgewertet. Eine HE entspricht 50 kg N und 580 kg Kohlenstoff.

Die Auswertung der Humussalden erfolgt über die von KÖRSCHENS et al. definierten Humusbilanzklassen A bis E, siehe Tabelle 10.

TABELLE 10: Bewertung der Humussalden

Humussaldo		
kg Humus-C/ha*a	Gruppe	
< - 200	A Sehr niedrig	Ungünstige Beeinflussung von Bodenfunktionen und Ertragsleistung
- 200 bis -76	B Niedrig	Mittelfristig tolerierbar, besonders auf mit Humus angereicherten Böden
-75 bis 100	C Optimal	Optimal hinsichtlich Ertragssicherheit bei geringem Verlustrisiko Langfristig Einstellung standortangepasster Humusgehalte
101 bis 300	D Hoch	Mittelfristig tolerierbar, besonders auf mit Humus verarmten Böden
> 300	E Sehr hoch	Erhöhtes Risiko für Stickstoff-Verluste, niedrige N-Effizienz

Quelle: KÖRSCHENS et al. 2004

Die Menge an Kohlenstoffdioxid, die durch den Ackerbau im Boden gebunden wird, wurde dem Kohlenstoffdioxid gegenübergestellt, der durch den Anbau im Ackerbau entstand. Zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Bindung im Boden wurden die Werte des Humussaldos der sechs untersuchten Betriebe herangezogen.

#### 3.5.6.2. Energiebilanz

Die Bilanzauswertung erfolgt über:

- den Energieeinsatz (Energieinput), der sich aus den direkten und indirekten Energieaufwendungen zusammensetzt,
- den Energieertrag (Energieoutput) der aus den pflanzlichen und tierischen Marktprodukten die den Betrieb verlassen, besteht, abzüglich des Energiegehalts zugekaufter Futtermittel.

- den Energiesaldo = Energieertrag - Energieeinsatz. Der Energiesaldo gibt Aufschluss über die Flächenproduktivität eines Betriebes.
- und das Output / Input - Verhältnis, das auch als Energieeffizienz bezeichnet werden kann. Beim Output-Input Verhältnis handelt es sich um eine dimensionslose Größe. Aus der Gegenüberstellung des Energieoutputs dem Energieinput, wobei immer der Energieinput den Wert 1 annimmt, ergibt sich das dimensionslose Output / Input - Verhältnis.

### 3.6. Statistische Methoden

Die Ergebnisse der Humusbilanz werden zusätzlich mit dem Kruskal – Wallis - Test, einem parameterfreien Test, ausgewertet. Dabei werden der Humusbedarf, die Humusersatzleistung, der Humussaldo und der Humusversorgungsgrad zwischen der ökologischen und der konventionellen Landwirtschaft verglichen. Die Nullhypothese lautet: bezüglich des Humusbedarfs, der Humusersatzleistung, des Humussaldos und des Humusversorgungsgrades gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen der ökologischen und der konventionellen Landwirtschaft. Die Nullhypothese wird auf einem Signifikanzniveau von 0,05 getestet.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Betriebsbeschreibungen

#### 4.1.1. Ökologische Betriebe

Die Flächenausstattung der drei ökologischen Betriebe wird in den Tabellen 11, 13 und 15 dargestellt. Der Tierbesatz der drei Betriebe ist in den Tabellen 12, 14 und 16 angegeben.

#### 4.1.1.1. Ökologischer Betrieb 1 (Öko\_1)

##### Flächenausstattung

TABELLE 11: Flächenausstattung des Betriebes Öko\_1

	Größe (ha)	Kulturarten/Flächennutzung
Gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche	19,5	
→ Davon Ackerfläche	7,0	Kleegras, Winterweizen, Wintertriticale, Winterroggen, Sommergerste, Hafer, Kartoffeln
→ Davon Grünland	12,5	Zweischnittig (1,5 ha) Dreischnittig (11 ha)

Quelle: Betrieb Öko\_1, mündlich

##### Fruchtfolge und organische Düngung:

1. Kleegras: 15 t Rindergülle (5 % TS) je Hektar
2. Kleegras: 15 t Rindergülle (5 % TS) je Hektar
3. Kleegras: 15 t Rindergülle (5 % TS) je Hektar, 15 t Frischmist je Hektar
4. Winterweizen oder Triticale; Zwischenfrucht: Rübsen, Wicken, Erbsen-Gemisch: 15 t Rindergülle (5 % TS) je Hektar, 15 t Frischmist je Hektar
5. Halbe Fläche: Kartoffel, halbe Fläche: Hafer: 30 t Frischmist je Hektar
6. Sommergerste: 15 t Rindergülle (5 % TS) je Hektar, 15 t Frischmist je Hektar
7. Roggen: 15 t Rindergülle (5 % TS) je Hektar.

##### Geräte zur Saatbettbereitung, Bodenbearbeitung und Pflege:

Für die Saatbettvorbereitung und die Bodenbearbeitung sind folgende Geräte im Einsatz: eine Saatbettkombination (Kreiselegge mit Sämaschine), ein Flügelschargrubber, ein Wendepflug und eine Egge. Als mechanisches Pflegegerät wird ein Hackstriegel verwendet.

##### Tierbesatz:

TABELLE 12: Aktueller Tierbestand 2011 des Betriebes Öko\_1

Tierkategorie	Anzahl der Tiere
Milchkühe	16
Kälber kleiner als ½ Jahr	5
Kalbinnen zwischen ½ und 2 Jahren	8
Kalbinnen ab 2 Jahren	3
Zuchtstier	1

Quelle: Betrieb Öko\_1, mündlich

Es werden ausschließlich Rinder der Rasse Holstein Friesian der Farbrichtung schwarz-weiß gehalten. Der gesamte Bestand setzt sich aus der eigenen Nachzucht zusammen, die Besamung erfolgt über den Natursprung. Die Viehbesatzdichte beträgt 1,6 GVE je Hektar.

Fütterung:

Das Futter der Tiere besteht aus dem am Betrieb erzeugten Grün- und Raufutter, dazu zählt Gras, Heu, Grummet und Klee gras. Zusätzlich wird das auf den Äckern produzierte Getreide zu Getreideschrott verarbeitet und verfüttert. Es wird kein Kraftfutter zugekauft.

Tierische Produktion und Haltungssystem:

Die durchschnittliche Milchleistung einer Kuh beträgt 5 500 kg a<sup>-1</sup>. Jährlich werden zur Nachzucht vier weibliche Kälber und ein männliches Kalb am Betrieb behalten, die restlichen elf Kälber werden verkauft. Das Milchvieh, der Stier sowie die Jungtiere (> 3 Monate) werden in Anbindehaltung geführt, die Kälber (< 3 Monate) werden in Einzelboxen gehalten.

Pflanzliche Produktion:

Der Betrieb produziert auf einer Fläche von einem Hektar Kartoffeln. Der Ertrag je Hektar beträgt 0,69 t TM je Hektar.

#### 4.1.1.2. Ökologischer Betrieb 2 (Öko\_2)

Flächenausstattung:

TABELLE 13: Flächenausstattung des Betriebes Öko\_2

	Größe (ha)	Kulturarten/Flächennutzung
Gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche	29,95	
→ Davon Ackerfläche	8,75	Klee gras, Winterweizen, Wintertriticale, Sommergerste, Sommer-Hafer-Gersten Gemenge
→ Davon Grünland	21,20	Zweischnittig (2 ha) Dreischnittig (2,13 ha ) Vierschnittig (14,79 ha) Fünfschnittig (2,28 ha)

Quelle: Betrieb Öko\_2, mündlich

Fruchtfolge und organische Düngung:

1. Klee gras
2. Klee gras: 43,2 t Rindergülle (5 % TS) je Hektar
3. Klee gras: 43,2 t Rindergülle (5 % TS) je Hektar

4. Winterweizen: 28,8 t Rindergülle (10 % TS) je Hektar
5. Sommer-Hafer-Gersten-Gemenge: 28,8 t Rindergülle (5 % TS) je Hektar
6. Wintertriticale; Zwischenfrucht: Phazelia und Sonnenblume: 28,8 t Rindergülle (5 % TS) je Hektar
7. Sommergerste: 28,8 t Rindergülle (10 % TS) je Hektar

Geräte zur Saatbettbereitung, Bodenbearbeitung und Pflege:

Für die Saatbettvorbereitung und die Bodenbearbeitung sind folgende Geräte im Einsatz: ein Grubber, eine Federzinkenegge in Kombination mit zwei Krümelwalzen und ein Wendepflug. Als mechanisches Pflegegerät wird ein Hackstriegel verwendet.

Tierbesatz:

Auf dem Betrieb werden ausschließlich Rinder der Rasse Fleckvieh gehalten. Der gesamte Bestand setzt sich aus der eigenen Nachzucht zusammen. Am Betrieb wird eine künstliche Besamung durchgeführt. Die Viehbesatzdichte beträgt 1,6 GVE je Hektar.

TABELLE 14: Aktueller Tierbestand 2011 des Betriebes Öko\_2

Tierkategorie	Anzahl der Tiere
Milchkuh	29
Kälber kleiner als ½ Jahr	9
Kalbinnen zwischen ½ und 2 Jahren	10
Kalbinnen über 2 Jahren	4

Quelle: Betrieb Öko\_2, mündlich

Fütterung:

Das Futter der Tiere besteht aus dem am Betrieb erzeugten Grün- und Raufutter, dazu zählt Gras, Heu, Grummet und Ackergras. Zusätzlich wird das auf den Äckern produzierte Getreide zu Getreideschrott verarbeitet und verfüttert. Außerdem kauft der Betrieb pro Jahr 14 Tonnen Kraftfutter, welches sich aus einem Gemenge von Mais, Gerste und Triticale zusammensetzt.

Tierische Produktion und Haltungssystem:

Die durchschnittliche Milchleistung einer Kuh beträgt 6 900 kg a<sup>-1</sup>. Jährlich werden zur Nachzucht am Betrieb sieben Kälber behalten, die übrigen 22 Kälber werden mit ca. drei Monaten verkauft. Der Betrieb verfügt über einen Boxenlaufstall mit Spaltenboden für die Milchkuhe und das Jungvieh. Die Kälber werden in Einzelboxen gehalten.

#### 4.1.1.3. Ökologischer Betrieb 3 (Öko\_3)

Flächenausstattung:

TABELLE 15: Flächenausstattung des Betriebes Öko\_3

	Größe (ha)	Kulturarten/Flächennutzung
Gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche	38,30	
→ Davon Ackerfläche	12,95	Kleegras, Winterweizen, Winterroggen, Hafer, Sommergerste
→ Davon Grünland	25,35	Einschnittig (4,0 ha) Zweischnittig (2,9 ha) Dreischnittig (18,45 ha)

Quelle: Betrieb Öko\_3, mündlich

Fruchtfolge und organische Düngung:

1. Kleegras mit Deckfrucht Hafer, 16 t Frischmist je Hektar
2. Kleegras, 16 t Frischmist je Hektar
3. Kleegras, 16 t Frischmist je Hektar
4. Winterweizen, ZF: Phazelia, Erbsen, Wicken Gemisch, 16 t Festmist je Hektar
5. Hafer, 16 t Frischmist je Hektar
6. Winterroggen, Halbe Fläche: ZF: Phazelia, Erbsen, Wicken Gemisch, 16 t Festmist je Hektar
7. Gerste, 16 t Frischmist je Hektar

Geräte zur Saatbettbereitung, Bodenbearbeitung und Pflege:

Für die Saatbettvorbereitung und die Bodenbearbeitung sind folgende Geräte im Einsatz: eine Saatbettkombination (Kreiselegge mit Sämaschine), ein Grubber und ein Wendepflug. Als mechanisches Pflegegerät wird ein Hackstriegel verwendet.

Tierbesatz:

Auf dem Betrieb werden Rinder der Rasse Fleckvieh sowie Holstein Friesian gehalten. Der gesamte Bestand setzt sich aus der eigenen Nachzucht zusammen, die Besamung erfolgt über den Natursprung. Die Viehbesatzdichte beträgt 1,3 GVE je Hektar.

TABELLE 16: Aktueller Tierbestand 2011 des Betriebes Öko\_3

Tierkategorie	Anzahl der Tiere
Milchkuh	27
Kälber kleiner als ½ Jahr	9
Kalbinnen zwischen ½ und 2 Jahren	10
Kalbinnen über 2 Jahren	3
Zucht- und Nutztiere	3

Quelle: Betrieb Öko\_3, mündlich

Fütterung:

Das Futter der Tiere besteht aus dem am Betrieb erzeugten Grün- und Raufutter, dazu zählt Gras, Heu, Grummet und Klee gras, zusätzlich wird das auf den Äckern produzierte Getreide zu Getreideschrott verarbeitet und verfüttert. Es wird kein Kraftfutter zugekauft.

Tierische Produktion und Haltungssystem:

Die durchschnittliche Milchleistung einer Kuh beträgt 5 750 kg a<sup>-1</sup>. Jährlich werden zur Nachzucht fünf weibliche und zwei männliche Kälber am Betrieb behalten, die übrigen Kälber werden mit einem Gewicht von ca. 100 bis 110 kg verkauft. Die Milchkühe und Jungtiere werden in einem Tieflaufstall gehalten, die Kälber in Einzelboxen.

## 4.2. Konventionelle Betriebe

### 4.2.1. Konventionelle Betriebe

Die Flächenausstattung der drei ökologischen Betriebe wird in den Tabellen 17, 19 und 21 dargestellt. Der Tierbesatz der drei Betriebe ist in den Tabellen 18, 20 und 22 angegeben.

#### 4.2.1.1. Konventioneller Betrieb 1 (Konv\_1)

Flächenausstattung:

TABELLE 17: Flächenausstattung des Betriebes Konv\_1

	Größe (ha)	Kulturarten/Flächennutzung
Gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche	26,22	
→ Davon Ackerfläche	10,43	Kleegrass, Rotklee, Winterweizen, Wintergerste, Wintertriticale, Wintergerste, Sommergerste, Silo-Mais
→ Davon Grünland	16,42	Zweischnittig (1 ha) Vierschnittig (6,36 ha) Fünfschnittig (9,06 ha)

Quelle: Betrieb Konv\_1, mündlich

## Fruchtfolge und organische Düngung

1. Klee gras
2. Klee gras, 20 t Rindergülle, (5 % TS) je Hektar
3. Klee gras, 20 t Rindergülle, (5 % TS) je Hektar
4. W-Weizen, 32 t Frischmist je Hektar
5. W-Gerste, ZF: Leguminosengemenge, 32 t Frischmist je Hektar
6. Silo-Mais, 32 t Festmist je Hektar
7. Wintertriticale, ZF: Leguminosengemenge, 32 t Frischmist je Hektar
8. Sommergerste

## Geräte zur Saatbettbereitung und Bodenbearbeitung:

Für die Saatbettvorbereitung und die Bodenbearbeitung sind folgende Geräte im Einsatz: eine Saatbettkombination (Egge und Sämaschine) und ein Wendepflug.

## Tierbesatz:

Auf dem Betrieb werden ausschließlich Rinder der Rasse Fleckvieh gehalten. Der gesamte Bestand setzt sich aus der eigenen Nachzucht zusammen. Es wird eine künstliche Besamung durchgeführt. Die Viehbesatzdichte beträgt 2,2 GVE je Hektar.

TABELLE 18: Aktueller Tierbestand 2011 des Betriebes Konv\_1

Tierkategorie	Anzahl der Tiere
Milchkuh	35
Kälber kleiner als ½ Jahr	10
Kalbinnen zwischen ½ und 2 Jahren	13
Kalbinnen über 2 Jahren	4

Quelle: Betrieb Konv\_1, mündlich

## Fütterung:

Das Futter setzt sich aus Heu, Grassilage, Maissilage und Getreide aus dem eigenen Anbau sowie aus zugekauftem Krafftutter zusammen. Jährlich wird eine durchschnittliche Menge von 19 t Krafftutter zugekauft, das aus einem Gemenge von Raps und Soja besteht.

## Tierische Produktion und Haltungssystem:

Die durchschnittliche Milchleistung einer Kuh beträgt 8 689 kg a<sup>-1</sup>. Im Jahr 2012 wurden neun Kälber zur Nachzucht am Betrieb behalten, die übrigen Kälber werden im Alter von < 3 Monaten verkauft. Das Milchvieh wird in einem Tieflaufstall gehalten und das Jungvieh in

einem Boxenlaufstall. Die Kälber befinden sich die ersten Wochen in Einzelboxen und werden später in Gruppenhaltung geführt.

#### 4.2.1.2. Konventioneller Betrieb 2 (Konv\_2)

Flächenausstattung:

TABELLE 19: Flächenausstattung des Betriebes Konv\_2

	Größe (ha)	Kulturarten/Flächennutzung
Gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche	27,17	
→ Davon Ackerfläche	7,35	Kleegras, Winterweizen, Wintergerste, Raps, Sommertriticale, Hafer
→ Davon Grünland	19,82	Dauerweide ( 0,35 ha ) Zweischnittig ( 1,19 ha ) Dreischnittig ( 12,51 ha ) Vierschnittig ( 5,77 ha )

Quelle: Betrieb Konv\_2, mündlich

Fruchtfolge und organische Düngung:

1. Kleegras mit Deckfrucht Hafer, 15 t Rindergülle (5 % TS) je Hektar
2. Kleegras, 15 t Frischmist je Hektar
3. Kleegras, 60 t Rindergülle (5 % TS) je Hektar
4. W-Weizen, Zwischenfrucht: Raps (wird verfüttert), keine Düngung
5. Hafer, 25 t Frischmist
6. Wintergerste, Zwischenfrucht: Leguminosengemenge mit Mais (wird verfüttert) keine Düngung
7. Sommertriticale, 25 t Frischmist je Hektar

Geräte zur Saatbettbereitung und Bodenbearbeitung:

Für die Saatbettvorbereitung und die Bodenbearbeitung sind folgende Geräte im Einsatz: eine Saatbettkombination (Sämaschine mit Walze und Egge) und einen Wendepflug.

Tierbesatz:

Auf dem Betrieb werden ausschließlich Rinder der Rasse Holstein Friesian gehalten. Der gesamte Bestand setzt sich aus der eigenen Nachzucht zusammen, die Besamung erfolgt teils über den Natursprung und teils über künstliche Besamung. Die Viehbesatzdichte beträgt 1,2 GVE je Hektar.

TABELLE 20: Aktueller Tierbestand 2011 des Betriebes Konv\_2

Tierkategorie	Anzahl der Tiere
Milchkuh	20
Kälber kleiner als ½ Jahr	3
Kalbinnen zwischen ½ und 2 Jahren	7
Kalbinnen über 2 Jahren	3

Quelle: Betrieb Konv\_2, mündlich

Fütterung:

Das Futter der Tiere besteht aus dem am Betrieb erzeugten Grün- und Raufutter, dazu zählt Gras, Heu, Grummet und Klee gras, zusätzlich wird das auf den Äckern produzierte Getreide zu Getreideschrott verarbeitet und verfüttert. Außerdem kauft der Betrieb pro Jahr 9,5 Tonnen Kraftfutter, welches sich aus einem Gemenge von Körnermais, Weizenkleie und Rapsschrott zusammensetzt.

Tierische Produktion und Haltungssystem:

Die durchschnittliche Milchleistung einer Kuh beträgt 7 500 kg a<sup>-1</sup>. Jährlich werden zur Nachzucht fünf weibliche Kälber am Betrieb behalten, die übrigen Kälber werden in einem Alter von 14-15 Tagen verkauft. Das Milchvieh sowie die Jungtiere (> 3 Monate) werden in Anbindehaltung geführt, die Kälber (< 3 Monate) werden in Einzelboxen gehalten.

#### 4.2.1.3. Konventioneller Betrieb 3 (Konv\_3)

Flächenausstattung:

TABELLE 21: Flächenausstattung des Betriebes Konv\_3

	Größe (ha)	Kulturarten/Flächennutzung
Gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche	38,92	
→ Davon Ackerfläche	6,10	Klee gras, Wintergerste, Wintertriticale
→ Davon Grünland	32,82	Zweischnittig (2,16 ha) Dreischnittig (13,61 ha) Vierschnittig (11,3 ha ) Fünfschnittig (5,75 ha)

Quelle: Betrieb Konv\_3, mündlich

Fruchtfolge und organische Düngung:

1. Klee gras, 20 t Rindergülle (5% TS) je Hektar
2. Klee gras, 20 t Rindergülle (5% TS) je Hektar
3. Klee gras, 10 t Rindergülle (5% TS) je Hektar
4. Wintergerste, 15 t Frischmist je Hektar

## 5. Wintertriticale, 15 t Frischmist je Hektar

Geräte zur Saatbettbereitung und Bodenbearbeitung:

Für die Saatbettvorbereitung und die Bodenbearbeitung sind folgende Geräte im Einsatz: eine Saatbettkombination (Kreiselegge und Sämaschine), einen Flügelschargrubber und einen Wendepflug.

Tierbesatz:

Auf dem Betrieb werden ausschließlich Rinder der Rasse Holstein Friesian gehalten. Der gesamte Bestand setzt sich aus der eigenen Nachzucht zusammen, die Besamung erfolgt teils über den Natursprung und teils über künstliche Besamung. Die Viehbesatzdichte beträgt 1,6 GVE je Hektar.

TABELLE 22: Aktueller Tierbesatz 2011 des Betriebes Konv\_3

<b>Tierkategorie</b>	<b>Anzahl der Tiere</b>
Milchkuh	35
Kälber kleiner als ½ Jahr	9
Kalbinnen zwischen ½ und 2 Jahren	21
Kalbinnen über 2 Jahren	4

Quelle: Betrieb Konv\_3, mündlich

Fütterung:

Das Futter der Tiere besteht aus dem am Betrieb erzeugten Grün- und Raufutter, dazu zählt Gras, Heu, Grummet und Klee gras. Zusätzlich wird das auf den Äckern produzierte Getreide zu Getreideschrott verarbeitet und verfüttert. Außerdem kauft der Betrieb im Durchschnitt pro Jahr 27 Tonnen Krafftutter zu. Das eiweißbetonte Krafftutter ist ein Gemenge aus Raps und Soja, das energiebetonte Krafftutter setzt sich aus einem Mais-Getreide Gemenge zusammen.

Tierische Produktion und Haltungssystem:

Die durchschnittliche Milchleistung einer Kuh beträgt 8 600 kg a<sup>-1</sup>. Jährlich werden zur Nachzucht zehn weibliche Kälber am Betrieb behalten, die übrigen Kälber werden verkauft. 17 Männliche Kälber werden mit einem Alter von 15 Tagen verkauft, acht weibliche Kälber werden mit einem Alter zwischen 16 und 20 Monaten verkauft. Der Betrieb verfügt über einen Tiefboxenlaufstall in welchem das Milchvieh gehalten wird und über einen Tieflaufstall für das Jungvieh. Die Kälber (<3 Monate) werden in Einzelboxen untergebracht.

## 4.3. Humusbilanz

### 4.3.1. Humusbedarf

Wie in der Tabelle 23 ersichtlich ist, weist Öko\_1 mit  $417,6 \text{ kg Hu-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  den höchsten Humusbedarf auf. Der Kartoffelanbau auf dem Betrieb Öko\_1 trägt maßgebend zu dem hohen Humusbedarf bei. Der Betrieb Konv\_3 hat in der fünfjährigen Fruchtfolge drei Jahre Klee gras und zwei Jahre Getreidekulturen auf den Ackerflächen und dadurch mit  $185,6 \text{ kg Hu-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , siehe Tabelle 23, den geringsten Humusbedarf der untersuchten Betriebe. Der Humusbedarf ist im Allgemeinen bei den untersuchten konventionellen Betrieben geringer als bei den untersuchten ökologischen Betrieben. Alle drei untersuchten konventionellen Betriebe haben einen niedrigeren Humusbedarf als die ökologischen Vergleichsbetriebe. Im Mittel liegt der Humusbedarf der untersuchten konventionellen Betriebe bei  $264,9 \text{ kg Hu-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , bei den untersuchten ökologischen Betrieben bei  $382,8 \text{ kg Hu-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Der Kruskal - Wallis Test ergibt einen Unterschied zwischen dem Humusbedarf der ökologischen Betriebe und der konventionellen.

### 4.3.2. Humusersatzleistung

Aus der Tabelle 23 geht hervor, dass der Betrieb Konv\_1 mit  $394,4 \text{ kg Hu-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  Humusersatz durch Humusmehrer und  $498,8 \text{ kg Hu-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  Humusersatz durch die Zufuhr organischer Substanz die höchste Humusersatzleistung aufweist. Die niedrigste Humusersatzleistung hat der Betrieb Öko\_2 und liegt bei insgesamt  $539 \text{ kg Hu-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ .

Die niedrigste Humusersatzleistung durch die Zufuhr organischer Substanz erreicht der Betrieb Konv\_3 mit  $226,2 \text{ kg Hu-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Gleichzeitig aber hat Konv\_3 mit einer Humusersatzleistung von  $394 \text{ kg Hu-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  durch Humusmehrer den höchsten Wert in dieser Kategorie.

Die Humusersatzleistung durch den Anbau humusmehrender Fruchtarten ist bei allen konventionellen Betrieben höher als bei den ökologischen Betrieben. Die Humusersatzleistung durch Zufuhr organischer Substanz ist bei Konv\_1 und Konv\_2 jeweils höher als bei den Vergleichsbetrieben Öko\_1 und Öko\_2. Konv\_3 hingegen hat eine um das Zweifache geringere Humusersatzleistung durch die Zufuhr organischer Substanz als Öko\_3.

Im Mittel erreichen die konventionellen Betriebe eine Humusersatzleistung von  $681 \text{ kg Hu-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Bei den ökologischen beträgt die mittlere Humusersatzleistung  $611 \text{ kg Hu-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Der Humusersatz durch die Zufuhr organischer Substanz liegt bei den ökologischen

Betrieben im Mittel bei  $354 \text{ kg Hu-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , knapp über dem Mittelwert der konventionellen Betriebe ( $342 \text{ kg Hu-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ). Die Humusersatzleistung durch den Anbau von Humusmehrern erreicht bei den konventionellen Betrieben im Mittel  $336 \text{ kg Hu-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , bei den ökologischen  $247 \text{ kg Hu-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ .

#### **4.3.3. Humussaldo und Humusversorgungsgrad**

Die sechs untersuchten Betriebe haben einen hohen bis sehr hohen Humussaldo. Die Hu-C-Anreicherung des Bodens reicht von  $169 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  beim Betrieb Öko\_1 bis  $514 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , beim Betrieb Konv\_1, siehe Tabelle 23. Ein sehr hoher Humussaldo ( $> 300 \text{ kg Hu-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) ist in drei Betrieben zu finden, zwei davon sind konventionelle Betriebe und einer ökologisch. Der dritte konventionelle Betrieb (Konv\_2) liegt, wie in der Tabelle 23 ersichtlich ist, mit  $295 \text{ kg Hu-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  nur knapp unter der Grenze einer sehr hohen Humusanreicherung. Zu den drei Betrieben, die einen hohen Humussaldo aufweisen, zählen die zwei ökologischen Betriebe Öko\_1 und Öko\_2 sowie der konventionelle Betrieb Konv\_2. Im Mittel liegt der Humussaldo der konventionellen Betriebe bei  $415 \text{ kg Hu-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , bei den biologischen Betrieben bei  $219 \text{ kg Hu-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ .

Aus der Tabelle 23 ist abzulesen, dass die zwei Betriebe, die mit einem Humusversorgungsgrad von 140 % und 148 % dem optimalen Versorgungsgrad von 100 % am nächsten sind, die Betriebe Öko\_1 und Öko\_2 sind. Alle anderen Betriebe haben einen Humusversorgungsgrad von knapp unter 200 % oder darüber. Konv\_3 hat durch einen geringen Humusbedarf und eine relativ hohe Humusersatzleistung den höchsten Humusversorgungsgrad der sechs Betriebe von 334 %.

TABELLE 23: Humusbilanzen der untersuchten Realbetriebe (HE-Methode statisch)

Kennzahl (Bezugsgröße)	Konv_1	Öko_1	Konv_2	Öko_2	Konv_3	Öko_3
<b>Humus Bedarf (HE<sup>(1)</sup> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>)</b>	0,52	0,72	0,53	0,63	0,32	0,63
Entspricht N (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	26	36	27	32	16	32
Entspricht C (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	302	418	307	365	186	365
<b>Humusersatzleistung gesamt (HE ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>)</b>	1,41	1,01	1,04	0,93	1,07	1,22
Entspricht N (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	71	51	52	47	54	61
Entspricht C (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	818	586	603	539	621	708
Humusmehrerleistung(2) (HE <sup>(1)</sup> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	0,55	0,44	0,51	0,42	0,68	0,42
Entspricht N (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	28	22	26	21	34	21
Entspricht C (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	319	255	296	244	394	244
Zufuhr organischer Substanz(HE <sup>(1)</sup> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	0,86	0,57	0,52	0,51	0,39	0,80
Entspricht N (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	43	29	26	26	20	40
Entspricht C (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	499	331	302	296	226	464
<b>Humussaldo (HE ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>)<sup>(3)</sup></b>	0,89	0,29	0,51	0,30	0,75	0,59
Entspricht N (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	44	15	25	15	38	30
Entspricht C (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	514	169	295	175	435	344
<b>Humusversorgungsgrad (%)<sup>(4)</sup></b>	271	140	196	148	334	194
<b>Humusbilanzklasse</b>	E	D	D	D	E	E

<sup>(1)</sup>HE = Humuseinheit, eine Humuseinheit entspricht: 50 kg N und 580 kg C), <sup>(2)</sup> Humusanreicherung durch Zwischenfrucht, Leguminosenanbau, etc., <sup>(3)</sup> Humussaldo = Humuszufuhr – Humusbedarf,

<sup>(4)</sup> Humusversorgungsgrad = Humusersatzleistung / Humusbedarf

## 4.4. Energiebilanz

### 4.4.1. Energieinput (= Energieverbrauch)

#### 4.4.1.1. Gegenüberstellung der Energieinputs der Betriebe Öko\_1 und Konv\_1

Der Energieinput des Betriebes Öko\_1 unterscheidet sich deutlich vom Input des Betriebes Konv\_1. Der Betrieb Konv\_1 hat mit 12 903 MJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> einen mehr als doppelt so hohen Energieeinsatz wie der Betrieb Öko\_1.

Die Input-Werte für Dieselkraftstoff weichen bei Öko\_1 (2 511 MJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) und Konv\_1 (3 121 MJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) nur im geringen Maße voneinander ab. Im Gegensatz zum Dieselkraftstoffverbrauch unterscheidet sich der Stromverbrauch, wie die Abbildung 10 zeigt, zwischen den Betrieben Öko\_1 und Konv\_1 sehr stark. Mit 6 599 MJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> nimmt der Stromverbrauch von Konv\_1 mehr als die Hälfte des Gesamt-Inputs ein. Die höhere Viehbesatzdichte und die höhere Milchleistung beim Betrieb Konv\_1 verursachen einen enormen Unterschied zwischen dem Stromverbrauch der Betriebe Konv\_1 und Öko\_1. Der Energieinputwert für Mineraldünger ist beim Betrieb Konv\_1 mit 1 195 MJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> dreimal so

hoch wie beim Betrieb Öko\_1. In der Abbildung 10 ist ersichtlich, dass der geringste Energieaufwand bei beiden Betrieben für den Inputfaktor Schmierstoffe errechnet wurde.

Bei beiden Betrieben steht der direkte Inputfaktor Strom, anteilmäßig am Gesamt-Energieinput, an oberster Stelle, bei Öko\_1 mit 46 % und bei Konv\_1 mit 51 %. An zweiter Stelle steht bei beiden Betrieben der direkte Inputfaktor Dieselkraftstoff, der jedoch bei Konv\_1 mit 24 % einem deutlich geringeren Anteil als bei Öko\_1 mit 45 % ausmacht. Zugekaufte Futtermittel haben bei Konv\_1 einen Anteil von 13 %, Mineraldünger liegen mit 9 % knapp darunter. Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln verursacht beim Betrieb Konv\_1 lediglich einen Energiebedarf von 2 %. Zugekaufte Futtermittel und Pflanzenschutzmittel fallen als Energieinputfaktoren beim Betrieb Öko\_1 gänzlich weg. Eingesetzte Mineraldünger machen beim Betrieb Öko\_1 7 % des Gesamt-Inputs aus.

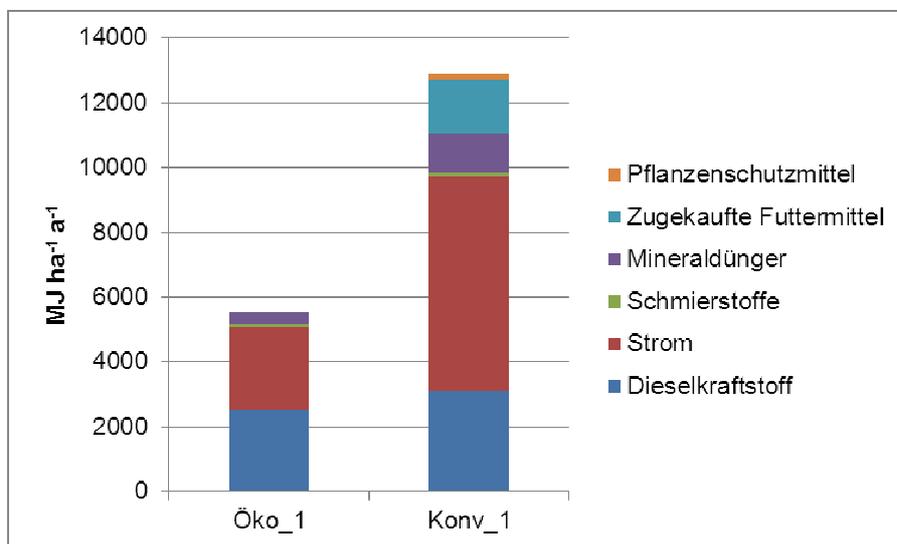


ABBILDUNG 10: Darstellung der Energieinputs der Betriebe Öko\_1 und Konv\_1 ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ )

#### 4.4.1.2. Gegenüberstellung der Energieinputs der Betriebe Öko\_2 und Konv\_2

Wie in der Abbildung 11 dargestellt ist, weist der Betrieb Öko\_2 einen höheren Energieinput je Hektar und Jahr auf als der Betrieb Konv\_2. Insgesamt liegt das Energieinput beim Betrieb Öko\_2 bei knapp  $8\,000 \text{ MJ ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  und beim Betrieb Konv\_2 bei knapp  $7\,000 \text{ MJ ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ .

Beim Energieverbrauch durch den Inputfaktor Strom kommt es zwischen den beiden Betrieben zu einer Differenz von  $705 \text{ MJ ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  zugunsten des Betriebes Konv\_2. Die Unterschiede zwischen den Inputfaktoren Dieselmkraftstoff, Schmierstoffe und zugekaufte Futtermittel sind jeweils sehr gering ( $< 400 \text{ MJ ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ), die Inputwerte sind jedoch für diese Faktoren bei Öko\_2 höher als bei Konv\_2. Mineraldünger ist der einzige Faktor, bei dem der

Betrieb Konv\_2 ( $539 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) einen höheren Wert aufweist als der Betrieb Öko\_2 ( $395 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ). Der Inputfaktor Pflanzenschutzmittel wird bei Konv\_2 nicht berücksichtigt, da dieser mit weniger als 1 % am Gesamt-Input beteiligt ist. Bei Öko\_2 werden keine Pflanzenschutzmittel angewendet, somit ist dieser Faktor für beide Betriebe hinfällig.

Den größten Anteil am Gesamt-Energieinput macht bei beiden Betrieben der direkte Inputfaktor Strom, mit 45 % bei Konv\_2 und 48 % bei Öko\_2, aus. Der direkte Inputfaktor Dieselkraftstoff hat bei beiden Betrieben einen Anteil von 35 % am Gesamt-Energieinput.

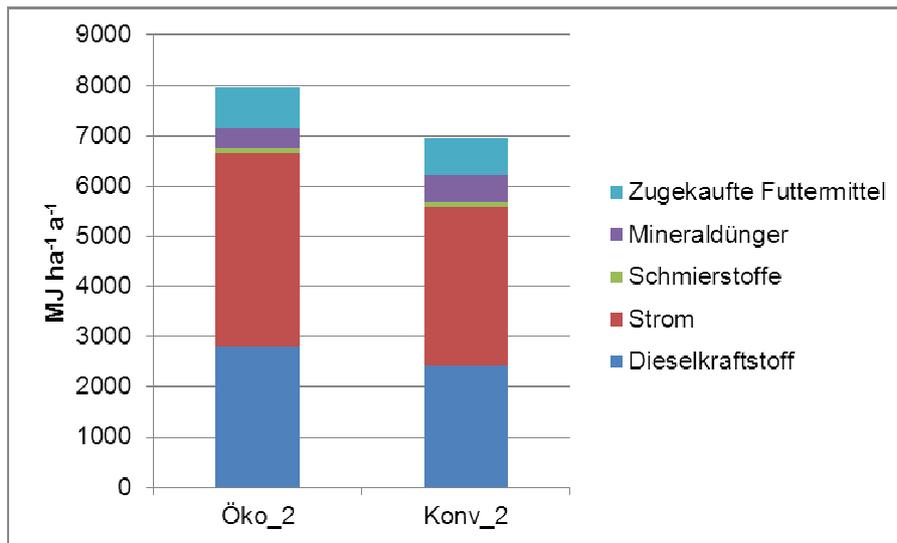


ABBILDUNG 11: Darstellung der Energieinputs der Betriebe Öko\_2 und Konv\_2 ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ )

#### 4.4.1.3. Gegenüberstellung der Energieinputs der Betriebe Öko\_3 und Konv\_3

Der gesamte Energieinput des Betriebes Öko\_3 beträgt  $5371 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Konv\_3 weist einen Gesamt-Energieinput von  $9035 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  auf. Der Gesamt-Energieinput des Betriebes Öko\_3 macht somit, wie in der Abbildung 12 ersichtlich ist, knapp zwei Drittel des Inputs des Betriebes Konv\_3 aus.

Die Abbildung 12 veranschaulicht, dass die größten Unterschiede zwischen Öko\_3 und Konv\_3 bei den Inputfaktoren Strom und zugekaufte Futtermittel liegen. Der Stromverbrauch beträgt bei Konv\_3 mit  $4404 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  knapp doppelt so viel wie bei Öko\_3 mit  $2308 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Bei Öko\_3 fällt der Inputfaktor zugekaufte Futtermittel gänzlich weg, der hingegen bei Konv\_3 mit einem Wert von  $1591 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  ein Fünftel des Gesamt-Energieinputs ausmacht. Der Energieinput durch Dieselkraftstoff ist bei beiden Betrieben, mit  $2586 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bei Öko\_3 und  $2562 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bei Konv\_3, beinahe gleich hoch. Auch die Werte der Inputfaktoren Schmierstoffe und Mineraldünger unterscheiden sich zwischen Öko\_3 und

Konv\_3 kaum. Der Inputfaktor Pflanzenschutzmittel wird bei Konv\_3 aufgrund seines geringen Anteils am gesamten Energieinput des Betriebes (< 1 %) nicht berücksichtigt.

Der Hauptanteil des Energieverbrauchs setzt sich bei Öko\_3 aus dem Einsatz von Dieseldieselkraftstoff mit einem Anteil von 48 % und dem Stromverbrauch mit einem Anteil von 43 % am Gesamt-Input des Betriebes zusammen. Bei Konv\_3 dominiert der Stromverbrauch den Gesamt-Energieverbrauch mit einem Anteil von 49 %. Der Dieseldieselkraftstoffverbrauch trägt 28 % zum gesamten Energieverbrauch des Betriebes Konv\_3 bei, zugekaufte Futtermittel 18 %

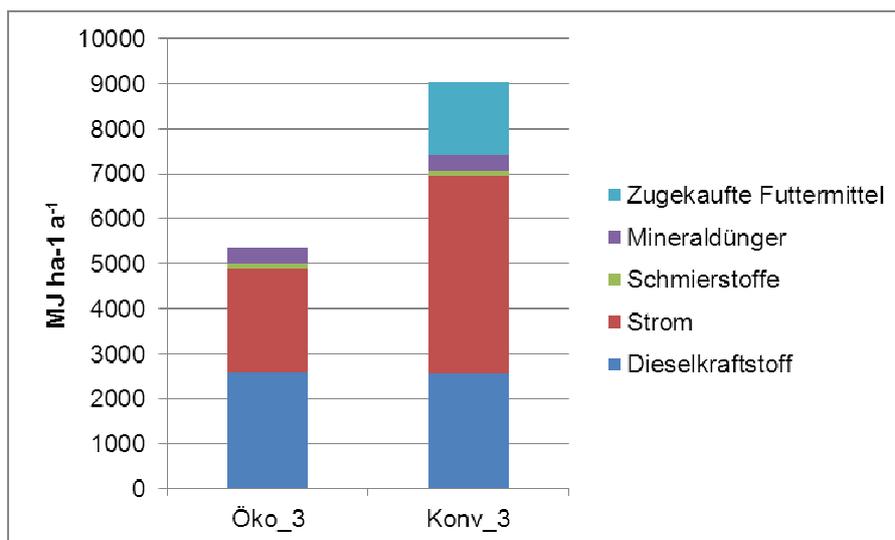


ABBILDUNG 12: Darstellung der Energieinputs der Betriebe Öko\_3 und Konv\_3 ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ )

#### 4.4.1.4. Gegenüberstellung der Energieinputs aller sechs untersuchten Betriebe

Der Gesamt-Energieinput ist beim Betrieb Konv\_1 mit einem Wert von knapp  $13\,000 \text{ MJ ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  am höchsten. Der Betrieb Konv\_3 hat mit einem Input von knapp über  $9\,000 \text{ MJ ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  den zweithöchsten Gesamt-Input. Innerhalb der ökologischen Betriebe steht Öko\_2 mit einem Gesamt-Input von knapp  $8\,000 \text{ MJ ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  an oberster Stelle. Der geringste Energieinput innerhalb der konventionellen Betriebe beträgt bei Konv\_2 knapp  $7\,000 \text{ MJ ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ . Öko\_1 und Öko\_3 haben einen Gesamt-Input von  $5\,550 \text{ MJ ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  beziehungsweise  $5\,371 \text{ MJ ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  und sind damit die Betriebe mit dem geringsten Gesamt-Input.

Die Abbildung 13 zeigt, dass zwischen den Betrieben Öko\_1 und Konv\_1 sowie Öko\_3 und Konv\_3 ein deutlicher Unterschied in der Höhe der Energieaufwendungen zugunsten der ökologischen Betriebe zu erkennen ist. Der Gesamt-Input ist bei Konv\_1 mehr als doppelt so hoch wie bei Öko\_1. Der Gesamt-Energieinput des Betriebs Öko\_3 macht knapp zwei Drittel des Inputs des Betriebs Konv\_3 aus. Bei Konv\_1 und Konv\_3 verursacht vor allem der

Faktor Strom und der Zukauf von Futtermitteln höhere Energieaufwendungen. Bei Konv\_1 trägt zudem der Faktor Mineraldünger einen erheblichen Anteil zum Energieinput bei. Öko\_2 und Konv\_2 liegen mit knappen 8 000 beziehungsweise 7 000 MJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> im unteren Mittelfeld und unterscheiden sich in deren Energieaufwendungen nur gering.

Der größte Energieaufwand, wie in der Abbildung 13 ersichtlich ist, kommt bei allen Betrieben durch die Faktoren Strom und Dieselkraftstoff zustande. Konv\_1 hat in allen Inputbereichen den höchsten Energieaufwand je Hektar und Jahr. Konv\_3 hat bei den Inputfaktoren Strom und zugekaufte Futtermittel den zweithöchsten Energieverbrauch je Hektar und Jahr. Den zweithöchsten Dieselkraftstoffverbrauch je Hektar und Jahr weist Öko\_2 auf, gefolgt von Öko\_3. Den geringsten Dieselkraftstoffverbrauch hat der Betrieb Konv\_2. Öko\_2 hat beim Inputfaktor zugekaufte Futtermittel den dritthöchsten Energieverbrauch. Bei zwei der ökologischen Betriebe, Öko\_1 und Öko\_3, fallen keine Energieaufwendungen für zugekaufte Futtermittel an. Der Mineraldünger Aufwand nimmt lediglich bei zwei konventionellen Betrieben, Konv\_1 und Konv\_2, einen Wert über 500 MJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> an. Bei den vier anderen Betrieben, den drei ökologischen und Konv\_3 beträgt der Mineraldünger Aufwand zwischen 368 und 394 MJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Der Einsatz von Schmierstoffen verursacht bei den sechs Betrieben einen Energieaufwand zwischen 97 und 125 MJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> und ist somit bei allen Betrieben nur zu einem geringen Anteil am Gesamt-Energieinput beteiligt. Der Energieaufwand durch Pflanzenschutzmittel spielt bei den konventionellen Betrieben, die welche einsetzen, kaum eine Rolle.

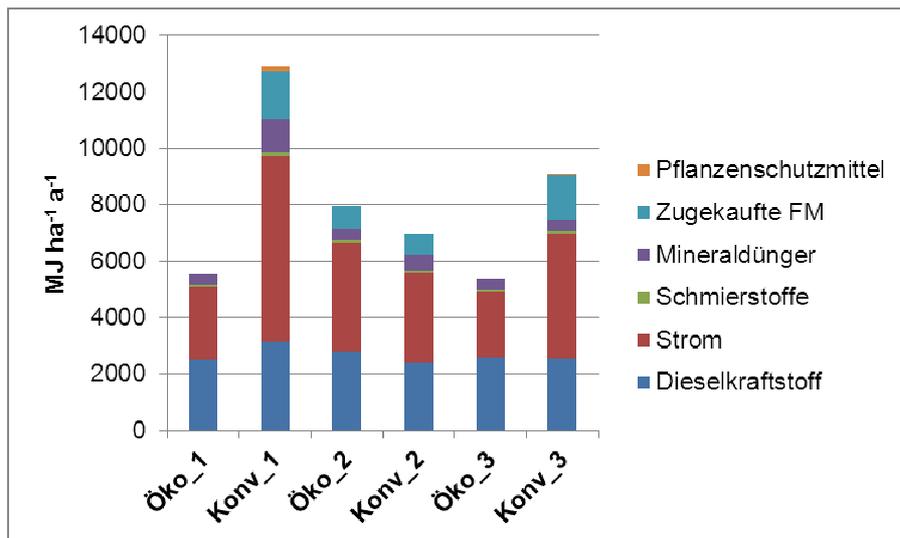


ABBILDUNG 13: Darstellung der Energieinputs der sechs untersuchten Betriebe

In der Abbildung 14 werden jeweils die Energieinputs der ökologischen Betriebe, den Inputs der drei konventionellen Betriebe, gegenübergestellt. Die ökologischen Betriebe gruppieren sich im Bereich des geringeren Energieinputs, die konventionellen hingegen im Bereich eines höheren Inputs.

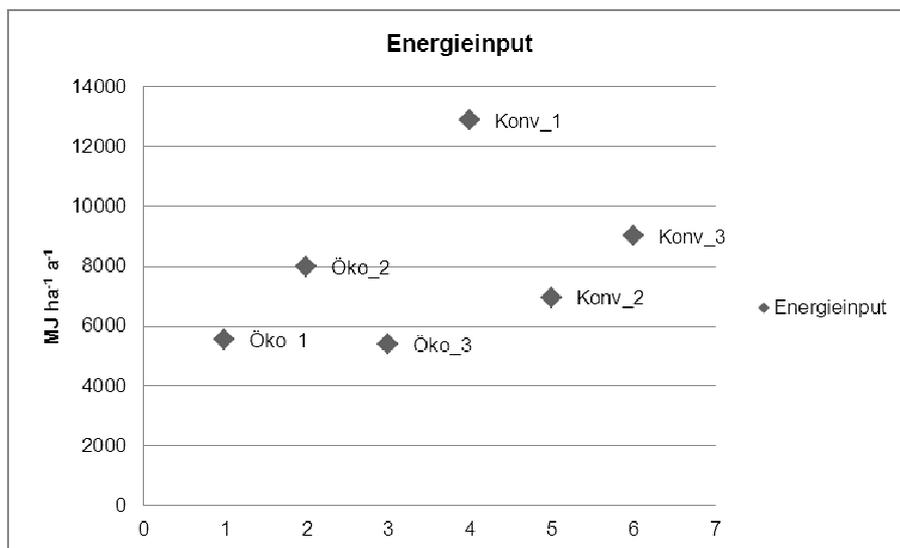


ABBILDUNG 14: Gegenüberstellung der Energieinputs der drei ökologischen Betriebe den Energieinputs der drei konventionellen Betriebe

#### 4.4.2. Gegenüberstellung der Energieoutputs der sechs untersuchten Betriebe

Den mit Abstand höchsten Energieertrag je Hektar und Jahr hat der Betrieb Konv\_1, siehe Abbildung 14. Konv\_3 ist der Betrieb mit dem zweithöchsten Energieertrag und liegt mit einem Ertrag von knapp 20 000 MJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> um mehr als 10 000 MJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> unter dem Ertrag

von Konv\_1. Öko\_2 erreicht unter den ökologischen Betrieben den höchsten Energieoutput. Öko\_3 hat mit einem Energieoutput von 13 920 MJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> den geringsten unter den sechs untersuchten Betrieben. Die Betriebe Konv\_2 und Öko\_1 unterscheiden sich mit einem Energieoutput zwischen 14 500 und 15 000 MJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> nur im geringen Maße voneinander.

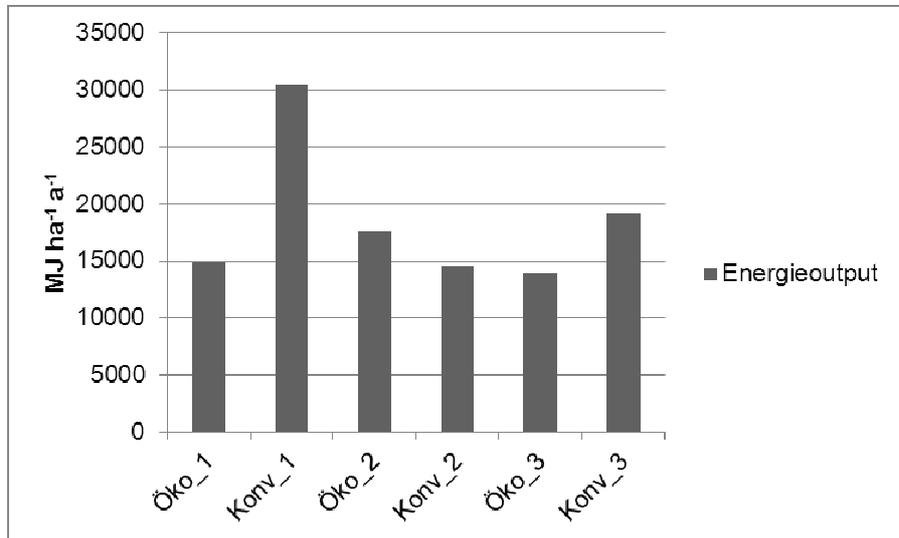


ABBILDUNG 15: Darstellung der Energieerträge der sechs untersuchten Betriebe

In der Abbildung 16 ist deutlich zu erkennen, dass sich die Energieoutputs der konventionellen Betriebe, mit Ausnahme des Betriebes Konv\_1, in nur sehr geringem Ausmaß von den Energieoutputs der ökologischen Betriebe unterscheiden.

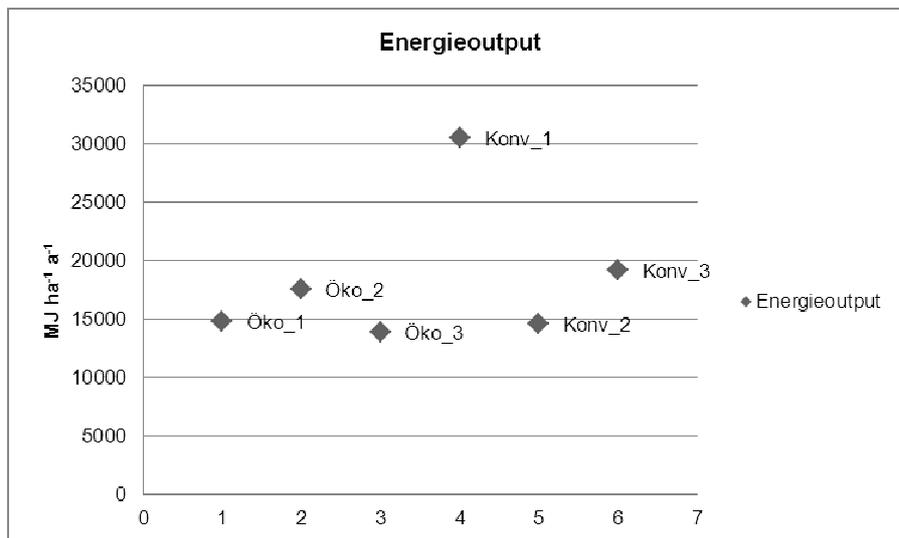


ABBILDUNG 16: Gegenüberstellung der Energieoutputs der drei ökologischen Betriebe den Energieoutputs der drei konventionellen Betriebe

#### 4.4.3. Gegenüberstellung der Energiesaldos der sechs untersuchten Betriebe

Den höchsten Energiesaldo, und somit die höchste Flächenproduktivität, weist Konv\_1 mit  $17\,665\text{ MJ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$  auf. Wie in der Abbildung 17 dargestellt wird, produziert Konv\_1 je bewirtschaftete Flächeneinheit den höchsten Energiegehalt. Die Abbildung 17 zeigt, dass Konv\_2 die niedrigste Flächenproduktivität der sechs untersuchten Betriebe hat. Der Energiesaldo von Konv\_2 beträgt  $7\,540\text{ MJ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$ . Im Bereich zwischen knapp über  $10\,000\text{ MJ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$  und  $8\,500\text{ MJ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$  liegen die drei ökologischen Betriebe sowie der Betrieb.

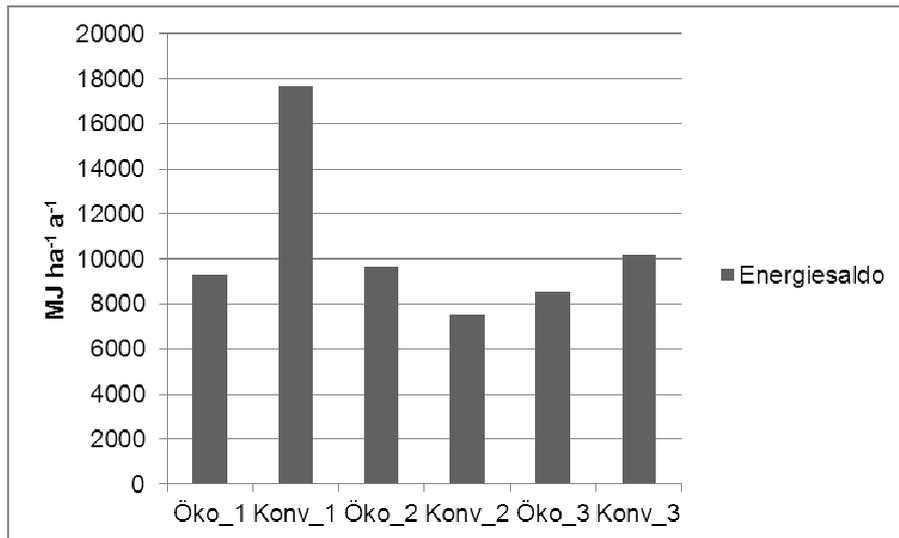


ABBILDUNG 17: Darstellung der Energiesaldos der sechs untersuchten Betriebe

Wie die Abbildung 18 veranschaulicht, weist der Betrieb Konv\_1 als einziger Betrieb einen sehr hohen Energiesaldo auf. Die Energiesalden der Betriebe Konv\_2 und Konv\_3 unterscheiden sich nur im geringen Ausmaß von den Energiesalden der ökologischen Betriebe.

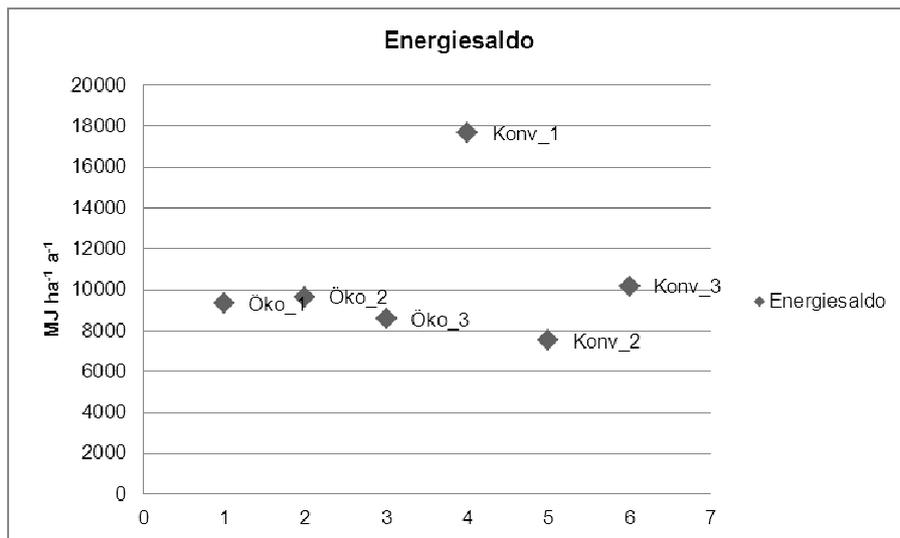


ABBILDUNG 18: Gegenüberstellung der Energiesalden der drei ökologischen Betriebe den Energiesalden der drei konventionellen Betriebe

#### 4.4.4. Output / Input – Verhältnis (=Energieeffizienz)

In der Abbildung 19 wird ersichtlich, dass der Betrieb Öko\_1 den höchsten Energieoutput im Verhältnis zum Energieinput hat. Mit einer Einheit Energie die eingesetzt wird, werden 2,7 Einheiten Energie produziert. Öko\_3 hat das zweithöchste Output / Input – Verhältnis. An dritter Stelle steht Konv\_1 mit 2,4 Einheiten produzierter Energie je eingesetzte Energieeinheit. Konv\_2 und Konv\_3 haben mit einem Output / Input – Verhältnis von 2,1 : 1 den niedrigsten Energieoutput im Verhältnis zum Energieinput. Der Output des Betriebs Öko\_2 steht zum Input in einem Verhältnis von 2,2 : 1. Bei allen ökologischen Betrieben ist das Output / Input – Verhältnis höher als bei den konventionellen Vergleichsbetrieben.

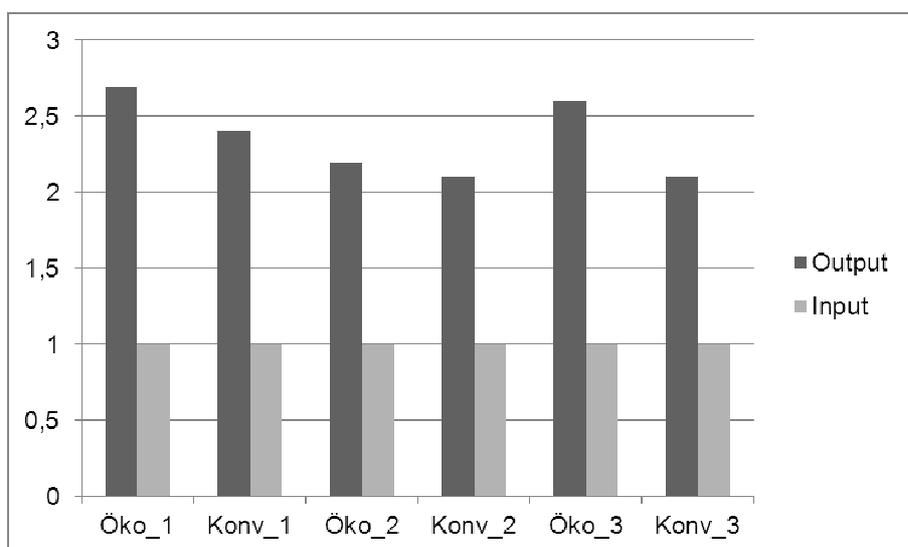


ABBILDUNG 19: Das Output / Input – Verhältnis der sechs untersuchten Betriebe

Bezüglich des Output / Input – Verhältnisses befinden sich die ökologischen Betriebe tendenziell im Bereich eines höheren Verhältnisses, wie in Abbildung 20 veranschaulicht wird. Der Unterschied ist jedoch nur von geringem Ausmaß.

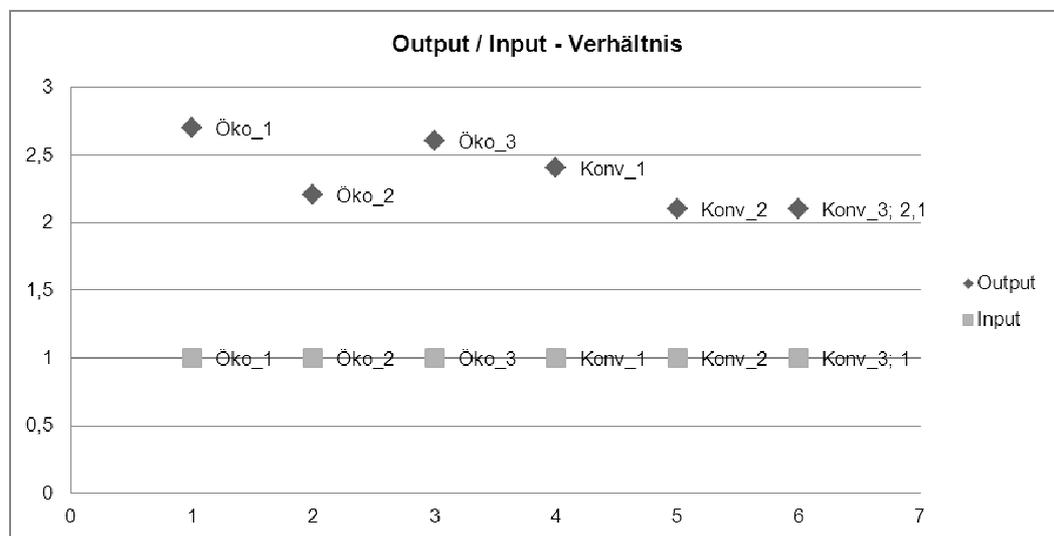


ABBILDUNG 20: Gegenüberstellung des Output / Input – Verhältnisses der drei ökologischen Betriebe dem Output / Input – Verhältnis der drei konventionellen Betriebe

#### 4.4.5. Energiekennzahlen der sechs Betriebe im Vergleich

Von den untersuchten Betrieben haben zwei der konventionellen Betriebe die zwei höchsten Energieinputwerte, siehe Abbildung 13. Dieselben Betriebe haben auch die höchsten Energieoutputwerte, es handelt sich um die Betriebe Konv\_1 und Konv\_3. Konv\_1 und Konv\_3 sind die Betriebe mit den zwei höchsten Werten für die Milchleistung, die bei 8 600 kg je Kuh und Jahr und darüber liegt. Die hohe Milchleistung verursacht einen hohen Stromverbrauch. Mit einem Stromverbrauch von 4 404 und 6 599 MJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> stehen die beiden Betriebe an oberster Stelle. Diese zwei Betriebe weisen zusätzlich den höchsten Energieinput bei dem Inputfaktor zugekaufte Futtermittel auf.

Die Abbildung 13 zeigt, dass die zwei ökologischen Betriebe Öko\_3 und Öko\_1 die niedrigsten Energieinputwerte haben. Öko\_3 hat gleichzeitig den niedrigsten Energieoutput, Öko\_1 hat den drittniedrigsten Output. Die zwei Betriebe weisen den niedrigsten Energieinput durch den Inputfaktor Strom auf. Beide Betriebe kaufen keine Futtermittel zu und haben dadurch keinen Energieinput durch den Faktor zugekaufte Futtermittel. Öko\_1 hat eine Milchleistung von 5 500 kg je Kuh und Jahr, die Milchleistung von Öko\_3 liegt mit

5 750 kg je Kuh und Jahr knapp darüber. Mit diesen Milchleistungswerten liegen die zwei Betriebe an unterster Stelle.

Wie man von der Abbildung 17 ablesen kann, ist der Energiesaldo bei den Betriebspaaren Öko\_1, Konv\_1 und Öko\_3, Konv\_3 jeweils bei den konventionellen Betrieben höher. Das Output / Input – Verhältnis ist jedoch bei den beiden ökologischen Betrieben höher, siehe Abbildung 19. Die Flächenproduktivität, die produzierte Energie je Hektar und Jahr, ist demzufolge bei den zwei konventionellen Betrieben höher. Die beiden ökologischen Betriebe produzieren jedoch mehr Energie je eingesetzter Energieeinheit und wirtschaften somit energieeffizienter.

Der konventionelle Betrieb mit dem höchsten Energieinput, dem höchsten Energieoutput, und dem höchsten Energiesaldo, hat ein Output / Input – Verhältnis von 2,4 : 1 und damit das dritthöchste Output / Input – Verhältnis. Öko\_1 hat den drittniedrigsten Energieoutput und den zweitniedrigsten Energieinput aber das effizienteste Output / Input – Verhältnis im Vergleich mit den anderen fünf untersuchten Betrieben.

Im Mittel haben die drei konventionellen Betriebe einen Energieinput von  $9\,635\text{ MJ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$  und einen Energieoutput von  $21\,462\text{ MJ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$ . Der mittlere Energiesaldo beträgt bei den konventionellen Betrieben knapp  $11\,800\text{ MJ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$ . Die drei ökologischen Betriebe haben im Mittel einen Energieinput von  $6\,295\text{ MJ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$  und einen Energieoutput von  $15\,470\text{ MJ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$ . Der Energiesaldo der ökologischen Betriebe beträgt im Mittel  $9\,175\text{ MJ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$ . Im Mittel steht das Output zum Input im Verhältnis 2,2 : 1 bei den konventionellen Betrieben und im Verhältnis 2,5 : 1 bei den ökologischen Betrieben. Die Abbildung 19 veranschaulicht, dass das Output im Verhältnis zum Input jeweils bei den ökologischen Vergleichsbetrieben höher ist.

## 4.5. CO<sub>2</sub>-Emissionen

### 4.5.1. CO<sub>2</sub>-Emissionen-Gesamt

Bei den folgenden CO<sub>2</sub>-Emissionswerten werden alle Inputfaktoren des Gesamtbetriebes, die auch in der Energiebilanz berücksichtigt wurden, in die Berechnung miteinbezogen. Am höchsten sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen-Gesamt bei den drei konventionellen Betrieben. Der Betrieb Konv\_1 emittiert CO<sub>2</sub> in einer Höhe von 582 kg CO<sub>2</sub> je Hektar und Jahr und hat damit die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen der untersuchten Betriebe. Die drei Betriebe mit dem niedrigsten CO<sub>2</sub>-Emissionen-Gesamt sind die ökologischen Betriebe. Die

Kohlendioxidemission von Öko\_1 erreicht eine Höhe von 260 kg je Hektar und Jahr, dies ist der Betrieb mit den niedrigsten gesamtbetrieblichen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die Abbildung 21 veranschaulicht den großen Unterschied zwischen den Vergleichsbetrieben Öko\_1, Konv\_1 und Öko\_3, Konv\_3. Das Betriebspaar Öko\_2, Konv\_2 hingegen unterscheidet sich bezüglich der Gesamtemissionen nur in geringem Maße voneinander.

Die konventionellen Betriebe erreichen im Mittel einen CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 458 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Der mittlere CO<sub>2</sub>-Ausstoß der ökologischen Betriebe liegt im Vergleich bei 284 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>.

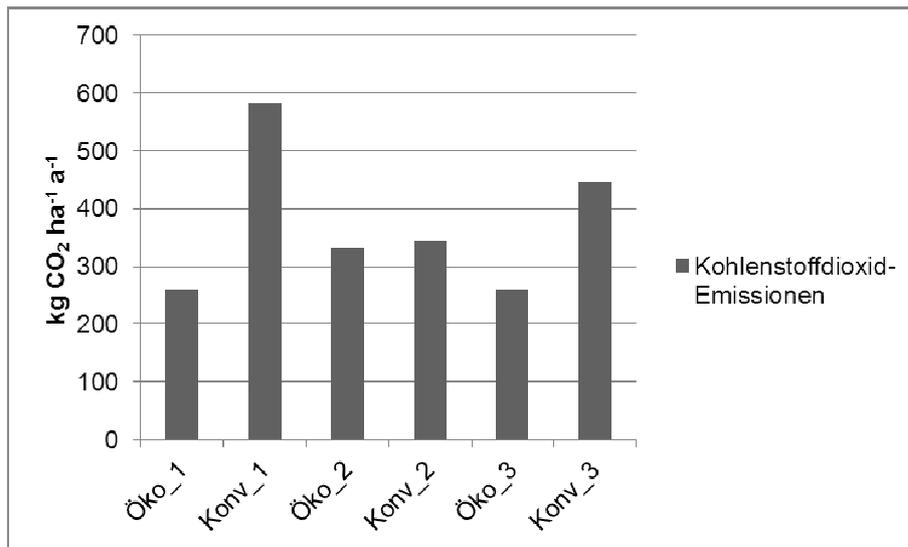


ABBILDUNG 21: Darstellung der Kohlenstoffdioxid-Emissionen der sechs untersuchten Betriebe je Hektar und Jahr

Die konventionellen Betriebe befinden sich eindeutig unter den Betrieben die höhere gesamtbetriebliche CO<sub>2</sub>-Emissionen aufweisen. In Abbildung 22 ist der Trend zu höheren Emissionen der konventionellen Betriebe zu erkennen.

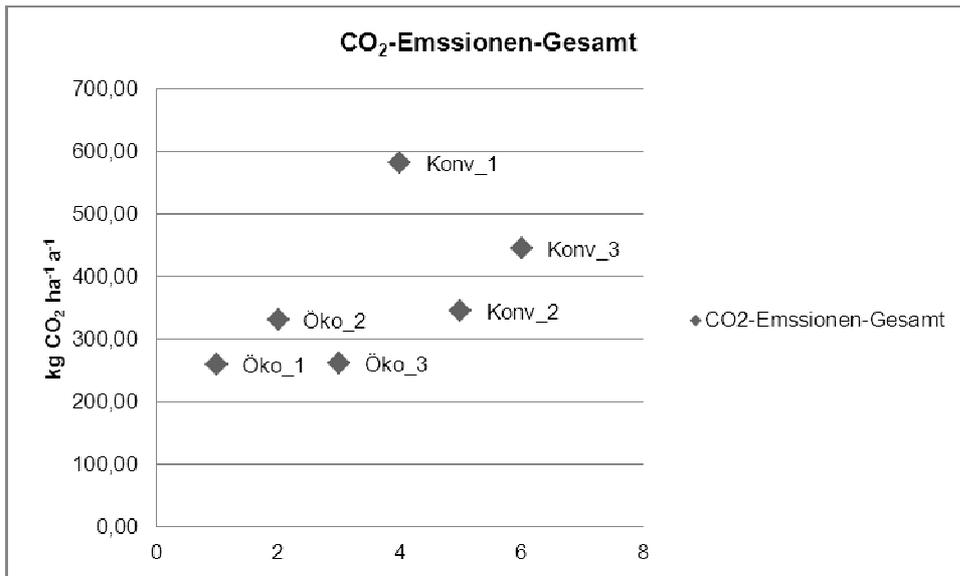


ABBILDUNG 22: Gegenüberstellung der Gesamtbetrieblichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der drei ökologischen Betriebe den Gesamtbetrieblichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der drei konventionellen Betriebe

#### 4.5.2. Gegenüberstellung der gesamtbetrieblichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Vergleichsbetriebspaare

Mit 582 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> übersteigen die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Konv\_1 die Emissionen des Betriebs Öko\_1 um mehr als das Doppelte. Die Abbildung 23 zeigt, dass es zwischen den Betrieben Öko\_1 und Konv\_1 vor allem durch die Aufwendung von zugekauften Futtermitteln von Konv\_1 zu einem enormen Unterschied in der Höhe der CO<sub>2</sub>-Emissionen kommt. Zusätzlich wird im Betrieb Konv\_1 mehr Mineraldünger ausgebracht und der Strom- und Dieselbedarf ist höher als bei Öko\_1.

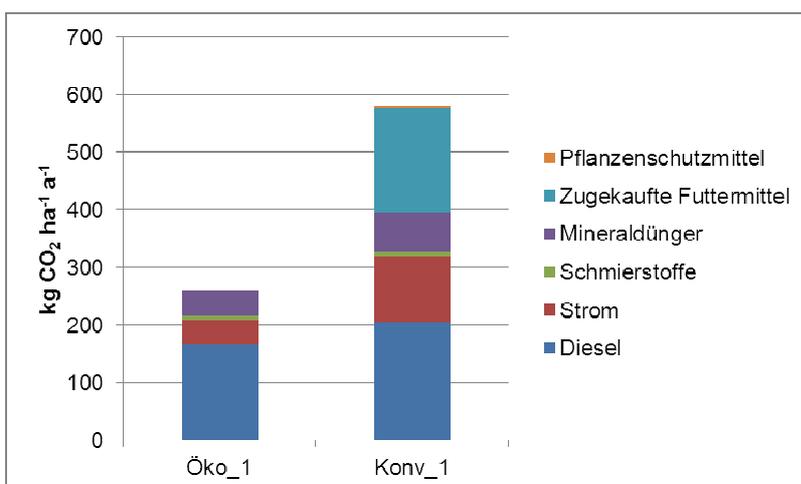


ABBILDUNG 23: Darstellung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Betriebe Öko\_1 und Konv\_1

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Betriebe Öko\_2 und Konv\_2 unterscheiden sich nur in sehr geringem Maße voneinander. Konv\_2 hat durch einen vermehrten Zukauf an Futtermittel höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen als Öko\_2. Der höhere Dieserverbrauch des Betriebs Öko\_2 gleicht die Einsparungen durch eine geringere Aufwendung an zugekauften Futtermitteln beinahe wieder aus, siehe Abbildung 24. Die Höhe der CO<sub>2</sub>-Emissionen betragen bei Konv\_2 345 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> und bei Öko\_1 332 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>.

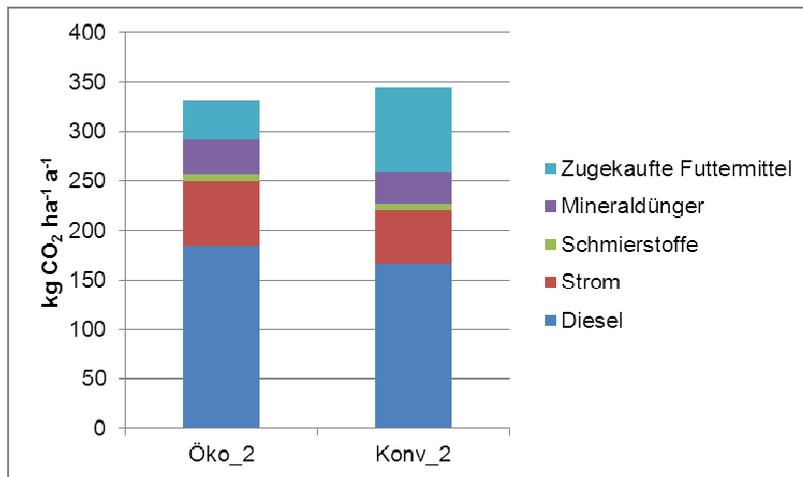


ABBILDUNG 24: Darstellung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Betriebe Öko\_2 und Konv\_2

Den größten Unterschied zwischen den CO<sub>2</sub>-Emissionen der Betriebe Öko\_3 und Konv\_3 verursacht der Zukauf von Futtermittel des Betriebs Konv\_3. In der Abbildung 25 sind die erhöhten CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den Inputfaktor zugekaufte Futtermittel beim Betrieb Konv\_3 entstehen, gut ersichtlich. Zusätzlich sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch einen erhöhten Stromverbrauch bei Konv\_3 höher als bei Öko\_3. Wie bei Öko\_2 sind auch bei Öko\_3 die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den Dieserverbrauch entstehen, etwas höher als bei dem konventionellem Vergleichsbetrieb.

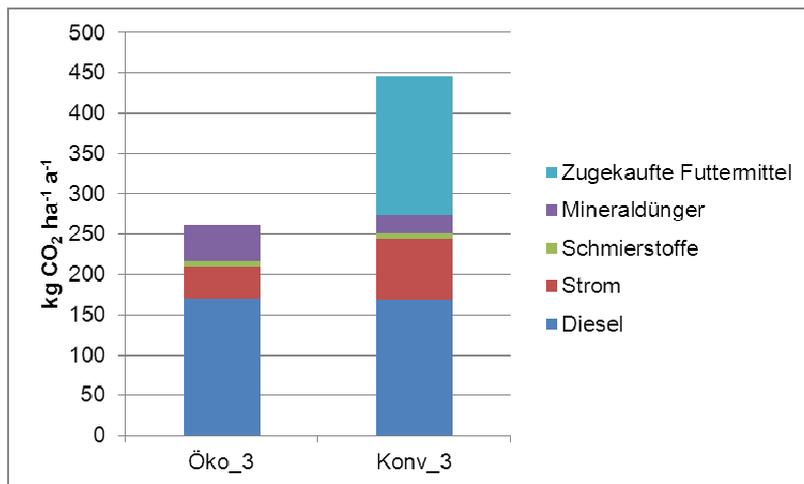


ABBILDUNG 25: Darstellung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Betriebe Öko\_3 und Konv\_3

Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß, der durch die konventionellen Betriebe verursacht wird, ist höher als der, der durch die ökologischen Betriebe entsteht. Die Unterschiede zwischen den ökologischen Betrieben Öko\_1 und Öko\_3 und den konventionellen Vergleichsbetrieben Konv\_1 und Konv\_3 zeigen sehr deutlich einen höheren Ausstoß von Kohlendioxid durch die konventionellen Betriebe. Hingegen ist der Unterschied zwischen dem Betrieben Öko\_2 und Konv\_2 nur sehr gering. Bei allen drei konventionellen Betrieben ist ein höherer CO<sub>2</sub>-Ausstoß durch den Zukauf von Futtermitteln im Vergleich zu den ökologischen Vergleichsbetrieben deutlich zu erkennen. Für die ökologischen Betriebe ergeben sich im Bereich der Mineräldünger höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen als beim Energieinput da die ökologischen Betriebe hauptsächlich Kalk verwenden. Die Herstellung von Kalk weist verhältnismäßig hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen auf.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen-Gesamt erreichen bei den konventionellen Betrieben im Mittel 458 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> und 284 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> bei den ökologischen.

#### 4.5.3. CO<sub>2</sub>-Emissionen-Ackerbau

Den höchsten Wert der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den Ackerbau entstehen, erreicht Konv\_1 mit 411 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Der niedrigste Wert liegt bei Konv\_2 mit 301 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Die Betriebspaare Öko\_2, Konv\_2 und Öko\_3, Konv\_3 weisen nur geringe Unterschiede in der Höhe der CO<sub>2</sub>-Emissionen-Ackerbau auf, die jeweils zugunsten der konventionellen Betriebe sind, siehe Abbildung 26. Das Betriebspaar Öko\_1, Konv\_1 hat einen Unterschied von über 100 kg CO<sub>2</sub> je Hektar und Jahr zugunsten des ökologischen Betriebs. Öko\_1 und Konv\_2, weisen die niedrigsten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bereich des Ackerbaus auf. Zwei

konventionelle Betriebe, Konv\_1 und Konv\_3, zählen mit deren CO<sub>2</sub>-Emissionswerten im Ackerbau zu den drei Betrieben mit den höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Im Mittel erreichen die CO<sub>2</sub>-Emissionen konventioneller Betriebe eine Höhe von 353 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Die mittlere Höhe des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes der ökologischen Betriebe liegt bei 323 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>.

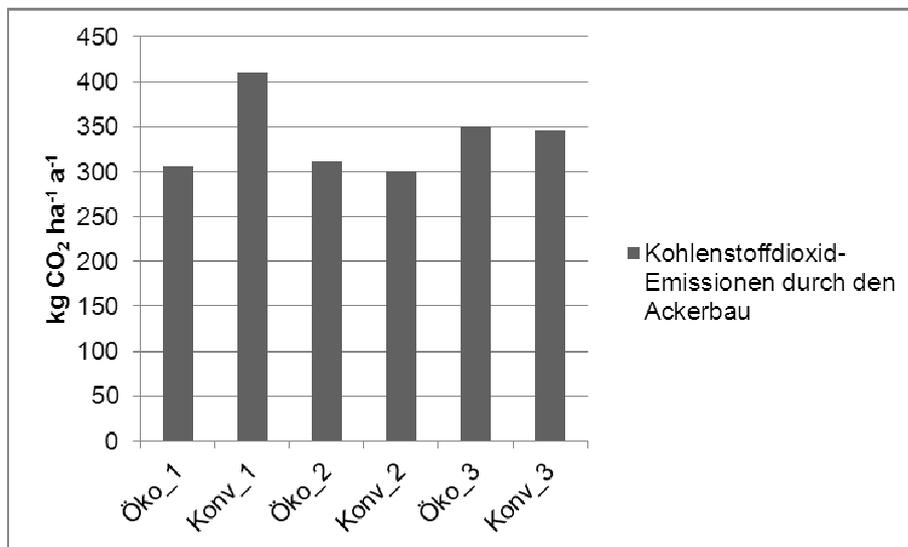


ABBILDUNG 26: Darstellung der Kohlendioxid-Emissionen durch den Ackerbau der sechs untersuchten Betriebe je Hektar und Jahr

#### 4.5.4. Gegenüberstellung des CO<sub>2</sub>-Bindungsvermögens im Boden des Ausstoßes von CO<sub>2</sub> durch den Ackerbau

Aus der Abbildung 27 geht eindeutig hervor, dass die Speicherung von CO<sub>2</sub> im Ackerboden bei allen sechs Betrieben höher ist als die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den Ackerbau entstehen.

Wie in der Abbildung 27 zu sehen ist, befinden sich unter den drei Betrieben mit den höchsten Werten für die CO<sub>2</sub>-Speicherung zwei konventionelle Betriebe, Konv\_1 und Konv\_3, und ein ökologischer Betrieb, Öko\_3. Die Betriebe Öko\_1 und Öko\_2 haben die zwei niedrigsten Werte im Bereich der CO<sub>2</sub>-Speicherung. Die Abbildung 27 veranschaulicht, dass die Speicherung von CO<sub>2</sub> bei den Vergleichsbetrieben Öko\_1, Konv\_1 und Öko\_2, Konv\_2 jeweils bei den konventionellen Betrieben höher ist als bei den ökologischen. Beim Betriebspaar Öko\_3, Konv\_3 ist die CO<sub>2</sub>-Speicherung des ökologischen Betriebes höher. Im Mittel beträgt das Speicherpotential der konventionellen Betriebe 1 409 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> und bei den ökologischen Betrieben 952 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den Einsatz von fossiler Energie bei der Bewirtschaftung des Ackers entstehen, erreichen bei Konv\_1 mit 411 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> den höchsten Wert. Den niedrigsten Wert hat Konv\_2 mit 301 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Im Mittel betragen die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei den konventionellen Betrieben 353 kg CO<sub>2</sub> je Hektar und Jahr und bei den ökologischen Betrieben 323 kg CO<sub>2</sub> je Hektar und Jahr.

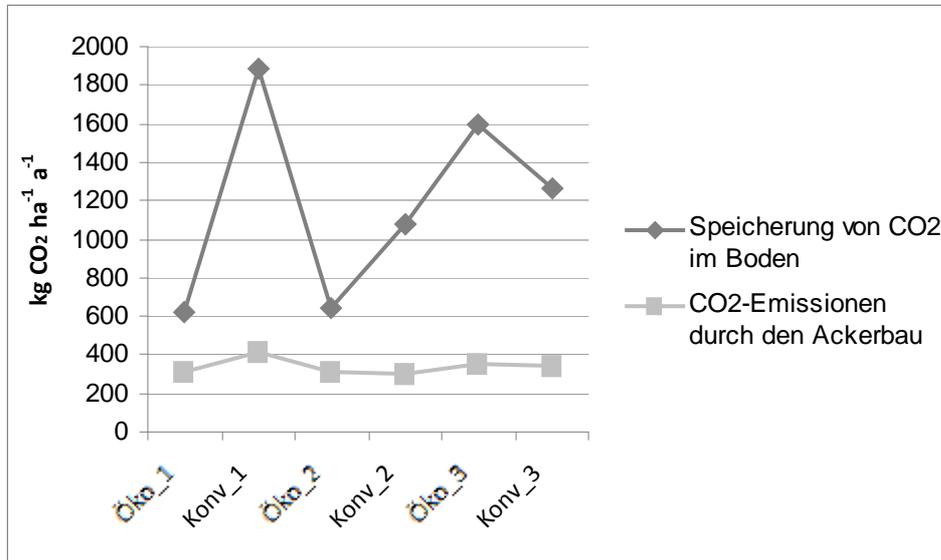


ABBILDUNG 27: Darstellung des CO<sub>2</sub>-Speicherpotentials des Bodens und der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den Ackerbau entstehen.

## 5. Diskussion

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Humusbilanz, der Energiebilanz und der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die für die sechs untersuchten Futterbaubetriebe berechnet wurden, den Ergebnissen der Literatur gegenübergestellt und untereinander verglichen.

Die sechs untersuchten Betriebe in den Gemeinden Lengau und Munderfing befinden sich in den Humusbilanzklassen D und E. Das bedeutet, dass alle Betriebe einen hohen bis sehr hohen Humussaldo aufweisen. Der Humussaldo, der in dieser Arbeit untersuchten Futterbaubetriebe, liegt zwischen 514 und 138 kg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Von den sechs Betrieben liegen drei Betriebe über 300 kg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, davon zwei konventionelle Betriebe und ein ökologischer. In den Untersuchungen von KASPER et al. (2012) erreichten neun von zwölf Futterbaubetrieben einen sehr hohen Humussaldo und drei einen hohen Humussaldo. Unter den Betrieben mit einem sehr hohen Humussaldo befanden sich fünf ökologische Betriebe und vier konventionelle. Die Ergebnisse der Untersuchung von KASPER et al. (2012), in denen ein überdurchschnittlich hoher Humussaldo vor allem bei Futterbaubetrieben der

österreichischen Hauptproduktionsgebiete vorkommt, stimmen mit den Ergebnissen dieser Arbeit überein.

Der Humusbedarf ist bei allen drei ökologischen Betrieben, welche in dieser Arbeit untersucht wurden, höher als der Humusbedarf der konventionellen Betriebe. Gleichzeitig befinden sich zwei der konventionellen Betriebe unter den drei Betrieben mit den höchsten Humusersatzleistungen. Das führt dazu, dass zwei der konventionellen Betriebe die höchsten Humussalden aufweisen. Die Humussalden der konventionellen Betriebe liegen zwischen 514 und 295 kg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, die Humussalden der ökologischen Betriebe erreichen zwischen 344 und 169 kg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Innerhalb der Betriebspaare hat jeweils der konventionelle Betrieb einen höheren Humussaldo als der ökologische Vergleichsbetrieb. Bei den Modellfutterbaubetrieben im Alpenvorland, die von KASPER et al. (2012) untersucht wurden, unterscheidet sich der Humusbedarf des konventionellen Betriebes nur im geringen Maße von dem des ökologischen, ist jedoch beim konventionellen um 6 kg Hu-C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> höher. Die Humusersatzleistung erreicht bei dem ökologischen Betrieb einen Wert von 722 kg Humus-C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> und ist damit etwas höher als bei konventionellen mit 699 kg Humus-C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Beide Bewirtschaftungsformen weisen einen Humussaldo von über 300 kg Humus-C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> auf und werden der höchsten Versorgungsstufe E zugeordnet. Der ökologische Modellfutterbaubetrieb erreicht einen Humussaldo von 336 kg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, der konventionelle Betrieb hingegen lediglich 306 kg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Betrachtet man alle sechs, von KASPER et al. (2012) untersuchten Modellfutterbaubetriebe, so hat nur ein konventioneller Futterbaubetrieb einen höheren Humussaldo als der ökologische Vergleichsbetrieb. In den anderen fünf Hauptproduktionsgebieten übersteigt der Humussaldo der ökologischen Betriebe den der konventionellen. Im Unterschied zu den Modellbetrieben von KASPER et al. (2012) haben jeweils die drei konventionellen Betriebe, die in dieser Arbeit untersucht wurden, einen höheren Humussaldo als die ökologischen Vergleichsbetriebe.

Bei BREITSCHUH und GERNAND (2010) lag der Humussaldo der ökologischen Betriebe im Mittel bei 296 kg Hu-C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> und somit etwas höher als bei den konventionellen, bei denen der Humussaldo 277 kg Hu-C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> betrug. Die untersuchten Betriebe stammten aus den Bundesländern Deutschlands und deckten alle Produktionsformen ab.

In fünf von sechs der von KASPER et al. (2012) untersuchten Hauptproduktionsgebiete (HPG) Österreichs, weisen die ökologischen Futterbaubetriebe höhere Humusersatzleistungen als die konventionellen Vergleichsbetriebe auf. Die höhere Humusersatzleistung bei ökologischen Betrieben kommt durch den vermehrten Anbau von Zwischenfrüchten und Leguminosen sowie einem höheren Humusmehreranteil in der Fruchtfolge zustande. Bei den ökologischen Betrieben beträgt der Humusersatz durch den

Anbau humusmehrender Fruchtarten zwischen 270 und 489 kg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, bei den konventionellen zwischen 125 und 507 kg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Der Humusmehreranteil durch organische Düngung ist, wegen einem höheren Tierbesatz je Hektar, größtenteils bei konventionellen Betrieben höher. Von den in der vorliegenden Arbeit untersuchten Betrieben, befinden sich zwei konventionelle Betriebe unter den drei Betrieben, mit den drei höchsten Humusersatzleistungen. Alle drei konventionellen Betriebe weisen eine höhere Humusersatzleistung durch den Anbau humusmehrender Fruchtarten auf als die ökologischen. Bei den ökologischen Betrieben beträgt die Humusersatzleistung durch den Anbau humusmehrender Fruchtarten zwischen 244 und 255 kg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, bei den konventionellen zwischen 296 und 394 kg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Bezüglich der Zufuhr organischer Substanz besteht sowohl bei den untersuchten konventionellen Betrieben als auch bei den ökologischen eine große einzelbetriebliche Schwankungsbreite. Im Bereich der gesamten Humusersatzleistung erreichen die konventionellen Betriebe im Mittel 681 kg Hu-C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> und die ökologischen 611 kg Hu-C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Bei den Untersuchung von KASPER et al. (2012) weisen konventionelle Futterbaubetriebe eine mittlere Humusersatzleistung von 723 kg Hu-C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> auf, bei den ökologischen Betrieben der Hauptproduktionsgebiete Österreichs hingegen beträgt die gesamte Humusersatzleistung im Mittel 787 kg Hu-C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Unterschiede zwischen den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung und der Untersuchung von KASPER et al. (2012) ergeben sich im Bereich der Humusersatzleistung.

Unter den sechs, in der vorliegenden Arbeit untersuchten Betriebe, erreicht der Betrieb Konv\_1 den mit Abstand höchsten Humussaldo. Der Betrieb hat eine Tierbesatzdichte von 2,2 GVE je Hektar und damit die Höchste der sechs untersuchten Betriebe. Zusätzlich hat dieser Betrieb den höchsten Inputwert bei dem Inputfaktor zugekaufte Futtermittel. Die hohe GVE-Besatzungsdichte und der Zukauf von zusätzlichen Futtermitteln führen zu einem erhöhten Anfall an organischer Substanz. Der Betrieb Konv\_1 weist den höchsten Wert bei der Humusersatzleistung durch die Zufuhr organischer Substanz auf. Nach BREITSCHUH und GERNAND (2010) wächst die Zufuhr an organischem Dünger, der dem Acker zugeführt werden kann, durch einen steigenden Viehbesatz. Ab einer Tierbesatzdichte von > 2 GV je Hektar stammt der vermehrte Anfall an organischem Dünger jedoch verstärkt aus dem Zukauf organischer Substanz in Form von Futter (BREITSCHUH und GERNAND 2010). Die Ergebnisse des Betriebes Konv\_1 bestätigen die Aussagen der Untersuchung von BREITSCHUH und GERNAND (2010).

Umgekehrt führt eine geringe GVE-Besatzungsdichte, wie bei dem Betrieb Konv\_2, der die niedrigste GVE-Besatzungsdichte aufweist, zu keiner auffallend niedrigen Humusersatzleistung durch Zufuhr organischer Substanz. Konv\_2 liegt mit 302 kg Hu-C ha<sup>-1</sup>

a<sup>-1</sup> im mittleren Bereich. Der Betrieb Öko\_3 hat mit 1,3 GVE je Hektar die zweitniedrigste GVE-Besatzdichte von 1,3 GVE je Hektar, jedoch die zweithöchste Humusersatzleistung durch Zufuhr organischer Substanz in einer Höhe von 464 kg Hu-C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>.

Den zweihöchsten Humussaldo hat der Betrieb Konv\_3. Der Betrieb weist die geringste Zufuhr organischer Substanz unter den sechs untersuchten Betrieben auf, dafür die mit Abstand höchste Humusersatzleistung durch Humusmehrerleistung. Die hohe Humusmehrerleistung liegt vor allem daran, dass die fünfjährige Fruchtfolge einen dreijährigen Kleegrasanbau beinhaltet, jedoch lediglich einen zweijährigen Anbau von Getreide.

In der Untersuchung von RAMHARTER (1999), in welcher die Energiebilanzen ausgewählter Feldfrüchte von österreichischen Ackerbaubetrieben berechnet wurden, ist das Output / Input – Verhältnis bei ökologischer Produktion günstiger als bei konventioneller. Der Energiegewinn je Flächeneinheit, der dem Energiesaldo entspricht und auch als Flächenproduktivität bezeichnet wird, ist jedoch in der ökologischen Produktion geringer (RAMHARTER 1999).

Bei allen ökologischen Betrieben, die in dieser Arbeit untersucht wurden, ist das Output / Input – Verhältnis höher als bei den konventionellen Vergleichsbetrieben. Das Output / Input – Verhältnis beträgt bei den ökologischen Betrieben zwischen 2,2 : 1 und 2,7 : 1, bei den konventionellen zwischen 2,1 : 1 und 2,4 : 1. Bezüglich des Energiesaldos erreichen zwei konventionelle Betriebe einen höheren Energiesaldo als die ökologischen Vergleichsbetriebe. Es handelt sich um die Vergleichspaare eins und drei. Ein ökologischer Betrieb, Öko\_2, hat sowohl ein höheres Output / Input – Verhältnis, als auch einen höheren Energiesaldo als der konventionelle Vergleichsbetrieb Konv\_2. Öko\_2 ist der einzige ökologische Betrieb der zugekauftes Futtermittel einsetzt. Dieser Betrieb erreicht eine Milchleistung von 6 900 kg<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> und damit die Höchste unter den ökologischen Betrieben. Unter den ökologischen Betrieben hat Öko\_2 den höchsten Energieinput, jedoch auch den höchsten Output. Der erhöhte Energieinput resultiert aus einem höheren Stromverbrauch bei steigender Milchleistung und aus dem zusätzlichen Energieinput durch den Zukauf von Futtermittel. Obwohl Konv\_1 den höchsten Energiesaldo hat, erreicht dieser Betrieb nur das dritthöchste Output / Input – Verhältnis. Öko\_1 hat das drittniedrigste Energieoutput und den zweitniedrigsten Energieinput aber das effizienteste Output / Input – Verhältnis im Vergleich mit den anderen fünf untersuchten Betrieben. Der niedrige Input und das, innerhalb der sechs Betriebe im mittleren Bereich liegende Output, ergeben ein effizientestes Output / Input - Verhältnis. Die Ergebnisse stimmen bezüglich der Unterschiede zwischen den ökologischen und konventionellen Betrieben im Bereich der Output / Input –

Verhältnisse tendenziell mit den Ergebnissen der Ackerbaubetriebe von RAMHARTER (1999) überein. Die untersuchten ökologischen Milchviehbetriebe schneiden beim Output / Input – Verhältnis besser ab als die konventionellen Betriebe. Bezüglich der Energiesalden weisen zwar zwei konventionelle Betriebe die zwei höchsten Salden auf. Der Unterschied zwischen den Energiesalden der konventionellen und ökologischen Betriebe ist, mit Ausnahme des Betriebes Konv\_1, sehr gering.

Einer Untersuchung von MOITZI und BOXBERGER (2011) zufolge, die den direkten und indirekten Energieeinsatz drei ökologischer Milchviehbetriebe Österreichs untersuchten, liegt das Output / Input – Verhältnis bei ökologisch wirtschaftenden Betrieben zwischen 0,2 : 1 und 3,4 : 1. Reine Ackerbaubetriebe hingegen weisen ein Output / Input –Verhältnis auf, das bei 10 : 1 und darüber liegt. Das Output / Input – Verhältnis der in dieser Arbeit untersuchten Betriebe liegt zwischen 2,7 : 1 und 2,1 : 1.

MOITZI und BOXBERGER (2011) kamen zu dem Ergebnis, dass der direkte Energieinput in Form von Strom und Kraftstoff bei ökologischen Milchviehbetrieben als auch bei Tierhaltungsbetrieben mit Ackerbau, den Hauptanteil an Energieaufwendungen ausmachte. Der direkte Energieinput betrug zwischen 3,6 und 11,2 GJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Im Vergleich dazu lag der indirekte Energieinput lediglich zwischen 1,2 und 2,5 GJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Der Grund für den relativ niedrigen Energieeinsatz je Hektar lag bei den Milchviehbetrieben an einem geringen Einsatz von Kraftfutter.

Der direkte Energieinput, der in dieser Arbeit untersuchten ökologischen Betriebe, liegt zwischen 5 und 6,8 GJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, bei den konventionellen zwischen 5,7 und 9,8 GJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Der indirekte Energieinput der ökologischen Betriebe beträgt zwischen 0,4 und 1,2 GJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, bei den konventionellen zwischen 1,3 und 3,1 GJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Beim Betrieb Öko\_1 sind die Inputfaktoren Strom und Dieselkraftstoff mit 91,5 % am Energieinput beteiligt, bei Konv\_1 hingegen beträgt der prozentuelle Anteil lediglich 75,3 %. Ähnlich verhält sich die Energieinputbeteiligung bei den Betrieben Öko\_3 und Konv\_3. Der Energieinput durch Strom und Dieselkraftstoff beträgt bei Öko\_3 91,1 %, 77,1 % bei Konv\_3. Sowohl bei Konv\_1 als auch bei Konv\_3 macht der Energieinput durch zugekaufte Futtermittel einen Anteil am Gesamtinput aus, der bei über 13 % liegt. Öko\_1 und Öko\_3 hingegen kaufen kein Futtermittel zu. Der Energieeinsatz des Betriebes Öko\_3 beträgt 5,4 GJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, der des Betriebes Öko\_1 5,6 GJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Beide zählen demnach, laut MOITZI und BOXBERGER (2011), zu Betrieben mit relativ geringen Energieeinsätzen je Hektar. Konv\_3 befindet sich mit 9 GJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> nach MOITZI und BOXBERGER (2011) noch unter den Betrieben mit relativ niedrigem Energieeinsatz. Bei Konv\_1 beträgt der Energieinput 12,9 GJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Dieser Betrieb hat den höchsten Energieinput der in dieser Arbeit untersuchten Betriebe. Bei den

Betrieben Konv\_2 und Öko\_2, die beide Futtermittel zukaufen, nimmt der Inputfaktor zugekaufte Futtermittel einen Anteil von mehr als 10 % ein. Somit verringert sich der Anteil von Strom und Dieselkraftstoff am Gesamtenergieinput, der 80 % bei Konv\_2 und 83,4 % bei Öko\_2 ausmacht. Der Energieeinsatz beträgt beim Betrieb Konv\_2 knapp  $7 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  und bei Öko\_2 knapp  $8 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Folglich stimmen die Ergebnisse mit den Aussagen von MOITZI und BOXBERGER (2011) überein, die besagen, dass Strom und Kraftstoff den Hauptanteil der Energieaufwendungen bei ökologischen Betrieben verursachen. Und, dass ein verminderter Krafffuttereinsatz einen geringeren Energieeinsatz je Hektar zur Folge hat.

Zu bemerken ist, dass in der vorliegenden Arbeit, bei der Berechnung des direkten Inputfaktors Elektrizität nicht nach Art der Melkanlage und der Milchleistung je Kuh unterschieden wurde. MOITZI et al. (2010) untersuchten von zwei österreichischen Milchviehbetrieben den direkten Energieaufwand, der durch Diesel und Elektrizität entstand, sowie den Energieaufwand für zugekaufte Futtermittel. Bei den zwei Betrieben handelte es sich um einen High-Input und einen Low-Input Betrieb. Die Milchleistung des Low-Input Betriebes mit zwölf Milchkühen betrug  $6\,344 \text{ kg je Kuh}$  und Laktation, die des High-Input Betriebes mit 69 Milchkühen lag bei  $10\,690 \text{ kg je Kuh}$  und Laktation. Der Energieaufwand durch die Elektrizität betrug bei dem High-Input Betrieb  $0,11 \text{ MJ kg}^{-1}$  Milch, bei dem Low-Input Betrieb hingegen  $0,47 \text{ MJ kg}^{-1}$  Milch. Zu diesem Unterschied kam es einerseits durch die effizientere Nutzung der elektrischen Geräte, andererseits durch die höhere Milchleistung des High-Input Betriebes (MOITZI et al. 2010). Die hohe Milchleistung erforderte jedoch einen höheren Einsatz von Krafffutter. Der High-Input Betrieb hatte, durch den Einsatz von Krafffutter, einen Energieverbrauch von  $0,52 \text{ MJ kg}^{-1}$  Milch. Beim Low-Input Betrieb betrug der Energieinput durch den Einsatz von Krafffutter  $0,17 \text{ MJ kg}^{-1}$  Milch. Den Untersuchungen von MOITZI et al. (2010) zufolge ergeben sich, unter Einbeziehung der Faktoren Art der Melkanlage und der Milchleistung je Kuh, Unterschiede bezüglich der Energieinputhöhe und somit der Parameter Energiesaldo und Output / Input - Verhältnis.

Als Energiekennzahl für zugekaufte Futtermittel wird in dieser Arbeit für verschiedene Futtermittel derselbe Wert, eines in Bezug auf den Energieverbrauch durch die Produktion, durchschnittlichen Futtermittels verwendet. Berechnungen von HÖRTENHUBER (2011) ergaben einen großen Unterschied zwischen Getreide-, Soja- und Raps-Futtermittel. Durch die Verwendung verschiedener Energiekennzahlen für unterschiedliche Futtermittel, könnte man bezüglich des Energieinputs der Realität ein Stück näher kommen.

Weiters wurde der Inputfaktor Silofolie in dieser Arbeit nicht als Energieinputfaktor berücksichtigt. Die Einbeziehung dieses Faktors würde beim Betrieb Konv\_1, der als

einzig der sechs untersuchten Betriebe eine Silofolie verwendet, den Gesamt-Input erhöhen.

Die Ergebnisse von HÜLSBERGEN und SCHMID (2010), nach denen ein linearer Zusammenhang zwischen Energieinput und Treibhausgasemissionen besteht, stimmen mit den Ergebnissen der Betriebe der Gemeinden Lengau und Munderfing überein. Die Betriebe mit den höchsten Energieaufwendungen zählen tendenziell auch zu den Betrieben mit den höchsten Treibhausgasemissionen. Dazu zählen die Betriebe Konv\_1 und Konv\_3. Der Energieinput beträgt beim Betrieb Konv\_1  $12\,903\text{ MJ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$ , die CO<sub>2</sub>-Emissionen belaufen sich auf  $582\text{ kg ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$ . Konv\_3 hat einen Energieinput von  $9\,035\text{ MJ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$  und CO<sub>2</sub>-Emissionen in einer Höhe von  $446\text{ kg ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$ .

KÖPKE und HAAS (1996) untersuchten konventionelle und ökologische Haupterwerbsbetriebe Deutschlands auf deren Klimarelevanz. Zu den Inputfaktoren zählten Treib- und Schmierstoffe, Futtermittel, Mineraldünger, Pflanzenschutzmittel, Maschinen, Saatgut und Trocknung. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen betragen bei den konventionellen Betrieben mit  $1\,253\text{ kg CO}_2\text{ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$  mehr als doppelt so viel als bei den ökologischen Betrieben, die  $503\text{ kg CO}_2\text{ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$  verursachten. Im Unterschied zu der Untersuchung von KÖPKE und HAAS (1996) wurden von den sechs Betrieben, die in dieser Arbeit untersucht wurden, folgende Inputfaktoren nicht berücksichtigt: Maschinen, Saatgut und Trocknung. Strom hingegen wurde von KÖPKE und HAAS (1996), anders als in der vorliegenden Arbeit, nicht berücksichtigt. Bei den ökologischen Betrieben betragen die CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen  $260$  und  $332\text{ kg CO}_2\text{ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$ , bei den konventionellen Betrieben zwischen  $345$  und  $582\text{ kg CO}_2\text{ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$ . Der Betrieb Konv\_1 hat mehr als doppelt so hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen als Öko\_1. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Öko\_3 betragen nicht ganz zwei Drittel im Vergleich zu Konv\_3. Zwischen dem Betriebspaar Öko\_2 und Konv\_2 ist der Unterschied nur sehr gering, Öko\_2 verursacht jedoch um  $13\text{ kg CO}_2\text{ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$  weniger als Konv\_2. Alle drei Betriebspaare bestätigen die Ergebnisse der Untersuchung von KÖPKE und HAAS (1996) hinsichtlich des Einsparpotentials an CO<sub>2</sub>-Emissionen, welches sich durch eine ökologische Bewirtschaftung ergibt. Angesichts der unterschiedlich einbezogenen Inputfaktoren ergeben sich jedoch mengenmäßige Differenzen.

In der ökologischen Landwirtschaft stammen 51 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen laut KÖPKE und HAAS (1996) aus dem direkten Energieeinsatz von Treib- und Schmierstoffen, im konventionellen Landbau betrug dieser nur 20 %. Durch einen hohen Zukauf an Betriebsmitteln in der konventionellen Landwirtschaft dominiert der indirekte Energieeinsatz mit einem Anteil von 80 %. Dadurch, dass bei den Betrieben, die in der vorliegenden Arbeit untersucht wurden, der direkte Energieeinsatz durch Strom auch berücksichtigt wurde,

ergeben sich bei den ökologischen Betrieben CO<sub>2</sub>-Emissionen, die zu mehr als drei Viertel durch den direkten Energieeinsatz verursacht werden. Bei den untersuchten konventionellen Betrieben nehmen die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den indirekten Energieeinsatz entstehen, einen Anteil zwischen 34 und 43 % an. Der Unterschied zwischen den Ergebnissen von KÖPKE und HAAS (1996) und den Ergebnissen dieser Untersuchung, bezüglich der anteilmäßigen Verteilung des direkten und indirekten Energieeinsatzes, ergibt sich daraus, dass unterschiedliche Energieeinsatzfaktoren ausgewählt wurden. Bei beiden Untersuchungen sind jedoch die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den direkten Energieeinsatz verursacht wurden, bei den ökologischen Betrieben höher als bei den konventionellen.

KASPER et al. (2012) berechneten die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den Anbau verursacht wurden. Die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen beinhaltete folgende Inputfaktoren: Saatgut, organische Dünger, Mineraldünger, Pflanzenschutzmittel, Investitionsgüter (Maschinen und Geräte) und Dieselkraftstoff. In der vorliegenden Arbeit wurden die Investitionsgüter, das Saatgut und die organischen Dünger nicht berücksichtigt. Saatgut und Investitionsgüter wurden in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt, da diese Faktoren zwischen ökologischen und konventionellen Betrieben nach KASPER et al. (2012) geringe Unterschiede aufweisen. Der konventionelle Modellfutterbaubetrieb im Hauptproduktionsgebiet Alpenvorland emittierte durch den Anbau 1 278 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, der ökologische hingegen nur 818 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Ackerbau betragen, bei den in dieser Arbeit untersuchten konventionellen Betrieben, zwischen 411 und 301 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Bei den ökologischen Betrieben betragen sie zwischen 306 und 351 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Der Unterschied zwischen den ökologischen und konventionellen Betrieben sind, im Gegensatz zur Untersuchung von KASPER et al. (2012), gering. Ein bedeutender Unterschied ergibt sich bezüglich der CO<sub>2</sub>-Emissionen die durch den Einsatz von Mineraldünger entstehen. Bei KASPER et al. (2012) verursachte der Einsatz von Mineraldüngern beim konventionellen Futterbaubetrieb des Alpenvorlandes 366 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, beim ökologischen betrug dieser lediglich 1 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Die konventionellen Betriebe Konv\_1 und Konv\_3 haben im Bereich der Mineraldünger höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen als die ökologischen Vergleichsbetriebe. Öko\_2 und Konv\_2 emittieren mit 119 kg CO<sub>2</sub> im Jahr je Hektar Ackerland exakt gleich viel Kohlendioxid. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den Gebrauch von Mineraldünger auf dem Ackerland bei den konventionellen Betrieben entstehen, liegen zwischen 119 und 173 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Die ökologischen Betriebe emittieren zwischen 119 und 132 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Im Bereich des Mineraldüngereinsatzes emittieren die konventionellen Betriebe zwar tendenziell mehr CO<sub>2</sub> als die ökologischen Betriebe, der Unterschied ist jedoch nur gering. Das liegt vor allem an den hohen CO<sub>2</sub>-Emissionswerten die PATYK und REINHARDT (1997) für Kalk

veranschlagen. Die untersuchten ökologischen Betriebe verwenden hauptsächlich Kalk als Mineraldünger.

Das CO<sub>2</sub>-Speicherpotential der Ackerböden ist aufgrund der hohen Humussalden bei allen untersuchten Betrieben höher als die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den Ackerbau entstehen. Zwei der konventionellen Betriebe weisen ein höheres Speicherpotential auf als die ökologischen Vergleichsbetriebe. Lediglich der Betrieb Öko\_3 bindet mehr CO<sub>2</sub> im Boden als der konventionelle Vergleichsbetrieb Konv\_3. In der Untersuchung von KÖPKE und HAAS (1996) wurde das CO<sub>2</sub>-Speicherpotential, abzüglich der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Energieeinsatz bei der Bewirtschaftung, berechnet. Der ökologische Betrieb band 223,11 dt CO<sub>2</sub>. Beim konventionellen Betrieb betrug die CO<sub>2</sub>-Speicherung 216,54 dt. Der Vorteil der konventionellen Bewirtschaftung lag in der CO<sub>2</sub>-Bindung im Erntegut und in der Restsprossmasse, die um den Faktor 1,3 höher war als in der ökologischen Landwirtschaft. Die höheren Wurzelmassen der Hauptfrüchte sowie die höheren Flächenanteile der Zwischenfrüchte und Untersaaten im ökologischen Landbau, glichen die Vorteile der konventionellen Produktion zur Gänze aus.

## **6. Schlussfolgerung und Ausblick**

Die untersuchten ökologischen Betriebe haben keinen höheren Humusaufbau als die konventionellen Betriebe. Der Humussaldo ist bei allen drei konventionellen Betrieben höher als bei den ökologischen. Diese Ergebnisse stimmen nicht mit den Ergebnissen der Modellfutterbaubetriebe des Alpenvorlandes, als auch nicht mit den Modellfutterbaubetrieben der anderen Hauptproduktionsgebiete, die in der Studie von KASPER et al. (2012) berechnet wurden, überein. Der hohe bis sehr hohe Humussaldo, der in der Literatur im Allgemeinen bei Futterbaubetrieben nachgewiesen wurde, stimmt mit den Ergebnissen der untersuchten Futterbaubetriebe dieser Arbeit überein. Im Unterschied zur Studie von KASPER et al. (2012) weisen die konventionellen Futterbaubetriebe in dieser Untersuchung ausnahmslos eine höhere Humusersatzleistung durch den Anbau humusmehrender Fruchtarten auf als die ökologischen Vergleichsbetriebe.

Gemäß der Bewertungsskala der Humussalden stellt ein sehr hoher Humussaldo ein erhöhtes Risiko für Stickstoffverluste dar und es kann keine hohe N-Effizienz gewährleistet werden. Ein hoher Humussaldo kann mittelfristig toleriert werden, sollte jedoch nur auf humusarmen Böden der Fall sein. Hinsichtlich der Ertragssicherheit und eines geringen Verlustrisikos ist langfristig ein Humussaldo der Gruppe C anzustreben. Der Humussaldo

der Gruppe C beträgt -75 bis 100 kg C je Hektar und Jahr. Aufgrund der Ungenauigkeit der herangezogenen Methode, würde eine Untersuchung, die auch die Standortbedingungen und Bewirtschaftungsmaßnahmen in die Berechnung miteinbezieht, die Aussagekraft der Ergebnisse deutlich verstärken.

Bezüglich des Energieinputs tendieren die untersuchten konventionellen Betriebe der Gemeinde Lengau zu einem höheren Energieinput als die ökologischen. Der Energieoutput sowie der Energiesaldo sind lediglich bei einem konventionellen Betrieb, Konv\_1, deutlich höher als bei den drei ökologischen Betrieben. Zwei der konventionellen Betriebe unterscheiden sich, was den Energieoutput und Energiesaldo anbelangt, nur in geringem Maße von den ökologischen Betrieben. Mit Ausnahme des Betriebes Konv\_1 ist weder den konventionellen Betrieben noch den ökologischen ein eindeutiger Trend zu einem höheren Energiesaldo zuzuschreiben. Das Output - Input / Verhältnis ist tendenziell bei den ökologischen Betrieben höher als bei den konventionellen. Die Unterschiede zwischen den sechs Betrieben sind jedoch generell nur gering. Alle untersuchten Betriebe weisen ein Output / Input – Verhältnis zwischen 2,1 : 1 und 2,7 : 1 auf. Da die einzelbetriebliche Schwankungsbreite beim Energieinput sehr groß ist, kann nicht behauptet werden, dass die ökologischen Betriebe, die in der vorliegenden Arbeit untersucht wurden, einen geringeren Energieinput aufweisen. Die große einzelbetriebliche Schwankungsbreite betrifft auch die Energiefaktoren Energiesaldo und Output – Input / Verhältnis. Das Output – Input / Verhältnis verhält sich in der Literatur oft zugunsten der ökologischen Betriebe. Im Gegensatz dazu, erreichen konventionelle Betriebe zumeist einen höheren Energiesaldo (RAMHARTER 1999). Bezüglich eines günstigeren Output – Input / Verhältnisses zugunsten der ökologischen Betriebe stimmen die Aussagen der Literatur mit den Ergebnissen der Betriebe der Gemeinde Lengau und der Gemeinde Munderfing tendenziell überein. Ein höheres Energiesaldo der untersuchten konventionellen Betriebe kann jedoch nicht bestätigt werden.

Alle drei ökologischen Betriebe, die in dieser Arbeit untersucht wurden, emittieren weniger CO<sub>2</sub> je Hektar als die konventionellen Betriebe. Die ökologischen Betriebe dieser Untersuchung verfügen demnach über ein höheres CO<sub>2</sub>-Einsparpotential als die konventionellen Betriebe. Die Ergebnisse stimmen mit den Aussagen von HAAS und KÖPKE (1996), die für konventionelle Betriebe doppelt so hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen berechneten als für die ökologischen Betriebe, überein.

Die unterschiedliche Festlegung der Systemgrenze der verschiedenen Studien, erschwert den Vergleich der Ergebnisse mit der Literatur. Die Ergebnisse, sowohl der Energiebilanz als auch der CO<sub>2</sub>-Emissionen, können aufgrund dessen nur unter Berücksichtigung der

verschieden festgelegten Systemgrenzen verglichen werden. Somit kann es teilweise zu erheblichen Unterschieden in der Höhe der Energie- als auch der CO<sub>2</sub>-Emissionswerte kommen.

## 7. Literaturverzeichnis

ASMUS, F., HERRMANN, V. (1977): Reproduktion der organischen Substanz des Bodens. Internet:

[http://www.humusnetzwerk.de/uploads/media/Asmus\\_Herrmann\\_Fortschrittsberichte-Band15.pdf](http://www.humusnetzwerk.de/uploads/media/Asmus_Herrmann_Fortschrittsberichte-Band15.pdf) am 05.04.2012

ANDERL, M., GANGL, M., GÖTTLICHER, S., KÖTHER, T., MUIK, B., PATZDERNIK, K., POUPA, S., SCHODL, B., STORCH, A., WAPPEL, D. und WIESER, M. (2009): Emissionstrend 1990 – 2007. Ein Überblick über die österreichischen Verursacher von Luftschadstoffen (Datenstand 2009). Umweltbundesamt, Wien. Internet: <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0234.pdf> am 15.01.2012.

BLUM, W. E. H. (2012): Bodenkunde in Stichworten. Gebr. Bornträger, Stuttgart. 7. Auflage. 176 S.

BREITSCHUH, T. und GERNAND, U. (2010): Humusbilanzierung in landwirtschaftlichen Betrieben. In: Humusbilanzierung landwirtschaftlicher Böden – Einflussfaktoren und deren Auswirkungen. Internet: [http://www.humusnetzwerk.de/uploads/media/SchlussberichtGesamt201010\\_01.pdf?PHPSESSID=9253645bc7c24dd112789a3289cd9a9f](http://www.humusnetzwerk.de/uploads/media/SchlussberichtGesamt201010_01.pdf?PHPSESSID=9253645bc7c24dd112789a3289cd9a9f) am 10.05.2012.

BRENTROP, F. KÜSTERS, J. (2008): Energiebilanz und Verwendung von mineralischen Düngemitteln – Stand und Perspektiven. In: Energieeffiziente Landwirtschaft. KTBL-Schrift 463. KTBL, Darmstadt. S. 56 – 64.

BROCK, C. (2009): Humusdynamik und Humusreproduktion in Ackerbausystemen und deren Bewertung mit Hilfe von Humusindikatoren und Humusbilanzmethoden. Dr. Köster Verlag, Berlin. 244 S.

BROCK, C., HOYER, U., LEITHOLD, G., HÜLSBERGEN, K.-J. (2009): Entwicklung einer praxisanwendbaren Methode der Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. Dr. Köster Verlag, Berlin. 180 S.

DARGE, E. (2002): Energieflüsse im österreichischen Landwirtschaftssektor 1950 – 1995. Eine humanökologische Untersuchung. Social ecology working paper, 64. S. 122.

DERSCH, G. und BÖHM, K. (1997): Anteil der Landwirtschaft an der Emission klimarelevanter Spurengase in Österreich. Die Bodenkultur, 48 (2) 1997. S. 115-129.

DIEPENBROCK, W., PELZER, B., RADTKE, J. (1995): In: Energiebilanz im Ackerbaubetrieb. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup. KTBL (Hrsg.). S. 8-28.

eBOD (2012) Internet:  
[http://geoinfo.lfrz.at/eBOD/frames/index.php?PHPSESSID=b9de130c0f47b576ca150db47b863ab5&145=true&gui\\_id=eBOD](http://geoinfo.lfrz.at/eBOD/frames/index.php?PHPSESSID=b9de130c0f47b576ca150db47b863ab5&145=true&gui_id=eBOD) am 22.05.2012.

ECKERT, H., BREITSCHUH, G., und SAUERBECK, R. (2000): Criteria and standards for sustainable agriculture. In: Journal of Plant Nutrition and Soil Science 163, S. 337-351.

HAAS, G., GEIER, U., SCHULZ, D. G. und KÖPKE, U. (1995): Klimarelevanz des Agrarsektors der Bundesrepublik Deutschland: Reduzierung der Emissionen von Kohlendioxid. Ber. Ldw. 73, Münster-Hiltrup, S. 387-400.

HAAS, G. und KÖPKE, U. (1996): Klimarelevanz des organischen Landbaus – Ziel erreicht? In: Ökologie und Landbau, 24. Jg., 1/1996. S. 8-11.

HAUNSBERGER, S. und SCHWINGSHACKEL, M. (2011): Update der Emissionsprognose Verkehr Österreich bis 2030. Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Graz. Internet:  
[http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umwelthemen/industrie/Klimaziele/Endbericht\\_IVT.pdf](http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umwelthemen/industrie/Klimaziele/Endbericht_IVT.pdf) am 02.03.2012

HEGE, U. und BRENNER, M. (2004): Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung (KUL). Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.). Internet:  
[http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe\\_url\\_1\\_11.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe_url_1_11.pdf) am 15.01.2012.

HEINLOTH, K. (2003): Die Energiefrage. Bedarf und Potentiale, Nutzung, Risiken und Kosten. 2. Auflage. Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden. 597 S.

HÖRTENHUBER, S. (2011): Greenhouse gas emission from dairy production – assessment and effects of important drivers. Dissertation, Universität für Bodenkultur, Wien. Institut für Nutztierwissenschaften.

HÜLSBERGEN, K.-J. (2008): Kohlenstoffspeicherung in Böden durch Humusaufbau. In: Klimawandel und Ökolandbau, Situation, Anpassungsstrategien und Forschungsbedarf. KTBL-Schrift 472. S. 65-80.

HÜLSBERGEN, K.-J. (2011): C-Sequestrierung in landwirtschaftlich genutzten Böden. In: Humuswirtschaft & Kompost aktuell 01/2\_2011. S. 1-4.

HÜLSBERGEN, K.-J. und KÜSTERMANN, B. (2007): Ökologischer Landbau – Beitrag zum Klimaschutz. In: Bayerischer Landesanstalt für Landwirtschaft (LFL) (Hrsg.), Angewandte Forschung und Beratung für den Ökologischen Landbau in Bayern. S. 9 -21.

HÜLSBERGEN, K.-J. und SCHMID, H. (2010): Treibhausgasemissionen ökologischer und konventioneller Betriebssysteme. In: KTBL-Schrift 483. S.229-244.

IPCC 2007: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), SOLOMON, S., D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. MARQUIS, K.B. AVERYT, M.TIGNOR und H.L. MILLER, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle, Bern/Wien/Berlin, 2007.

JANZEN, H.H. (2004): Carbon cycling in earth systems – a soil science perspective. In: Agriculture, Ecosystems and Environment 104. S. 399-417.

KALK, W.-D. (1997): Energiebilanz – Methode und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. In: DIEPENBROCK, W., KALTSCHMITT, M., NIEBERG, H. und REINHARDT, G. (Hrsg.): Umweltverträgliche Pflanzenproduktion – Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen. Zeller Verlag, Osnabrück. S. 31–42.

KALTSCHMITT, R. und REINHARDT, A. (1997): Nachwachsende Energieträger. Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung. Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden. 527 S.

KASPER, M., SCHMID, H., FREYER, B., HÜLSBERGEN, K.J. und FRIEDEL, J.K. (2012): HUMUS – Datengrundlagen für treibhausgasrelevante Emissionen und Senken in landwirtschaftlichen Betrieben und Regionen Österreichs. Projektendbericht, Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Ökologischen Landbau.

KNOFLACHER, M. H., TUSCHL, P. und SCHNEEBERGER, W. (1991): Ökonomische und ökologische Bewertung von alternativen Treibstoffen. Endbericht und Diskussionsbeiträge der Präsentation. Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, Seibersdorf. S. 207-209.

KOLBE, H. (2007): Anforderung an die Humusbilanzierung in der Praxis des ökologischen Landbaus. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 9, S. 58-69.

KRÄNZLEIN und MACK (2008): Analyse der Energieeffizienz der schweizerischen und österreichischen Landwirtschaft: ein regionalisierter Ansatz. In: Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie, Band 17, Facultas Verlag, Wien. S. 65-77.

LEITHOLD, G. (1994): Wie viel Humus für die Böden? In: Ökologie und Landbau 92, S. 5-7.

LEITHOLD, G. (2004): Humusversorgung im ökologischen Landbau: Analyse und Bewertung des Humushaushalts mit Hilfe von Humusbilanzen. Internet: <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2004/1446/pdf/LeitholdGuenter-2004-03-04.pdf> am 15.01.2012.

LEITHOLD, G., BROCK, C., HÜLSBERGEN, K.-J. und HOYER, U. (2007): Anpassung der Humusbilanzierung an die Bedingungen des ökologischen Landbaus. KTBL Arbeitspapier. Darmstadt. S. 24-50.

LEITHOLD, G. und HÜLSBERGEN, K.-J. (1997): Grundlagen und Methoden zur Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. In: Beitrag zur 4. Wissenschaftlichen Tagung Ökologischer Landbau, Bonn, S. 56-62.

LEITHOLD, G. und HÜLSBERGEN, K.-J. (1998): Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. In: Ökologie und Landbau 105, S. 32-35.

MIXMAP (2012) Internet: <http://www.mixmap.oesterreich.de/karte/0954.html> am 22.05.2012.

MOERSCHNER, J. (2000) Stoff- und Energiebilanzen von Ackerbausystemen unterschiedlicher Intensität. Eine Untersuchung an den Rapsfruchtfolgen des Göttinger INTEX-Systemversuchs. Dissertation, Justus Liebig Universität, Gießen. Institut für Landtechnik.

MOITZI, G. und BOXBERGER, J. (2011): Direkter und indirekter Energieeinsatz bei biologischen Betrieben unterschiedlicher Produktionsrichtungen. In: LEITHOLD, G., BECKER, K., BROCK, C., FISCHINGER, S., SPIEGEL, A.-K., SPORY, K., WILBOIS, K.-P. und WILLIGES, U. (Hrsg.): Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Band 1, Dr. Köster Verlag, Berlin. S. 225-228.

MOITZI, G., DAMM, D., WEINGARTMANN, H., BOXBERGER, J. (2010): Analysis of energy intensity in selected Austrian dairy farms with focus on concentrate level in feeding. In: Bulletin of University of agricultural science and veterinary medicine Cluj-Napoca. Volume 67 (1)/2010. S. 194-197.

Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik (2010): Emissionen. Wien. Internet: [http://www.auto-umwelt.at/\\_print/1\\_Emissionen.pdf](http://www.auto-umwelt.at/_print/1_Emissionen.pdf) am 10.10.2012.

ÖHLINGER, C., DELL, G. und EGGER, C. (2006): Stromsparen in der Landwirtschaft. O.Ö. Energiesparverband, Linz. Internet: [http://www.esv.or.at/fileadmin/esv\\_files/Info\\_und\\_Service/Landwirtschaftsbro-21.12.07-fin.pdf](http://www.esv.or.at/fileadmin/esv_files/Info_und_Service/Landwirtschaftsbro-21.12.07-fin.pdf) am 25.04.2012.

PATYK, A. und REINHARDT, G. A. (1997): Düngemittel – Energie- und Stoffstrombilanzen. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden. 223 S.

RAMHARTER, R. (1999): Energiebilanzierung ausgewählter Feldfrüchte des biologischen und konventionellen Landbaus im pannonischen Klimaraum. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien. Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik.

SANDGRUBER, R. (2002): Die Landwirtschaft in der Wirtschaft – Menschen, Maschinen, Märkte. In: LEDERMÜLLER, F. (2002): Geschichte der österreichischen Land- und Forstwirtschaft im 20. Jahrhundert. Verlag Carl Ueberreuter, Wien. S. 194-197.

SAUERBECK, D. (1992): Funktionen und Bedeutung der organischen Substanzen für die Bodenfruchtbarkeit – ein Überblick. Ber. Ldw. SH 206: S. 13-29.

SAUERBECK, D (2002): CO<sub>2</sub> – Emissionen und Kohlenstoffsinken im Landbau – Möglichkeiten und Grenzen. In: agrarspectrum – Umweltrelevante Spurengase in der Land- und Forstwirtschaft. Herausforderung für Wissenschaft, Politik und Praxis. VerlagsUnionAgrar, Frankfurt am Main. S. 175-183.

SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg (15. Auflage). 593 S.

SCHIMEL, D. S. et al. (2001): Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. Nature 414: S. 169-172.

SCHMID, H. BRAUN, M. und HÜLSBERGEN, K. J. (2012): Klimawirksamkeit und Nachhaltigkeit von bayrischen landwirtschaftlichen Böden. In: Wiesinger K. & Cais K. (Hrsg.): Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern. Ökolandbautag 2012, Tagungsband. Schriftenreihe der LfL 4/2012, S. 137-143

VDLUFA (2004): VDLUFA-Standpunkt: Humusbilanzierung – Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Selbstverlag.

VON WEIZSÄCKER, E. U., HARGROVES, K. und SMITH, M. H. (2010): Faktor Fünf – die Formel für nachhaltiges Wachstum. Droemer Verlag, München. 431 S.

WAGNER, K. (1990): Neuabgrenzungen landwirtschaftlicher Produktionsgebiete in Österreich. Band 1. 324 S.

WERSCHNITZKY, U., PROTHMANN, G. und SERGEOIS, C. (1987): Direkter Energieeinsatz im agrarischen Erzeugerbereich in der BRD. In: Energie und Agrarwirtschaft KTBL-Schrift 320, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, S. 13-49.

WILLER und PONATH (1987): Einleitung. In: KTBL (Hrsg.): Energie- und Agrarwirtschaft. KTBL-Schrift 320, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, S. 7-12.

ZAMG (2012) Internet: [http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten\\_oesterreich\\_1971\\_frame1.html](http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.html) am 19.3.2012.

## 8. Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: Weltweiter Energiefluss von der Primärenergie über die Endenergie zur Nutzenergie. Quelle: HEINLOTH (2003).....	11
ABBILDUNG 2: Die Verursachersektoren der Treibhausgasemissionen in Österreich und deren Anteile an den gesamten Treibhausgasemissionen. (Quelle: ANDERL et al. 2009) .....	16
ABBILDUNG 3:Gegenüberstellung der CO <sub>2</sub> -Emissionen durchschnittlicher ökologischer und konventioneller Betriebe. (Quelle: HAAS & KÖPKE 1996).....	19
ABBILDUNG 4: Die geographische Lage der untersuchten Gemeinden Lengau und Munderfing. (Quelle: <a href="http://www.mixmap-oesterreich.de/karte/0954.html">http://www.mixmap-oesterreich.de/karte/0954.html</a> am 22.05.2012) .....	21
ABBILDUNG 5: Lufttemperatur der Messstation Irrsdorf (Quelle: <a href="http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm">http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm</a> am 19.3.2012) .....	22
ABBILDUNG 6: Niederschlagsverteilung der Messstation Irrsdorf. (Quelle: <a href="http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm">http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm</a> am 19.3.2012 in das Abbildungsverzeichnis).....	23
ABBILDUNG 7: Bodentypen der Gemeinde Munderfing (Quelle: <a href="http://geoinfo.lfrz.at/eBOD/frames/index.php?PHPSESSID=b9de130c0f47b576ca150db47b863ab5&amp;145=true&amp;gui_id=eBOD">http://geoinfo.lfrz.at/eBOD/frames/index.php?PHPSESSID=b9de130c0f47b576ca150db47b863ab5&amp;145=true&amp;gui_id=eBOD</a> am 22.05.2012).....	24
ABBILDUNG 8: Bodentypen der Gemeinde Lengau (Quelle: <a href="http://geoinfo.lfrz.at/eBOD/frames/index.php?PHPSESSID=b9de130c0f47b576ca150db47b863ab5&amp;145=true&amp;gui_id=eBOD">http://geoinfo.lfrz.at/eBOD/frames/index.php?PHPSESSID=b9de130c0f47b576ca150db47b863ab5&amp;145=true&amp;gui_id=eBOD</a> am 22.05.2012) .....	24
ABBILDUNG 9: Darstellung der Systemgrenze der Energiebilanz der landwirtschaftlichen Produktionssysteme (Quelle: KRÄNZLEIN und MACK, 2008 (verändert)) .....	30

ABBILDUNG 10: Darstellung der Energieinputs der Betriebe Öko_1 und Konv_1 (MJ ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ) .....	50
ABBILDUNG 11: Darstellung der Energieinputs der Betriebe Öko_2 und Konv_2 (MJ ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ) .....	51
ABBILDUNG 12: Darstellung der Energieinputs der Betriebe Öko_3 und Konv_3 (MJ ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ) .....	52
ABBILDUNG 13: Darstellung der Energieinputs der sechs untersuchten Betriebe.....	54
ABBILDUNG 14: Gegenüberstellung der Energieinputs der drei ökologischen Betriebe den Energieinputs der drei konventionellen Betriebe.....	54
ABBILDUNG 15: Darstellung der Energieerträge der sechs untersuchten Betriebe.....	55
ABBILDUNG 16: Gegenüberstellung der Energieoutputs der drei ökologischen Betriebe den Energieoutputs der drei konventionellen Betriebe.....	55
ABBILDUNG 17: Darstellung der Energiesaldos der sechs untersuchten Betriebe.....	56
ABBILDUNG 18: Gegenüberstellung der Energiesalden der drei ökologischen Betriebe den Energiesalden der drei konventionellen Betriebe.....	57
ABBILDUNG 19: Das Output / Input – Verhältnis der sechs untersuchten Betriebe.....	57
ABBILDUNG 20: Gegenüberstellung des Output / Input – Verhältnisses der drei ökologischen Betriebe dem Output / Input – Verhältnis der drei konventionellen Betriebe.....	58
ABBILDUNG 21: Darstellung der Kohlenstoffdioxid-Emissionen der sechs untersuchten Betriebe je Hektar und Jahr.....	60
ABBILDUNG 22: Gegenüberstellung der Gesamtbetrieblichen CO <sub>2</sub> -Emissionen der drei ökologischen Betriebe den Gesamtbetrieblichen CO <sub>2</sub> -Emissionen der drei konventionellen Betriebe.....	61
ABBILDUNG 23: Darstellung der CO <sub>2</sub> -Emissionen der Betriebe Öko_1 und Konv_1.....	61
ABBILDUNG 24: Darstellung der CO <sub>2</sub> -Emissionen der Betriebe Öko_2 und Konv_2.....	62
ABBILDUNG 25: Darstellung der CO <sub>2</sub> -Emissionen der Betriebe Öko_3 und Konv_3.....	63
ABBILDUNG 26: Darstellung der Kohlendioxid-Emissionen durch den Ackerbau der sechs untersuchten Betriebe je Hektar und Jahr.....	64
ABBILDUNG 27: Darstellung des CO <sub>2</sub> -Speicherpotentials des Bodens und der CO <sub>2</sub> - Emissionen, die durch den Ackerbau entstehen.....	65

## 9. Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: Kürzelbeschreibungen und deren Definitionen der Abbildung 5.....	23
TABELLE 2: Kennziffern der Humuszehrenden Fruchtarten zur Humusbilanzierung in Humuseinheiten (HE) je Hektar.....	27
TABELLE 3: Kennziffern der humusmehrenden Fruchtarten, Zwischenfrüchte, Brachesysteme und Organische Dünger zur Humusbilanzierung in Humuseinheiten (HE) je Hektar.....	28
TABELLE 4: Primärenergetische Bewertung der Energieträger Diesel und Strom und Dichte von Dieselmotorkraftstoff.....	32

TABELLE 5: CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für Diesel und Strom .....	32
TABELLE 6: Benötigter Primärenergieeinsatz und entstehende CO <sub>2</sub> -Emissionen der Bereitstellung von Pflanzenschutzmitteln.....	33
TABELLE 7: Primärenergieeinsatz und CO <sub>2</sub> -Emissionen der mineralischen Düngemittel: Stickstoff, Phosphor, Kalium und Kalk.....	34
TABELLE 8: Energieeinsatz und CO <sub>2</sub> -Emissionen der Bereitstellung von Kraftfutter .....	35
TABELLE 9: Zusammenstellung aller verwendeten Brennwertangaben und GVE-Faktoren	35
TABELLE 10: Bewertung der Humussalden.....	36
TABELLE 11: Flächenausstattung des Betriebes Öko_1 .....	38
TABELLE 12: Aktueller Tierbestand 2011 des Betriebes Öko_1 .....	38
TABELLE 13: Flächenausstattung des Betriebes Öko_2 .....	39
TABELLE 14: Aktueller Tierbestand 2011 des Betriebes Öko_2.....	40
TABELLE 15: Flächenausstattung des Betriebes Öko_3 .....	41
TABELLE 16: Aktueller Tierbestand 2011 des Betriebes Öko_3.....	42
TABELLE 17: Flächenausstattung des Betriebes Konv_1 .....	42
TABELLE 18: Aktueller Tierbestand 2011 des Betriebes Konv_1.....	43
TABELLE 19: Flächenausstattung des Betriebes Konv_2.....	44
TABELLE 20: Aktueller Tierbestand 2011 des Betriebes Konv_2.....	45
TABELLE 21: Flächenausstattung des Betriebes Konv_3.....	45
TABELLE 22: Aktueller Tierbesatz 2011 des Betriebes Konv_3.....	46
TABELLE 23: Humusbilanzen der untersuchten Realbetriebe (HE-Methode statisch) .....	49

## 10. Anhang

Primärenergieeinsatz und CO<sub>2</sub>-Emissionen des durchschnittlich 1993 in der Bundesrepublik Deutschland abgesetzten N-Düngers (Bezug: 1 t N) und Anteile der Lebenswegabschnitte Produktion und Transport:

		Summe	Produktion	Transport
<b>Verbrauch mineralischer Ressourcen/t N</b>				
Kalkstein	t	0,55		
<b>Primärenergieeinsatz/t N</b>				
Erdöl	GJ	9,16	79,90%	20,10%
Erdgas	GJ	35,7	98,9	1,10%
Steinkohle	GJ	3,13	91,10%	8,90%
Braunkohle	GJ	0,31	92,00%	8,00%
Uran	GJ	0,63	74,60%	25,40%
<i>Σ Erschöpfliche ET</i>	<i>GJ</i>	<i>48,9</i>	<i>94,50%</i>	<i>5,50%</i>
Wasser	GJ	0,18	61,50%	38,50%
Sonst. Regen. ET	GJ	0		

<b>Summe</b>	<b>GJ</b>	<b>49,1</b>	<b>94,30%</b>	<b>5,70%</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen/t N</b>				
CO <sub>2</sub>	kg	2.829		
Sonst. Regen. ET: Sonstige regenerative Energieträger				

Quelle: PATYK, A. und REINHARDT (1997)

Primärenergieeinsatz und CO<sub>2</sub>-Emissionen des durchschnittlich 1993 in der Bundesrepublik Deutschland abgesetzten P-Düngers (Bezug: 1 t P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) und Anteile der Lebenswegabschnitte Produktion und Transport:

		<b>Summe</b>	<b>Produktion</b>	<b>Transport</b>
<b>Verbrauch mineralischer Ressourcen/t P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>				
Phosphaterz	t	4,06		
org. geb. Schwefel	t	0,12		
mineral. Schwefel	t	0,038		
Pyrit-Schwefel	t	0,036		
sulfid. Schwefel	t	0,078		
<i>Schwefel (Summe)</i>		<i>0,27</i>		
<b>Primärenergieeinsatz/t P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>				
Erdöl	GJ	6,64	38,20%	61,80%
Erdgas	GJ	7,27	96%	4%
Steinkohle	GJ	1,82	89,90%	10,10%
Braunkohle	GJ	0,6	97%	3,00%
Uran	GJ	1,1	90,40%	9,60%
<i>Σ Erschöpfliche ET</i>	<i>GJ</i>	<i>17,4</i>	<i>73,00%</i>	<i>27%</i>
Wasser	GJ	0,28	84,20%	15,80%
Sonst. Regen. ET	GJ	0		
<b>Summe</b>	<b>GJ</b>	<b>17,7</b>	<b>73,20%</b>	<b>26,80%</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen/t P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>				
CO <sub>2</sub>	kg	1,117		
Sonst. Regen. ET: Sonstige regenerative Energieträger				

Quelle: PATYK, A. und REINHARDT (1997)

Primärenergieeinsatz und CO<sub>2</sub>-Emissionen des durchschnittlich 1993 in der Bundesrepublik Deutschland abgesetzten K-Düngers (Bezug: 1 t K<sub>2</sub>O) und Anteile der Lebenswegabschnitte Produktion und Transport:

		<b>Summe</b>	<b>Produktion</b>	<b>Transport</b>
<b>Verbrauch mineralischer Ressourcen/t K<sub>2</sub>O</b>				
Rohkali	t	10,5		
<b>Primärenergieeinsatz/t K<sub>2</sub>O</b>				

Erdöl	GJ	1,17	74,30%	25,70%
Erdgas	GJ	7	99,80%	0,20%
Steinkohle	GJ	1,19	91,10%	8,90%
Braunkohle	GJ	0,5	93,20%	6,80%
Uran	GJ	0,52	86,40%	13,60%
$\Sigma$ Erschöpfliche ET	GJ	10,4	94,90%	5,10%
Wasser	GJ	0,079	64%	36,00%
Sonst. regen. ET	GJ	0		
<b>Summe</b>	<b>GJ</b>	<b>10,5</b>	<b>94,70%</b>	<b>5,30%</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen/t K<sub>2</sub>O</b>				
CO <sub>2</sub>	kg	617		
Sonst. regen. ET: Sonstige regenerative Energieträger				

Quelle: PATYK, A. und REINHARDT (1997)

Primärenergieeinsatz und CO<sub>2</sub>-Emissionen des durchschnittlich 1993 in der Bundesrepublik Deutschland abgesetzten Düngerkalk (Bezug: 1 t CaO) und Anteile der Lebenswegabschnitte Produktion und Transport:

		Summe	Produktion	Transport
<b>Verbrauch mineralischer Ressourcen/t CaO</b>				
Kalkstein	t	1,84		
<b>Primärenergieeinsatz/t CaO</b>				
Erdöl	GJ	0,38	21,40%	78,60%
Erdgas	GJ	0,38	96,60%	3,40%
Steinkohle	GJ	0,49	78,40%	21,60%
Braunkohle	GJ	0,65	94,80%	5,20%
Uran	GJ	0,43	83,80%	16,20%
$\Sigma$ Erschöpfliche ET	GJ	2,32	77,60%	22,40%
Wasser	GJ	0,069	59,20%	40,80%
Sonst. Regen. ET	GJ	0		
<b>Summe</b>	<b>GJ</b>	<b>2,39</b>	<b>77,10%</b>	<b>22,90%</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen/t CaO</b>				
CO <sub>2</sub>	kg	284		
Sonst. Regen. ET: Sonstige regenerative Energieträger				

Quelle: PATYK, A. und REINHARDT (1997)

Humusbilanz Betrieb Konv\_1:

Fruchtfolge	Schlaggröße (ha)	Koeffizient (+) (HE/ha)	Koeffizient (-) (HE/ha)	Bedarf (HE/Schlag)	Leistung (HE/Schlag)	Düngerform	Menge (t/ha)	Menge je Schlag (t)	Umrechnungs- faktor	Leistung (HE/Schlag)
Kleegras	1,3	1,8		0	2,34			0		0
Kleegras	1,3	1,4		0	1,82	Gülle (5%)	20	26	0,011	0,286
Kleegras	1,3	0,8		0	1,04	Gülle (5%)	20	26	0,011	0,286
Winterweizen	1,3		0,7	0,91	0	Festmist	32	41,6	0,05	2,08
Wintergerste, ZF: Leg.Gem.	1,3	0,2	0,7	0,91	0,26	Festmist	32	41,6	0,05	2,08
Mais	1,3		1,35	1,755	0	Festmist	32	41,6	0,05	2,08
Triticale, ZF: Leg.Gem.	1,3	0,2	0,7	0,91	0,26	Festmist	32	41,6	0,05	2,08
Sommertriticale	1,3		0,7	0,91	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
Saldo	10,4			5,395	5,72			218,4		8,892
Versorgungsgrad (%)	((Leistung FF + Leistung Düngung) * 100) / Bedarf				271%					
				Saldo HE/ha/Jahr	0,89					
				entspricht C	514	kg/ha/Jahr				
				entspricht N	44	kg/ha/Jahr				

### Humusbilanz Betrieb Konv\_2:

Fruchtfolge	Schlaggröße (ha)	Koeffizient (+) (HE/ha)	Koeffizient (-) (HE/ha)	Bedarf (HE/Schlag)	Leistung (HE/Schlag)	Düngerform	Menge (t/ha)	Menge je Schlag (t)	Umrechnungs- faktor	Leistung (HE/Schlag)
Kleegras mit Deckfrucht	1,05	0,6	0,2	0,21	0,63	Gülle (5%)	15	15,75	0,0055	0,086625
Kleegras	1,05	1,8		0	1,89	Festmist	15	15,75	0,05	0,7875
Kleegras	1,05	1		0	1,05	Gülle (5%)	60	63	0,0055	0,3465
W-Weizen, ZF: Raps	1,05		1,4	1,47	0			0		0
Hafer	1,05		0,7	0,735	0	Festmist	25	26,25	0,05	1,3125
W-Gerste, ZF: Legumino	1,05	0,2	0,7	0,735	0,21			0		0
Triticale	1,05		0,7	0,735	0	Festmist	25	26,25	0,05	1,3125
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
Saldo	7,35			3,885	3,78			147		3,845625
Versorgungsgrad (%)	((Leistung FF + Leistung Düngung) * 100) / Bedarf				196%					
				Saldo HE/ha/Jahr	0,51					
				entspricht C	295	kg/ha/Jahr				
				entspricht N	25	kg/ha/Jahr				

### Humusbilanz Betrieb Konv\_3:

Fruchtfolge	Schlaggröße (ha)	Koeffizient (+) (HE/ha)	Koeffizient (-) (HE/ha)	Bedarf (HE/Schlag)	Leistung (HE/Schlag)	Düngerform	Menge (t/ha)	Menge je Schlag (t)	Umrechnungs- faktor	Leistung (HE/Schlag)
Kleegras (Gründeckfrucht)	1,525	0,6	0,2	0,305	0,915	Gülle	20	30,5	0,011	0,3355
Kleegras	1,525	1,8		0	2,745	Gülle	20	30,5	0,011	0,3355
Kleegras	1,525	1		0	1,525	Gülle	10	15,25	0,001	0,01525
Wintergerste	1,525		0,7	1,0675	0	Frischmist	15	22,875	0,05	1,14375
Wintertriticale	1,525		0,7	1,0675	0	Frischmist	15	22,875	0,05	1,14375
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
Saldo	7,625			2,44	5,185			122		2,97375
Versorgungsgrad (%)	((Leistung FF + Leistung Düngung) * 100) / Bedarf				334%					
				Saldo HE/ha/Jahr	0,75					
				entspricht C	435 kg/ha/Jahr					
				entspricht N	38 kg/ha/Jahr					

### Humusbilanz Betrieb Öko\_1:

Fruchtfolge	Schlaggröße (ha)	Koeffizient (+) (HE/ha)	Koeffizient (-) (HE/ha)	Bedarf (HE/Schlag)	Leistung (HE/Schlag)	Düngerform	Menge (t/ha)	Menge je Schlag (t)	Umrechnungs- faktor	Leistung (HE/Schlag)
Kleegras	1	0,6		0	0,6	Gülle (5%)	15	15	0,011	0,165
Kleegras	1	1,4		0	1,4	Gülle (5%)	15	15	0,011	0,165
Kleegras	0,5	0,8		0	0,4	Gülle (5%)	30	15	0,011	0,165
Kleegras	0,5	0,8		0	0,4	Frischmist	30	15	0,05	0,75
Winterweizen, ZF	0,5	0,3	1,05	0,525	0,15	Frischmist	30	15	0,05	0,75
Winterweizen, ZF	0,5	0,3	1,05	0,525	0,15	Gülle (5%)	30	15	0,011	0,165
Kartoffel	0,5		2,75	1,375	0	Frischmist	15	7,5	0,05	0,375
Hafer	0,5		1,05	0,525	0	Frischmist	15	7,5	0,05	0,375
Sommergerste	0,5		1,05	0,525	0	Gülle (5%)	30	15	0,011	0,165
Sommergerste	0,5		1,05	0,525	0	Frischmist	30	15	0,05	0,75
Roggen	1		1,05	1,05	0	Gülle (5%)	15	15	0,011	0,165
				0	0			0		0
				0	0			0		0
Saldo	7			5,05	3,1			150		3,99
Versorgungsgrad (%)	((Leistung FF + Leistung Düngung) * 100) / Bedarf				140%					
				Saldo HE/ha/Jahr	0,29					
				entspricht C	169 kg/ha/Jahr					
				entspricht N	15 kg/ha/Jahr					

### Humusbilanz Öko\_2:

Fruchtfolge	Schlaggröße (ha)	Koeffizient (+) (HE/ha)	Koeffizient (-) (HE/ha)	Bedarf (HE/Schlag)	Leistung (HE/Schlag)	Düngerform	Menge (t/ha)	Menge je Schlag (t)	Umrechnungs- faktor	Leistung (HE/Schlag)
Kleegras mit Deckfrucht Hafer	1,25	0,6	0,2	0,25	0,75			0		0
Kleegras	1,25	1,4		0	1,75	Rindergülle (f)	54	67,5	0,011	0,7425
Kleegras	1,25	0,8		0	1	Rindergülle (f)	54	67,5	0,011	0,7425
W-Weizen	1,25		1,05	1,3125	0	Rindergülle (f)	36	45	0,022	0,99
Hafer-Gersten-Gemenge	1,25		1,05	1,3125	0	Rindergülle (f)	36	45	0,011	0,495
Triticale, ZF: Phazelia+Sonnens-Gerste	1,25	0,15	1,05	1,3125	0,1875	Rindergülle (f)	36	45	0,011	0,495
S-Gerste	1,25		1,05	1,3125	0	Rindergülle (f)	36	45	0,022	0,99
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
Saldo	8,75			5,5	3,6875			315		4,455
Versorgungsgrad (%)	((Leistung FF + Leistung Düngung) * 100) / Bedarf				148					
				Saldo HE/ha/Jahr	0,3					
				entspricht C	175 kg/ha/Jahr					
				entspricht N	15 kg/ha/Jahr					

### Humusbilanz Betrieb Öko\_3:

Fruchtfolge	Schlaggröße (ha)	Koeffizient (+) (HE/ha)	Koeffizient (-) (HE/ha)	Bedarf (HE/Schlag)	Leistung (HE/Schlag)	Düngerform	Menge (t/ha)	Menge je Schlag (t)	Umrechnungs- faktor	Leistung (HE/Schlag)
Kleegras mit Deckfrucht Ha	1,85	0,6	0,2	0,37	1,11	Frischmist	16	29,6	0,05	1,48
Kleegras	1,85	1,4		0	2,59	Frischmist	16	29,6	0,05	1,48
Kleegras	1,85	0,8		0	1,48	Frischmist	16	29,6	0,05	1,48
Winterweizen, ZF	1,85	0,15	1,05	1,9425	0,2775	Frischmist	16	29,6	0,05	1,48
Hafer	1,85		1,05	1,9425	0	Frischmist	16	29,6	0,05	1,48
Winterroggen	1,85		1,05	1,9425	0	Frischmist	16	29,6	0,05	1,48
Gerste	1,85		1,05	1,9425	0	Frischmist	16	29,6	0,05	1,48
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
				0	0			0		0
Saldo	12,95			8,14	5,4575			207,2		10,36
Versorgungsgrad (%)	((Leistung FF + Leistung Düngung) * 100) / Bedarf				194					
				Saldo HE/ha/Jahr	0,59					
				entspricht C	344	kg/ha/Jahr				
				entspricht N	30	kg/ha/Jahr				

### Kruskal-Wallis Test: Überprüfung des Humusbedarfes auf die Nullhypothese

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von Humusbedarf ist über Kategorien von Futterbau gleich.	Kruskal-Wallis-Test unabhängiger Stichproben	,046	Nullhypothese ablehnen.

### Datenerfassungsbogen:

1. Name und Adresse des Betriebs:
  
2. Gesamtfläche:
  - 2.1 Ackerfläche:
  - 2.2 Grünlandfläche:
  
3. Bodenart (leicht, mittel, oder schwer):
  
4. Nutztierhaltung:
  - 4.1 Tierart:
  - 4.2 Anzahl der Tiere:
  - 4.3 Verkauf von Jungtieren 2011:
  - 4.4 Milchleistung
  - 4.5 Kraftfutter: Zusammensetzung, Menge je Jahr:
  - 4.6 Art der Besamung:

5. Für Ökologische Betriebe: Seit wann bewirtschaften sie ihren Betrieb ökologisch:
6. Wurde auf ihren Flächen in der Vergangenheit (2003 oder früher) der Humusgehalt gemessen?
7. Fruchtfolge Ackerbau:
8. Flächenbewirtschaftung der Ackerflächen 2011: Bodenbearbeitung, Bestellung, Pflege, Düngung, Pflanzenschutzmittel, Ernte: Arbeitsleistung der Zugmaschinen, Arbeitsbreite und Füllmenge der verwendeten Geräte/Maschinen
9. Flächenbewirtschaftung der Grünlandflächen: Pflege, Düngung, Ernte: Arbeitsleistung der Zugmaschinen, Arbeitsbreite und Füllmenge der verwendeten Geräte/Maschinen

Aufstellung der Energieinputs und -outputs der sechs untersuchten Betriebe sowie die dadurch entstehenden Energieaufwendungen und CO<sub>2</sub>-Emissionen:

Öko_1	
<b>ENERGIEINPUT:</b>	
<b>Dieselbedarf</b> Acker + Grünland gesamt 2011:	1233,7l / 19,5h
Energieverbrauch:	$1233,7l \cdot 0,83 = 1024kg \cdot 47,82 = 48\,968$ MJ/Jahr
CO <sub>2</sub> -Emissionen:	$1024kg \cdot 3,153 = 3228,7kg$ CO <sub>2</sub> /Jahr
<b>Strom</b> 2011 (5kWh/100kg Milchmenge und Jahr)	
5 500kg/Kuh/Jahr; 16 Milchkühe; $5\,500 \cdot 16 = 88\,000kg$ /Jahr	
Stromverbrauch:	$880 \cdot 5 = 4400$ kWh/Jahr
Strom (EVU) Primärenergetische Bewertung:	$11,39$ MJ kWh <sup>-1</sup>
Energieverbrauch:	$4\,400 \cdot 11,39 = 50\,116$ MJ/Jahr
Strom (ENERGIE AG OÖ) CO <sub>2</sub> -Emissionen:	$195$ g kWh <sup>-1</sup>
CO <sub>2</sub> -Emissionen:	$4\,400 \cdot 195 = 858\,000g = 858kg$ CO <sub>2</sub> /Jahr
<b>Schmierstoffe</b> , 2011, gesamte Fläche von 19,5 ha	
Energieverbrauch:	$(1024kg / 100) \cdot 4 = 41kg \cdot 47,82 = 1\,960,6$ MJ/Jahr
CO <sub>2</sub> -Emissionen:	$41kg \cdot 3,153 = 129,3kg$ CO <sub>2</sub> /Jahr
<b>Mineraldünger</b> , 2011	
3000kg Biolith (Urgesteinsmehl): Berechnung mit Werten von Kalk	
<i>Energieverbrauch im Jahr:</i>	$3000 \cdot 2,39 = 7170$ MJ/Jahr
<i>CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr:</i>	$3000 \cdot 0,284 = 852kg$ CO <sub>2</sub> /Jahr $852/7 = 122kg$ CO <sub>2</sub> im Jahr je Hektar Ackerland
Mineraldünger wird nur auf Ackerfläche ausgebracht: für CO <sub>2</sub> -Emissionen Ackerland:	$852/7 = 122kg$ CO <sub>2</sub> im Jahr je Hektar Ackerland

<b>ENERGIEINPUT des gesamten Betriebes im Jahr:</b>	
48 968 MJ (Diesel) + 50 116 MJ (Strom) + 1 960,6 MJ (Schmierstoffe) + 7170 MJ (Mineraldünger) = <u>108 214,6 MJ</u>	
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen des gesamt Betriebes (19,5 ha) pro Jahr</b>	
3228,7 kg (Diesel) + 858 kg (Strom) + 129,3 kg (Schmierstoffe) + 852 kg (Mineraldünger) = <u>5068 kg CO<sub>2</sub> / Jahr</u>	
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen die durch den Ackerbau in einem Jahr entstehen</b>	
Diesel:	177,4kg CO <sub>2</sub> /ha; 1241,8 kg CO <sub>2</sub> /7 ha
Schmierstoffe:	7,3 kg CO <sub>2</sub> /ha; 51,2 kg CO <sub>2</sub> /7 ha
Mineraldünger:	121,7 kg CO <sub>2</sub> /ha; 852kg CO <sub>2</sub> /7ha
Gesamt:	<u>306,4kg CO<sub>2</sub>/ha</u>
<b>ENERGIEOUTPUT:</b>	
Rohmilch:	5 500 * 16 = 88 000kg/Jahr: 88 000 * 3,1 = 272 800 MJ/Jahr
11 verkaufte Kälber unter 3 Monaten:	11 * 0,31 = 3,41 GVE * 500 = 1705 kg * 3,2 MJ = 5456 MJ
Kartoffeln: 3t FM/ha (2011: 1 ha Kartoffeln):	0,69t TM/ha 690 * 16,9 MJ = 11 661 MJ/Jahr

Öko_2:	
ENERGIEINPUT:	
<b>Dieselbedarf</b> Acker + Grünland gesamt 2011:	617,4l+1490,3l=2107,7l
Energieverbrauch:	2107,7l*0,83 = 1749,4kg*47,82 = 83656 MJ/Jahr
CO2-Emissionen:	1749,4kg*3,153 = 5515,8kg CO2/Jahr
Strom 2011 (5kWh/100kg Milchmenge und Jahr)	
6980kg/Kuh/Jahr; 29 Milchkühe; 6980*29 = 202420kg/Jahr	
<b>Stromverbrauch:</b>	2024,2 * 5 = 10121 kWh/Jahr
Strom (EVU) Primärenergetische Bewertung:	11,39 MJ kWh <sup>-1</sup>
Energieverbrauch:	10 121 * 11,39 = 115 287,2 MJ/Jahr
Strom (ENERGIE AG OÖ) CO2-Emissionen:	195 g kWh <sup>-1</sup>
CO2-Emissionen:	10 121 * 195 = 1 973 595 g = 1 973,6 kg CO <sub>2</sub> /Jahr
<b>Schmierstoffe</b> , 2011, gesamte Fläche	
Energieverbrauch:	(1749,4 kg/100)*4 = 70kg*47,82 = 3 347,4MJ/Jahr
CO2-Emissionen:	70kg*3,153 = 220,7kgCO2/Jahr
<b>Mineraldünger</b> , 2011	
2600kg Kalk (14% P): (2600/100)*14 = 364kg P; 2236kg CaO	
<i>Energieverbrauch im Jahr:</i>	(364*17,7)+(2236*2,39) = 6442,8+5344 = 11786,8MJ/Jahr: 11 786,8/29,95 =393,6 MJ/ha/a
<i>CO2-Emissionen im Jahr:</i>	(364*1,117)+(2236*0,284) = 406,6 + 635 = 1041,6kg CO2/Jahr
Mineraldünger wird nur auf Ackerfläche ausgebracht: für CO2-Emissionen Ackerland:	1042/8,75 = 119 kg CO2 im Jahr je Hektar Ackerland
<b>Futtermittel:</b> Zukauf von 14 t	
Energieverbrauch:	14 000*1,746 = 24 444 MJ/Jahr
CO2-Emissionen:	14 000 * 0,084 kg CO2 = 1 176 kg CO2 Jahr
Energiegehalt von Kraftfutter: 7,9 MJ NEL / kg zugekauftes Kraftfutter	14 000 * 7,9 = 110 600 MJ
<b>ENERGIEINPUT des gesamten Betriebes:</b>	
83 651,6 MJ (Diesel) + 115 287,2 MJ (Strom) + 3 347,4 MJ (Schmierstoffe) + 11 786,8 MJ (Mineraldünger) + 24 444 MJ (Kraftfutter) = 238 517 MJ/Jahr	
<b>CO2-Emissionen des gesamt Betriebes</b>	
5 515,5 kg (Diesel) + 1 973,6 kg (Strom) + 220,7 kg (Schmierstoffe) + 1041,6kg (Mineraldünger) + 1 176 kg (Futtermittel) = 9 927,4 kg CO <sub>2</sub> /Jahr	
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen die durch den Ackerbau im Jahr 2011 entstehen</b>	
Diesel:	185,1kg CO2/ha; 1619,7 kg CO2/8,75ha
Schmierstoffe:	7,4 kg CO2/ha; 64,75 kg CO2/8,75ha
Mineraldünger:	119 kg CO2/ha; 1041,6kg CO2/8,75ha
Gesamt:	311,5 kg CO <sub>2</sub> /ha
ENERGIEOUTPUT:	
Rohmilch:	6980 * 29 = 202420 kg/Jahr: 202420 * 3,1 = 627 502 MJ/Jahr
22 verkaufte Kälber unter 3 Monaten:	0,31 * 22 = 6,82 GVE * 500 = 3410 kg * 3,2 = 10 912 MJ

Öko_3	
ENERGIEINPUT:	
Dieselbedarf Acker + Grünland gesamt 2011:	$925,9 + 1569,4 = \mathbf{2495,31 / 38,3ha}$
Energieverbrauch:	$2495,31 * 0,83 = 2071,1 \text{ kg} * 47,82 = \mathbf{99040 \text{ MJ/Jahr}}$
CO2-Emissionen:	$2071,1 * 3,153 = \mathbf{6530,2 \text{ kg CO}_2/\text{Jahr}}$
Strom 2011 (5kWh/100kg Milchmenge und Jahr)	
5 750 kg/Kuh/Jahr; 27 Milchkühe: $5\ 750 * 27 = 155250 \text{ kg/Jahr}$	
Stromverbrauch:	$1552,5 * 5 = 7762,5 \text{ kWh/Jahr}$
Strom (EVU) Primärenergetische Bewertung:	$11,39 \text{ MJ kWh}^{-1}$
Energieverbrauch:	$7762,5 * 11,39 = 88414,9 \text{ MJ}$
Strom (ENERGIE AG OÖ) CO2-Emissionen:	$195 \text{ g kWh}^{-1}$
CO2-Emissionen:	$7762,5 \text{ kWh} * 195 \text{ g} = 1\ 513\ 687,5 \text{ g} = \mathbf{1\ 513,7 \text{ kg CO}_2/\text{Jahr}}$
Schmierstoffe, 2011, gesamte Fläche	
Energieverbrauch:	$(2071,1 \text{ kg}/100) * 4 = 82,8 \text{ kg} * 47,82 = \mathbf{3\ 959,5 \text{ MJ/Jahr}}$
CO2-Emissionen:	$82,8 \text{ kg} * 3,153 = \mathbf{261,1 \text{ kg CO}_2/\text{Jahr}}$
Mineraldünger, 2011	
6000kg Biolith (Urgesteinsmehl): Berechnung mit Werten von Kalk	
Energieverbrauch im Jahr:	$6000 * 2,39 = \mathbf{14\ 340 \text{ MJ/Jahr}}$
CO2-Emissionen im Jahr:	$6000 * 0,284 = \mathbf{1\ 704 \text{ kg CO}_2/\text{Jahr}}$
Mineraldünger wird nur auf Ackerfläche ausgebracht: für CO2-Emissionen Ackerland:	$1\ 704 / 12,95 = \mathbf{131,6 \text{ kg CO}_2 \text{ im Jahr pro Hektar Ackerland}}$
<b>ENERGIEINPUT des gesamten Betriebes</b>	
99 040 MJ (Diesel) + 88 414,9 MJ (Strom) + 3 959,5 MJ (Schmierstoffe) + 14 340 MJ (Mineraldünger) = $\mathbf{205\ 754,4 \text{ MJ}}$	
<b>CO2-Emissionen des gesamt Betriebes</b>	
6530,2 kg (Diesel) + 1 513,7 kg (Strom) + 261,1 kg (Schmierstoffe) + 1 704 kg (Mineraldünger) = $\mathbf{10\ 009 \text{ kg CO}_2}$	
<b>CO2-Emissionen die durch den Ackerbau im Jahr 2011 entstehen</b>	
Diesel:	211,6 kg/ha
Schmierstoffe:	7,4 kg/ha
Mineraldünger:	$(1704/12,95) = 131,6 \text{ kg/ha}$
Gesamt	$\mathbf{350,6 \text{ kg CO}_2/\text{ha}}$
ENERGIEOUTPUT:	
Rohmilch:	$155\ 250 \text{ kg Milch/Jahr} * 3,1 = \mathbf{481\ 275 \text{ MJ}}$
20 verkaufte Kälber unter 3 Monaten:	$20 * 0,31 = 6,2 * 500 = 3100 * 3,2 = \mathbf{9\ 920 \text{ MJ}}$
5 Zuchtstiere	$5 * 1,3 = 6,5 * 500 = 3250 * 12,9 = \mathbf{41\ 925 \text{ MJ}}$

Konv_ 1:	
ENERGIEINPUT:	
Dieselbedarf Acker + Grünland gesamt 2011:	1183,4l+878,7 l = 2062,1l, 2062,1l * 0,83 = 1711,5 kg;
Energieverbrauch:	1711,5 * 47,82 = <b>81 843,9 MJ/Jahr</b>
CO2-Emissionen:	1711,5 * 3,153 = <b>5396,4 kg CO2/Jahr</b>
Strom 2011 (5kWh/100kg Milchmenge und Jahr)	
8680kg/Kuh/Jahr; 35 Milchkühe;	
8680*35=303800kg/Jahr	
Stromverbrauch:	3038*5=15190kWh
Strom (EVU) Primärenergetische Bewertung:	11,39 MJ kWh <sup>-1</sup>
Energieverbrauch:	15 190 kWh * 11,39 MJ = 173014,1 MJ/Jahr
Strom (ENERGIE AG OÖ) CO2-Emissionen:	195 g kWh <sup>-1</sup>
CO <sub>2</sub> -Emissionen:	15 190 kWh * 195 = 2 962 050g = <b>2 962,1kg CO<sub>2</sub>/Jahr</b>
Schmierstoffe, 2011, gesamte Fläche	(1711,5 kg Diesel/100) * 4 = 68,5 kg/Jahr
Energieverbrauch:	68,5 * 47,82 = 3 275,7 MJ/Jahr
CO2-Emissionen:	68,5 * 3,153 = 216 kg CO2/Jahr
Pflanzenschutzmittel: Siehe Tabelle unterbei	
Mineraldünger, 2011	
638,3 kg N/7,13ha/Jahr	
Energieverbrauch im Jahr:	638,3 * 49,1 = 31 340,5MJ/ha/Jahr
CO2-Emissionen im Jahr:	638,3 * 2,829 = 1 805,8kg CO2/7,13ha/Jahr
Mineraldünger wird nur auf Ackerfläche ausgebracht: für CO2-Emissionen Ackerland:	1806/10,43 = 173 kg CO2 im Jahr je Hektar Ackerland
Futtermittel: Zukauf von 19 366 kg/Jahr 2011	
Energieverbrauch:	19 366 kg * 2,276 MJ = 44 077MJ/Jahr
CO2-Emissionen:	19 366kg * 0,247 kg CO <sub>2</sub> = 4 783,4 kg CO <sub>2</sub> im Jahr
Energiegehalt von Kraftfutter: 7,9 MJ NEL / kg zugekauftes Kraftfutter	19 366 kg * 7,9 = 152 991,4 MJ
<b>ENERGIEINPUT des gesamten Betriebes:</b>	
81 843,9 MJ (Diesel) + 173 014,1 MJ (Strom) + 3 275,7 MJ (Schmierstoffe) + 4760,3 MJ (Pflanzenschutzmittel) + 31 340,5 MJ (Mineraldünger) + 44 077 MJ (Futtermittel Zukauf) = <b>338 311,5 MJ/Jahr</b>	
<b>CO2-Emissionen des gesamt Betriebes</b>	
5396,4 kg (Diesel) + 2 962,1kg (Strom) + 216 kg (Schmierstoffe) + 89,1kg (Pflanzenschutzmittel) + 1 805,8kg (Mineraldünger) + 4 783,4 kg (Kraftfutter) = <b>15 252,8 kg CO<sub>2</sub>/Jahr</b>	
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen die durch den Ackerbau im Jahr 2011 entstehen</b>	
Diesel:	220,5 CO2/ha; 2299,5 kg CO2/10,43ha
Schmierstoffe:	8,8 kg CO2/ha; 92kg CO2/10,43ha
Pflanzenschutzmittel:	8,5 kg CO2/ha; 89,1kgCO2/10,43ha/Jahr
Mineraldünger:	173,1 kg CO2/ha; 1 805,8kg CO2/10,43ha/Jahr
Geamt:	410,9 kg CO <sub>2</sub> /ha
ENERGIEOUTPUT:	
Rohmilch:	304 115 kg * 3,1 MJ = 942 756,5MJ/Jahr
22 verkaufte Kälber unter 3 Monaten:	22 * 0,31 = 6,82 GVE * 500 = 3410kg * 3,2 = 10 912 MJ/Jahr

Pflanzenschutzmittel: Konv_1	
Winterweizen (je ha): 70g Biathlon, 2l Alon; Dichte von Alon: 1,16g/cm <sup>3</sup> ; $2 * 1,16 = 2,32 \text{kg} = 2320 \text{g} + 70 = 2,39 \text{kg} * 263 = 628,57 \text{MJ/ha}$ ; $2,39 * 4,92 = 11,8 \text{kgCO}_2/\text{ha}$	
W-Gerste (je ha): 70g Biathlon, 2l Alon; Dichte von Alon: 1,16g/cm <sup>3</sup> ; $2 * 1,16 = 2,32 \text{kg} = 2320 \text{g} + 70 = 2,39 \text{kg} * 263 = 628,57 \text{MJ/ha}$ ; $2,39 * 4,92 = 11,8 \text{kgCO}_2/\text{ha}$	
Silomais (je ha): 150g Fortuna, 2l Aktivator (Dichte: 0,85g/cm <sup>3</sup> ), 0,8l Click (Dichte: 1,19g/cm <sup>3</sup> ) $150 \text{g} + 1700 \text{g} + 952 \text{g} = 2802 \text{g} = 2,802 \text{kg} * 263 = 736,9 \text{MJ/ha}$ ; $2,802 * 4,92 = 13,8 \text{kgCO}_2/\text{ha}$	
Triticale (je ha): 70g Biathlon, 2l Alon; Dichte von Alon: 1,16g/cm <sup>3</sup> ; $2 * 1,16 = 2,32 \text{kg} = 2320 \text{g} + 70 = 2,39 \text{kg} * 263 = 628,57 \text{MJ/ha}$ ; $2,39 * 4,92 = 11,8 \text{kgCO}_2/\text{ha}$	
Sommergerste (je ha): 70g Biathlon, 2l Alon; Dichte von Alon: 1,16g/cm <sup>3</sup> ; $2 * 1,16 = 2,32 \text{kg} = 2320 \text{g} + 70 = 2,39 \text{kg} * 263 = 628,57 \text{MJ/ha}$ ; $2,39 * 4,92 = 11,8 \text{kgCO}_2/\text{ha}$	
-	
Pflanzenschutzmittelverbrauch im Jahr 2011	
Winterweizen(1,09ha): $1,09 * 2,39 = 2,6 \text{kg}$ ; Wintergerste(1ha): 2,39kg; Silomais(2,73ha): $2,73 * 2,802 = 7,6 \text{kg}$ ; Triticale(1,31ha): $1,31 * 2,39 = 3,1 \text{kg}$ ; Sommergerste(2,39ha): 2,39kg → $2,6 + 2,39 + 7,6 + 3,1 + 2,39 = 18,1 \text{kg}/7,13 \text{ha}/\text{Jahr}$	
Energieverbrauch: $18,1 * 263 = 4760,3 \text{MJ}/7,13 \text{ha}/\text{Jahr}$ ;	
CO <sub>2</sub> -Emissionen: $18,1 * 4,92 = 89,1 \text{kgCO}_2/7,13 \text{ha}/\text{Jahr}$	

Konv_2:	
ENERGIEINPUT:	
Dieselbedarf Acker + Grünland gesamt 2011:	$484,4 \text{l} + 1179,8 \text{l} = 1664,2 \text{l} * 0,83 = 1381,3 \text{kg}$
Energieverbrauch:	$1381,3 * 47,82 = 66053 \text{MJ}$
CO <sub>2</sub> -Emissionen:	$1381,3 * 3,153 = 4355,2 \text{kg CO}_2$
Strom 2011 (5kWh/100kg Milchmenge und Jahr)	
7 500kg/Kuh/Jahr 20 Milchkühe; $7500 * 20 = 150000 \text{kg}/\text{Jahr}$	
Stromverbrauch:	$1500 * 5 = 7500 \text{kWh}$
Strom (EVU) Primärenergetische Bewertung:	$11,39 \text{MJ kWh}^{-1}$
Energieverbrauch:	$7500 * 11,39 = 85425 \text{MJ}$
Strom (ENERGIE AG OÖ) CO <sub>2</sub> -Emissionen:	$195 \text{g kWh}^{-1}$
CO <sub>2</sub> -Emissionen:	$7500 * 195 = 1462500 \text{g} = 1462,5 \text{kg CO}_2$
Schmierstoffe, 2011, gesamte Fläche	
Energieverbrauch:	$(1381,1/100) * 4 = 55,2 \text{kg}$ ; $55,2 * 47,82 = 2639,7 \text{MJ}/\text{Jahr}$
CO <sub>2</sub> -Emissionen:	$55,2 * 3,153 = 174 \text{kg CO}_2/\text{Jahr}$
Pflanzenschutzmittel:	
15g je Hektar auf einer Fläche von 4ha: 60 g (0,06kg) im Jahr 2011, (Pflanzenschutzmittel. Nicht auf gesamten Ackerfläche)	
Energieverbrauch:	$263 \text{MJ/kg}$ ; $0,06 * 263 = 15,78 \text{MJ}/\text{Jahr}$

CO2-Emissionen:	$0,06 * 4,92 = 0,3 \text{ kg CO}_2/7,35 \text{ ha/Jahr} = 0,04 \text{ kg CO}_2/\text{ha}$
Mineraldünger, 2011	
Weizen, ZF: Raps (1ha): 121,5 kg N, 40 kg Kali, 65,25 kg CaO,	
Hafer (1ha): 69 kg N, 21 kg CaO, (36 kg S)	
W-Gerste, ZF: Leguminosengemenge (1ha): 27kg N, 26kg P, 40 kg K, 52,5kg CaO	
Triticale (1ha): 27 kg N, 26 kg P, 40 kg K, 52,5 kg CaO	
Energieverbrauch:	$6\ 541,6 + 3\ 438,1 + 2\ 331,4 + 2\ 331,4 = 14\ 642,5 \text{ MJ}$
CO2-Emissionen:	$386,9 + 201,2 + 145 + 145 = \mathbf{878,1 \text{ kg CO}_2}$
Mineraldünger wird nur auf Ackerfläche ausgebracht: für CO2-Emissionen Ackerland:	119 kg CO2 im Jahr je Hektar Ackerland
Futtermittel: Zukauf von 9500 kg/Jahr 2011	
Energieverbrauch:	$9500 * 2,276 = \mathbf{21\ 622 \text{ MJ/Jahr}}$
CO2-Emissionen:	$9\ 500 \text{ kg TM} * 0,247 \text{ kg CO}_2 = 2\ 346,5 \text{ kg CO}_2 \text{ Jahr}$
Energiegehalt von Kraftfutter: 7,9 MJ NEL / kg zugekauftes Kraftfutter	$9\ 500 \text{ kg} * 7,9 = 75\ 050 \text{ MJ}$
<b>ENERGIEINPUT des gesamten Betriebes:</b>	
66 053,7 MJ (Diesel) + 85 425 MJ (Strom) + 2 639,7 MJ (Schmierstoffe) + 15,78 (Pflanzenschutzmittel) + 14 642,5 MJ (Mineraldünger) + 20 484 MJ (Kraftfutter) = <u>189 260,7 MJ/Jahr</u>	
<b>CO2-Emissionen des gesamt Betriebes</b>	
4 355,2 kg (Diesel) + 1462,5 kg (Strom) + 174 kg (Schmierstoffe) + 0,3kg (Pflanzenschutzmittel) + 878,1 kg (Mineraldünger) + 2346,5 kg (Kraftfutter) = <u>9 216,6 kg CO<sub>2</sub> /Jahr</u>	
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen die durch den Ackerbau im Jahr 2011 entstehen</b>	
Diesel:	175 kg CO <sub>2</sub> /ha; 1 267,8 kgCO <sub>2</sub> /7,35ha
Schmierstoffe:	6,4 kg CO <sub>2</sub> /ha; 47 kg CO <sub>2</sub> /7,35 ha
Pflanzenschutzmittel:	0,04 kg CO <sub>2</sub> /ha; 0,3 kg CO <sub>2</sub> /7,35 ha
Mineraldünger:	119,5 kg CO <sub>2</sub> /ha; 878,1kg CO <sub>2</sub> /7,35ha
Geamt:	<u>300,9 kg CO<sub>2</sub>/ha</u>
ENERGIEOUTPUT:	
Rohmilch:	$150\ 000 \text{ kg} * 3,1 \text{ MJ} = \mathbf{465\ 000 \text{ MJ/Jahr}}$
15 verkaufte Kälber unter 3 Monaten:	$15 * 0,31 = 4,65 \text{ GVE} * 500 = 2\ 325 \text{ kg} * 3,2 = \mathbf{7\ 440 \text{ MJ/Jahr}}$

Konv_3:	
ENERGIEINPUT:	
Dieselbedarf Acker + Grünland gesamt 2011:	2082,7 + 455,1 = <b>2537,8l</b>
Energieverbrauch:	2537,8l*0,83 = 2106,4kg*47,82 = <u>100 728 MJ/38,92ha</u>
CO2-Emissionen:	2106,4kg*3,153 = <u>6641,5 kg CO2/38,92ha</u>
Strom 2011 (5kWh/100kg Milchmenge und Jahr)	
8600kg/Kuh/Jahr; 35 Milchkühe; 8600*35=301000kg/Jahr	
Stromverbrauch:	301000*5=1505000kWh
Strom (EVU) Primärenergetische Bewertung:	11,39 MJ kWh <sup>-1</sup>
Energieverbrauch:	15050*11,39=171419,5 MJ
Strom (ENERGIE AG OÖ) CO2-Emissionen:	195 g kWh <sup>-1</sup>
CO <sub>2</sub> -Emissionen:	15 050 kWh * 195 g = 2 934 750g = <u>2 934,8 kg CO<sub>2</sub></u>
Schmierstoffe, 2011, gesamte Fläche	
Energieverbrauch:	(2106,4/100)*4=84,3kg*47,82=4031,2MJ/38,92ha
CO2-Emissionen:	84,3*3,153= <u>265,8kgCO2/38,92ha</u>
Pflanzenschutzmittel:	
120g je Hektar auf einer Fläche von 3,7ha	
Energieverbrauch:	150+294=444g=0,444kg*263= <u>116,8MJ/3,7ha</u>
CO2-Emissionen:	0,444*4,92= <u>2,2kgCO2/3,7ha</u>
Mineraldünger, 2011	
186,8kg N, 186,8kg P, 186,8kg K: auf einer Fläche von 3,7 ha	
Energieverbrauch:	(186,8*49,1)+(186,8*17,7)+(186,8*10,5)=9171,9+3306,4+1961,4=14 439,7MJ/3,7ha/Jahr
CO2-Emissionen:	(186,8*2,829)+(186,8*1,117)+(186,8*0,617)=528,5+208,7+115,3=852,5kg CO2/3,7ha
Mineraldünger wird nur auf Ackerfläche ausgebracht: für CO2-Emissionen Ackerland:	853/6,1 = 140 kg CO2 im Jahr je Hektar Ackerland
Futtermittel: Zukauf von 27 210 kg/Jahr 2011	
Energieverbrauch:	27 210*2,276= <u>61 930MJ/Jahr</u>
CO2-Emissionen:	27 210 kg TM * 0,247 kg CO2 = <u>6 720,9 kg CO2 Jahr</u>
Energiegehalt von Kraftfutter: 7,9 MJ NEL / kg zugekauftes Kraftfutter	27 210 * 7,9 = <u>214 959 MJ</u>
<b>ENERGIEINPUT des gesamten Betriebes:</b>	
81 667 MJ (Diesel Acker) + 18 061,6 MJ (Diesel GL) + 171 419,5 MJ (Strom) + 4 031,2 MJ (Schmierstoffe) + 116,8 MJ (Pflanzenschutzmittel) +14 439,7 MJ (Mineraldünger) + 61 930 MJ (Kraftfutter) = 351 665,8 MJ/Jahr (am gesamten Betrieb)	

<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen des gesamt Betriebes</b>	
6 575,6 kg (Diesel) + 2 934,8 kg (Strom) + 265,8 kg (Schmierstoffe) + 2,2 kg (Pflanzenschutzmittel) + 852,5kg (Mineraldünger) + 6 720,9 kg (Futtermittel) = 17 351,8 kg CO <sub>2</sub> Jahr	
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen die durch den Ackerbau im Jahr 2011 entstehen</b>	
Diesel:	197,4kgCO <sub>2</sub> /ha; 1190,9kgCO <sub>2</sub> /6,1ha
Schmierstoffe:	8 kg CO <sub>2</sub> /ha; 47,6 kg CO <sub>2</sub> /6,1ha
Pflanzenschutzmittel:	0,4 kg CO <sub>2</sub> /ha; 2,2kgCO <sub>2</sub> /6,1 ha
Mineraldünger:	139,8kg CO <sub>2</sub> /ha; 852,5kg CO <sub>2</sub> /6,1 ha
Gesamt:	→ <u>345,6 kg CO<sub>2</sub>/ha</u>
ENERGIEOUTPUT:	
Rohmilch:	301 000 * 3,1 = <u>933 100 MJ</u>
17 verkaufte Kälber unter 3 Monaten:	17*0,31=5,27*500=2635*3,2= <u>8 432 MJ</u>
8 Kalbinnen als Jungvieh unter 2 Jahren:	8*0,7=5,6*500=2800*7,7 = <u>21560MJ</u>

## 11. Kurzzusammenfassung

Der Einsatz von fossiler Energie in der Landwirtschaft ist in den letzten 50 bis 60 Jahren stark angestiegen. Eine Reduktion des Verbrauches fossiler Energieträger ist sowohl aus Sicht des Klimaschutzes als auch aufgrund der Ressourcenschonung erstrebenswert. In der vorliegenden Arbeit wurden der unterschiedliche Energieverbrauch und die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie der Humussaldo von drei konventionell und drei ökologisch wirtschaftenden Futterbaubetrieben berechnet. Die Betriebe befanden sich in den Gemeinden Lengau und Munderfing, im österreichischen Hauptproduktionsgebiet Alpenvorland. Bezüglich des Humussaldos wiesen die in dieser Arbeit untersuchten konventionellen Betriebe einen höheren Humusaufbau als die ökologischen Betriebe auf. Alle sechs untersuchten Betriebe erreichten einen hohen bis sehr hohen Humussaldo. Hohe bis sehr hohe Humussalden wurden für Futterbaubetriebe in Österreich auch in der Literatur angegeben. Die drei ökologischen Betriebe der Gemeinde Lengau und Munderfing tendierten zu einem höherem Output / Input – Verhältnis im Vergleich mit den konventionellen Betrieben. Im Gegensatz zu anderen Studien, wiesen die konventionellen Betriebe, mit Ausnahme eines Betriebes, keinen höheren Energiesaldo auf. Alle drei konventionellen Betriebe der Gemeinden Lengau und Munderfing emittierten eine größere Menge CO<sub>2</sub> als die ökologischen Betriebe.

## 12. Abstract

The use of fossil energy has to be reduced because of two reasons. Firstly, CO<sub>2</sub>-emissions in the atmosphere are increasing and cause climate change. Secondly, the natural resources are decreasing. Organic matter, energy balance as well as CO<sub>2</sub>-emissions of three organic and three conventional milk production farms in upper Austria were investigated. The humussaldo of the conventional farms was higher than the humussaldo of the organic farms. The results deviate from the results found in previous studies in which mostly the organic farms have the higher humussaldo. Generally, the humussaldo of the investigated farms was on a high level. The investigated organic farms in upper Austria tend to have a lower energy input and a better ratio energy yield to energy input as the conventional ones. Other studies show that conventional farms show a tendency to a higher energysaldo. Apart from one conventional farm there was not much of a difference in terms of the energysaldo of the investigated farms in upper Austria. The carbondioxidemissions of the conventional farms were up to two times higher than the emissions of the organic farms.

