

INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHEN LANDBAU DER UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR WIEN

Energiebilanzierung im Ackerbau – Fallbeispiele der biologischen und konventi- onellen Produktion im Vergleich

Diplomarbeit

Name: Daniel Maurer
Matrikel: 0240410
Email: danus@gmx.at
Adresse: Hauptstrasse 124, 2120 Obersdorf
Fon: +43 2245 22496

Betreuer: Univ. Prof. Dr. agr. biol. Bernhard Freyer

Wien, im Jänner 2010

gewidmet:

Lucy

&

meiner Großmutter

Vorwort und Danksagung

Der industrialisierten energieintensiven Landwirtschaft ist nicht der Wind aus den Segeln zu nehmen. Zumindest nicht im Rahmen dieser Arbeit. Obwohl es ganz dezidiert nicht das Ziel meines Arbeitens war, habe ich es insgeheim doch versucht. Am Ende ist es mir ohnehin nicht gelungen. Trotzdem bin ich nach Abschluss meiner Überlegungen, Recherchen und Berechnungen mehr denn je der Meinung, dass in ihr nicht die Zukunft der Landbewirtschaftung liegen kann. Doch das ist das Ergebnis eines längeren Prozesses:

„Effektivität bestimmt das Handeln, ...“

(aus dem Lied „Major Tom“ – Peter Schilling, 1982)

Ich gelangte im Laufe meiner Überlegungen und Berechnungen im Zuge dieser Arbeit an einen Punkt, an dem ich – mich auf meine Berechnungen stützend - davon überzeugt war, dass die konventionelle Landwirtschaft der biologischen überlegen ist – gemessen am Parameter Produktivität. Florian Gadermaier verwickelte mich hier zur rechten Zeit spontan in eine Diskussion zu den Begrifflichkeiten Effizienz, Effektivität und Produktivität. Dieser Anstoß veränderte meine Zugangsweise zum Thema drastisch, wofür ich ihm zu großem Dank verpflichtet bin. Heute bin ich der Meinung, dass Produktivität mit Effektivität nichts zu tun hat und auch kein alleiniger Maßstab für eine nachhaltige Landwirtschaft sein kann.

„Pure Vernunft darf niemals siegen, wir brauchen dringend neue Lügen“

(aus dem Lied „Pure Vernunft darf niemals siegen“ – Tocotronic, 2005)

Zur selben Zeit präsentierte ich Ruth Hinker meine Berechnungen, welche die industrialisierte Landwirtschaft mit Mineraldüngung und chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln unterstützten. Sie schenkte meinen Argumenten spontan eine herzliche kategorische Ablehnung. Und blieb der Überzeugung, dass dieser Landbau keinen nachhaltigen Weg in die Zukunft weisen kann. Dafür danke ich ihr, und schließe mich heute ihrer Meinung wieder an. Mein Maßstab (die „Energieeffizienz“) war nicht der richtige.

Bei zwei weiteren Studienkolleginnen möchte ich mich auch noch ganz besonders bedanken: Helene Pattermann und Monika Hametter, die mir gemeinsam mit Ruth Hinker ein Studentenleben ermöglichten, das ich niemals missen möchte.

Auch Bernd Freyer, meinem Betreuer, möchte ich meinen Dank aussprechen. Nach dem Motto „Feel Freyer – viel freier“ hatte ich alle erdenklichen Freiheiten bei meinem Arbeiten und dabei doch die nötige Unterstützung.

Mama und Papa ich danke Euch für alles. Ihr habt meine Achtung und meinen Respekt. Ich bin sehr gut ausgestattet und mach sicher was Gutes draus!

Vroni, meine Schwester - auch Dir vielen lieben Dank! Für alles und im Besonderen Deinen Computer, den ich unzählige Stunden lang besetzt halten durfte - mit Deinem Wohlwollen.

Mein größter Dank gilt meiner Liebsten – Marlene. Für unglaublich viel Verständnis und Toleranz, Zuversicht, warmes Essen und die Liebe.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	10
1.1	<i>Persönliche Motivation</i>	10
1.2	<i>Problembeschreibung</i>	11
1.3	<i>Zielsetzung</i>	12
1.3.1	Übergeordnete Zielsetzung	12
1.3.2	Teilfragestellungen	12
1.4	<i>Zur Verwendung dieser Arbeit.....</i>	12
2	Methode.....	14
2.1	<i>Vorgehensweise.....</i>	14
2.2	<i>Auswahl und Zusammenstellung der Fallbeispiele</i>	14
2.2.1	Varianten verschiedener Energieintensität	14
2.2.2	Varianten zunehmender Komplexität.....	15
2.3	<i>Kalkulationsgrundlagen.....</i>	16
2.3.1	Verwendete Daten	16
2.3.2	Datenverarbeitung	17
3	Theoretische Grundlagen.....	18
3.1	<i>Energie</i>	18
3.1.1	Grundlagen	18
3.1.2	Brennwert und Heizwert	18
3.1.3	Physikalische Einheiten	19
3.1.4	Faustzahlen & erläuternde Berechnungen	19
3.2	<i>Energiebilanzen.....</i>	22
3.3	<i>Energie und Landwirtschaft.....</i>	24
3.4	<i>Energiebilanzen in der Landwirtschaft</i>	25
4	Rahmenannahmen für die Energiebilanzierung in dieser Arbeit	27
4.1	<i>Grundsätzliche Zielsetzung.....</i>	27
4.2	<i>Auswahl der Betrachtungsgrenzen</i>	27
4.2.1	Funktionale Einheiten und Bezugsgrößen.....	27
4.2.2	Räumliche Abgrenzung	27
4.2.3	Zeitliche Abgrenzung	27
4.2.4	Systemgrenzen der Lebenswege und Bilanzierungstiefe.....	28
4.3	<i>Stoffliche Bilanzgrundlage und energetische Bewertung.....</i>	28
4.3.1	Input.....	28
4.3.2	Output	29
4.4	<i>Bilanzauswertung</i>	31
4.5	<i>Ergebnisse – Stand des Wissens zu Energiebilanzen im Ackerbau..</i>	32

5	Ergebnisse und Diskussion	33
5.1	<i>Einzelne Kultur (Winterweizen)</i>	33
5.1.1	Unterschiedliche Datengrundlagen für die Kalkung.....	34
5.1.2	Unterschiedliche Datengrundlagen für die biologische Düngung	35
5.1.3	Synthese	36
5.2	<i>Sechsjährige Fruchtfolge.....</i>	37
5.2.1	Energieeinsparungen durch reduzierte Bodenbearbeitung	39
5.2.2	Optimistische Einstellung zu einem System	40
5.2.3	Synthese	40
5.3	<i>Modifizierte Energiequellen.....</i>	43
5.3.1	Energieaufwendungen aus Weizen-Bioethanol.....	43
5.3.2	Zugkraft: Traktor oder Pferd	46
5.3.3	Weiden- bzw. Pappel-Kurzumtriebsplantagen.....	48
5.3.4	Synthese	49
5.4	<i>Synthese aller Fallbeispiele.....</i>	50
6	Schlussfolgerungen.....	52
7	Ausblick	54
8	Zusammenfassung.....	56
9	Abstract.....	57
10	Literatur	58
11	Anhang	61
	<i>Anhang 1 – Einzelne Kultur (Winter-Weizen).....</i>	61
	<i>Anhang 2 – Sechsjährige Fruchtfolge</i>	65

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fallbeispiele dieser Arbeit	15
Tabelle 2: Berücksichtigte landwirtschaftliche Daten für die Kalkulation.....	16
Tabelle 3: Berücksichtigte Betriebsmittel - Inputenergie (Literaturauswahl)	28
Tabelle 4: Primärenergieeinsatz für die Bereitstellung von Betriebsmitteln	29
Tabelle 5: Energie- und Trockenmassegehalte ausgewählter Ackerfrüchte	30
Tabelle 6: 1 ha Winter-Weizen – biologisch und konventionell (hohe Kalkung: 1000 kg): Betriebsmitteleinsatz, Energieaufwendungen und Bilanzkennzahlen für ein Jahr....	33
Tabelle 7: 1 ha Winter-Weizen – biologisch und konventionell (geringe Kalkung: 300 kg): Bilanzkennzahlen, Betriebsmitteleinsatz und Energieaufwendungen für ein Jahr....	34
Tabelle 8: 1 ha Winter-Weizen - biologisch und konventionell (untersch. Datengrundlagen f. organische Düngung): Bilanzkennzahlen, Betriebsmitteleinsatz und Energieaufwendungen für ein Jahr	35
Tabelle 9: Bilanzkennzahlen der unterschiedlichen Fallbeispiele für die einzelne Kultur Winter-Weizen	36
Tabelle 10: Sechsjährige Marktfrucht-Fruchtfolge – Hauptkulturen und Zwischenfrüchte	37
Tabelle 11: Energiekennzahlen aus dem Fruchtfolgevergleich – konventionell, konventionell mit reduzierter Bodenbearbeitung und konv. m. red. BB und +50% Pflanzenschutzmittel	39
Tabelle 12: Energiekennzahlen aus dem Fruchtfolgevergleich – positive Einstellung zum biologischen System	40
Tabelle 13: Bilanzkennzahlen aller Fallbeispiele aus dem Fruchtfolgevergleich	42
Tabelle 14: Sechsjährige konventionelle Fruchtfolge: Dünge- und Pflanzenschutzmitteleinsätze und deren energetische Bewertung	45
Tabelle 15: Kennzahlen der sechsjährigen Fruchtfolgen – Biologisch, Konventionell und Konventionell mit Endenergieträger Ethanol.....	45
Tabelle 16: 1 ha Kurzumtriebsplantage mit Pappel oder Weide - Bilanzkennzahlen, Betriebsmitteleinsatz und Energieaufwendungen für ein Jahr.....	49

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Input und Output von 1 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche.....	11
Abbildung 2: Energie-Faustzahlen für Weizen	20
Abbildung 3: Energie-Faustzahlen für Diesel.....	20
Abbildung 4: Energie und Arbeit von 1 kg Weizen	21
Abbildung 5: Weizenenergie für den Stromverbrauch eines Haushaltes	21
Abbildung 6: Schema des Energieflusses bei der Raumbelichtung mittels Glühbirne...	23
Abbildung 7: Netto-Energieerträge und Output/Input-Relationen für die einzelne Kultur Winter-Weizen	36
Abbildung 8: Netto-Energieerträge im Fruchtfolgevergleich	38
Abbildung 9: Output/Input-Relationen im Fruchtfolgevergleich.....	38
Abbildung 10: Netto-Energieerträge und Output/Inputrelationen der Fallbeispiele aus dem Fruchtfolgevergleich	42
Abbildung 11: Energie In- und Outputs aller Fallbeispiele	50
Abbildung 12: Netto-Energieerträge und Output/Input-Relationen aller Fallbeispiele	50

Abkürzungsverzeichnis

AS	Aktive Substanz
BG	Brau-Gerste
DB	Deckungsbeitrag
DS	Direktsaat
Fe	Futtererbse
FF	Fruchtfolge
GD	Gründüngung
GEMIS	Globales-Emmissions-Model-Integrierter-Systeme
GJ	Giga Joule
ha	Hektar
Ho	Oberer Heizwert
Hu	Unterer Heizwert
Kar	Kartoffel
kcal	Kilokalorie
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
KUP	Kurzumtriebsplantage
LN	landwirtschaftliche Nutzfläche
Luz	Luzerne
MJ	Mega Joule
NEE	Netto-Energie-Ertrag
OIR	Output/Input-Relation
PS	Pflanzenschutz
PSM	Pflanzenschutzmittel
UBA	Umweltbundesamt
WR	Winter-Roggen
WW	Winter-Weizen
ZF	Zwischenfrucht

Umrechnungstabellen für Energieeinheiten

Verwendete Basisgrößen und daraus abgeleitete Einheiten für Energie und Leistung nach dem SI-System

Basisgrößen	Basiseinheit Name	Basiseinheit Zeichen	
Länge	Meter	m	
Zeit	Sekunde	s	
Masse	Kilogramm	kg	
Temperatur	Kelvin (Celsius)	K (°C)	
Abgeleitete Größe	Einheitenname	Einheiten-Zeichen	Definition ¹
Kraft	Newton	N	1 N = 1 kg*m/s ²
Arbeit, Energie, Wärme	Joule	J	1 J = 1 N*m = 1 W*s
Leistung	Watt	W	1 W = 1 J/s

Verwendete Vielfache

Präfix	Symbol	Faktor	In Worten
Kilo	k	10 ³	Tausend
Mega	M	10 ⁶	Million
Giga	G	10 ⁹	Milliarde
Tera	T	10 ¹²	Billion
Peta	P	10 ¹⁵	Billiarde

Umrechnungsfaktoren²

Einheit	kJ	kWh	kcal
1 kJ (Kilojoule) ³	1	2,78*10 ⁻⁴	0,2388
1 kWh (Kilowattstunde)	3.600	1	860
1 kcal (Kilokalorie)	4,1868	1,163*10 ⁻³	1

¹ Ein Joule entspricht ursprünglich der benötigten Arbeit, um eine Masse einen Meter gegen die Kraft von einem Newton zu transportieren; ein Newton wiederum entspricht der benötigten Kraft, um ein Kilogramm Masse einen Meter pro Sekundenquadrat zu beschleunigen.

² Die Angaben beziehen sich auf den unteren Heizwert Hu (im Vergleich zum Brennwert Ho auch einfach nur Heizwert genannt).

³ Die Einheit Joule wird mittlerweile nicht nur als Größe für Arbeit, sondern generell als Standardgröße für Energie verwendet. Die alte Einheit für die Wärmemessung, Kalorie (cal bzw. kcal), wird dazu ebenfalls in Joule umgerechnet, wobei eine Kalorie der benötigten Energie entspricht, um ein Gramm Wasser um ein Grad Celsius zu erwärmen.

1 Einleitung

Die Einleitung dieser Arbeit beginnt im folgenden Unterkapitel mit einer vielleicht etwas unkonventionellen, dafür aber sehr persönlichen Motivationsbeschreibung. In Kombination mit dem Vorwort lässt sich leicht erkennen, dass auch mein Zugang zum Landbau ein unkonventioneller (nicht konventioneller) – also biologischer ist. Ich schicke dies bewusst voraus, denn beim Studium der unterschiedlichen wissenschaftlichen Arbeiten, die sich mit Energiebilanzen in der Landwirtschaft beschäftigen, erlangte ich schnell den Eindruck, dass in vielen Fällen versucht wird, subjektive Einstellungen oder persönliche Präferenzen möglichst wissenschaftlich zu untermauern. Alle Ergebnisse unterschiedlich – aber alle „wissenschaftlich“!

Zum Beispiel gibt es ausreichend Arbeiten, die die Bio-Ethanol Produktion untermauern und genug andere, die eben dieses Verfahren für nicht zukunftsfähig erklären. Als eher mühsam erlebte ich es, jene Stellen der Arbeiten zu finden, an denen bewusst die Annahmen getroffen wurden, die zu einem bestimmten Ergebnis führen.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Methode der Energiebilanz für den Bereich Ackerbau erklärend darzustellen, und nicht neue Ergebnisse über Energieeffizienz von biologischen und konventionellen Landbausystemen zu liefern. Es geht also darum die Methode der Energiebilanz als Werkzeug darzustellen und dessen Verwendung zu erklären. Zur Darstellung der Energiebilanzmethode werden in dieser Arbeit exemplarisch die konventionelle und die biologische Produktion verglichen, und dabei wurde versucht, mit praxisnahen Datengrundlagen zu arbeiten. Auch wenn dieser Vergleich ausschließlich erklärende Ziele verfolgt, zeichnet er trotzdem auch ein wertendes Bild der beiden Anbausysteme. Zu meiner Überraschung steigt dabei die biologische Landwirtschaft nicht besser aus. Dies beruhigt mich selbst insofern, als ich dezidiert eines nicht wollte: eine subjektive Meinung wissenschaftlich untermauern. Wobei die Verlockung, und das verdeutlicht diese Arbeit, groß wäre, denn die Methode der Energiebilanz würde ein hervorragendes Werkzeug dafür darstellen.

1.1 Persönliche Motivation

Ich versuchte auf das Auto zu verzichten und immer das Licht abzdrehen, wenn ich es nicht brauchte. Mein Wasser kochte ich mit Deckel auf dem Topf, denn das verbraucht weniger Energie (der Druck im Topf erhöht sich – so erwärmt sich der Inhalt schneller). Ich versuchte mich saisonal und regional zu ernähren, damit Transportenergie für Lebensmittel, die von weit her kommen, nicht anfällt. Aludosen? Nein Danke! Um es kurz zu machen: ich versuchte energiesparend zu leben – aus Überzeugung, dass das ein möglichst nachhaltiger Lebensweg ist. Ich und mein Gewissen, wir waren zufrieden mit meinen täglichen Taten. Wir hatten uns gut eingerichtet - bis zum Frühling 2007. Da zeichnete sich nämlich für mich die Möglichkeit ab, den ca. 20 ha großen Ackerbau-Marktfruchtbetrieb meines Onkels im süd-östlichen Weinviertel zu übernehmen. Ich sprach mit meinem Onkel über Bewirtschaftungsmöglichkeiten und auch über finanzielle Angelegenheiten, und irgendwann kamen wir auch auf die Treibstoffkosten zu sprechen. Mit 1600 Litern Diesel pro Jahr müsste ich schon rechnen, meinte mein Onkel. 1600 Liter nichterneuerbarer Diesel, das war ein starkes Stück für mein Energiespar-Gewissen. Es sagte mir: „Wenn du unter anderem 80 Liter Diesel in die Bewirtschaftung von einem Hektar Ackerland investierst, dann sollte auch entsprechend etwas dabei herauskommen.“ Also begann ich zu rechnen und zu bilanzieren. Abbildung 1 zeigt meine ersten Überlegungen.

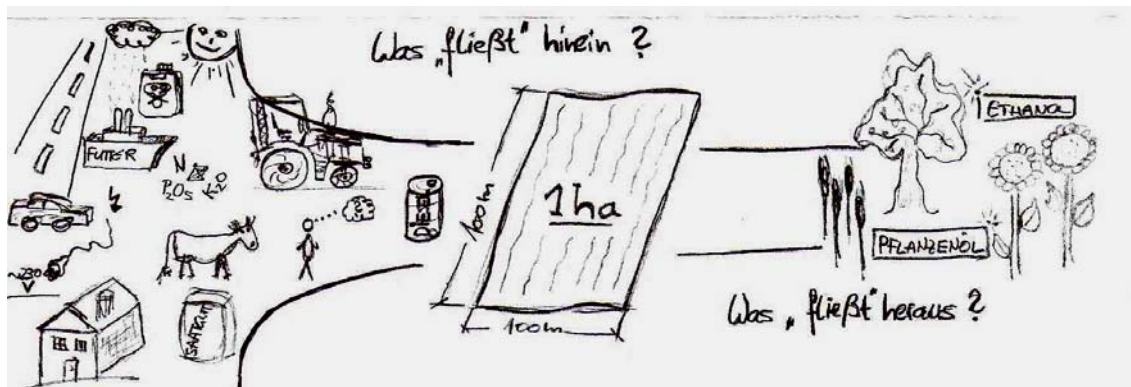


Abbildung 1: Input und Output von 1 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche

Was ist mit einem Hektar Ackerland anzufangen? Wie viel Energie soll investiert werden und wie viel kann die Fläche anschließend liefern? Lebensmittel oder Energie – was soll der Output sein? Soll biologisch oder konventionell bewirtschaftet werden? Gibt es Alternativen zum Diesel als Treibstoff für die Maschinen? Was wird außer Diesel für die Bewirtschaftung von Ackerflächen sonst noch benötigt?

Das waren einige Fragen, die mich beschäftigten. Also begann ich mich auch mit einschlägiger Literatur auseinander zu setzen und stieß dort auf die Methode der Energiebilanz. In ihr hatte ich ein mögliches Werkzeug für die Bearbeitungen meiner Fragestellungen gefunden.

1.2 Problembeschreibung

Wir können heute unsere landwirtschaftlichen Nutzflächen, dank modernster Technik, und unter der Verwendung fossiler Energieträger (vor allem zur Dünger- und Pflanzenschutzmittelherstellung und als Treibstoff für landwirtschaftliche Maschinen in Form von Diesel), intensiver bewirtschaften als je zuvor. Die landwirtschaftlichen Erträge (in Form von Weizen, Mais, Grünschnitt, etc.) sind bei entsprechendem Energieeinsatz höher denn je.

Die hohen Energieaufwendungen einer intensiven Landbewirtschaftung bringen auf den ersten Blick zwei grundsätzliche Probleme mit sich: Erstens wird die Verknappung der fossilen Energieträger vorangetrieben. Zweitens steht der Klimawandel in direktem Zusammenhang mit der vielfältigen Verfeuerung fossiler Rohstoffe und dem damit in Verbindung stehendem CO²-Ausstoß (vgl. Dorninger u. Freyer, 2008). Beides bringt uns sowohl aus sozialer als auch aus ökologischer Sicht zunehmend unter Druck. Der Kampf um die endenden – weil nicht erneuerbaren Energieträger – scheint bereits begonnen zu haben. Die Auswirkungen sind in ihrer Vielschichtigkeit nicht absehbar. Klimaflüchtlinge und zunehmende Starkwetterereignisse seien exemplarische Zeugen für die drastischen Auswirkungen des Klimawandels.

Die Landwirtschaft als großer Energieproduzent, aber auch als großer Energieverbraucher ist Teil dieser Problematik und steht nun vor der Frage: Wie viel Energie soll pro Fläche eingesetzt werden? In weiterer Folge auch: Welche Energie? Und wie sollen die Flächen in Kombination mit dem Energieeinsatz bewirtschaftet werden?

Ein nützliches Werkzeug für die Beantwortung dieser Fragen kann die Methode der Energiebilanz sein. Nachdem diese mit der Energiekrise der 1970er Jahre auch Einzug in die Landwirtschaft hielt, erreicht ihre Verwendung heute gerade neue Aktualität. Vor allem in Zusammenhang mit der Debatte über die energetische Nutzung von Biomasse aus landwirtschaftlicher Produktion.

In der Literatur finden sich bereits unzählige Arbeiten, die mit Hilfe der Energiebilanzmethode die landwirtschaftliche Produktion untersuchen. Die Ergebnisse der Arbeiten sind allerdings so unterschiedlich wie ihre Annahmen – teilweise sogar konträr. Es kann der Eindruck erweckt werden, dass beinahe zu jedem Bilanzergebnis zu kommen ist, wenn die Annahmen dementsprechend ausgelegt wurden. Die

Zusammenhänge zwischen Annahmen und Ergebnissen werden dabei in der Regel nicht erklärt. Es fehlen auch Arbeiten zu Energiebilanzen, die unterschiedliche Annahmen (bezüglich Betriebsmittelaufwand, energetischer Bewertung, Systemgrenzen, etc.) in Zusammenhang mit den daraus entstehenden Ergebnissen bringen. Besonders problematisch ist die Situation, wenn wissenschaftliche Arbeiten zu Energiebilanzen, deren Annahmen zu hinterfragen sind, persönliche aber vor allem politische Entscheidungen stützen (z.B. Pflanzenölbeimischungsziele), die in der Praxis umgesetzt werden.

1.3 Zielsetzung

Ganz trivial ausgedrückt ist das Ziel dieser Arbeit, Licht in die dunkle Welt der Energiebilanzen im Ackerbau zu bringen, um in weiterer Folge die Aussagekraft und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse dieser Methode besser beurteilen zu können. Es ist ganz klar nicht Ziel dieser Arbeit, neue Ergebnisse über energieeffiziente Ackerbewirtschaftungsformen zu liefern. Eine genauere Beschreibung der Zielsetzung folgt in den weiteren Unterkapiteln.

1.3.1 Übergeordnete Zielsetzung

Mit Hilfe einer vergleichenden Untersuchung soll die Methode der „Energiebilanz“ und ihre Anwendungsmöglichkeiten im Bereich Ackerbau dargestellt und erklärt werden. Besonderes Augenmerk soll dabei auf die Aussagekraft und die Vergleichbarkeit der möglichen Ergebnisse einer Energiebilanz gelegt werden.

1.3.2 Teilfragestellungen

Auf die übergeordnete Zielsetzung wird eingegangen, indem sich diese Arbeit mit folgenden Teilfragestellungen auseinandersetzt:

Wie wirken sich unterschiedliche

- **Datengrundlagen** (für landwirtschaftliche Erträge, Düngergaben und energetische Bewertungen von Betriebsmitteln)
- **Systembetrachtungen** (eine einzelne Kultur oder eine ganze Fruchtfolge; und in weiterer Folge auch ein Systemwechsel hin zu erneuerbaren Energien)
- **Methoden der Bilanzauswertung** (über den Netto-Energieertrag oder die Output/Input-Relation)

auf die Ergebnisse der Energiebilanz aus?

1.4 Zur Verwendung dieser Arbeit

Wie in den vorangegangenen Kapiteln dargestellt, ist das Ziel dieser Arbeit auch ein pädagogisches: nicht neue Ergebnisse über energieeffiziente Bewirtschaftungsformen sollen geliefert werden, sondern eine Erklärung und Darstellung einer Methode soll aufgezeigt werden, was zu besserem Verständnis dieser (Energiebilanz-) Methode führen soll. In weiterer Folge sollen auch die Auseinandersetzung mit dem Thema vorangetrieben, und die kritische Hinterfragung von Bilanzergebnissen ermöglicht werden.

Darauf wurde auch im Aufbau dieser Arbeit Rücksicht genommen. Es wurde versucht den Ergebnisteil so zu gestalten, dass gleich dort begonnen werden kann zu lesen. Die Problemstellungen und Besonderheiten der Energiebilanzmethode für den Bereich Ackerbau werden dort an einzelnen Fallbeispielen sichtbar und nachvollziehbar. Für die theoretischen Hintergründe, Datengrundlagen und Annahmen wird auf den theoretischen Teil der Arbeit (Kapitel 2 und 3) bzw. den Anhang verwiesen. So werden die theoretischen Hintergründe direkt in Kontakt mit den Fallbeispielen ge-

bracht. Natürlich kann diese Arbeit auch ganz „klassisch“ in der Kapitelreihenfolge gelesen werden.

2 Methode

In diesem Kapitel wird kurz die Vorgehensweise dieser Arbeit dargestellt. An Hand von zwei anschaulichen Beispielen wird erklärt, wie es zur Auswahl der verschiedenen Fallbeispiele kam. Weiters wird auf die unterschiedlichen verwendeten Daten Grundlagen und die Datenverarbeitung eingegangen.

2.1 Vorgehensweise

Um der übergeordneten Zielsetzung dieser Arbeit - die Methode „Energiebilanz“ im Anwendungsbereich Ackerbau darzustellen und zu erklären – gerecht zu werden, wurden exemplarische Fallbeispiele ausgewählt, in denen die Methode zur Anwendung kommt und erklärt wird. Um dabei stets Schlüsse über die Aussagekraft und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse ziehen zu können, werden die beiden Bewirtschaftungsformen „biologisch“ und „konventionell“ miteinander verglichen.

Auf die Teilfragestellungen (Kapitel 1.3) wird eingegangen, indem die Zugangsweisen unterschiedlicher wissenschaftlicher Arbeiten in den Kapiteln 3 und 4 zusammengetragen wurden, und anschließend in den Fallbeispielen mit unterschiedlichen Datengrundlagen, Systembetrachtungen und Methoden der Bilanzauswertung gearbeitet wird. Die Ergebnisse werden verglichen und mit den Annahmen in Zusammenhang gebracht.

2.2 Auswahl und Zusammenstellung der Fallbeispiele

Um zu erklären, wie es zur Auswahl der Fallbeispiele kam, empfiehlt es sich, die verwendeten Fallbeispiele dieser Arbeit hinsichtlich zweier Kriterien zu unterscheiden: Energieintensität und Komplexität. Beiden Kriterien ist jeweils ein Unterkapitel dieses Abschnittes gewidmet.

2.2.1 Varianten verschiedener Energieintensität

Energiebilanzen erlangen eine höhere Aussagekraft, wenn nicht nur ein Verfahren untersucht wird, sondern wenn zusätzlich dieses Verfahren mit einem anderen verglichen wird, das zum selben oder einem ähnlichen Ergebnis führt. Dies soll an folgendem Beispiel verdeutlicht werden:

Beispiel 2.2.1-a: Die Energiebilanz einer 60-Watt-Glühbirne ist bei engen Systemgrenzen recht trivial. 60 Watt fließen in Form von elektrischer Energie in das System „Glühbirne“ hinein, und ein gewisser Teil kommt in Form von Lichtenergie wieder heraus. Ein anderer Teil geht in Form von Wärmeenergie „verloren“, weil er nicht der gewünschten Nutzung, nämlich der Erhellung, dient. Vergleicht man nun die eingesetzte (elektrische) Energie mit der genutzten (Licht-) Energie, kann daraus der Wirkungsgrad berechnet werden. Wenn der Wirkungsgrad einer Glühbirne mit 5 % (vgl. Institut für angewandte Umweltforschung, 2009) angenommen wird, bedeutet das, dass 3 Watt an Lichtenergie genutzt werden können, der Rest, 57 Watt, gehen in Form von Wärme verloren.

Die Aussagekraft dieser Berechnung steigt, wenn der errechnete Wirkungsgrad mit dem eines anderen Verfahrens, beispielsweise einer Energiesparlampe verglichen wird. Unter der Annahme, dass zum Beispiel diese bei gleicher Erhellung eines Raumes nur die Hälfte an elektrischer Energie verbraucht, ist ihr Wirkungsgrad doppelt so hoch.

Für den landwirtschaftlichen Bereich bieten sich die biologische und die konventionelle Wirtschaftsweisen für einen Vergleich an, denn die Verfahren arbeiten mit sehr unterschiedlichen Energieeinsatzniveaus (Inputseite der Bilanz), führen aber beide zum grundsätzlich gleichen Ergebnis Biomasseproduktion. Folglich sollen in dieser Arbeit diese beiden Wirtschaftsweisen verglichen werden.

2.2.2 Varianten zunehmender Komplexität

Die Komplexität einer Energiebilanz steigt in der Regel mit zunehmend weiter gesteckten Systemgrenzen. Dies soll wieder anhand eines Beispiels erklärt werden:

Beispiel 2.2.1-b: Erweitert man die Systemgrenzen des „Glühbirne-Energiesparlampen“-Beispiels vom zu erhellenden Raum z.B. bis zum Ort der Herstellung, so beeinflusst das die Bilanz. Es wird beispielsweise auf der Inputseite zusätzlich die Energie veranschlagt, die zur Herstellung der Lampen aufgewendet wird. Ist in diesem Fall die Herstellungenergie für die Energiesparlampe höher, so wirkt sich dies zu Ungunsten des Bilanzergebnisses der Energiesparlampe aus. Zusätzlich könnten bei nochmaliger Erweiterung der Systemgrenzen noch die Energie für die Entsorgung der Lampen berechnet werden, deren Lebensdauer und vieles mehr. Offensichtlich würde die Komplexität zunehmen, und in weiterer Folge sich auch das Ergebnis verändern.

Da das Hauptziel dieser Arbeit darin besteht, die Methode der Energiebilanz (für den Bereich Ackerbau) darzustellen und zu erklären, wurde versucht die ersten Vergleiche eher simpel zu halten, um dann zunehmend zusätzliche Besonderheiten zu beachten, was auch zu zunehmender Komplexität führt. Die ausgewählten Fallbeispiele sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Fallbeispiele dieser Arbeit

Einzelne Kultur: Winter-Weizen					
WW-Bio NPK; Kk=1000kg	WW-Bio NPK; Kk=300kg	WW-Bio N ü. GD, PK; Kk=300kg	WW-Bio Zukauf v. Wi.- Düng.; Kk=300kg	WW-Konv NPK; Kk=1000kg	WW-Konv NPK; Kk=300kg
Sechsjährige FF: Luz./WW – WW – Kart. – FE – WR - BG					
Sys. Bio N ü. FF, PK; Kk=300kg	Sys. Bio N ü. FF; +20% Ertrag; Kk=300kg	Sys. Konv NPK; Kk=300kg	Sys. Konv NPK; red. BB Kk=300kg	Sys. Konv NPK; r. BB +50%PS Kk=300kg	
Alternative Energiequellen					
Weiden- Pappel- Kurzumtriebs- plantage	bzw. Zugkraft: Traktor oder Pferd	Energieauf- wendungen aus Weizen- Bioethanol			

WW-Bio = Winter-Weizen Biologisch, WW-Konv = Winter-Weizen Konventionell

Sys. Bio = System Biologisch, Sys. Konv = System Konventionell

WW = Winter-Weizen

N = Energiewert des Stickstoff-Düngers gemessen am Energiewert des mineralischen Stickstoff-Düngers

P = Energiewert des Phosphor-Düngers gemessen am Energiewert des mineralischen Phosphor-Düngers

K = Energiewert des Kali-Düngers gemessen am Energiewert des mineralischen Kali-Düngers

N ü. GD = Stickstoff-Düngung über einjährige Gründüngung

Zukauf v. Wi.-Düng. = NPK-Düngung über zugekauften Wirtschaftsdünger

N ü. FF = Stickstoff-Düngung über Fruchtfolge

red. BB = reduzierte Bodenbearbeitung

red. BB+50%PS = reduzierte Bodenbearbeitung und 1,5-facher Pflanzenschutzmittelaufwand

Kk = Kalk

Sechsjährige Fruchtfolge: Luzerne/Winter-Weizen – Winter-Weizen – Kartoffel – Futtererbse – Winter-Roggen – Braugerste

In den Fallbeispielen, die nur eine einzelne Kultur berücksichtigen, wurde mit Winter-Weizen stellvertretend für andere ackerbauliche Cash-Crops bilanziert. Winter-Weizen zählt zu den vorherrschenden Marktfrüchten Österreichs. Weiters spielt Weizen in aller Regel sowohl in biologischen als auch in konventionellen Marktfruchtbetrieben Österreichs eine zentrale Rolle. Alle weiteren Fallbeispiele ergeben sich aus den offenen Frage- und Problemstellungen, die die erste Variante hervorbringt. Im zweiten Beispiel wird z.B. mit einer geringeren Kalkgabe gerechnet, um zum ersten Mal zu zeigen, was Modifikationen auslösen können.

2.3 Kalkulationsgrundlagen

2.3.1 Verwendete Daten

Die wichtigsten landwirtschaftlichen Daten, die zur Erstellung der Energiebilanzen dieser Arbeit verwendet wurden, sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Den Betriebsmitteln auf der Inputseite stehen die Erträge auf der Outputseite gegenüber. Alle Angaben beziehen sich auf die Fläche von einem Hektar und die Zeit eines Bewirtschaftungsjahres (siehe dazu auch Kapitel 4.3.1 Input und 4.3.2 Output).

Tabelle 2: Berücksichtigte landwirtschaftliche Daten für die Kalkulation

Input			Output		
Betriebsmittel	Einheit	Quelle		Einheit	Quelle
Diesel	l	KTBL 2004/05	Ertrag	kg	KTBL 2004/05 u. Freyer 2003
N-Dünger	kg	BMFLUW 2002c			
P-Dünger	kg	BMFLUW 2002c			
K-Dünger	kg	BMFLUW 2002c			
Pflanzenschutzmittel	kg	BMFLUW 2002c			
Kalk	kg	KTBL 2004/05 u. BMFLUW 2002c			

Es wurde versucht, die Mengen dieser Betriebsmittel, welche für die unterschiedlichen Kulturen aufgewendet werden müssen, und auch die Ertragsmengen für den österreichischen Raum zu erheben. Dabei wurde auf die Standard-Deckungsbeitrags-Kataloge des BMFLUW (BMFLUW 2002a, 2002b und 2002c) zurückgegriffen. Bei der Verwendung der Kataloge für die vergleichende Arbeit zwischen biologischer und konventioneller Produktion ergaben sich allerdings einige Schwierigkeiten. Beginnend bei den Dieselaufwendungen wird in den beiden Katalogen für konventionelle und biologische Wirtschaftsweise mit Traktoren verschiedener Leistungsklassen kalkuliert, was einen direkten Vergleich erschwert. Weiters sind die Arbeitsgänge nicht genau definiert, und daraus folgend auch die Dieselverbräuche schwierig abzuleiten.

Als sinnvolle Alternative zu den österreichischen Deckungsbeitragskatalogen wurde hier die KTBL-Betriebsdatensammlung 2004/05 angesehen. Die oben beschriebenen Probleme bestehen hier nicht. Die beiden Wirtschaftswesen können direkt verglichen werden. Die Arbeitsgänge und die sich daraus ergebenden Dieselverbräuche sind genau aufgeschlüsselt. Folglich wurde in dieser Arbeit die KTBL-Betriebsdatensammlung als Datengrundlage für die Dieselverbräuche herangezogen.

Da sich die Erträge teilweise auf die Dieselaufwendungen auswirken (Mähdrusch, Korntransport, Düngerausbringung) entstammen die Werte für die Erträge grundsätzlich auch der KTBL-Datensammlung. Da hier die biologischen Erträge im Vergleich zu anderen Quellen (Freyer, 2003) jedoch auffallend niedrig waren, wurden diese angeglichen. Auch die damit einhergehenden Veränderungen beim Dieselverbrauch wurden anschließend berücksichtigt.

Die Aufwandsmengen der NPK-Düngemittel und der Pflanzenschutzmittel sind in den Deckungsbeitragskatalogen des BMFLUW (2002c) genauer aufgeschlüsselt als in der KTBL-Betriebsdatensammlung. Deshalb wurde hier auf die österreichischen Angaben zurückgegriffen.

Die angegebenen Kalkaufwendungen in den österreichischen DB-Katalogen (300kg/ha/a) unterscheiden sich von denen in der KTBL-Datensammlung (1000kg/ha/a) eklatant. Hier wurde mit jeweils einer der beiden Angaben kalkuliert um erstmals aufzuzeigen, wie verschiedene Vorgehensweisen das Bilanzergebnis beeinflussen können.

In der KTBL-Datensammlung sind jeweils Varianten verschiedener Schlag-Größen und verschiedener Bodenart angeführt. Beides bewirkt unterschiedliche Dieselauf-

wendungen. Diese Arbeit verwendet die Werte der Variante: 2 ha Schlag, Bodenart: mittel.

Abschließend muss noch gesagt werden, dass es in unterschiedlichen Fallbeispielen dieser Arbeit immer wieder zu Änderungen der Datengrundlagen und zusätzlichen Annahmen kommt. Diese sind an jeweiliger Stelle angegeben.

2.3.2 Datenverarbeitung

Da die KTBL-Datensätze direkt mit der EXCEL-Software bearbeitet werden können, wurden die Berechnungen und Bilanzen für diese Arbeit ebenfalls in diesem Programm erstellt.

3 Theoretische Grundlagen

3.1 Energie

Da der Begriff Energie sehr vielfältige Anwendung findet, befasst sich das folgende Kapitel mit Formen und Definitionen von Energie, die für diese Arbeit bedeutend sind. Dies klingt anfänglich eventuell banal, ist aber elementar. Als Beispiele seien hier die Ethik-Debatten um die Verheizung von Weizen oder die Nutzung von Biomasse (z.B. Raps) als Treibstoff angeführt. Betrachtet man die Problematik genau, so erkennt man, dass es immer um Energie geht: Heizen, Mobilität, Nahrung - egal.

3.1.1 Grundlagen

Der Begriff der Energie taucht in vielen unterschiedlichen Zusammenhängen auf, die voneinander so verschieden sein können, dass sie scheinbar nichts miteinander zu tun haben. Und Energie ist für Prozesse bedeutsam, in denen auch andere Größen wie Kraft, Leistung, Druck oder Impuls eine z.T. ähnliche Rolle spielen. Es dauerte daher ziemlich lange, bis dem Menschen klar wurde, was Energie bedeutet, und dass er für all seine Aktivitäten Energie benötigt. Insbesondere bedeutete auch die Einsicht, dass ein wesentlicher Zweck der Nahrungsaufnahme in Energiezufuhr für den Körper besteht, einen schwierigen und historisch bedeutsamen Schritt (vgl. Rebhan 2002, 1).

In der Physik hat Energie eine eher abstrakte Bedeutung, nämlich die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten. Sie ist also nicht etwas, das man etwa angreifen oder sehen kann. Wir bemerken nur ihre verschiedenen Wirkungen, mit der sie in Erscheinung treten kann, beispielsweise in Form von Licht, Bewegung oder Wärme. Deshalb spricht man ganz allgemein von mechanischer, elektrischer, magnetischer, thermischer oder chemischer Energie. Zusammenfassend könnte man sagen: Energie ist „gespeicherte Arbeit“.

Unterschiedliche Formen von Energie können ineinander umgewandelt und auf verschiedene Systeme übertragen werden. Auf dieser Möglichkeit beruht letztlich auch unser gesamtes Leben, von den biologischen Systemen bis zur Technik. Zum Beispiel kann die kinetische Energie von bewegten Luftmolekülen vom Rotor einer Windkraftanlage in Rotationsenergie umgesetzt werden. Diese wiederum wird durch den angeschlossenen Generator in elektrische Energie umgewandelt. Bei jeder Art von Energieumwandlung wird ein Teil der Energie in Wärme (Reibung) umgeformt und geht häufig als solche „verloren“. Die Physik und die Ingenieurwissenschaften sprechen hier dann von Wirkungsgraden, Energieeffizienz oder Umwandlungsverlusten.

Grundsätzlich gilt in der Natur aber das Prinzip der Energieerhaltung. "Von nichts kommt nichts", heißt es treffend in der Umgangssprache. Die Physik drückt dies etwas präziser im ersten Hauptsatz der Wärmelehre aus. Dort heißt es sinngemäß: In einem thermisch abgeschlossenen System kann Energie weder erzeugt, noch vernichtet werden. Sie kann nur in andere Formen umgewandelt werden (vgl. Umweltbundesamt 2009, Internet).

3.1.2 Brennwert und Heizwert

Energie, die in Form von chemischer Energie oder Reaktionswärme in einem Stoff (bzw. Brennstoff) gespeichert ist, kann durch chemische Reaktionen (bzw. Verbrennung) freigesetzt werden (Freude 2009, Internet). Die gespeicherte Energie eines Brennstoffes wird in der Regel über dessen Brennwert oder den Heizwert ausgedrückt.

Der Brennwert (= oberer Heizwert, abgekürzt H_o) ist die bei vollständiger Verbrennung von 1 kg Brennstoff freiwerdende Wärmemenge. Der Brennwert lässt sich nur ausnutzen, wenn die Abgase bis auf die Ausgangstemperatur abgekühlt

werden, so dass der in ihnen enthaltene Wasserdampf kondensiert und seine Verdampfungswärme ebenfalls nutzbar gemacht wird. Nach den üblichen Bedingungen der ausgeführten Feuerungen und Verbrennungen muss der Wasserdampf im Rauchgas gasförmig bleiben. Es käme sonst sehr schnell zu einem Korrosionsschaden, wenn z.B. im Rauchfang eines Kraftwerks der Wasserdampf kondensieren könnte. Das gleiche gilt für den Auspuff z.B. eines Pkw.

Heizwert (abgekürzt Hu). Geht also die Verdampfungswärme verloren, muss dies durch einen Abzug berücksichtigt werden. Wir erhalten so den Heizwert (unterer Heizwert) Hu. Die Kondensationswärme für Wasserdampf beläuft sich auf etwa 2500 kJ/kg. Damit ergibt sich folgender Zusammenhang: $H_u = H_o - 2500 \cdot m(H_2O)$. Der Heizwert ist also niedriger als der Brennwert (vgl. Steger 1999, 168f).

In dieser Arbeit wird ausschließlich mit den Heizwerten (Hu) der unterschiedlichen Betriebsmittel kalkuliert.

Nicht zu verwechseln sind die physikalischen Brenn- und Heizwerte mit den physiologischen Brennwerten oder Nährwerten. Bei der Berechnung der Nährwerte wird nur die für den menschlichen Organismus verdauliche Energie berücksichtigt. In Ballaststoffen enthaltene Energie, die der menschliche Stoffwechsel nicht nutzen kann, wird nicht hinzugerechnet. So sind in der Regel die Brenn- und Heizwerte von Nahrungsmitteln höher als deren Nährwerte, da in der thermischen Verbrennung auch die Ballaststoffe ihre Reaktionswärme abgeben. Es gibt natürlich auch Ausnahmen wie reine Zucker oder Alkohol, welche keine Ballaststoffe enthalten. Hier entsprechen die physiologischen Brennwerte den physikalischen (vgl. Hark-Oberitter 2001).

3.1.3 Physikalische Einheiten

Energien und Arbeit kommen sowohl in der Mechanik, der Wärmelehre, der Elektrizitätslehre und auch in der Ernährungslehre vor. Somit ist es verständlich, dass es für Arbeit und Energie mehrere verschiedene Einheiten gibt. Sämtliche Arbeits- und Energieeinheiten sind gleichwertig. Die erste wichtige Beziehung für die Umwandlung von Arbeit-Energie-Einheiten ist:

$$\underline{1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2}$$

Weitere Energieeinheiten:

$$\underline{1 \text{ kWh} = 3.6 \cdot 10^6 \text{ J}}$$

$$\underline{1 \text{ kcal} = 4,148 \cdot 10^3 \text{ J}}$$

$$\underline{1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}}$$

$$\underline{1 \text{ PS} = 735 \text{ W}}$$

(Für weiter Umrechnungsfaktoren und Einheiten siehe auch „Umrechnungstabellen für Energieeinheiten“ im Anschluss an das Inhaltsverzeichnis dieser Arbeit).

3.1.4 Faustzahlen & erläuternde Berechnungen

Um die theoretischen Erklärungen rund um den Begriff „Energie“ mit einigen praktischen Beispielen abzurunden, sollen nun am Ende dieses Kapitels einige auf Faustzahlen beruhende Berechnungen stehen:

Beispiel 3.1.4-a: Befüllt man 2 Bierkrüge mit Weizenkörnern, so bringt man dort rund ein Kilogramm Weizen in Kornform unter (eigene Berechnungen). Ein Kilogramm Weizenkörner hat also ein Volumen von rund einem Liter oder einem Kubikdezimeter.

Nehmen wir für die Weizenkörner einen Feuchtegehalt von 14% bzw. einen Trockenmassegehalt von 86% an. Dann ergibt sich bei einem Heizwert des Weizens von 18,3 MJ/kg Trockensubstanz bzw. 15,4 MJ/kg Frischmasse ein Energiegehalt von 15,4 MJ = 3678 kcal = 4,3 kWh pro kg Weizen (1 KJ = 0,239 kcal, 1 MJ = 0,278 kWh).

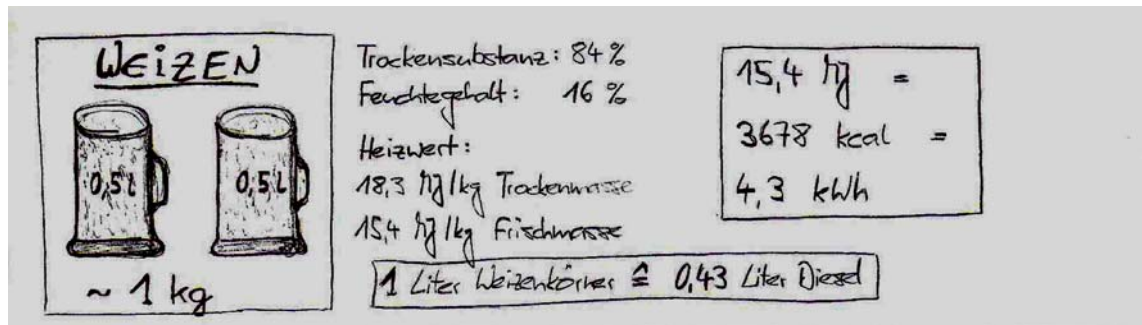


Abbildung 2: Energie-Faustzahlen für Weizen

Beispiel 3.1.4-b: In einem Liter Diesel stecken 35,65 MJ chemisch gebundene Energie – also rund 2,3-mal mehr als in einem Liter Weizenkörnern. Die Energie, die in einem Liter bzw. einem Kilogramm Weizenkörnern enthalten ist, entspricht also umgekehrt dem Ausmaß an Energie, das in 0,43 Litern Diesel in chemischer Form gebunden ist.

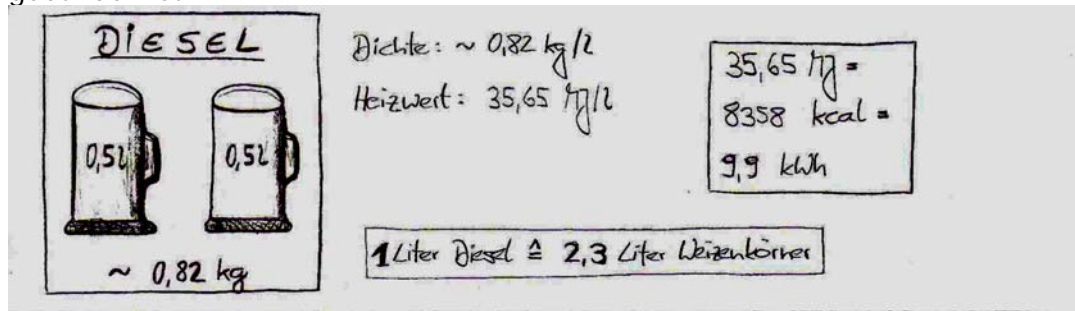


Abbildung 3: Energie-Faustzahlen für Diesel

Bringt man nun die Energie des Weizens in Zusammenhang mit physikalischer Arbeit, so kann man zum Beispiel folgende Berechnung anstellen:

Beispiel 3.1.4-c: Ein Staubsauger, der mit einer Leistung von 1000 Watt arbeitet, verbraucht pro Stunde 1 kWh Strom. In 4,3 Stunden benötigt er demzufolge 4,3 kWh Strom. Das entspricht der Energie, die in 1 kg Weizen in chemischer Form gebunden ist. Dieser Energie entspricht auch der Energieverbrauch einer 43-Watt-Glühbirne, die 100 Stunden lang brennt. Das sind rund 4,2 Tage.

Ein Mensch braucht ca. 100 Watt Nahrungsenergie, das sind 2,4 kWh oder 2064 kcal pro Tag. Bei einem Energiegehalt von 3678 kcal pro 1 kg Weizen, könnte sich ein Mensch rund 1,8 Tage davon ernähren.

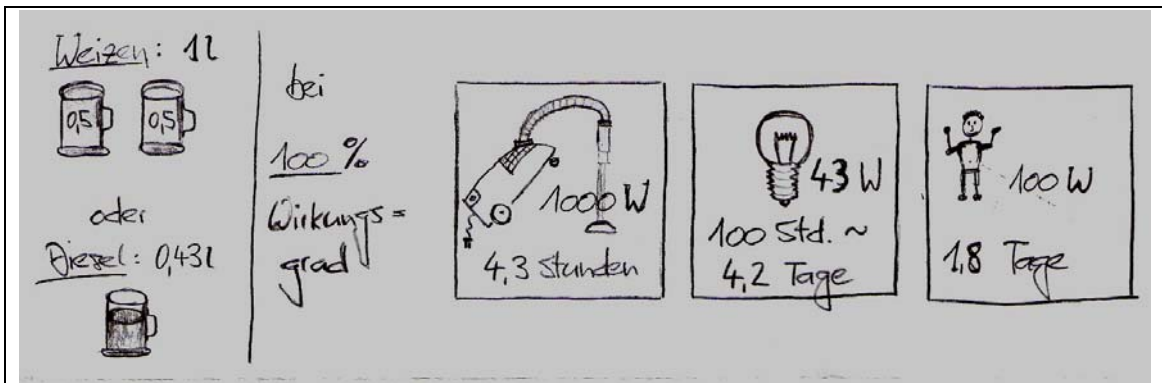


Abbildung 4: Energie und Arbeit von 1 kg Weizen

Beispiel 3.1.4-d: Für die menschliche Ernährung muss beachtet werden, dass nicht die gesamte im Weizen gebundene Energie genutzt werden kann. Unter der Annahme dass von den 3678 kcal des Weizens nur rund 3000 kcal in Form von verdaulicher Energie vorliegen (der Rest entfällt auf Ballaststoffe und Wasser und wird energetisch nicht bewertet), kann sich ein Mensch nur noch rund 1,5 Tage davon ernähren.

Ähnliches gilt für technische Geräte wie die Glühbirne oder den Staubsauger, welche beide mit elektrischer Energie betrieben werden. Die chemische Energie, die im Weizen gebunden ist, kann nicht direkt in elektrische Energie umgewandelt werden. Eine Möglichkeit der Umwandlung wäre ein kalorisches Kraftwerk, in dem der Weizen verbrannt wird. Bei einem angenommenen Wirkungsgrad von 50% können 50% der chemisch gebundenen Energie des Weizens in elektrischen Strom umgewandelt werden. Die restlichen 50% gehen in Form von Wärme verloren oder werden zu Heizzwecken weiter genutzt. Die Nutzungsdauer der Glühbirne würde sich somit von 100 Stunden auf 50, die des Staubsaugers von 4,3 auf 2,15 Stunden reduzieren.

Beispiel 3.1.4-e: Ein durchschnittlicher EU-Haushalt verbraucht ca. 4000 kWh elektrischen Strom pro Jahr. Der Stromverbrauch eines durchschnittlichen österreichischen Haushaltes liegt mit 4700 kWh etwas höher. Das Mittel soll mit 4300 kWh angenommen werden.

In zwei Tonnen Weizen sind 8600 kWh gebunden. Wandelt man diese Energie in einem kalorischen Kraftwerk mit 50% Wirkungsgrad in elektrische Energie um, so kann damit der Stromverbrauch von 4300 kWh gedeckt werden.

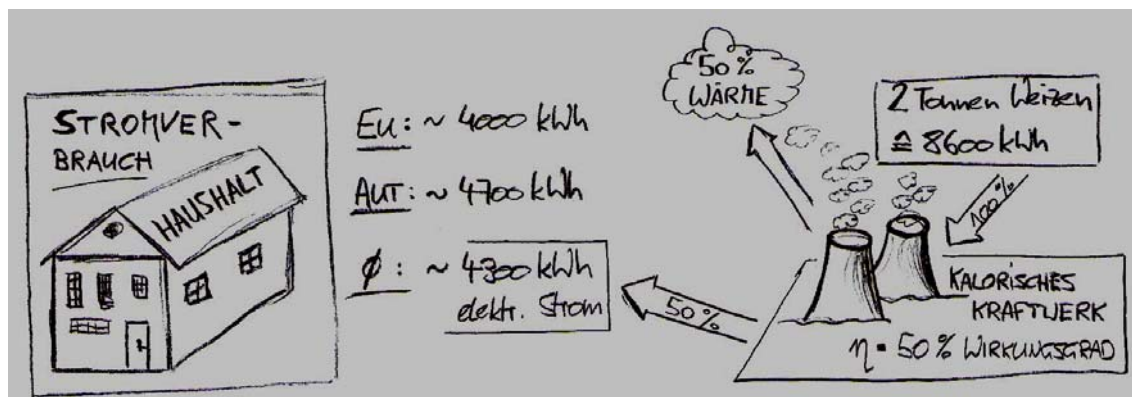


Abbildung 5: Weizenenergie für den Stromverbrauch eines Haushaltes

Beispiel 3.1.4-f: Für die Heizung eines Hauses dürfen nach der Wärmeschutzverordnung-1995 100 kWh/m², nach der Energiesparverordnung 61-80 kWh/m² und nach dem Passivhausstandard bis zu 15 kWh/m² und Jahr an Energie verbraucht werden. Für eine Wohnfläche von 100m² ergibt das pro Jahr maximal:

10.000 kWh für die Wärmeschutzverordnung 1995
8.000 kWh für die Energiesparverordnung und
1.500 kWh für den Passivhausstandard.

Eine Tonne Weizen stellt 4.300 kWh an Energie in chemisch gebundener Form zur Verfügung. Bei einem angenommenen Wirkungsgrad des Brennofens von 90% ergibt das 3870 kWh. Das Passivhaus könnte damit über 2 Jahre lang geheizt werden. Nach der Energiesparverordnung würde die Energie knapp ein halbes Jahr lang reichen. Hält man sich an die Wärmeschutzverordnung, so benötigt man schon über zweieinhalb Tonnen Weizen um das Haus ein Jahr lang zu heizen.

Die vorangegangenen Beispiele sollten landwirtschaftliche Produkte (z.B. Weizen) mit Energie in verschiedenen Formen in Zusammenhang bringen. Es sei darauf hingewiesen, dass der Weizen nur als Stellvertreter landwirtschaftlicher Biomasse fungierte. Die Rechnungen könnten auch mit Sonnenblumenöl, Kartoffeln, Klee, Bohnen, Stroh etc. erstellt werden.

3.2 Energiebilanzen

Das Wort Bilanz entstammt dem lateinischen „bilanx“ und bedeutet „zwei Waagschalen habend“ (Weber 1992 in Grehn 1999, 6). Es kennzeichnet die gegliederte, summarische Gegenüberstellung von bestimmten Wertkategorien.

Ziel einer Energiebilanz ist es, die energetischen Umsätze eines Systems (Input- und Outputgrößen) gegenüberzustellen und den Energieumsatz zu ermitteln. Die Energiebilanz erfasst, dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik folgend, die Energiemengen, welche während eines Betrachtungszeitraumes definierte Bilanzraum- bzw. Systemgrenzen überschreiten. Bei der Untersuchung des Energieumsatzes können dabei zwei verschiedene Methoden angewandt werden: die Endenergie- und die Primärenergiebilanz.

Die Endenergiebilanz ist besonders dadurch gekennzeichnet, dass sie ein naturgetreues Abbild der umgesetzten Energie liefern soll, da die tatsächlich vorhandenen und letztlich am Ort des Verbrauchs zur Verfügung stehenden Energiemengen ausgewiesen werden. In einer Endenergiebilanz werden „sämtliche Vorgänge und Energieträger, ohne Äquivalenzberechnung [...], also die Energieversorgung in tatsächlichen Größen“ abgebildet (Eurostat 1988, 6 in Fleissner 2001, 49).

Bei einer Primärenergiebilanz werden sämtliche Energieumsätze in Primärenergieeinheiten angegeben, d.h. die Umwandlungsverluste, die bei der Bereitstellung der Energieträger in Form von Endenergie auftreten, werden mit berücksichtigt. So setzt sich beispielsweise der Energieumsatz bei der Verwendung von Heizöl aus dem Energieinhalt des Treibstoffes und der Energie, die für dessen Bereitstellung notwendig ist, zusammen. Diese umfasst die Förderung, Aufbereitung, Lagerung, Raffinierung und den Transport des Heizöls bis zum Ort des Verbrauchs (vgl. Fleissner 2001, 49).

Weiters soll nicht unerwähnt bleiben, dass sich der Endenergieumsatz aus direkten und indirekten Komponenten zusammensetzt, wobei bei den zum Einsatz kommenden Endenergieträgern die Vorkettenenergie (Transport- und Umwandlungsverluste) berücksichtigt werden kann (vgl. Grehn 1999, 6).

Erneut soll ein Beispiel eben Dargelegtes erklären:

Beispiel 3.2: Der untersuchte Prozess sei erneut die Erhellung eines Raumes. Der Bilanzraum ein Zimmer, Zeitraum eine Stunde. Verwendet wird eine 50-Watt Glühbirne. Das ergibt einen Endenergieverbrauch von 50 Wh oder 0,05 kWh. Diese 50 Wh werden als direkte Energie in Form von elektrischem Strom aufgewendet. Indirekte Energie, die aufgewendet werden muss, wäre z.B. die Herstellungsenergie für die Glühbirne. Diese und auch alle weiteren indirekten Energieaufwendungen sollen aber der Einfachheit halber in diesem Beispiel nicht berücksichtigt werden. Die Vorkette der Stromerzeugung soll jedoch berücksichtigt werden - also beispielsweise ein kalorisches Kraftwerk mit 50% Wirkungsgrad. Der Wirkungsgrad der Glühbirne wird mit 5% angenommen (siehe dazu Abbildung 6).

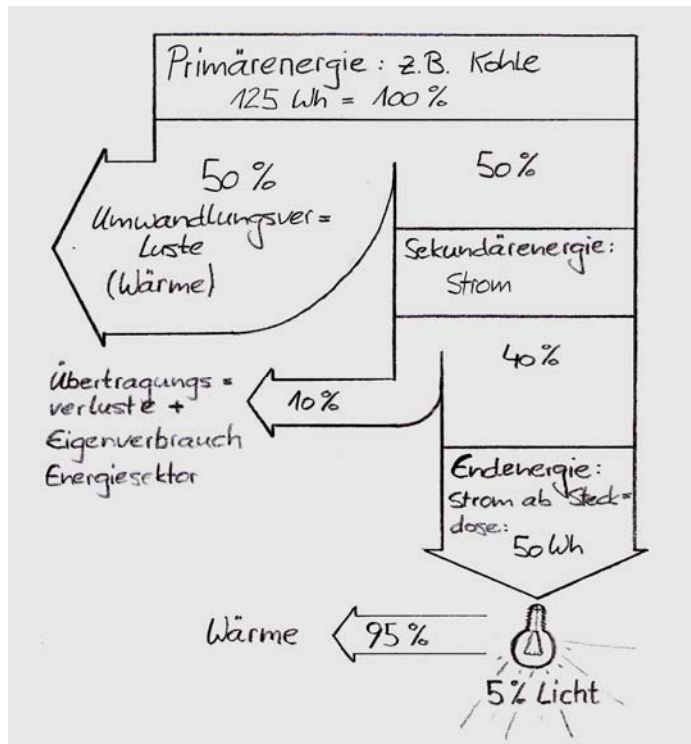


Abbildung 6: Schema des Energieflusses bei der Raumbelichtung mittels Glühbirne

(verändert nach Hartmann und Strehler (1995) in Moerschner 2000, 9)

Erstellt man nun für dieses Beispiel eine Endenergiebilanz, so stehen auf der Inputseite 50 Wh und auf der Outputseite 2,5 Wh Nutzenergie (Licht). Bei der Primärenergiebilanz stehen 125 Wh auf der Inputseite 2,5 Wh auf der Outputseite gegenüber.

Das obige Beispiel veranschaulicht, dass die Entscheidung über die Wahl der Bilanzierungsart und auch die Bilanzierungstiefe von den Zielen und Motiven abhängig ist, die bei der Erstellung der Bilanz verfolgt werden. Nach Saykowski (1995) lassen sich zwei Motive zur Berechnung von Energiebilanzen ableiten:

- Energie effizient einzusetzen, mit dem Ziel der Minimierung des Energiebedarfes je Fläche- bzw. Produkteinheit.
- bei der Inanspruchnahme der zur Auswahl stehenden Energiequellen ökologische Aspekte wie die mit der Energienutzung verbundenen Emissionen, die Flächeninanspruchnahme und die Knappheit insbesondere fossiler Energieressourcen zu berücksichtigen (Saykowski 1995 in Moerschner 2000, 1).

In Bezug auf das vorangegangene Beispiel wäre für den ersten Punkt eine Endenergiebilanz heranzuziehen – mit der Systemgrenze des zu erhellenden Raumes. Wird der zweite Punkt verfolgt, empfiehlt sich eine Primärenergiebilanz.

Für die Verwendung der Energiebilanz-Methode in der Landwirtschaft gelten einige Besonderheiten und Ausnahmen. Mehr dazu in Kapitel 3.4. - zuerst soll aber noch der Landbau in generellen Zusammenhang mit Energie gestellt werden.

3.3 Energie und Landwirtschaft

Die Land- und Forstwirtschaft hat das Privileg Sonnenenergie über die Photosynthese der Pflanzen in Form von Biomasse zu binden und zu speichern. Dadurch unterscheidet sie sich von anderen Wirtschaftssektoren: es wird nicht nur Energie eingesetzt, sondern auch Sonnenenergie umgewandelt und dadurch nutzbar gemacht (vgl. Ramharter 1999, 13).

Seit jeher dient der Anbau von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen dazu, Nahrungsmittel für den Menschen, Futter für die Nutztiere und Rohstoffe für industrielle Produkte (Holz, Hanf, Lein, Schilf etc.) zu erzeugen (vgl. Baeumer 1992, 11). Bis auf die „industriellen“ Rohstoffe ging es also stets um die Produktion und die Nutzung von Energie in Form von:

- Nahrungsmitteln (Energie für den Menschen)
- Futtermitteln (Energie für die (Zug-) Tiere), d.h. in weiterer Folge für Mobilität, Arbeitsenergie oder Fleisch und
- Brennstoffen (Wärmeenergie).

Noch im frühen 20. Jahrhundert wurde der größte Teil der genutzten Energie rund um die ganze Welt von der Landwirtschaft bzw. von den von ihr genutzten Pflanzen zur Verfügung gestellt. Sogar der erste von Henry Ford konstruierte Benzin-Motor wurde für den Betrieb mit Ethanol entwickelt. Rudolf Diesels Motor sollte ursprünglich mit Erdnussöl laufen (vgl. Collins und Duffield 2005 in Outlaw 2005, 1).

Interessant im Zusammenhang mit Energiebilanzen ist aber nicht nur die Output-Seite der Landwirtschaft, sondern auch die Input-Seite. Hier hat sich im Laufe der Zeit vieles revolutionär verändert. Blickt man auf die Geschichte des Landbaues zurück, so kann man sie als einen Weg des Menschen zu Beherrschung der Natur sehen. Einer der erfolgreichsten Schritte war wohl der vom Jäger und Sammler zum Hirten und Ackerbauern. Aus energetischer Sicht kann festgehalten werden, dass der Energieeinsatz pro Flächeneinheit schon bei diesem Schritt zunahm - nämlich in Form von menschlicher Arbeitskraft. Dabei stieg auch der Output an verdaulicher Energie pro Flächeneinheit. Es kam zu einer Intensivierung.

Ackerbau und Viehzucht und in der Folge die Ausbeutung von Bodenschätzen und leicht zugänglichen Energie- und Rohstoffquellen (Wälder) machten eine geringe, wenn auch stetige Bevölkerungszunahme möglich. Natur wurde umgeformt zur Kultur, aber auch schon früh in weiten Teilen verwüstet. Diese weit reichenden Eingriffe wurden möglich durch die Züchtung von Haustieren und Nutzpflanzen, sowie durch technische und soziale Errungenschaften (z.B. Pflügen mit Hakenpflug unter tierischer Zugkraft).

Über mehrere tausend Jahre hinweg blieb die vorgegebene Bodenfruchtbarkeit, wenn sie denn überhaupt gepflegt und erhalten wurde, der begrenzende Faktor für die Produktivität des Landbaus. Die Feldfruchterträge brachten nicht mehr als das Drei- bis Fünffache des eingesetzten Saatgutes. Nicht nur Missernten, auch Seuchenzüge, soziale Spannungen und Kriege verursachten immer wieder Hungersnöte (vgl. Baeumer 1992, 482).

Ein weiterer erfolgreicher Schritt wurde zu Beginn des 19. Jahrhunderts in Westeuropa getan. Neue Energiequellen wurden erschlossen und damit der Übergang zur Industrialisierung eingeleitet. Die gleichzeitig einsetzenden gesellschaftlichen Veränderungen wie Urbanisierung, Entwicklung weltweiter Handelsbeziehungen und – für die Landwirtschaft selbst – die Bauernbefreiung, bewirkten einen Produktionsschub, der dazu führte, dass mit immer weniger Arbeitskräften immer mehr Menschen ernährt werden konnten. Mit neuen Kulturpflanzen und Züchtungsmethoden wurde die Leistungsfähigkeit der Feldfrüchte gesteigert. Aus bisher nicht zugänglichen Nährstoffquellen, den Mineraldüngern, insbesondere den synthetischen Stickstoffdüngern, aber auch mit der Zufuhr von Futtermitteln aus Übersee wurde die

Bodenfruchtbarkeit erhöht. Neue Verfahren des chemischen Pflanzenschutzes sicherten landwirtschaftliche Produktion auf hohem Niveau. Menschliche Arbeit wurde zunehmend durch Maschinen und fossile Energie ersetzt. Sukzessive stieg der Energieeinsatz pro Flächeneinheit an.

Mit jährlichen Zuwachsraten von 1 bis 2% war bei den Feldfrüchten bis in die 1990er Jahre noch kein Ende der Ertragssteigerung zu erkennen (vgl. Baeumer 1992, 482f).

Die Intensivierung des Landbaus in der oben beschriebenen Weise blieb und bleibt jedoch nicht ohne langfristige und weit reichende Folgen für die Umwelt, die Landschaft und den Naturhaushalt. Wind- und Wassererosionen, Eintrag von Schadstoffen in den Boden, die Atmosphäre und das Grund- und Oberflächenwasser sowie Störung von natürlichen Regelmechanismen sind hier zu nennen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass zunehmende Bevölkerungszahlen und zunehmender Wohlstand u.a. auf der Intensivierung des Landbaus, den steigenden Fossilenergie-Einsätzen, freiwerdenden Arbeitskräften aus der Landwirtschaft und auf zusätzlicher Umweltbelastung beruhen. Das Ökosystem Erde könnte nur 10 Millionen Menschen ernähren, wenn sie als Jäger und Sammler leben würden. Die agrarische Revolution brachte eine gewaltige Steigerung der Tragfähigkeit mit sich (vgl. Weish 2001, 107).

Nun scheint heute allerdings die Tragfähigkeit unseres Ökosystems Erde weit überschritten. Artenschwund und Klimawandel seien dafür die Hauptzeugen, ebenso wie 923 Millionen Menschen, die gemäß der UN-Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation (FAO) 2008 hungerten. Die heutige industrialisierte Landwirtschaft bewegt sich genau in diesem Spannungsfeld: Einerseits verbraucht sie ein großes Maß an (fossiler) Energie für Treibstoffe, Düngemittel, Pflanzenschutzmittel etc. (Inputseite der Energiebilanz) und trägt u.a. auch so zu Klimaveränderung und Artenschwund bei. Andererseits soll sie ausreichend Nahrung, Rohstoffe und eventuell auch Energie (Outputseite der Energiebilanz) zur Verfügung stellen.

3.4 Energiebilanzen in der Landwirtschaft

Mit der Intensivierung stiegen in der westeuropäischen und US-amerikanischen Landwirtschaft über Jahrzehnte die Energieinputs für Dünge- und Pflanzenschutzmittel, Maschinen und Geräte. Zugleich erhöhten sich die Erträge und die Energiebindung in der pflanzlichen Biomasse deutlich. Hieraus ergab sich auch im Zusammenhang mit der weltweiten Energiekrise im Jahre 1973 die Frage nach der Energieeffizienz (vgl. Hülsbergen 2008). Mit der energetischen Nutzung von Biomasse aus landwirtschaftlicher Produktion (Energiekorn, Pflanzenöl, Bio-Ethanol, Bio-Gas) erlangte die Fragestellung erneut Aktualität.

Zur Beurteilung der Energieeffizienz im Pflanzenbau können Energiebilanzen genutzt werden. Sie werden je nach Zielsetzung und Betrachtungsebene mit verschiedenen methodischen Ansätzen erstellt (vgl. Diepenbrock et al. 1995). Die Standardisierung der Ökobilanzmethode (DIN EN ISO 14040 – 14043) und darin enthalten auch die der Energiebilanz schreitet sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene stetig voran. Trotzdem ist bislang der äußere Rahmen energetischer Auswertungen insbesondere in der Landwirtschaft nicht verbindlich definiert. Darum unterscheiden sich diese bezüglich (Moerschner 2000, 12):

- der zu Grunde gelegten Zielsetzungen
- der jeweiligen Systemgrenzen und getroffenen Annahmen
- der Art der verwendeten Energiekennzahlen und Berechnungsgrundlagen
- der Differenzierung und dem Inhalt der verwendeten produktionstechnischen Datengrundlagen
- dem Vorgehen bei der Bilanzauswertung.

Eine häufig verwendete Methode ist allerdings die Prozessanalyse (Jones 1989), bei der alle Inputs fossiler Energie in ein landwirtschaftliches System analysiert werden. Die Sonnenenergie bleibt ebenso wie die menschliche Arbeitskraft unberücksichtigt.

4 Rahmenannahmen für die Energiebilanzierung in dieser Arbeit

Die folgenden Kapitel definieren die für diese Arbeit verwendeten Parameter zur Erstellung der Energiebilanzen und beziehen sich auf die Arbeiten von Moerschner 2000, Ramharter 1999, Pimentel 2003, Kaliski 2004 und Zeddies 2008.

4.1 Grundsätzliche Zielsetzung

Untersuchungsziel ist der energetische Vergleich der beiden Anbausysteme „biologisch“ und „konventionell“ auf den drei Betrachtungsebenen:

- einzelne Kultur,
- sechsjährige Fruchtfolge und
- Verwendung alternativer bzw. erneuerbarer Energiequellen.

4.2 Auswahl der Betrachtungsgrenzen

Für die Nachvollziehbarkeit der später dargestellten Ergebnisse ist eine klare Beschreibung der getroffenen Betrachtungsgrenzen notwendig, zu welchen auch die Beschreibung des angenommenen Bezugssystems und die definierten Systemgrenzen zu rechnen sind. Die Auswahl der Betrachtungsgrenzen erfolgte in Hinblick auf die drei zuvor angeführten Betrachtungsebenen (einzelnes Anbauverfahren, Systemvergleich und Verwendung modifizierter Energiequellen). Sie sind in den folgenden Kapiteln dargestellt.

4.2.1 Funktionale Einheiten und Bezugsgrößen

Die Betriebsmittel auf der Inputseite und die landwirtschaftlichen Erträge auf der Outputseite werden zunächst mit ihren metrischen Einheiten Kilogramm bzw. Liter angegeben. Nach ihrer energetischen Bewertung werden sie in Form von Energieeinheiten (MJ oder GJ) weiterbehandelt. Die Angaben beziehen sich stets auf die Bezugsgröße von einem Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche bzw. im Systemvergleich teilweise 6 Hektar (sechsjährige Fruchtfolge).

4.2.2 Räumliche Abgrenzung

Für die Erfassung der Betriebsmittelaufwendungen und Erträge wird der Feldrand als räumliche Systemgrenze angesehen. Besonderes Augenmerk muss hier auf das Betriebsmittel Diesel gelegt werden. Die Mengenaufwendungen entstehen durch die Arbeitsgänge am Feld. Fahrten vom Hof zum Feld sind nicht berücksichtigt. Ausnahmen bilden der Korntransport nach der Ernte und vereinzelt Düngerlade- und Transportarbeiten (an jeweiliger Stelle angegeben), da beides auch in der KTBL-Datensammlung berücksichtigt wird.

Ebenfalls Auswirkungen auf Erträge und Betriebsmittelmengen haben die Kennzahlen: Schlaggröße und Bodenart. In der KTBL-Datensammlung kann hier für die Bodenart zwischen leicht, mittel und schwer und für die Schlaggröße zwischen 1-ha, 2-ha, 5-ha und 20-ha-Schlag gewählt werden. Es wurden die Datensätze der Schlaggröße „2 Hektar“ und der Bodenart „mittel“ gewählt.

4.2.3 Zeitliche Abgrenzung

Der Untersuchungszeitrahmen ist im Verfahrensvergleich jeweils ein Bewirtschaftungsjahr, wobei dieses (am Beispiel Winterweizen) nach dem zweiten Stoppelgrubbern im September beginnt und mit Abschluss eben dieses Arbeitsganges im darauf folgenden Jahr endet.

Im Systemvergleich der sechsjährigen Fruchtfolge ist der Untersuchungszeitraum ein sechsjähriger, erneut beginnend mit dem Abschluss der zweiten Stoppelgrubberung der vorangegangenen Hauptfrucht und endend nach 6 Wirtschaftsjahren.

4.2.4 Systemgrenzen der Lebenswege und Bilanzierungstiefe

In dieser Arbeit wird der Ansatz der Primärenergie verfolgt (vgl. Kapitel 3.2). Mit dieser Methode wird der Gesamtenergiebedarf bestimmt, der zur Bereitstellung der Endenergieträger (Diesel) und der restlichen Betriebsmittel (Düngemittel, etc.), welche einen indirekten Energieeinsatz in das landwirtschaftliche System darstellen, aufgewendet werden muss. Es wird also der Prozessaufwand für Herstellung und Transport ausgewiesen - die Vorketten werden berücksichtigt.

Nicht berücksichtigt ist der für die Bereitstellung der Betriebsmittel notwendige Infrastruktur-Aufwand (Transportmittel, Transportwege, Stromnetz, Fertigungsstätten und Fabriken). Genauere Angaben zu den energetischen Bewertungen der einzelnen Betriebsmittel folgen im nächsten Kapitel.

4.3 Stoffliche Bilanzgrundlage und energetische Bewertung

4.3.1 Input

Tabelle 3 stellt die von unterschiedlichen Autoren berücksichtigten Betriebsmittel dar. Pimentel und Patzek erstellten in ihrer Arbeit Energiebilanzen für die Ethanolherstellung aus unterschiedlichen Ackerfrüchten. Sie berücksichtigten eine sehr detaillierte Auswahl an Betriebsmitteln. Ramharter führt zusätzlich noch tierische Arbeitskraft, Schmierstoffe und Gebäude an, berücksichtigt diese schlussendlich bei seinen vergleichenden Berechnungen zur konventionellen und biologischen Produktion allerdings nicht. Er geht davon aus, dass diese entweder auf beiden Seiten gleich eingesetzt werden oder von geringer Relevanz sind. Der wissenschaftliche Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz veranschlagt in einer sehr umfassenden Arbeit (Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung) bei den landwirtschaftlichen Verfahren in der Energiebilanz nur Diesel und Stickstoff (inklusive Vorketten: Herstellung, Transport etc.) auf der Inputseite. Hülsbergen vergleicht ökologische und integrierte Landbausysteme und vernachlässigt im Vergleich zu den ersten beiden Autoren einige Betriebsmittel. Das österreichische Umweltbundesamt berechnet mit Hilfe der GEMIS-Software Energie- und Treibhausgasbilanzen u.a. auch für Ackerfrüchte. Die verwendeten Inputparameter sind ähnlich wie die von Hülsbergen.

Tabelle 3: Berücksichtigte Betriebsmittel - Inputenergie (Literatúrauswahl)

Energie-Input	Autoren					Relevanz
	Pimentel und Patzek (2005)	Ramharter (1999)	Wiss. Beirat Agrarpolitik (2007)	Hülsbergen (2008)	UBA (2008)	
Menschl. Arbeitskraft	X	X				++
Tierische Arbeitskraft		(X)				+
Maschinen	X	X		X		+++
Diesel	X	X	X	X	X	+++
Benzin	X					++
Stickstoff	X	X	X	X	X	+++
Phosphor	X	X		X	X	++
Kalium	X	X		X	X	++
Kalk	X	X				++
Saatgut	X	X		X		++
Bewässerung	X					++
Herbizide	X	X		X	X	++
Insektizide	X	X		X	X	++
Elektr. Strom	X	X				+
Schmierstoffe		(X)				+
Gebäude		(X)				+

+ gering, ++ mittel, +++ hoch

In dieser Arbeit werden die Betriebsmittel **Diesel, Stickstoff, Phosphor, Kalium, Kalk** und **Pflanzenschutzmittel** auf der Inputseite berücksichtigt. Alle weiteren Energie-Input-Faktoren aus Tabelle 3 werden nicht berücksichtigt.

Tierische Arbeitskraft und Bewässerung kommen in den Fallbeispielen dieser Arbeit nicht vor. Elektrischer Strom, Schmierstoffe und Gebäude sollen auf Grund ihrer geringen Relevanz nicht in die Berechnungen eingehen. Menschliche Arbeitskraft, Maschinen, Benzin und Saatgut werden ebenfalls nicht berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass diese Faktoren im biologischen wie im konventionellen System in ungefähr gleichem Ausmaß zu verbuchen wären. Deshalb sollte sich das Nicht-Veranschlagen dieser Posten neutral auf die Bilanzergebnisse auswirken (vgl. Ramharter 1999, 51f).

Die energetische Bewertung der berücksichtigten Betriebsmittel erfolgt in Anlehnung an die Arbeit von Kaliski (2004). Er verfolgt den Ansatz des Primärenergieeinsatzes (Vorketten werden berücksichtigt), der in dieser Arbeit auch genutzt werden soll. Außerdem vergleicht Kaliski eine ausgewählte Anzahl an Studien, und verwendet schlussendlich immer Werte aus Studien, an denen Reinhardt beteiligt war, da er diese als aktuellste und weitest reichende einstuft. Durch die Gegebenheit, dass immer der gleiche Autor (Reinhardt) an der Errechnung aller Energie-Input Werte beteiligt war, sollte auch Vergleichbarkeit zwischen den energetisch bewerteten Betriebsmitteln gegeben sein (Kaliski 2004, 103 – 112). Tabelle 4 stellt die verwendeten Werte zusammen.

Tabelle 4: Primärenergieeinsatz für die Bereitstellung von Betriebsmitteln

Betriebsmittel	Energie-Input	
Diesel	39,65 MJ/l	Borken, Patyk, Reinhardt, 1999
Stickstoff	49,1 MJ/kg N	Patyk, Reinhardt, 1997
Phosphor	17,70 MJ/kg P ₂ O ₅	Patyk, Reinhardt, 1997
Kalium	10,50 MJ/kg K ₂ O	Patyk, Reinhardt, 1997
Kalk	2,39 MJ/kg CaO	Patyk, Reinhardt, 1997
Pflanzenschutzmittel	263,00 MJ/kg AS	Kaltschmitt und Reinhardt, 1997

(Quelle: Kaliski 2004, 103 – 112)

Der Energieinput für Diesel setzt sich aus dem Endenergiegehalt von 35,65 MJ/l und der Vorkettenenergie (Umwandlungs- und Transportenergie) von 4,0 MJ/l zusammen.

Für die Bilanz der Düngemittelbereitstellung verknüpfen Patyk und Reinhardt (1997) die Daten zum Primärenergieeinsatz der drei Lebenswegabschnitte Energiebereitstellung, Produktion und Transport. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass die angegebenen Ergebnisse der Zusammenführung für die durchschnittlichen abgesetzten Düngemittel entspringen, d.h. im gewichteten Mittel der unterschiedlichen N-, P- und K-Düngemittel, sowie im Mittel der Herkunftsländer.

Die Energieaufwendungen für die Bereitstellung von Pflanzenschutzmitteln von 263 MJ/kg aktiver Substanz ergeben sich aus den Arbeitsschritten Herstellung, Formulierung, Verpackung und Transport (vgl. Kaliski 2004, 107f).

4.3.2 Output

Auf der Outputseite werden in dieser Arbeit ausschließlich die Haupternteerzeugnisse veranschlagt. Sowohl der Aufwuchs der Gründüngung als auch die Biomasse der Zwischenfrüchte verbleiben auf dem Feld und werden wieder in den Boden eingearbeitet. Auch Getreide- und Erbsenstroh bzw. das Kartoffelkraut werden nicht abgeführt, sondern bleiben ebenfalls als humusfördernde Biomasse am Feld zurück.

Tabelle 5: Energie- und Trockenmassegehalte ausgewählter Ackerfrüchte

Ackerfrucht	MJ/kg Trockenmasse ^d	% Trockenmasse	MJ/kg Frischmasse ^d
Sonnenblume	27,4 ^a	91 ^a	24,9
Mais	18,5 ^b	86 ^a	15,9
Weizen	18,3 ^b	84 ^a	15,4
Gerste	18,2 ^b	84 ^a	15,3
Körnererbse	19,7 ^a	86 ^a	16,9
Kartoffel	16,8 ^b	23 ^a	3,9
Zuckerrübe	16,0 ^b	23 ^a	3,7
Roggen	17,9 ^b	84 ^c	15,0

^a Knoflacher et al. (1991) in Ramharter (1999, 27)

^b Darge (2002)

^c Stein-Bachinger et al. (2004, 35)

^d Brennwerte beziehen sich auch den Unteren Heizwert

Tabelle 5 gibt einen Überblick über die Brennwerte ausgewählter Kulturarten. In den Berechnungen dieser Arbeit wird mit den Angaben zu MJ/kg Frischmasse gearbeitet, welche über die Feuchtegehalte aus den Energieangaben pro Kilogramm Trockenmasse errechnet wurden.

4.4 Bilanzauswertung

Zu einer Energiebilanz zählen zunächst Energieeinsatz (Energie-Input) und Energieertrag (Energie-Output od. Brutto-Energie-Ertrag). Weiters können daraus die Kriterien Energiegewinn (Differenz aus diesen Angaben) und Energieintensität abgeleitet werden (Moerschner 2000, 86).

In dieser Arbeit werden neben den beiden Kennzahlen Energie-Input und Energie-Output für die weitere Bilanzauswertung auch noch die Kennzahlen Netto-Energie-Ertrag (NEE) und Output/Input-Relation (OIR) verwendet.

- Der **Energie-Input** entspricht dem Energieeinsatz. In ihm sind alle berücksichtigten Energieaufwendungen summiert.
- Der **Energie-Output** entspricht dem energetisch bewerteten landwirtschaftlichen Ertrag und kann auch als Brutto-Energie-Ertrag bezeichnet werden. Er wird ebenfalls flächen- und zeitbezogen ermittelt (MJ/ha/a od. für die gesamte sechsjährige Fruchtfolge teilweise auch MJ/6ha/a).
- Der **Netto-Energie-Ertrag (NEE)** errechnet sich aus dem Energie-Ertrag abzüglich des Energieinputs. Er beschreibt also die Produktivität eines Verfahrens und bezieht sich auf eine Fläche und einen Zeitraum (MJ/ha/a od. für die gesamte sechsjährige Fruchtfolge MJ/6ha/a).
- Die **Output/Input-Relation (OIR)** entspricht dem Verhältnis aus Energie-Ertrag und Energie-Input ($OIR = \text{Energieoutput} : \text{Energieinput}$) und kann auch als Energieeffizienz bezeichnet werden. Es handelt sich hierbei um eine dimensionslose Größe. Trotzdem bezieht sie sich auf eine bestimmte Fläche und einen bestimmten Zeitrahmen.

Die von Moerschner angeführte Kennzahl der Energieintensität drückt den Energieeinsatz je Ertragseinheit aus, also z.B. MJ/kg Weizen. Sie wird in dieser Arbeit allerdings nicht verwendet, weil dieser Wert keine zusätzlichen relevanten Informationen für diese Arbeit liefert.

An dieser Stelle scheint noch ein kurzer Exkurs zu den Termini Effizienz und Produktivität angebracht, da diese teilweise unterschiedlich eingesetzt werden. Ramharter (1999, 55) erklärt Energieproduktivität als eine Kennzahl, die die erzeugte Produktmenge je aufgewendeter Energieeinheit angibt. Sie ist somit nicht nur ein energetischer, sondern auch ein ökologischer Maßstab für ein Verfahren. Weiters beschreibt er die Energieeffizienz eines landwirtschaftlichen Betriebes als das Verhältnis der Energieaufwendungen zum Energie-Ertrag. Er verwendet also die Begriffe Produktivität und Effizienz eventuell synonym.

In der KTBL-Schrift 463: Energieeffiziente Landwirtschaft (Döhler 2008) publizieren Brentrup und Küsters Berechnungen für stickstoffgedüngte und nicht gedüngte Flächen. Die gedüngten Flächen weisen deutlich höhere Netto-Energieerträge, aber auch geringere Output/Input-Relationen auf. Die Autoren sprechen hier von einer verbesserten Energiebilanz für die gedüngten Flächen. Heissenhuber beschreibt im selben Band den Begriff Effizienz als das „Verhältnis eines in definierter Qualität vorgegebenen Zieles (Output) zu dem Aufwand (Input), der zur Erreichung dieses Zieles nötig ist“ (Heissenhuber 2008 in Döhler 2008, 42). In dieser Schrift findet sich noch eine weitere Definition: „Energieeffizienz oder Ressourcenproduktivität definieren sich zunächst recht einfach als das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand“ (Brunsch et al. 2008 in Döhler 2008, 116).

In der vorliegenden Arbeit sind wie in der von Moerschner (2000, 88f) die Begriffe Produktivität mit Netto-Energie-Ertrag und Energieeffizienz mit Output/Inputrelation gleichgesetzt. Grundsätzliche Aussagen über das Bilanzergebnis als Ganzes werden nicht getroffen.

4.5 Ergebnisse – Stand des Wissens zu Energiebilanzen im Ackerbau

In der landwirtschaftlichen Praxis werden ganz unterschiedliche Systeme gefahren mit dementsprechend unterschiedlichen Energieintensitätsniveaus. Bleibt die Frage offen: Warum eigentlich?

Heissenhuber ortet grundsätzlich das Problem der energieineffizienten Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen darin, dass eine Produktionsweise mit höchster Energieeffizienz nicht generell der höchsten ökonomischen Effizienz entspricht. Das ist darauf zurückzuführen, dass sowohl auf der Inputseite (Betriebsmittel) als auch auf der Outputseite (Erträge) die Energiegehalte nicht den Kosten entsprechen (vgl. Heissenhuber 2008 in Döhler 2008, 43). Das heißt, dass der höchste ökonomische Deckungsbeitrag nicht mit dem höchsten Energie-DB einhergeht bzw. einhergehen muss. Energetische (also in weiterer Folge auch ökologische) Effizienz und ökonomische Effizienz driften auseinander.

Wie schon in der Einleitung beschrieben, sind die Ergebnisse der Energiebilanzen für den Bereich Ackerbau allerdings recht unterschiedlich. Brunsch stellt fest, dass das Interesse an der Bewertung landwirtschaftlicher Systeme hinsichtlich ihres Einflusses auf die Umwelt zunehmend wächst. Dabei können aber Effizienzbetrachtungen in Abhängigkeit von der Bezugsbasis und den Systemgrenzen zu differenzierten Ergebnissen führen, und diese wieder zu trügerischen Schlussfolgerungen (vgl. Brunsch et al. 2008 in Döhler 2008, 115).

Der gesamte Energieeinsatz bewegt sich im konventionellen Anbau in einer Größenordnung von circa 10 – 15 GJ/ha (Küstermann et al. 2007). Wechselberger (2000) ermittelte für den Weizenanbau circa 14 GJ/ha. Für die durchschnittliche Fruchtfolge eines Marktfruchtbetriebes ermittelte er einen Energieinput von circa 20 GJ/ha bei konventioneller Wirtschaftsweise; für die ökologische Wirtschaftsweise im Durchschnitt einer vergleichbaren Fruchtfolge einen Energieinput von circa 10 GJ/ha. Küstermann et al. (2007) ermittelten für den Ökolandbau einen Energieinput in einer Bandbreite von 4 bis knapp 8 GJ/ha (alle in Döhler 2008, 44f). Bei Pimentel und Patzek (2005) hingegen liegt der Energieinput für Mais bei 34 GJ/ha und für Sonnenblume bei rund 26 GJ/ha.

Brentrup und Küsters sind der Ansicht, dass die steigende Nachfrage nach Biomasse für unterschiedliche Nutzungszwecke zu einer zunehmenden Konkurrenz um Flächen führt, und der Einsatz mineralischer Düngemittel hilft, die vorhandenen Flächen möglichst effizient zu nutzen und einen optimalen Energieertrag zu erzielen. So wird in Abhängigkeit von der Kultur 10 bis 15-mal mehr Energie durch den N-Düngereinsatz gebunden, als durch Produktion, Transport und Ausbringung des Düngers verbraucht wird (Brentrup und Küsters in Döhler 2008, 56). Dem gegenüber steht die Arbeit von Ramharter. Er errechnet für die Kulturen W-Weizen, Sommergerste, Körnererbse, Sojabohne, Sonnenblume und Kartoffel die höhere Energieeffizienz (also ein besseres Output-Input-Verhältnis) im biologischen System, nicht im konventionellen (Ramharter 1999, 190). Auch Kaliski kommt zu dem Ergebnis, dass biologische Ackerbaubetriebe energieeffizienter arbeiten als konventionelle (Kaliski 2004, 159).

Hülsbergen kommt zu dem Schluss, dass letztlich für die Energieeffizienz von Anbausystemen keine pauschalen Einschätzungen abgeleitet werden können. Je nach Standort und Management wird die Energieeffizienz recht unterschiedlich sein (Hülsbergen in Döhler 2008, 97).

5 Ergebnisse und Diskussion

Zu Beginn des Ergebnisteiles sei noch einmal darauf hingewiesen, dass es nicht Ziel dieser Arbeit ist, neue Ergebnisse darüber zu liefern, welche Bewirtschaftungsform (biologisch oder konventionell) im Ackerbau die energieeffizientere ist. Viel mehr geht es darum die Energiebilanzmethode für den Bereich Ackerbau erklärend anzuwenden, und dabei kritische Schlüsse auf unterschiedliche Annahmen und Interpretationsmöglichkeiten der Ergebnisse zu ziehen. Trotzdem wurde natürlich versucht mit möglichst verlässlichen und nachvollziehbaren Daten, Werten bzw. Mengenangaben (Diesel- und Düngemittelverbrauch, Erträge, etc.) aus der landwirtschaftlichen Praxis zu kalkulieren.

5.1 Einzelne Kultur (Winterweizen)

In diesem Kapitel werden jeweils für einen Hektar konventionell bewirtschaftete Ackerfläche und einen Hektar biologisch bewirtschafteter Ackerfläche Energiebilanzen erstellt und diese miteinander verglichen. Stellvertretend für die unterschiedlichen Ackerbaukulturarten wird mit Winter-Weizen bilanziert (Tabelle 6).

Tabelle 6: 1 ha Winter-Weizen – biologisch und konventionell (hohe Kalium: 1000 kg): Betriebsmitteleinsatz, Energieaufwendungen und Bilanzkennzahlen für ein Jahr

Betriebsmittel	Einh.	MJ/Einh.	WW-Bio NPK; Kk=1000kg ^a		WW-Konv NPK; Kk=1000kg ^b	
			Menge	GJ	Menge	GJ
Diesel	l	39,7	83,1 ^c	3,3	86,7 ^c	3,4
N	kg	49,1	126,0 ^d	6,2	168,0 ^d	8,2
P2O5	kg	17,7	54,0 ^d	1,0	72,0 ^d	1,3
K2O	kg	10,5	61,0 ^d	0,6	82,0 ^d	0,9
Pflanzenschutz	kg	263,0	0,0 ^d	0,0	5,0 ^d	1,3
Kalk	kg	2,4	1000,0 ^e	2,4	1000,0 ^e	2,4
Summe Input				13,5		17,5
Output	kg	15,4	6000,0 ^f	92,4	8000,0 ^f	123,2
Netto-Energieertrag				78,9		105,7
Output/Input-Relation				6,9		7,0

^a System biologisch, Energiewert des organischen Düngers wird am Energiewert des mineralischen NPK-Düngers bemessen, welcher durch den organischen Dünger substituiert wird, 1000 kg Kalk/ha/a.

^b System konventionell, Energiewert des mineralischen NPK-Düngers, 1000 kg Kalk/ha/a.

^c KTBL-Datensammlung (2004/05) - siehe Anhang 1

^d Standard-DB-Katalog (BMLFUW 2002c) – siehe Anhang 1

^e KTBL-Datensammlung (2004/05)

^f Freyer (2003, 17)

Wesentlich für das Verständnis dieser ersten Gegenüberstellung ist, wie es zu den einzelnen Werten der Energieaufwendungen (Spalte GJ) kommt. Hierfür werden die Aufwandsmengen der einzelnen Betriebsmittel mit den Energiewerten (Spalte MJ/Einheit) multipliziert. Die Aufwandsmengen für Diesel ergeben sich aus den einzelnen Arbeitsgängen von der Herbstackerung im September bis zum zweiten Stoppelgrubbern im Folgejahr laut KTBL-Datensammlung 2004/05 (siehe Anhang 1).

Da der Dieselverbrauch für die Erntearbeitsgänge ertragsabhängig (auch Anhang 1) ist, ergibt sich auf konventioneller Seite insgesamt ein etwas höherer Dieselverbrauch.

Die Mineraldünger-Aufwandsmengen (Stickstoff, Phosphor und Kali) auf konventioneller Seite entstammen dem Standard-DB-Katalog (BMFLUW 2002c), da dort genauere Angaben zu finden waren als in der KTBL-Datensammlung. In den Standard-DB-Katalogen wird bei der Berechnung der nötigen Düngermengen von Düngung auf Entzug ausgegangen, und die Nährstoffrücklieferung aus dem Stroh, welches am Feld verbleibt, wird berücksichtigt (siehe Anhang 1).

Im biologischen Ackerbau wird auf chemisch synthetische Düngemittel verzichtet. Eine ausgewogene Fruchtfolge mit entsprechendem Leguminosenanteil soll die N-Versorgung sicherstellen. Für die Phosphor- und Kali-Versorgung können schwer lösliche Düngerformen zum Einsatz kommen (z.B.: Knochenmehl, Kartoffelfruchtwasser, Rohphosphate, Kaliumsulfat, Gesteinsmehle). Hier ist die energetische Bewertung erschwert, da für schwerlösliche Düngemittel keine verlässlichen Daten vorliegen (vgl. Kaliski 2004, 110). Auch die energetische Bewertung der N-Düngung, die über eine längere Fruchtfolge gewährleistet wird, ist komplexer. Deshalb soll vorerst der Ansatz von Ramharter (1999, 45) verfolgt werden. Hier wird den organischen Düngemitteln der Energiewert zugewiesen, den die mineralischen Düngemittel, die substituiert werden, aufweisen (vgl. auch Kapitel 4.3.1). Pflanzenschutzmittel kommen auf biologischer Seite nicht zum Einsatz. In beiden Systemen wird laut KTBL eine Kalkmenge von 1000kg/ha/a ausgebracht. Werden nun die einzelnen Energieinput-Größen summiert, so weist das konventionelle System mit 17,5 GJ/ha/a den deutlich höheren Energieinput auf als das biologische mit 13,5 GJ/ha/a. Der Energie-Output ergibt sich über die landwirtschaftlichen Winter-Weizen Erträge, die energetisch mit dem Brennwert von Weizen bemessen werden. Hier liegt das konventionelle Verfahren mit 8000 kg/ha/a Ertrag deutliche vor dem biologischen mit nur 6000 kg/ha/a. Aus Energie In- und Output lassen sich die beiden Kennzahlen Netto-Energieertrag und Output/Input-Relation errechnen. Das konventionelle System ist beim Netto-Energie-Ertrag voran. Die Output/Input-Relation betreffend sind beide Systeme mit 6,9 bzw. 7,0 quasi gleich auf.

5.1.1 Unterschiedliche Datengrundlagen für die Kalkung

Die KTBL-Daten für die Kalkung pro Hektar und Jahr liegen mit 1000 kg vergleichsweise hoch. In den österreichischen Deckungsbeitragskatalogen wird mit dem geringeren Kalkaufwand von 300 kg pro Hektar und Jahr kalkuliert (vgl. BMLFUW 2002c). Demnach wurde im folgenden Fallbeispiel mit 300 kg Kalk bilanziert, um die Auswirkungen einer geringeren Kalkung (unterschiedlicher Datengrundlagen) auf die Energiebilanz darzustellen (Tabelle 7).

Tabelle 7: 1 ha Winter-Weizen – biologisch und konventionell (geringe Kalkung: 300 kg): Bilanzkennzahlen, Betriebsmitteleinsatz und Energieaufwendungen für ein Jahr

Betriebsmittel	Einh.	MJ/Einh.	WW-Bio NPK; Kk=300kg		WW-Konv NPK; Kk=300kg	
			Menge	GJ	Menge	GJ
Diesel	l	39,7	83,1 ^a	3,3	86,7 ^a	3,4
N	kg	49,1	126,0 ^b	6,2	168,0 ^b	8,2
P2O5	kg	17,7	54,0 ^b	1,0	72,0 ^b	1,3
K2O	kg	10,5	61,0 ^b	0,6	82,0 ^b	0,9
Pflanzenschutz	kg	263,0	0,0 ^b	0,0	5,0 ^b	1,3
Kalk	kg	2,4	300,0 ^b	0,7	300,0 ^b	0,7
Summe Input				11,8		15,9
Output	kg	15,4	6000,0 ^c	92,4	8000,0 ^c	123,2
Netto Energieertrag				80,6		107,3
Output/Input-Relation				7,8		7,8

^a KTBL-Datensammlung (2004/05) - siehe Anhang 1

^b Standard-DB-Katalog (BMLFUW 2002c) – siehe Anhang 1

^c Freyer (2003, 17)

Die Energieeinsparungen wirken sich auf beiden Seiten positiv auf die Bilanzkennzahlen aus. Das konventionelle Verfahren bleibt jedoch nach wie vor beim Netto-Energie-Ertrag klar voran.

5.1.2 Unterschiedliche Datengrundlagen für die biologische Düngung

Da davon auszugehen ist, dass sich die energetische Bewertung der organischen Düngemittel nach den substituierten mineralischen Düngemitteln zu Ungunsten des biologischen Systems auswirkt (vgl. Kaliski 2004, 110), sollen im folgenden Beispiel zwei andere Ansätze verfolgt werden.

Im ersten Ansatz wird im biologischen System von einer 6-jährigen (Markt-) Fruchtfolge ausgegangen. Eine einjährige Gründüngung (Luzerne) im ersten Jahr deckt die Stickstoff-Versorgung für fünf Hauptfrüchte in den Folgejahren. Der durch die Gründüngung entstehende zusätzliche Dieselaufwand wird diesen fünf Hauptkulturen zugerechnet - also gefünftelt. Das führt zu zusätzlichen Dieselaufwendungen von 13,61 Litern pro Kultur (Tabelle 8 und Anhang 1). Dafür wird der N-Dünger selbst energetisch mit dem Faktor Null bewertet.

Weiters soll nach Bio-Richtlinien zugelassener Phosphor- und Kalidünger ausgebracht werden, um die P- und K-Versorgung sicherzustellen. Energetisch bewertet werden soll dieser wie schon zuvor entsprechend dem Mineraldünger auf konventioneller Seite werden, auch wenn davon auszugehen ist, dass sich das zu Ungunsten des biologischen Systems auswirkt, da im ökologischen Landbau lediglich schwerlösliche Formen von Phosphat- und Kalidüngern mit vergleichsweise geringerem Aufbereitungsgrad zugelassen sind (vgl. Kaliski 2004, 110).

Tabelle 8: 1 ha Winter-Weizen - biologisch und konventionell (untersch. Datengrundlagen f. organische Düngung): Bilanzkennzahlen, Betriebsmitteleinsatz und Energieaufwendungen für ein Jahr

			WW-Bio N ü. GD, PK; Kk=300kg		WW-Bio Zukauf v. Wi.- Düng.; Kk=300kg		WW-Konv NPK; Kk=300kg	
Betriebsmittel	Einh.	MJ/Einh.	Menge	GJ	Menge	GJ	Menge	GJ
Diesel	l	39,7	96,7 ^a	3,8	96,5 ^b	3,8	86,7 ^c	3,4
N	kg	49,1	0,0	0,0	0,0	0,0	168,0 ^d	8,2
P2O5	kg	17,7	54,0 ^d	1,0	0,0	0,0	72,0 ^d	1,3
K2O	kg	10,5	61,0 ^d	0,6	0,0	0,0	82,0 ^d	0,9
Pflanzenschutz	kg	263,0	0,0 ^d	0,0	0,0	0,0	5,0 ^d	1,3
Kalk	kg	2,4	300,0 ^d	0,7	300,0 ^d	0,7	300,0 ^d	0,7
Summe Input			6,1		4,5		15,9	
Output	kg	15,4	6000,0 ^e	92,4	6000,0 ^e	92,4	8000,0 ^e	123,2
Netto-Energieertrag			86,3		87,9		107,3	
Output/Input-Relation			15,0		20,3		7,8	

^a = 83,11 + 13,61 (Gründüngung/5) siehe Anhang 1

^b = 80,72 + 15,80 (Wirtschaftsdüngerausbringung) siehe Anhang 1

^c KTBL-Datensammlung (2004/05) – siehe Anhang 1

^d Standard-DB-Katalog (BMLFUW 2002c) – siehe Anhang 1

^e Freyer (2003, 17)

Der zweite Ansatz geht davon aus, dass das biologische System über zugekauften Wirtschaftsdünger mit Nährstoffen versorgt wird. Laut KTBL-Datensammlung sollen hierfür 20m³ Festmist und 20m³ Jauche ausgebracht werden. Für die Ausbringung wird ein zusätzlicher Dieselaufwand von 15,8 Litern veranschlagt. Energetisch bewertet werden soll der Wirtschaftsdünger mit dem Wert Null, nach dem Ansatz bei dem tierische Dünger als Abfallsprodukt der Fleisch- oder Milchproduktion zu betrachten sind (vgl. Kaliski 2004, 111).

Beide Ansätze lassen den Energieinput auf biologischer Seite von 11,8 im vorangegangenen Beispiel rasant sinken: auf 6,1 bzw. sogar 4,5 GJ/ha/a. Dies führt dazu, dass nun die biologischen Varianten bei der Output/Input-Relation ganz klar vor dem konventionellen System liegen.

5.1.3 Synthese

Tabelle 9 und Abbildung 7 stellen nochmals die Bilanzkennzahlen der ersten Fallbeispiele zusammen. Deutlich wird, dass die konventionellen Systeme bei Energieoutput und Netto-Energieertrag bei allen Fallbeispielen um rund 20% voran liegen.

Tabelle 9: Bilanzkennzahlen der unterschiedlichen Fallbeispiele für die einzelne Kultur Winter-Weizen

	WW-Bio NPK; Kk=1000kg	WW-Bio NPK; Kk=300kg	WW-Bio N ü. GD, PK; Kk=300kg	WW-Bio Zukauf v. Wi.Düng.; Kk=300kg	WW-Konv NPK; Kk=1000kg	WW-Konv NPK; Kk=300kg
Input GJ/ha/a	13,5	11,8	6,1	4,5	17,5	15,9
Output GJ/ha/a	92,4	92,4	92,4	92,4	123,2	123,2
Netto- Energie- ertrag GJ/ha/a	78,9	80,6	86,3	87,9	105,7	107,3
Output/Input- Relation	6,9	7,8	15,0	20,3	7,0	7,8

WW-Bio = Winter-Weizen Biologisch, WW-Konv = Winter-Weizen Konventionell

NPK = Energiewert der NPK-Dünger gemessen am Energiewert der mineralischen NPK-Dünger

N ü. GD = Stickstoff-Düngung über einjährige Gründüngung

Zukauf v. Wi.-Düng. = NPK-Düngung über zugekauften Wirtschaftsdünger

Kk = Kalk

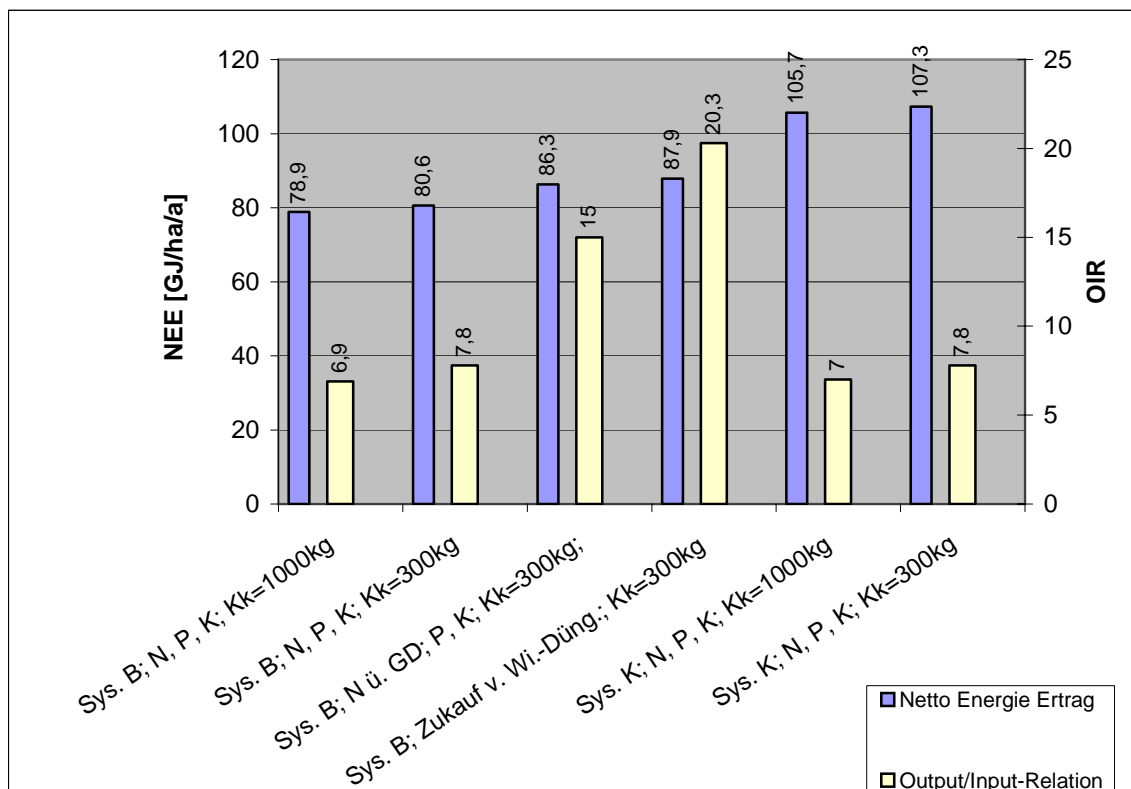


Abbildung 7: Netto-Energieerträge und Output/Input-Relationen für die einzelne Kultur Winter-Weizen

Änderungen wurden bei den unterschiedlichen Fallbeispielen ja nur auf der Inputseite vorgenommen (geringere Kalkung, unterschiedliche Vorgangsweisen bei der organischen Düngerbewertung). Da der Energieinput im Vergleich zum Output bei allen Varianten recht gering ist, bringen die Änderungen auf der Inputseite eher geringe Änderungen der Netto-Energieerträge.

Anders bei den Output/Input-Relationen: Während die Auswirkungen der geringeren Kalkung noch eher verhalten sind, wirken sich die unterschiedlichen Zugangsweisen bei der Düngerbewertung eklatant aus, und die biologischen Systeme liegen mit 15,0 und 20,3 ganz klar voran.

5.2 Sechsjährige Fruchtfolge

In den vorangegangenen Fallbeispielen wurde deutlich, dass die Vorgehensweise bei der energetischen Bewertung des organischen Düngers den größten Einfluss auf die Bilanzkennzahlen hat.

Bei der Zugangsweise, in der eine einjährige Gründüngung (Luzerne) die N-Versorgung sicherstellt, wurde der Dieselverbrauch für die Gründüngung der Hauptkultur (Winter-Weizen) anteilmäßig zugerechnet. Was nicht berücksichtigt wurde, ist ein mit der Gründüngung einhergehender „Flächenverlust“, der sich zu Ungunsten des biologischen Systems auswirkt. Wenn davon ausgegangen wird, dass die Biomasse der Gründüngung in einem Marktfruchtbetrieb wieder in den Boden eingearbeitet wird, ergibt das einen Energieertrag pro Hektar und Jahr von Null Gigajoule. Auf konventioneller Seite kann im selben Jahr auf diesem Hektar eine Cashcrop (z.B. noch einmal Winter-Weizen) geerntet werden. Um diesen Flächenverlust zu berücksichtigen, sollen in den folgenden Fallbeispielen ganze Fruchtfolgen verglichen werden. Die gewählte Fruchtfolge ist in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Sechsjährige Marktfrucht-Fruchtfolge – Hauptkulturen und Zwischenfrüchte

	Biologisch	Konventionell
1. Jahr	Gründüngung-Luzerne	Winter-Weizen
2. Jahr	Winter-Weizen	Winter-Weizen
Zwischenfrucht	Sommerwicke	Senf
3. Jahr	Kartoffel (mittel)	Kartoffel (mittel)
Zwischenfrucht	Buchweizen	Buchweizen
4. Jahr	Futtererbse	Futtererbse
5. Jahr	Winter-Roggen	Winter-Roggen
Zwischenfrucht	Buchweizen + Phacelia	Senf
6. Jahr	Sommer-Gerste (Braugerste)	Sommer-Gerste (Braugerste)

Die biologische Seite unterscheidet sich von der konventionellen durch die Luzerne-Gründüngung im ersten Jahr und die Sommerwicke als erste Zwischenfrucht. Die Luzerne deckt gemeinsam mit der Sommerwicke die Stickstoffversorgung im biologischen System und wird wieder in den Boden eingearbeitet. Auf beides kann auf konventioneller Seite, ob der Verwendung von mineralischen N-Düngemitteln, verzichtet werden.

Für die weiteren Berechnungen gelten die Annahmen, dass die Nebenernteprodukte (Stroh und Kartoffelkraut) am Feld verbleiben und wieder eingearbeitet werden. Die Haupternteprodukte (Erträge) verlassen als Bruttoenergieertrag den Betrieb, was zu einer erheblichen Nährstoffausfuhr führt. Dieser Nährstoffverlust wird auf konventioneller Seite über mineralische Düngemittel wieder ausgeglichen. Im biologischen System schließt der Leguminosenanbau den Stickstoffkreislauf. Phosphor und Kali sollen weiterhin über im ökologischen Landbau zugelassene PK-Dünger zugeführt werden, um der Nährstoffverarmung vorzubeugen. Nur die Dieselaufwendungen zur PK-Dünger-Ausbringung sollen nun auf biologischer Seite vernachlässigt werden, da diese mit 2,39 Litern pro Hektar und Jahr verhältnismäßig gering sind. Für die Kalkung werden weiterhin sowohl auf biologischer als auch auf konventioneller Seite 300kg/ha/a veranschlagt.

Die genauen Betriebsmitteleinsätze, Energieaufwendungen und Kennzahlen der gesamten Fruchtfolgen und daran anschließend die Dieselaufwendungen, aufgeschlüsselt nach den einzelnen Kulturen, sind in Anhang 2 zu finden. Abbildung 8

stellt die Netto-Energie-Erträge des biologischen und des konventionellen Systems zusammen.

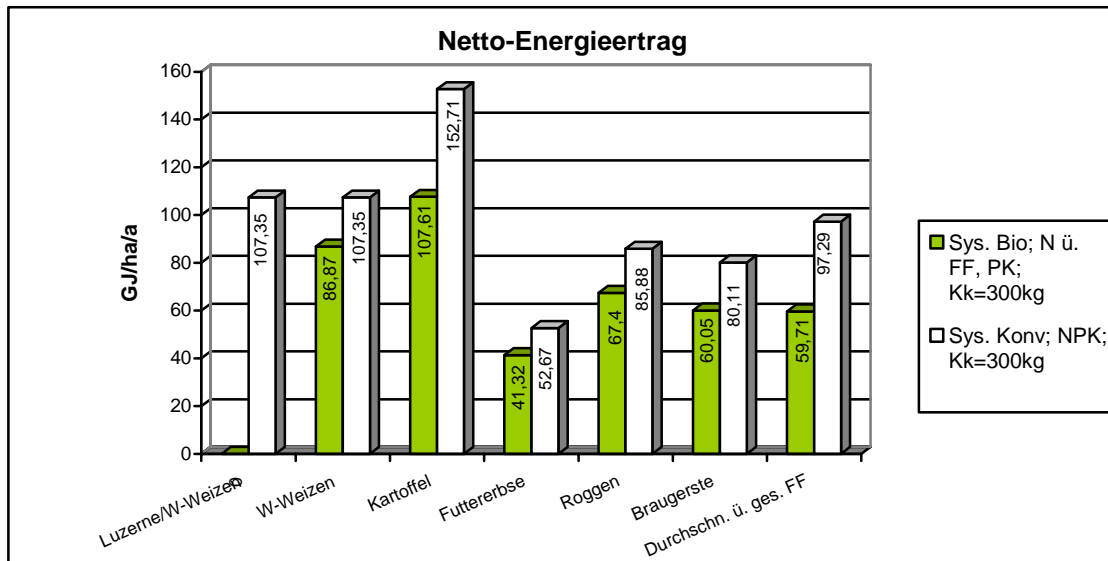


Abbildung 8: Netto-Energieerträge im Fruchtfolgevergleich

Es sind hier zuerst die Netto-Energieerträge für alle Kulturen einzeln dargestellt. Die konventionelle Wirtschaftsweise liegt bei allen voran. Auch bei der gesamten Fruchtfolge setzt sich das konventionelle System gegenüber der biologischen Variante klar ab.

Der Netto-Energieertrag der biologischen Fruchtfolge liegt mit durchschnittlich $59,71 \text{ GJ/ha/a}^1$ deutlich unter dem Durchschnitt der fünf biologischen Cashcrops, der bei $72,58 \text{ GJ/ha/a}^2$ liegt. Dies ist auf den Null-Ertrag der Gründung zurückzuführen und ein damit „verlorenes“ Jahr. Hinzu kommen auch noch die Energieaufwendungen der drei Zwischenfrüchte, welche ebenfalls keinen (Energie-)Ertrag liefern. Der durchschnittliche Netto-Energieertrag eines Fruchtfolgejahres ($59,71 \text{ GJ/ha/a}$) liegt auch deutlich unter den Netto-Energieerträgen für biologischen Winter-Weizen aus den vorangegangenen Fallbeispielen für die einzelne Kultur Winterweizen ($78,9$ bis $87,9 \text{ GJ/ha/a}$, siehe Kapitel 5.1).

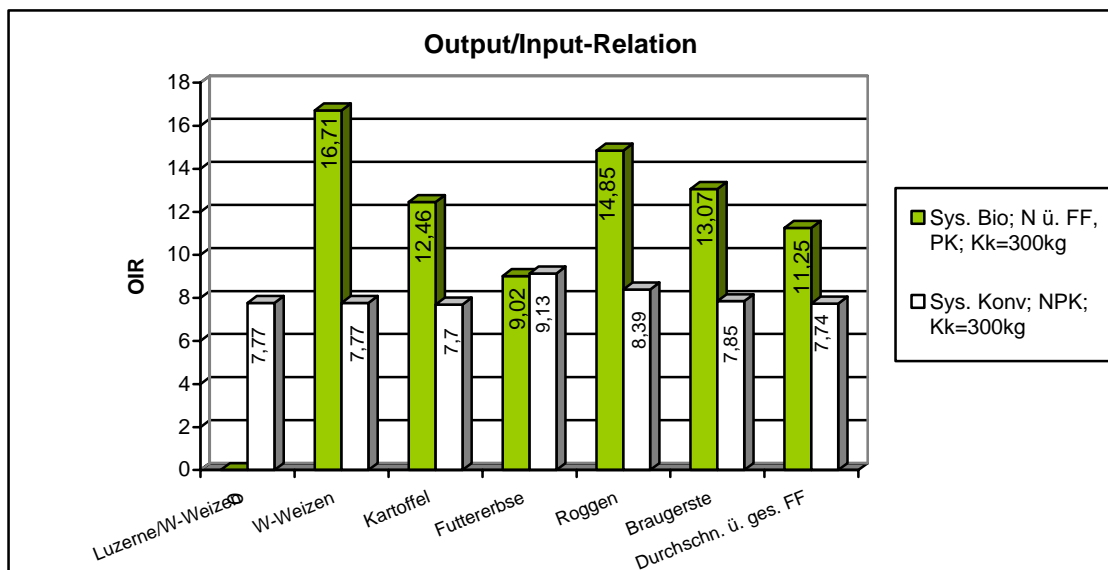


Abbildung 9: Output/Input-Relationen im Fruchtfolgevergleich

¹ (= NEE von 6 ha: $358,26 / 6$) siehe auch Anhang 2

² (= $86,87 + 107,61 + 41,32 + 67,04 + 60,05 / 5$)

Bezüglich der Output/Input-Relationen (Abbildung 9) liegt das biologische Anbauverfahren sowohl bei den einzelnen Kulturen als auch beim Durchschnitt für die ganze Fruchtfolge (Energieoutput der Cashcrops dividiert durch den Energieinput für Luzerne, Zwischenfrüchten und Cashcrops, siehe auch Anhang 2) voran. Eine Ausnahme bildet die Kultur Futtererbse, wo die konventionelle Variante knapp besser aussteigt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass hier auf konventioneller Seite ebenfalls keine N-Düngung verabreicht wird, die Erträge auf konventioneller Seite jedoch trotzdem höher angenommen sind.

5.2.1 Energieeinsparungen durch reduzierte Bodenbearbeitung

In Anhang 2 ist zu sehen, dass der Pflug sowohl in der konventionellen als auch in der biologischen Fruchtfolge jedes Jahr zum Einsatz kommt. Obwohl in der KTBL-Datensammlung so angegeben, entspricht das in vielen Fällen nicht der landwirtschaftlichen Praxis. Hier besteht generell Dieseleinsparungspotential. Der Pflug kann durch andere bodenbearbeitende Maschinen ersetzt werden, welche weniger Zugkraft benötigen, oder der Arbeitsgang entfällt ganz.

Die KTBL-Datensammlung führt für die konventionelle Produktion eine Direktsaat-Variante (reduzierte Bodenbearbeitung). Bei den Kulturen Winter-Weizen, Futtererbse und Gerste können hier rund 40% Diesel im Vergleich zur konventionell wendenden Variante (mit Pflug) eingespart werden. Eine Ausnahme bildet die Kartoffel, hier kann der Pflug nach KTBL nur durch den Tiefengrubber in Kombination mit der Kreiselegge ersetzt werden. Der Dieseleinsatz sinkt dabei nur von 128 auf 124 Liter pro Hektar und Jahr. In Summe können nach den eigenen Berechnungen dieser Arbeit in der sechsjährigen Fruchtfolge rund 20 Prozent Diesel mit der reduzierten Bodenbearbeitung eingespart werden. Die genauen Arbeitsschritte und die daraus folgenden Dieserverbrauchswerte sind in Anhang 2 dargestellt.

Stellvertretend für Diesel sparende Bewirtschaftungsformen sollen an dieser Stelle Energiebilanzen für die Systeme „konventionell mit reduzierter Bodenbearbeitung“ und zusätzlich auch noch „konventionell mit reduzierter Bodenbearbeitung & 50% mehr Pflanzenschutzmittel“ erstellt werden, da bei der Anwendung der Direktsaatsmethode mit einem höheren Verbrauch von Herbiziden gerechnet werden muss (vgl. Boxberger et. al. 2005, Internet).

Die Energiebilanzen wurden erneut für eine sechsjährige Marktfruchtfolge (vgl. Tabelle 10) erstellt – mit Kalkgaben von 300kg/ha/a und mineralischer Düngung (NPK). Die wichtigsten Kennzahlen sind in Tabelle 11 zusammengestellt (detaillierte Darstellung siehe Anhang 2).

Tabelle 11: Energiekennzahlen aus dem Fruchtfolgevergleich – konventionell, konventionell mit reduzierter Bodenbearbeitung und konv. m. red. BB und +50% Pflanzenschutzmittel

	Sys. Konv NPK; Kk=300kg	Sys. Konv NPK; red. BB Kk=300kg	Sys. Konv NPK; red. BB +50%PS Kk=300kg
Input GJ/ha/a	14,4	13,9	14,3
Output GJ/ha/a	111,7	111,7	111,7
Netto-Energie-Ertrag GJ/ha/a	97,3	97,8	97,5
Output/Input-Relation	7,7	8,0	7,8

Obwohl der Dieserverbrauch für die gesamte Fruchtfolge in der Direktsaat-Variante im Vergleich zur konventionellen um rund 20% gesenkt werden konnte, erhöht sich das Output/Input-Verhältnis nur um rund 3 % von 7,7 auf 8,0. Wird mit 50 % höherem Pflanzenschutzmitteleinsatz bilanziert, bleibt die OIR mit 7,8 fast unverändert. Auf den Netto-Energie-Ertrag wirken sich die Dieseleinsparungen vernachlässigbar gering aus.

Auch für die biologische Wirtschaftsweise könnten die Arbeitsgänge aus der KTBL-Datensammlung noch angepasst werden, um auch hier zusätzlich Diesel einzusparen. Hier würden sich die Dieseleinsparungen direkter auf das Output/Input-Verhältnis auswirken, da im biologischen System der Dieserverbrauch klar den größten Energieinputposten darstellt. In der KTBL-Datensammlung liegen allerdings keine Treibstoff sparenden biologischen Varianten vor. Deshalb wurde auf eine Energiebilanz für eine biologische Variante mit weniger Treibstoffverbrauch verzichtet.

5.2.2 Optimistische Einstellung zu einem System

Den Fruchtfolgevergleich abschließend soll noch eine optimistische Einstellung zu einer der beiden Bewirtschaftungsformen in eine Energiebilanz einfließen, und die möglichen Auswirkungen auf das Bilanzergebnis dargestellt werden. Da im konventionellen System die Erträge ohnehin schon ein hohes Niveau haben, und Diesel schon über die Direktsaat-Variante eingespart wurde, soll die biologische Wirtschaftsweise wohlwollender betrachtet werden – eine „ProBio-Variante“: Die Erträge werden um 20 % höher angenommen. Weiters wird die Phosphor- und Kalidüngung nicht energetisch bewertet (die Düngung könnte zum Beispiel mit Kartoffelfruchtwasser für Kali und Knochenmehl für Phosphor erfolgen. Beide Betriebsmittel können als Reststoffe anderer Produktionszwecke (Fleisch, Kartoffelstärke) angesehen werden).

Die genauen Aufstellungen zu den Betriebsmittelaufwendungen und den Energiekennzahlen befinden sich im Anhang 2. Eine Zusammenfassung der Energiekennzahlen stellt Tabelle 12 dar.

Tabelle 12: Energiekennzahlen aus dem Fruchtfolgevergleich – positive Einstellung zum biologischen System

	Sys. Bio N ü. FF, PK; Kk=300kg	Sys. Bio N ü. FF; +20% Ertrag; Kk=300kg
Input GJ/ha/a	5,8	4,4
Output GJ/ha/a	65,4	78,4
Netto-Energie-Ertrag GJ/ha/a	59,6	74,0
Output/Input-Relation	11,3	17,9

Der Energieaufwand kann durch den Wegfall der Phosphor- und Kalidüngung um rund 24 % gesenkt werden. Der Energie-Output erhöht sich genau um 20 %, da ja die Erträge um ein Fünftel höher veranschlagt wurden. Somit kommt der Netto-Energie-Ertrag um rund 24% höher zu liegen und die Output/Input-Relation steigt um 58 % von 11,3 auf 17,9. Die neuen Annahmen bezüglich Erträgen und Düngung haben demnach starke Auswirkungen auf das Bilanzergebnis.

5.2.3 Synthese

Obwohl die Annahmen der unterschiedlichen Fallbeispiele im Fruchtfolgevergleich sehr differenziert sind, präsentieren

Tabelle 13 und Abbildung 10 ein grundsätzlich einheitliches Bild: die biologischen Systeme liegen bei den Output/Input-Relationen voran und die konventionellen Systeme bei den Netto-Energieerträgen. Je nach dem, ob die Bilanzen über die OIR oder die NEE ausgewertet werden, wäre entweder das biologische oder das konventionelle System zu präferieren.

Tabelle 13: Bilanzkennzahlen aller Fallbeispiele aus dem Fruchtfolgevergleich

	Sys. Bio N ü. FF, PK; Kk=300kg	Sys. Bio N ü. FF; +20% Er- trag; Kk=300kg	Sys. Konv NPK; Kk=300kg	Sys. Konv NPK; red. BB Kk=300kg	Sys. Konv NPK; red. BB +50%PS Kk=300kg
Input GJ/ha/a	5,8	4,4	14,4	13,9	14,3
Output GJ/ha/a	65,4	78,4	111,7	111,7	111,7
Netto-Energie- Ertrag GJ/ha/a	59,6	74,0	97,3	97,8	97,5
Output/Input- Relation	11,3	17,9	7,7	8,0	7,8

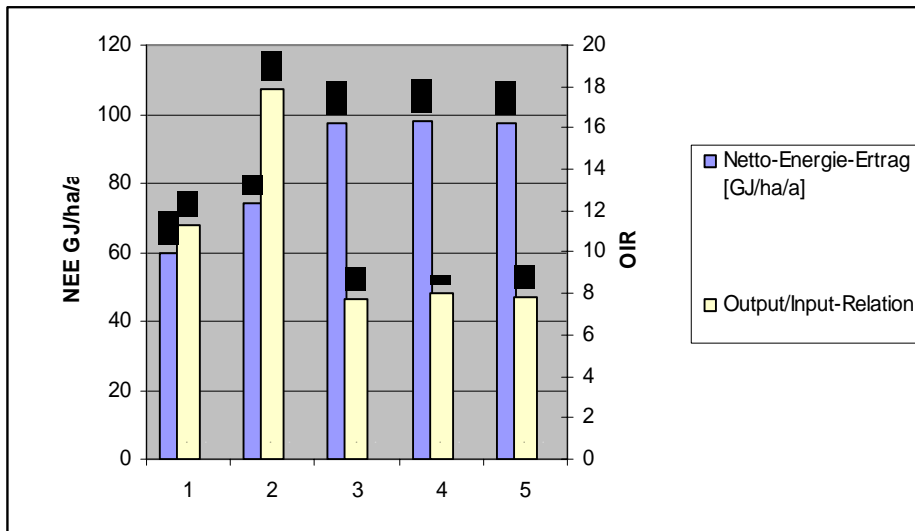


Abbildung 10: Netto-Energieerträge und Output/Inputrelationen der Fallbeispiele aus dem Fruchtfolgevergleich

- 1: Sys. Bio; N ü. FF, PK; Kk=300kg
- 2: Sys. Bio; N ü. FF; +20% Ertrag; Kk=300kg
- 3: Sys. Konv; NPK; Kk=300kg
- 4: Sys. Konv; NPK; red. BB; Kk=300kg
- 5: Sys. Konv; NPK; red. BB +50%PS; Kk=300kg

Ein Beispiel soll dies noch einmal verdeutlichen:

Beispiel 5-a: Es seien zwei Banken: Bank A und Bank B, die beide unterschiedliche Konditionen anbieten.

Bank A: Man investiert **5** Schilling und bekommt **75** Schilling nach einem Jahr heraus (maximale Investition pro Jahr: 5 Schilling).

Input: **5** Schilling
 Ertrag: **75** Schilling
 Netto-Ertrag: **70** Schilling
 Output/Input-Relation: **15**

Bank B: Man investiert **15** Schilling und bekommt **120** Schilling nach einem Jahr heraus. (maximale Investition pro Jahr 15 Schilling).

Input: **15** Schilling
Ertrag: **120** Schilling
Netto-Ertrag: **105** Schilling
Output/Input-Relation: **8**

Die Spielregeln sind folgende: Du hast 15 Schillinge zur Verfügung. Du kannst nicht zu beiden Banken gehen, nur zu einer und dort nur bis zur maximal möglichen Investitionsgrenze investieren. Was machst Du?

Wenn man davon ausgeht, dass die Investorin am Ende des Jahres so viel Geld wie möglich haben will, dann wird sie zu Bank B gehen und die vollen 15 Schilling investieren. Am Ende des Jahres bleiben ihr 120 Schilling. Die Produktivität gemessen am Netto-Ertrag wäre hier am höchsten. Geht sie zu Bank A und investiert 5 Schillinge, hat sie am Ende des Jahres 75 Schilling plus die nicht investierten 10. Das sind nur 85 Schilling.

Ein anderer Ansatz wäre jener, das Geld möglichst effizient einzusetzen. Dann müsste die Investorin zu Bank A gehen. Die Effizienz gemessen an der OIR ist hier deutlich höher.

Umgelegt auf die Landwirtschaft wird diese Gegebenheit häufig in der Diskussion um die „richtige“ Bewirtschaftungsform genutzt. Anhänger der biologischen Landwirtschaft argumentieren mit der höheren Effizienz: Pro Kilogramm Ertrag (Weizenkorn, Kartoffel, etc.) muss weniger Energie investiert werden. Verfechter der konventionellen Landwirtschaft verweisen auf die höhere Produktivität ihrer Bewirtschaftungsform: Am Ende bleibt mehr Energie pro Fläche übrig.

Grundsätzlich muss aber ergänzt werden, dass die landwirtschaftliche Nutzfläche sowohl global als auch in Österreich begrenzt ist, und dass nicht wie im Bankenbeispiel eine einheitliche Währung (Geld) im Spiel ist, sondern Energie in unterschiedlichen Formen: erneuerbar, nicht erneuerbar, Biomasse und Lebensmittel. Darauf geht das folgende Kapitel ein.

5.3 Modifizierte Energiequellen

5.3.1 Energieaufwendungen aus Weizen-Bioethanol

Vergleicht man die konventionelle Produktion mit der biologischen und betrachtet dabei speziell die Inputseite, so unterscheidet beide Systeme nach den Annahmen dieser Arbeit der zusätzliche Betriebsmittelaufwand von NPK-Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln auf konventioneller Seite (wenn auf biologischer Seite die PK-Dünger nicht energetisch bewertet werden).

Tabelle 14 stellt diese Aufwendungen nochmals für die konventionelle sechsjährige Fruchtfolge zusammen (Summe der Aufwandsmengen der einzelnen Betriebsmittel der sechs Cash-Crops dividiert durch sechs Jahre). Zusätzlich zum Primärenergieeinsatz für die Bereitstellung der Betriebsmittel ist diesmal auch der Endenergieeinsatz aus den Studien von Patyk und Reinhardt (1997) und Kaltschmitt und Reinhardt (1997) angegeben. Dieser setzt sich aus den aufgewendeten Endenergieträgern Schweröl, Diesel, Erdgas, Steinkohle, Braunkohle und elektrischer Strom zusammen, welche für Transport und Herstellung der Betriebsmittel zum Einsatz kommen. Daraus errechnet sich über die jeweiligen Vorketten der Primärenergieeinsatz.

Tabelle 14: Sechsjährige konventionelle Fruchtfolge: Dünge- und Pflanzenschutzmitteleinsätze und deren energetische Bewertung

Betriebsmittel	System Konventionell; NPK; Kk=300kg				
	N	P205	K20	PSM	Summe
Durchschnittliche Aufwandsmenge kg/ha/a	121,8	58,5	125,5	5,4	
Primärenergieeinsatz pro kg Betriebsmittel MJ/kg	49,1	17,7	10,5	263,0	
Endenergieeinsatz pro kg Betriebsmittel MJ/kg	43,5	11,3	8,4	177,4	
Flächenbezogener Primärenergieeinsatz GJ/ha/a	6,0	1,0	1,3	1,4	9,8
Flächenbezogener Endenergieeinsatz GJ/ha/a	5,3	0,7	1,1	1,0	8,0

Quelle: Patyk und Reinhardt (1997) und Kaltschmitt und Reinhardt (1997) in Kaliski (2004, 107f) und Moerschner (2000, 55f) & eigene Berechnungen

Dieser Mehraufwand auf der Inputseite des konventionellen Systems ist über zusätzliche Energieerträge auf der Outputseite zu rechtfertigen. Tabelle 15 zeigt, dass der zusätzliche Primärenergieaufwand von 9,8 GJ/ha/a im konventionellen System über den Mehrertrag von 36,3 GJ/ha/a (111,7 minus 65,4) mehr als gedeckt wird.

Tabelle 15: Kennzahlen der sechsjährigen Fruchtfolgen – Biologisch, Konventionell und Konventionell mit Endenergeträger Ethanol

	Sys. Bio; über Kk=300kg	N FF;	Sys. Konv; NPK; Kk=300kg	Sys. Konv- Ethanol; NPK; KK=300kg
Input: Diesel + Kalk GJ/ha/a		4,4	4,6	4,6
Input: NPK und PSM GJ/ha/a		0	9,8	19,0
Summe Input GJ/ha/a		4,4	14,4	23,6
Output		65,4	111,7	111,7
Netto-Energieertrag		61,0	97,3	88,1
Output/Input-Relation		14,9	7,7	4,7

Die zuvor beschriebenen aufgewendeten Endenergeträger zur Bereitstellung der Dünge- und Pflanzenschutzmittel auf konventioneller Seite gehen auf fossile Quellen zurück (bis auf die erneuerbaren Anteile des elektrischen Stroms). Es ist davon auszugehen, dass deren Verfügbarkeit in Zukunft verstärkt eingeschränkt sein wird. Um hier aus einem Abhängigkeitsverhältnis zu entkommen, müsste besonders der konventionelle Landbau dafür Sorge tragen, dass er die nötige Energie zur Bereitstellung seiner Betriebsmittel selbst erzeugt.

Sollen die von Patyk und Reinhardt angeführten Endenergeträger Schweröl, Diesel, Erdgas, Steinkohle, Braunkohle und elektrischer Strom durch landwirtschaftliche Energeträger ersetzt werden, so sind Prozesswirkungsgrade zu berücksichtigen. Könnte zur Substitution der Endenergeträger beispielsweise Weizen-Bioethanol herangezogen werden, so müsste mit dem Prozess-Wirkungsgrad der Herstellung von zum Beispiel 42 % (vgl. Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2007, 136) bilanziert werden.

Bei gleich bleibenden Endenergieeinsatz von 8,0 GJ/ha/a auf konventioneller Seite (vgl.

Tabelle 14) würde sich bei nur 42-prozentigem Wirkungsgrad bei der Ethanol Herstellung aus Weizen ein Primärenergieaufwand von 19,0 GJ/ha/a ergeben. Für die sechsjährige Fruchtfolge würde das zum 10% schlechteren Netto-Energieertrag von 88,1 GJ/ha/a und zur rund 40% schlechteren Output/Input-Relation von 4,7 führen (vgl. Tabelle 15). Trotzdem wäre der Netto-Energieertrag immer noch deutlich höher als jener des biologischen Systems – bei keinem zusätzlichen Verbrauch an nichterneuerbaren Energieträgern.

Diese Überlegungen könnten auch noch für den Diesel- und Kalkverbrauch weitergeführt werden, welche sowohl auf biologischer als auch auf konventioneller Seite zum Einsatz kommen. Dem soll aber der Vergleich Traktor-Pferd als zusätzliche Herangehensweise vorgezogen werden.

5.3.2 Zugkraft: Traktor oder Pferd

Um auch für die Arbeitskraft (Zugkraft) aus der Abhängigkeit von fossilen, nicht erneuerbaren Energieträgern (Diesel) zu entkommen, könnte entweder der Traktor beispielsweise mit Bio-Ethanol betrieben werden, oder selbiger überhaupt durch das Pferd ersetzt werden.

In der biologischen sechsjährigen Fruchtfolge (Sys. Bio; N ü. FF, PK; Kk=300kg; vgl. Anhang 2) liegt der Dieserverbrauch für ein Jahr und sechs Hektar bzw. 6 Jahre und ein Hektar bei 572 Litern.

Unter der Annahme, dass der Traktor mit Ethanol aus der eigenen Weizenproduktion betrieben werden kann, und Ethanol mit dem Heizwert des Diesels von 35,65 MJ/l (Patyk und Reinhardt 1997 in Kaliski 2004, 104) bemessen werden darf, ergeben sich folgende Berechnungen:

$$35,65 \text{ MJ/l} \times 572 \text{ l} = 20.392 \text{ MJ (für 6 ha)}$$

Wenn für die Weizen-Ethanol Produktion erneut ein Wirkungsgrad von 42 % angenommen wird (vgl. Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2007, 136), ergeben sich daraus:

$$20.392 \times 100 / 42 = 48.552 \text{ MJ Input an Weizen.}$$

Bei einem Heizwert des Weizens von 15,4 MJ/kg Kornertrag (Frischmasse) folgen daraus:

$$48.552 \text{ MJ} / 15,4 \text{ MJ/kg} = 3153 \text{ kg Weizen.}$$

Bei einem Kornertrag von 6000 kg Weizen pro Hektar für die biologische Produktion ergibt das einen Flächenverbrauch von:

$$3092 / 6000 = 0.53 \text{ ha,}$$

was ungefähr einem Zwölftel der Bewirtschaftungsfläche von 6 ha entspricht.

Koch geht davon aus, dass in der Zeit um 1930 mit einem etwa 750 kg schweren Pferd eine landwirtschaftliche Nutzfläche von etwa acht Hektar bewirtschaftet werden konnte. Er weist aber darauf hin, dass zu dieser Zeit schon einige Feldarbeiten (Pflügen, Getreidemähen und –binden) mit Motorkraft verrichtet wurden, und eine einfache Umrechnung von Fläche in Hektar auf die Anzahl der Arbeitspferde nicht ohne weiteres durchzuführen ist (Koch 2002, 20). Als Faustformel galt, dass ein mittelschweres Pferd mit etwa 650 kg Körpergewicht bei normaler Arbeit täglich 7 kg Heu, 6 kg Hafer, 2 kg Strohhacksel und etwa 2 kg Streustroh benötigte. Drei bis vier Kilogramm Kartoffel ersetzen ein Kilogramm Hafer (Koch 2002, 20 f).

Es soll für die weiteren Berechnungen die Annahme gelten, dass bei heutigem Ertragsniveau ein Pferd für die Bewirtschaftung von 6 ha (der biologischen sechsjährigen Fruchtfolge) benötigt wird.

Es ergeben sich für ein 1 Pferd pro Jahr:

7 kg x 365 Tage = 2.555 kg Heu

6 kg x 365 Tage = 2.190 kg Hafer

4 kg x 365 Tage = 1.460 kg Stroh.

Bei einem durchschnittlichen Luzerneheu-Ertrag von 7.000 kg pro Hektar und Jahr (vgl. BMLFUW 2002a, 64f) ergibt sich daraus ein Flächenverbrauch von

$2555 / 7000 = 0,37$ ha für Heu,

und bei einem Ertrag von 4.000 kg Hafer pro Hektar und Jahr (Freyer 2003)

$2.190 / 4.000 = 0,55$ ha für Hafer,

und in Summe: $0,37 + 0,55 = 0,92$ Hektar.

Für Stroh soll kein Flächenverbrauch veranschlagt werden, da es als Nebenernte-produkt anfällt.

Diesen sehr vereinfachten Berechnungen folgend liegt der Flächenverbrauch für die Bereitstellung von Treibstoff für landwirtschaftliche Maschinen (Traktor und selbst-fahrende Erntemaschinen in Form von Ethanol bei 0,77 Hektar (für die biologische Bewirtschaftung von sechs Hektar). Kommt das Pferd zum Einsatz, sind es 0,92 Hektar. Nicht berücksichtigt sind hier die Energieaufwendungen für die Herstellung und Entsorgung der landwirtschaftlichen Maschinen und Vorketten und Transportwege der Ethanolproduktion, was sich zu Ungunsten des Pferdeeinsatzes auswirkt. Auf der anderen Seite ist zu hinterfragen, ob das angenommene Ertragsniveau bei unter Pferdeeinsatz verwendbarer Mechanisierung gehalten werden könnte.

5.3.3 Weiden- bzw. Pappel-Kurzumtriebsplantagen

Auf Inputseite wurden nun für alle Betriebsmittel (bis auf Kalk) eine alternative Möglichkeit der Energiebereitstellung angedacht, und die Auswirkungen auf das Bilanzergebnis aufgezeigt. Nun liegt es noch nahe, die landwirtschaftlichen Erträge, also die Outputseite der Bilanz, näher zu betrachten.

Das NEE-Niveau liegt unter den in dieser Arbeit verwendeten Annahmen für eine sechsjährige Marktfruchtfolge, in der konventionellen Produktion (Sys. Konv; NPK; Kk=300kg) bei durchschnittlich 97,3 GJ/ha/a und für die biologische Produktion (Sys. Bio; N ü. FF, PK; Kk=300kg) bei durchschnittlich 59,6 GJ/ha/a. Dies gilt für die sechsjährige Marktfruchtfolge in der grundsätzlich Nahrungs- und/oder Futtermittel hergestellt werden. Auch wenn davon auszugehen ist, dass das Ertragsniveau bei ausgewählten Sorten (z.B. Energieweizen) etwas höher ist, bleibt zu hinterfragen, ob beispielsweise die thermische Nutzung von Weizen (www.heizenmitweizen.at) aus energetischer Sicht sinnvoll ist, oder ob andere Kulturen sinnvoller einzusetzen wären.

Der Wissenschaftliche Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2007, 81f) erstellt in seinem Bericht unter anderem eine Energiebilanz für die Hackschnitzelproduktion aus Kurzumtriebsplantagen mit Pappeln oder Weiden. Das Prinzip der KUP besteht darin, dass schnellwachsende Baumarten angepflanzt werden, die in regelmäßigen Abständen je nach Erntetechnik und Nutzung des Aufwuchses alle drei bis sechs Jahre geerntet werden. Da die entsprechenden Baumarten nach der Ernte wieder austreiben, erfolgt eine Mehrfachnutzung der einmal gesetzten Stecklinge. Aus rechtlicher Sicht kann die Plantage bis zu 20 Jahre genutzt werden, um als Dauerkultur angesehen zu werden und somit eine Einordnung als Wald zu vermeiden. Bei Niederschlagsmengen während der Vegetationsperiode von mindestens 300 mm und Böden, die über

gute Wasserhaltekapazitäten verfügen ist mit Trockenmasseerträgen von mindestens 10 Tonnen/ha/a zu rechnen. In Tabelle 16 sind die weiteren verwendeten Daten für die Energiebilanz zusammengestellt. Der Dieselverbrauch setzt sich aus einer Pflugfurche und zusätzlicher Nachbearbeitung für ein abgesetztes Saatbett für die Pflanzung der Stecklinge, den Pflanzungsarbeitsgängen selbst, einem Mulchgang pro Rotation zur Bestandespflege und den Erntearbeiten zusammen. Weiters werden 37 kg Stickstoff (N) und 29 kg Phosphor (P₂O₅) pro Hektar und Jahr ausgebracht. Zusätzlich werden noch pro Jahr 2,17 GJ für die Herstellung des Hackers (für die Hackschnitzelherstellung) veranschlagt.

Tabelle 16: 1 ha Kurzumtriebsplantage mit Pappel oder Weide - Bilanzkennzahlen, Betriebsmitteleinsatz und Energieaufwendungen für ein Jahr

Betriebsmittel	Einh.	GJ/Einh.	Menge	GJ
Diesel	l	39,65 ^b	65 ^a	2,58
N	kg	49,10 ^b	37 ^a	1,85
P ₂ O ₅	kg	17,70 ^b	29 ^a	0,51
Herstellung Hacker				2,17 ^a
Summe - Input				7,11
Ertrag	kg	17,24	10.000 ^a	170,24
Netto-Energie-Ertrag				163,13
Output/Input-Relation				23,94

^a Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2007, 81f)

^b Patyk und Reinhardt (1997) in Kaliski (2004, 103f)

Mit einem Netto-Energie-Ertrag von 163,13 GJ/ha/a und einer Output/Input-Relation von 23,94 stellt dieses Verfahren in dieser Arbeit bis jetzt das produktivste und gleichzeitig auch energieeffizienteste dar.

5.3.4 Synthese

Bei der Bilanzierung unter der Berücksichtigung modifizierter Energiequellen konnte folgendes gezeigt werden:

- Soll die für die Betriebsmittelbereitstellung erforderliche Endenergie in Form von Energie aus landwirtschaftlicher Produktion zur Verfügung gestellt werden, so wirkt sich der Wirkungsgrad des jeweiligen Verfahrens (z.B. Weizen Bio-Ethanol Herstellung) auf das Bilanzergebnis aus. Je niedriger der Wirkungsgrad, desto ungünstiger fallen die Bilanzkennzahlen aus.
- Der Ersatz des Traktors (stellvertretend für alle Treibstoff verbrauchenden landwirtschaftlichen Maschinen) durch das Pferd, welches bestimmte Haupterzeugnisse (Heu, Hafer, Kartoffel) direkt energetisch verwerten kann, wirkt sich unter den angenommenen Bedingungen nicht positiv auf das Ergebnis der Energiebilanz aus.
- Die Energiebilanz einer Kurzumtriebsplantage mit Pappeln oder Weiden weist besser Energiebilanzergebnisse auf als alle anderen in dieser Arbeit durchgerechneten Fallbeispiele.

5.4 Synthese aller Fallbeispiele

In Abbildung 11 und Abbildung 12 sind abschließend noch einmal die Kennzahlen aller Fallbeispiele zusammengestellt.

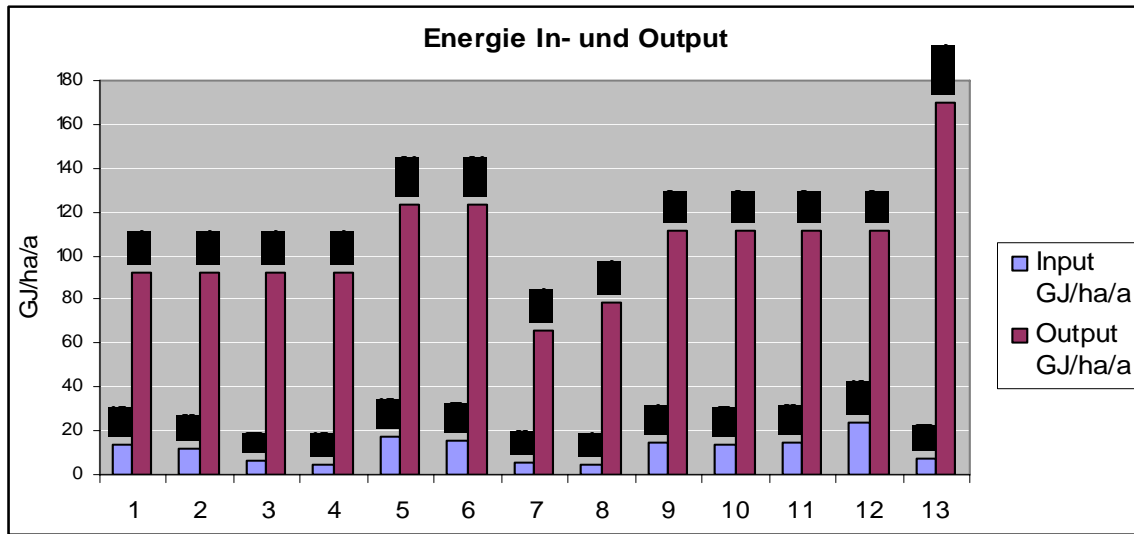


Abbildung 11: Energie In- und Outputs aller Fallbeispiele

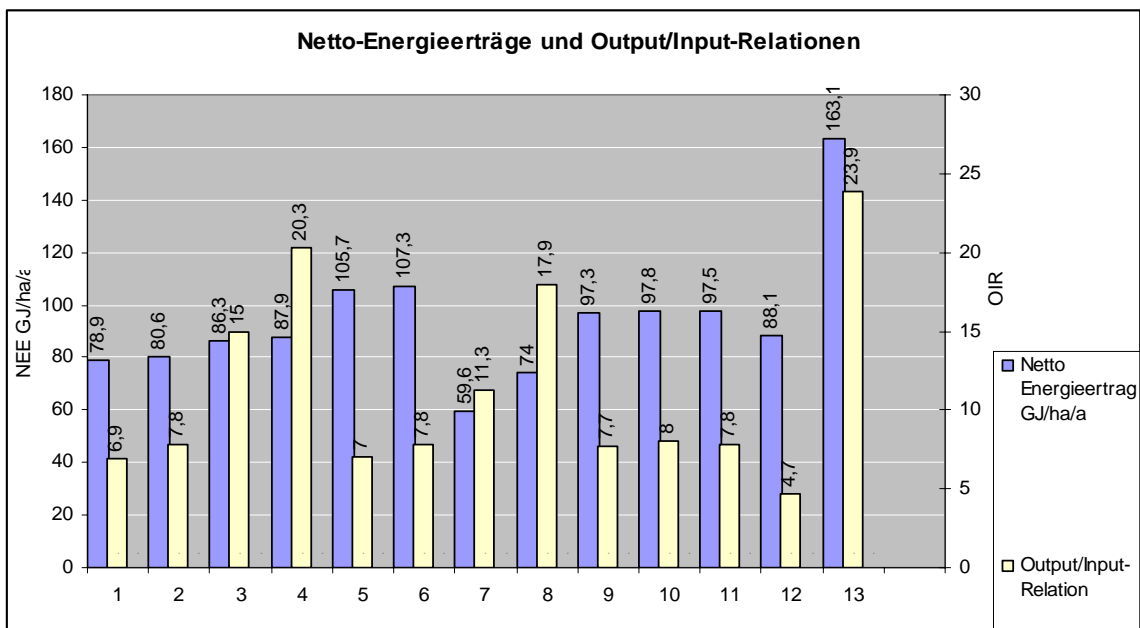


Abbildung 12: Netto-Energieerträge und Output/Input-Relationen aller Fallbeispiele

- 1: WW-Bio; NPK; Kk=1000kg
- 2: WW-Bio; NPK; Kk=300kg
- 3: WW-Bio; N ü. GD, PK; Kk=300kg
- 4: WW-Bio; Zukauf v. Wi.Düng.; Kk=300kg
- 5: WW-Konv; NPK; Kk=1000kg
- 6: WW-Konv; NPK; Kk=300kg
- 7: Sys. Bio; N ü. FF, PK; Kk=300kg
- 8: Sys. Bio; N ü. FF; +20% Ertrag; Kk=300kg
- 9: Sys. Konv; NPK; Kk=300kg
- 10: Sys. Konv; NPK; red. BB; Kk=300kg
- 11: Sys. Konv; NPK; red. BB +50%PS; Kk=300kg
- 12: Sys. Konv-Ethanol; NPK; Kk=300kg
- 13: Weiden- od. Pappel-Kurzumtriebsplantage

Betrachtet man die Energieinputs der unterschiedlichen Fallbeispiele wird klar deutlich, dass sich die unterschiedlichen verwendeten Datengrundlagen und die unterschiedlichen Systembetrachtungen deutlich auf diese Kennzahl auswirken (Abbildung 11). Abbildung 12 macht in Ergänzung dazu deutlich, dass die Methode der Bilanzauswertung (über den Netto-Energieertrag oder die Output/Input-Relation) den größten Einfluss auf das Ergebnis hat. Bei den NEE liegt das konventionelle Verfahren voran, bei den OIR das biologische. Die Ausnahme bildet das Kurzumtriebsverfahren mit Pappeln oder Weiden. Dieses ist sowohl beim Netto-Energieertrag als auch bei der Output/Input-Relation klar überlegen.

6 Schlussfolgerungen

Die Schlussfolgerungen setzen sich mit den zu Beginn dieser Arbeit definierten Fragestellungen (Kapitel 1.3.2) chronologisch auseinander. Die 3 Teilfragestellungen waren: Wie wirken sich unterschiedliche

1. **Datengrundlagen** (für landwirtschaftliche Erträge, Düngergaben und energetische Bewertungen von Betriebsmitteln)
2. **Systembetrachtungen** (eine einzelne Kultur oder eine ganze Fruchtfolge; und in weiterer Folge auch ein Systemwechsel hin zu erneuerbaren Energien)
3. **Methoden der Bilanzauswertung** (über den Netto-Energieertrag oder die Output/Input-Relation)

auf die Ergebnisse der Energiebilanz aus?

1. Die unterschiedlichen verwendeten Datengrundlagen führten zu deutlichen Unterschieden bei den Bilanzergebnissen. Im Vergleich eines einzelnen Anbauverfahrens (Winter-Weizen) zeigten die unterschiedlichen Zugänge bei der energetischen Bewertung der N-Düngung im biologischen Verfahren die größten Auswirkungen.
Im Systemvergleich (sechs-jährige Fruchtfolgen) hatte die positive Einstellung zu einem System, bei der mit 20% höheren Erträgen gerechnet wurde, die deutlichsten Auswirkungen.
2. Die unterschiedlichen Systembetrachtungen zeigten ebenfalls deutliche Auswirkungen auf die Bilanzergebnisse. Die Ausweitung des Betrachtungsraumes von einem einzelnen Anbauverfahren hin zu einer sechs-jährigen Fruchtfolge führte sowohl für das biologische als auch für das konventionelle System zu schlechteren Bilanzergebnissen, für das biologische System jedoch deutlicher. Grund für diese Verschlechterung sind die mitberücksichtigten Zwischenfrüchte in beiden Systemen und der angenommene Gründungs-Nullertrag im biologischen System.
Auch das Miteinbeziehen der Unterscheidung zwischen Biomasse und Nahrungsmitteln und erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energien brachte noch einmal neue Ergebnisse mit sich.
3. Den deutlich größten Einfluss auf die Bilanzergebnisse hat jedoch die Methode der Bilanzauswertung. Hier führten die Annahmen dieser Arbeit zu dem Ergebnis, dass das biologische Verfahren bei den Output/Input-Relationen voran liegt und das konventionelle Verfahren bei den Netto-Energieerträgen. Eine Ausnahme bildet das Kurzumtriebssystem mit Pappeln oder Weiden, das ja nicht der Nahrungsmittelproduktion dient. Dieses ist bei beiden Kennzahlen (NEE und OIR) aus energetischer Sicht den Nahrungsmittel produzierenden Systemen überlegen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Ergebnisse einer Energiebilanz im Bereich Ackerbau immer nur sinnvoll in Zusammenschau mit den verwendeten Datengrundlagen und Systembetrachtungen interpretiert werden können. Im landwirtschaftlichen Kontext ist zusätzlich eine strikte Unterscheidung zwischen Nahrungsmittel produzierenden Verfahren und Verfahren der reinen Biomasseproduktion unabdingbar.

Im Ausblick soll noch darauf eingegangen werden, dass in der Nahrungsmittelproduktion (nach den Berechnungen dieser Arbeit) das biologische System bezüglich

der Output/Input-Relation (Energieeffizienz) und das konventionelle bezüglich der Netto-Energieerträge (Produktivität) zu bevorzugen wäre.

7 Ausblick

Das biologische System arbeitet nach den Berechnungen dieser Arbeit energieeffizienter (höhere OIR). Es verbraucht weniger Energie und holt daraus den bestmöglichen Ertrag heraus. Wenn davon ausgegangen wird, dass zur Verfügung stehende Energie der begrenzende Faktor ist, müsste dieses System gewählt werden.

Das konventionelle System arbeitet nach den Berechnungen dieser Arbeit produktiver. Es verbraucht mehr Energie, am Ende bleibt dafür aber auch mehr Energie übrig. Wenn davon ausgegangen wird, dass landwirtschaftlich nutzbare Fläche der begrenzende Faktor ist, müsste dieses System gewählt werden.

Scheffer berechnet in seiner Studie, dass bei flächendeckendem ökologischem Landbau in Deutschland und bei dem derzeitigem Konsumverhalten der Bevölkerung die landwirtschaftliche Nutzfläche nicht einmal für die Produktion der Nahrungsmittel ausreichen würde. Weiters errechnet er den Nahrungsmittelverbrauch bei 60 % verringertem Fleischkonsum, und kommt dabei zu dem Schluss, dass unter diesen Bedingungen bei ökologischer Bewirtschaftung sogar 20 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche für die Energieproduktion bereit stünden (Scheffer et al. in Freyer 2003b, 65f).

Wenn hypothetisch davon ausgegangen wird, dass Österreich genau das Ernährungsverhalten erreichen würde, um sich von der eigenen rein biologisch bewirtschafteten landwirtschaftlichen Nutzfläche zu ernähren, dann bliebe immer noch die Möglichkeit, die österreichische landwirtschaftliche Nutzfläche komplett konventionell zu bewirtschaften. Aufgrund der Mehrerträge würde ein bestimmter Anteil der Fläche frei für die Energieproduktion. Ein gewisser Teil dieser Fläche müsste die Energie für die zusätzliche Dünger- und Pflanzenschutzmittelherstellung aufbringen. Nach den Berechnungen dieser Arbeit wäre dies allerdings möglich, und es würden noch Flächen zur Energieproduktion zur Verfügung stehen. Die möglichen Nachteile der intensiven konventionellen Bewirtschaftung (Grundwasserverunreinigungen, Rückstände in Lebensmitteln, Humusabbau, Bodenverarmung, etc.) müssten dem gegenübergestellt werden.

Nach den berechneten Fallbeispielen dieser Arbeit wäre es auf jeden Fall anzustreben, die freien Flächen (egal ob aus dem biologischen System oder dem konventionellen) nicht über Cash-Crops einer Ackerbau-Fruchtfolge zu nutzen. Denn im Vergleich zur Kurzumtriebsplantage sind diese alle unproduktiv und ineffizient. Kurz gesagt: Heizen mit Weizen ist Energieverschwendung.

Hierzu noch eine auf Faustzahlen beruhende Berechnung:

Insgesamt lag der energetische Endverbrauch in Österreich im Jahr 2004 bei 1.079 PJ (Energyagency, 2009). Die landwirtschaftliche Nutzfläche beträgt in Österreich rund 4,4 Mio. Hektar (BMFLUW 2009). Rechnet man mit dem Netto-Energieertrag der Kurzumtriebsplantage von 163.13 GJ/ha/a (vgl. Kapitel 5.3.3) und multipliziert dies mit der gesamten LN Österreichs, ergibt das 717 PJ. Beachtet man die Wirkungsgrade für die Endenergiebereitstellung aus Hackschnitzel aus der Kurzumtriebsplantage verringert sich der Wert noch deutlich. In Anbetracht dieser Werte ist der Kampf um freie landwirtschaftliche Flächen zur Energieproduktion in Frage zu stellen. Vor allem, wenn dafür für die Nahrungsmittelproduktion Quantität vor Qualität stehen muss.

Der Wissenschaftliche Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz der Bundesrepublik Deutschland (2007, ii) gibt in seinem „Bericht für die Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung“ – Empfehlungen an die Politik ab. Er kommt dabei zu folgenden Schlüssen:

Im Vergleich zur Solarenergie sind die Potenziale der Bioenergie auf Dauer relativ gering. Das hat im Wesentlichen drei Gründe:

- Bei der Solarenergie können Flächen genutzt werden, die nicht in Konkurrenz zur Erzeugung von Biomasse für den Nahrungsbereich stehen, und auf diesen Flächen können wesentlich höhere Energieerträge je Flächeneinheit erzielt werden als bei der Bioenergie.
- Die weltweite Knappheit der Ackerflächen führt dazu, dass bei steigenden Erdölpreisen auch die Preise für Bioenergie steigen und infolge dessen auch das gesamte Agrarpreisniveau mit nach oben gezogen wird. Somit steigen auch die Rohstoffkosten für die Bioenergie-Anlagen, während höhere Energiepreise bei der Solarenergie voll rentabilitätswirksam werden.
- Bei knappen Ackerflächen führt eine großflächige Ausdehnung der Bioenergie zwangsläufig dazu, dass bisher nicht ackerbaulich genutzte Flächen in Kultur genommen werden (Grünlandumbruch, Waldrodung) bzw. die Bewirtschaftung der Flächen intensiviert wird. Das verursacht erhöhte CO²- und N²O-Emissionen mit der Folge, dass die Ausdehnung der Bioenergie-Erzeugung auf Ackerflächen im Endeffekt sogar kontraproduktiv für den Klimaschutz sein kann. Diese Risiken sind mit den von der Politik geplanten Zertifizierungssystemen nicht in den Griff zu bekommen.

Abschließend kann darauf Stellung nehmend gesagt werden, dass die Landwirtschaft - egal ob konventionell oder biologisch - die eklatant steigenden Energieverbräuche der Gesellschaft nicht mittragen kann. Einsparungen und neue Technologien wie z.B. Photovoltaik müssen hier zum Einsatz kommen. Die Landwirtschaft muss sich primär auf die ökosystemschtzende Produktion von Lebensmitteln konzentrieren, um nachhaltig wirtschaften zu können.

8 Zusammenfassung

Die österreichische Landwirtschaft ist heute in der Lage, ihre Flächen intensiver zu bewirtschaften denn je. Bei entsprechendem Energieeinsatz in Form von schlagkräftigen Maschinen, Treibstoffen, Dünge- und Pflanzenschutzmitteln sind die Erträge höher als je zuvor. Doch der unter anderem auch in der Landwirtschaft steigende Energieeinsatz blieb nicht ohne Folgen: Klimawandel und eine Verknappung der fossilen Energieträger sind die Folgen. Die globale Hungerproblematik bleibt dabei ungelöst.

Mit der Energiekrise der 1970er Jahre hielt die Methode der Energiebilanz auch in der Landwirtschaft Einzug. Heute kommt sie häufig in der Debatte um die energetische Nutzung von Biomasse aus landwirtschaftlicher Produktion zum Einsatz. Gerade in diesem Zusammenhang sind die Ergebnisse verschiedener Arbeiten sehr unterschiedlich bis konträr. Deshalb wurde in dieser Arbeit versucht, die Methode der Energiebilanz für den Bereich Ackerbau erklärend darzustellen. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Aussagekraft und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse gelegt, indem 3 Forschungsfragen nachgegangen wurde: Wie wirken sich unterschiedliche

1. **Datengrundlagen** (für landwirtschaftliche Erträge, Düngergaben und energetische Bewertungen von Betriebsmitteln)
2. **Systembetrachtungen** (eine einzelne Kultur oder eine ganze Fruchtfolge; und in weiterer Folge auch ein Systemwechsel hin zu erneuerbaren Energien) und
3. **Methoden der Bilanzauswertung** (über den Netto-Energieertrag oder die Output/Input-Relation)

auf die Ergebnisse der Energiebilanz aus?

Dafür wurde die konventionelle Wirtschaftsweise mit der biologischen in unterschiedlichen Fallbeispielen verglichen.

Es konnte gezeigt werden, dass sich die unterschiedlichen Datengrundlagen deutlich auf die verwendeten Bilanzkennzahlen Energie-Input, Ertrag, Netto-Energie-Ertrag (NEE) und Output/Input-Relation (OIR) auswirken. Auch veränderte Systembetrachtungen wirken sich deutlich auf das Bilanzergebnis aus.

Da sich alle veränderten Annahmen und Betrachtungsweisen innerhalb eines argumentierbaren Rahmens bewegten, konnte deutlich gemacht werden, dass ein weiter Spielraum für die Manipulation möglicher gewünschter Ergebnisse gegeben ist.

Den größten Einfluss auf die Ergebnisse hat die Methode der Bilanzauswertung. Im Mittel über alle Fallbeispiele überzeugte die biologische Wirtschaftsweise durch höhere Energieeffizienz gemessen an der Output/Input-Relation und die konventionelle durch höhere Produktivität gemessen an den Netto-Energie-Erträgen.

Eine Ausnahme bildet das Fallbeispiel Kurzumtriebsplantage mit Pappel oder Weide (modifizierte Energiequellen). Die Strategie der reinen Biomasseproduktion überschattete aus energetischer Sicht alle Fallbeispiele der Nahrungsmittelproduktion und bestach sowohl durch höhere Energieeffizienz als auch durch höhere Produktivität.

9 Abstract

Nowadays Austria's Farmers are in the position to use their farmland more intensely than ever. Using a high amount of energy on the input side (for machines, fuel, fertilizers, pesticides etc.) the crop yields are higher then ever. On the other hand increasing energy consumption is contributing global warming and the depleting finite of fossil energy resources. At the same time worldwide hunger problem is still not resolved.

During the energy crisis in the 1970's the method of energy balancing (identification, calculation and evaluation of direct and indirect energy amount) was also used in agricultural background. In today's discussions about using biomass for energy production this method is a well known tool for answering questions about energy efficiency. But the results of the numerous studies are as different as their assumptions. That is why this thesis tries to explain the method of energy balancing in the domain of crop production, especially with having regard to the connections between the chosen assumptions and the results of the energy-balance-calculations. Therefore three questions were posed:

How do

1. **Databases** (for yields, applied amounts of fertilizers and the energetic valuation of fuel, fertilizers, pesticides etc.)
2. **Points of view** (just a single crop system, a whole crop rotation system or even a system using sustainable resources)
3. **Methods of evaluating the energy-balance-calculations** (via the net-energy-yield or the output/input-ratio)

influence the results of the energy-balance-calculations?

In different case studies conventional crop-farming-systems were compared with organic-crop-farming systems. Findings in terms of energy outputs compared with the energy inputs were:

- Different databases clearly influenced the results of the energy-balance-calculations (represented by energy-input, energy-output, net-energy-yield and output/input-ratio).
- Different points of view influenced the results as well.
- The method of evaluating the calculations had the highest impact on the results. The organic farm-systems had higher output/input-ratios than the conventional farm-systems. And conventional systems reached higher net-energy-yields than the organic systems.
- One system using fast growing wood (poplar or willow) was the exception. This system had higher net-energy-yields and higher output/input-ratios than all the other analysed systems growing crops for food or feed.
- In general it got obvious that results could be determined or manipulated by chosen data settings, points of view and methods of evaluation.

10 Literatur

BMLFUW. 2002a. *Standarddeckungsbeiträge und Daten für die Betriebsberatung im Biologischen Landbau 2002/2003*. Wien: Bundesministerium für Land- Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

BMLFUW. 2002b. *Grundlagen zur Ermittlung der Maschinenkosten. Ergänzungsheft 1 zum Katalog von Standarddeckungsbeiträgen und Daten für die Betriebsberatung 2002/03*. Wien: Bundesministerium für Land- Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

BMLFUW. 2002c. *Standarddeckungsbeiträge und Daten für die Betriebsplanung 2002/03. Konventionelle Produktion. Ostösterreich*. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

BMFLUW. 2009. Internet:

www.lebensministerium.at/filemanager/download/9608

Entnommen am 3.5.2009

Boxberger, J.; Moitzi, G.; Schlichtner, H.; & Wagentristl, H. 2009. Internet:

<http://www.boku.ac.at/fileadmin//PF->

[BioLandwirtschaft/pubs/ProdSys/2005_Wintertagung_Langfassung.pdf](http://www.boku.ac.at/fileadmin//PF-BioLandwirtschaft/pubs/ProdSys/2005_Wintertagung_Langfassung.pdf)

entnommen am 20.4.2009

Brand-Sassen, H. & Steinmann, H.-H. 2003. *Integrierte Ackerbausysteme in Versuch und Praxis - Ergebnisse aus dem Göttinger INTEX-Projekt und seinen Demonstrationsflächen*. Duderstadt: Mecke Dr. und Verl.

Darge, E. 2002. *Energieflüsse im österreichischen Landwirtschaftssektor 1950 – 1995 - eine humanökologische Untersuchung*. Vienna: Inst. for Interdisciplinary Studies at Austrian Universities Dep. for Social Ecology.

Diepenbrock, W.; Pelzer, B.; Radtke, J. 1995. *Energiebilanz im Ackerbaubetrieb*. Darmstadt. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) Arbeitspapier 211, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag

Döhler, H. 2008. *Energieeffiziente Landwirtschaft - KTBL-Vortragstagung vom 8. bis 9. April 2008 in Fulda*. Darmstadt: Ktbl.

Dorninger, M. & Freyer, B. 2008. *Bio-Landwirtschaft und Klimaschutz in Österreich: Aktuelle Leistungen und zukünftige Potentiale der Ökologischen Landwirtschaft für den Klimaschutz in Österreich*. Kurzstudie. erstellt im Auftrag von BIO AUSTRIA.

Energyagency. 2009. Internet:

[http://www.energyagency.at/\(de\)/enz/res-dat.htm#h3](http://www.energyagency.at/(de)/enz/res-dat.htm#h3)

Entnommen am 3.5.2009

Eyerer, P. 1996. *Ganzheitliche Bilanzierung - Werkzeug zum Planen und Wirtschaften in Kreisläufen*. Berlin [u.a.]: Springer.

Fleissner, U. 2002. *Energetische Bewertung der Bereitstellung ausgewählter regionaler und überregionaler Lebensmittel*. Aachen: Shaker.

- Fluck, R. C. 1992. *Energy in farm production*. Amsterdam [u.a.]: Elsevier.
- Freude, D. 2009. Internet:
<http://ingo.exphysik.uni-leipzig.de/energie/chemisch.html>
 entnommen am 31.3.2009
- Freyer, B. 2003. *Fruchtfolgen*. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer Verlag.
- Freyer, B. 2003b. *Ökologischer Landbau der Zukunft Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau ; 24. - 26. Februar 2003 in Wien* (1. Aufl. ed.). Wien: Univ. für Bodenkultur Inst. f. Ökologischen Landbau.
- Geier, U. 2000. *Anwendung der Ökobilanz-Methode in der Landwirtschaft dargestellt am Beispiel einer Prozeß-Ökobilanz konventioneller und organischer Bewirtschaftung* (1. Aufl. ed.). Berlin: Köster.
- Grehn, J. 1999. *Makro- und mikroanalytische Methoden zur Bestimmung des Endenergieumsatzes landwirtschaftlicher Betriebe und Ermittlung von Energiekennzahlen* (Als Ms. gedr. ed.). Aachen: Shaker.
- Gruber, P. C. 2009. *Die Zukunft der Landwirtschaft ist biologisch! Welthunger, Agrarpolitik und Menschenrechte*. Opladen [u.a.]: Budrich.
- Hark-Oberitter, Thelka. 2001. *Nährwerte auf einen Blick, Nährwerttabellen, Nährstoffkunde*. Köln: Neuer Honos Verlag.
- Institut für angewandte Umweltforschung. 2009. Internet:
<http://www.umweltlexikon-online.de/fp/archiv/RUBsonstiges/Wirkungsgrad.php>
 entnommen am 13.3.2009
- Jones; M.R. 1989. *Analysis of the Use of Energy in Agriculture – Approaches and Problems*. *Agricultural Systems* 29, 339-335
- Kaliski, O. 2003. *Externe Kosten der Landwirtschaft vergleichende Analyse zwischen konventionellem und biologischem Anbausystem anhand von Treibhausgasemissionen*. Wien: Dissertation. Universität für Bodenkultur
- Koch, M. 2002. *Traditionelles Arbeiten mit Pferden in Feld und Wald* (2., korr. Aufl. ed.). Stuttgart (Hohenheim): Ulmer.
- KTBL. 2004. *Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/05 – KTBL-Datensammlung mit CD*. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- Moerschner, E. J. 2002. *Stoff- und Energiebilanzen von Ackerbausystemen unterschiedlicher Intensität - eine Untersuchung an den Rapsfruchtfolgen des Göttinger INTEX-Systemversuchs* (Als Ms. gedr. ed.). Berlin: dissertation.de.
- Oheimb, R. v. 1987. *Energie und Agrarwirtschaft direkter und indirekter Energieeinsatz im agrarischen Erzeugerbereich in der Bun-*

desrepublik Deutschland. Münster-Hiltrup: KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverl.

Outlaw, J. L. 2005. *Agriculture as a producer and consumer of energy*. Wallingford [u.a.]: CABI Publ.

Patyk, A. & Reinhardt, G. A. 1997. *Düngemittel - Energie- und Stoffstrombilanzen*. Braunschweig [u.a.]: Vieweg.

Pimentel, D.; & Patzek, T. W. 2005: *Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower*. Natural Resources Research, Vol. 14, No. 1, March 2005.

Ramharter, R. 1999. *Energiebilanzierung ausgewählter Feldfrüchte des biologischen und konventionellen Landbaus im pannonischen Klimaraum*. Wien: Dissertation. Universität für Bodenkultur.

Rebhan, E. 2002. *Energiehandbuch - Gewinnung, Wandlung und Nutzung von Energie ; 202 Tabellen*. Berlin [u.a.]: Springer.

Steger, H.; Sieghert, J. & Glauning, E. 1999. Technische Mechanik 3, 3. durchgesehene und erweiterte Auflage. Wien: Hölder-Pichler-Tempsky.

Stein-Bachinger, K. & Bachinger, J. 2004. *Nährstoffmanagement im Ökologischen Landbau - ein Handbuch für Beratung und Praxis ; Berechnungsgrundlagen, Faustzahlen, Schätzverfahren zur Erstellung von Nährstoffbilanzen ; Handlungsempfehlungen zum effizienten Umgang mit innerbetrieblichen Nährstoffressourcen, insbesondere Stickstoff*. Münster-Hiltrup: KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverl.

UBA-Umweltbundesamt, 2008. mündliche Mitteilung: *Gespräch mit Dr. Werner Pölz, Luftqualität und Energie*. Mittwoch, 19.11.08, 15.00 bis 15.40 Uhr.

UBA-Umweltbundesamt. 2009. Internet:
<http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/energie/wasistenergie/>
entnommen am 20.3.2009.

Weish, Peter. 2002. *Humanökologie. Skriptum zur Vorlesung. Wintersemester 2001/2002*. Wien : Universität für Bodenkultur.

Zeddies, J. 2008. *CO₂-Bilanz beim Einsatz agrarischer anstelle fossiler Rohstoffe am Beispiel Bioethanol*. Wien: Ökosoziales Forum. Agrarische Rundschau 2/2008.

2008. *Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung Empfehlungen an die Politik; Gutachten (verabschiedet im November 2007)*. Stuttgart: Kohlhammer.

11 Anhang

Anhang 1 – Einzelne Kultur (Winter-Weizen)

Arbeitsgänge/Dieserverbräuche: Winter-Weizen – konventionell (KTBL-Datensammlung, Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/05)

WINTER-WEIZEN: Konventionell, wendend, gezogene Saatbettbereitung, viehlos, Bodenart: mittel, 2-ha-Schlag, 8.000 kg Ertrag;							
						Zeit	Diesel
Arbeitsgänge / Teilarbeitsgänge	Leistung	Maschinen	Zeitraum	Häufigk.	AKh/ha	l/ha	
* PK-Dünger ab Hof streuen, loser Dünger	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaufel, Traktor	SEP1	1,00	0,18	1,48	
	67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer					
* Pflügen	67 kW	Anbaudrehpflug, 4 Schare, 1,40 m	SEP2	1,00	1,88	23,43	
* Eggen	67 kW	Saatbettkombination, angebaut, 4,0 m	OKT1	1,00	0,54	6,13	
* Säen	45 kW	Sämaschine, 3,0 m	OKT2	1,00	0,84	4,02	
* Herbizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	OKT2	1,00	0,32	0,92	
* Kalkammonsalpeter (27% N) ab Hof streuen, loser Dünger		Düngerförderschnecke	FEB2	1,00	0,28	0,89	
	45 kW	0,8 m ³ , Anbauschleuderstreuer					
* Halmverkürzeranwendung - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	MAE1	1,00	0,32	0,92	
* Kalkammonsalpeter (27% N) ab Hof streuen, loser Dünger		Düngerförderschnecke	APR1	1,00	0,21	0,75	
	45 kW	0,8 m ³ , Anbauschleuderstreuer					
* Fungizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	APR2	1,00	0,32	0,92	
* Kalkammonsalpeter (27% N) ab Hof streuen, loser Dünger		Düngerförderschnecke	JUN1	1,00	0,21	0,75	
	45 kW	0,8 m ³ , Anbauschleuderstreuer					
* Fungizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	JUN1	1,00	0,32	0,92	
* Mähdrusch	90 kW	3 m	AUG1	1,00	1,90	24,74	
* Korntransport	67 kW	14 (10,5) t, Dreiseitenkippanhänger	AUG1	1,00	0,27	0,81	
* Kalk ab Feld streuen	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaufel, Traktor	AUG2	0,33	0,13	1,05	
	67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer					
* 1.Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	AUG2	1,00	0,73	7,91	
* 2.Stoppelgrubbern tief, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	SEP2	1,00	0,94	11,04	
Summe:					9,40	86,68	

Arbeitsgänge/Dieserverbräuche: Winter-Weizen – biologisch (KTBL-Datensammlung, Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/05)

WINTER-WEIZEN: Ökologisch, wendend, gezogene Saatbettbereitung, viehlos mit Grünbrache, Bodenart: mittel, 2-ha-Schlag, 6.000 kg Ertrag;							
Arbeitsgänge / Teilarbeitsgänge	Leistung	Maschinen	Zeitraum	Häufigk.	Zeit AKh/ha	Diesel l/ha	
GRÜNDÜNGUNG							
* Pflügen	67 kW	Anbaudrehpflug, 4 Schare, 1,40 m	SEP2	1,00	1,88	23,43	
* Eggen	67 kW	Saatbettkombination, angebaut, 2,0m	OKT1	1,00	0,90	8,41	
* Säen von Grassame	45 kW	Sämaschine, 3,0 m	OKT2	1,00	0,83	3,95	
* Mulchen	67 kW	2,5 m	JUN1	1,00	1,42	10,76	
* Mulchen	67 kW	2,5 m	JUL2	1,00	1,42	10,76	
* Mulchen	67 kW	2,5 m	SEP1	1,00	1,42	10,76	
Summe Gründüngung						7,86	68,07
1/5 Gründüngung							13,61
HAUPTKULTUR: WEIZEN							
* Pflügen	67 kW	Anbaudrehpflug, 4 Schare, 1,40 m	SEP2	1,00	1,88	23,43	
* Eggen	67 kW	Saatbettkombination, angebaut, 4,0m	OKT1	1,00	0,54	6,13	
* Säen	45 kW	Sämaschine, 3,0 m	OKT2	1,00	0,84	4,02	
* Striegeln	45 kW	6 m	OKT2	1,00	0,49	3,20	
* Striegeln	45 kW	6 m	APR1	1,00	0,49	3,20	
* Insektizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l,	MAI2	1,00	0,32	0,92	
* Mähdrusch von Weizen	90 kW	3 m	AUG1	1,00	1,38	19,21	
* Korntransport	67 kW	14 (10,5) t, Dreiseitenkippanhänger	AUG1	1,00	0,14	0,61	
* Kalk ab Feld streuen	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaufel, Traktor	AUG2	0,33	0,13	1,05	
	67 kW	4,0 m³, Anhängeschleuderstreuer					
* 1.Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	AUG1	1,00	0,73	7,91	
* 2.Stoppelgrubbern tief, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	SEP2	1,00	0,94	11,04	
Summe							80,72
AUSBRINGUNG BIOL. ZUGEL. PK-DÜNGER							
PK-Dünger ab Hof streuen, loser Dünger	45 kW	Düngerförderschnecke		1,00	0,70	2,39	
*		0,8 m³, Anbauschleuderstreuer				0,00	
Summe							2,39
Summe Weizen + PK-Dünger-Ausbringung							83,11
Summe: Weizen + PK-Dünger-Ausbringung + 1/5 Gründüngung							96,73
FESTMIST- UND JAUCHEAUSBRINGUNG							
* Festmist ausbringen ab Hof - 20 t	45 kW	6 (4,3) t, Streuer			2,56	9,00	
	45 kW	Frontlader mit Dungzange			0,35	1,80	
* Jauche ausbringen ab Hof - 20 m³	45 kW	Schleudertankwagen, 3m³			2,55	5,00	
	8 kW	Tauchmotorpumpe, Elektromotor				0,00	
Summe Festmist- und Jaucheausbringung							15,80
Summe: Weizen + Festmist- und Jaucheausbringung							96,52

Ernte-Dieselaufwendungen: Weizen (KTBL-Datensammlung, Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/05)

WEIZEN	ERNTE: Mähdrescher, 3m, 90 kW;		KORNTRANSPORT: Dreiseitenkipper, 14 (10,5)t, 67 kW;	
Kornertrag - kg	Diesel - l	Zeit - h	Diesel - l	Zeit - h
4.000 kg	16,33	1,38	0,40	0,14
6.000 kg	19,21	1,50	0,61	0,21
8.000 kg	24,74	1,90	0,81	0,27
10.000 kg	30,40	2,32	0,91	0,31

Kalkulatorischer Gesamtdüngeraufwand in Beziehung zum Ertrag (BMFLUW 2002c, 93-94)

Winter-Weizen

Ertrag dt/ha	40	45	50	52,5	55	57,5	60	62,5	65	67,5	70	75	80
N kg	84	95	105	111	116	121	126	132	137	142	148	158	168
P2O5 kg	36	41	45	47	50	52	54	56	59	61	63	68	72
K2O kg	41	46	51	53	56	58	61	63	66	68	71	76	82
CaO kg	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300

Den Berechnungen liegen folgende Annahmen zugrunde:

- Unterstellt sind Böden der Versorgungsstufe C (ausreichend versorgt), Bedarf daher grundsätzlich gleich Entzug.
- Zur Berücksichtigung der durchschnittlichen Nährstoffverluste (Auswaschung, Festlegung) werden die Entzugswerte bei den Hauptnährstoffen mit Bedarfsfaktoren erhöht. Die Bedarfsfaktoren betragen für

Stickstoff 1,1 (Ost-Ausgabe des Kataloges 1,0)

Phosphor 1,1

Kali 1,3

- Von den Nährstoffen, die durch Einarbeiten von Ernterückständen (Stroh, Kraut, Blatt) rückgeführt werden, unterliegt Stickstoff Bedingungen, die zu Verlusten führen können. Dies hängt von der Art der Rückstände und vom Zeitpunkt ab, zu dem die organische Masse anfällt. Bei der Einarbeitung von Ernterückständen wird vom Stickstoff im Getreidestroh 30 %, Rapsstroh und Kartoffelkraut 50 %, Körnermaisstroh 60 % und Rübenblatt 70 % gutgeschrieben. Die Nährstoffe Phosphor und Kali in den Ernterückständen sind zu 100 % anrechenbar.
- Beim Abfahren von Haupt- und Nebenprodukt (Körner und Stroh, Rübe und Blatt etc.) ist das Produktionsverfahren in zwei Aktivitäten zerlegt (Körnerfrucht und Strohbergung bzw. Rübe und Blattbergung). Der Nährstoffbedarf des Hauptproduktionsverfahrens ist so angesetzt, als ob das Nebenprodukt auf dem Feld verbliebe. Als Nährstoffbedarf für das Nebenproduktionsverfahren (z.B. Strohbergung) ist die jeweilige Nährstoffmenge anzusetzen, die beim Hauptproduktionsverfahren rückgeführt werden würde.
- Bei den Leguminosen (Ackerbohne, Körnererbse) wird der Stickstoffbedarf durch symbiotisch verbundenen Stickstoff aus der Luft abgedeckt und der Stickstoff in der nicht-erntebaren Stoppel und Wurzelmasse (für Folgefrucht verwertbar) pauschal mit 40 kg/ha Reinnährstoff im Rohertrag gutgeschrieben.
- Für die Kalkung wird pauschal 300 kg/ha angesetzt.

Entzug durch Hauptfrucht:							Entzug durch Nebenprodukte (Stroh, Kraut, Blatt):				
Frucht	Einheit	Körner: Stroh Knolle: Kraut Rüben: Blatt = 1:	TS	N	P205	K20	Einheit	TS	N	P205	K20
Winterweizen	10 dt Körner	1,1	%	kg	kg	kg	10 dt Stroh	%	kg	kg	kg
Winterroggen	10 dt Körner	1,4	84	18	8	5	10 dt Stroh	86	4	2	11
Wintergerste	10 dt Körner	1,0	84	15	7	6	10 dt Stroh	86	4	2	11
Sommergerste	10 dt Körner	1,0	84	15	8	5	10 dt Stroh	86	5	2	15
Hafer	10 dt Körner	1,0	84	14	8	5	10 dt Stroh	86	6	2	18
Körnermais	10 dt Körner	1,0	84	18	7	5	10 dt Stroh	86	5	3	22
Winterraps	10 dt Körner	1,0	86	15	7	4	10 dt Stroh	86	9	3	18
Sonnenblume	10 dt Körner	2,1	91	34	18	10	10 dt Stroh	86	8	3	14
Ackerbohne	10 dt Kerne	3,5	91	35	18	14	10 dt Stroh	15	4	1	4
Körnererbse	10 dt Körner	1,5	86	42	10	13	10 dt Stroh	86	9	3	18
Kartoffeln	10 dt Körner	1,3	86	36	9	10	10 dt Stroh	86	13	4	22
Zuckerrübe	100 dt Knollen	0,3	23	33	13	60	100 dt Kraut	15	24	10	37
Futterrübe	100 dt Rüben	0,8	23	18	10	25	100 dt Bl. + Köpfe	18	33	10	56
	100 dt Rüben	0,3	15	18	9	33	100 dt Bl. + Köpfe	13	31	7	55

Berechnungsbeispiel für Winterweizen bei 50 dt Kornertrag und Stroheinarbeitung (Feuchtgebiet):

Stickstoff:

$18 \text{ (Kornentzug)} + 4 \text{ (Strohentzug)} \times 1,1 \text{ (Verhältnis Korn : Stroh)} = 22,4 \text{ (Entzug/10 dt Körner + Stroh)}$ Gesamtentzug inkl. Verluste, anrechenbare Nährstoffe aus Ernterückständen: $(22,4 \times 1,1) \text{ (Bedarfsfaktor)} - 4 \text{ (Strohentzug)} \times 1,1 \text{ (Verh. Korn : Stroh)} \times \text{(Anrechnungsfaktor)} \times 5 \text{ (Ertragsniveau, 50 dt)} = 116,6 \text{ kg Reinnährstoff}$

Phosphor:

$8 + 2 \times 1,1 = 10,2 \text{ (Entzug/10 dt Körner + Stroh)}$ Gesamtentzug inkl. Verluste anrechenbare Nährstoffe aus Ernterückständen: $10,2 \times 1,1 \text{ (Bedarfsfaktor)} - 2 \times 1,1 \times 1,0 \text{ (Anrechnungsfaktor)} \times 5 \text{ (Ertragsniveau, 50 dt)} = 45,1 \text{ kg Reinnährstoff}$

Kali:

$5 + 11 \times 1,1 = 17,1 \text{ (Entzug/10 dt Körner + Stroh)}$ $(17,1 \times 1,3 \text{ (Bedarfsfaktor)} - 11 \times 1,1 \times 1,0 \text{ (Anrechnungsfaktor)}) \times 5 \text{ (Ertragsniveau, 50 dt)} = 50,65 \text{ kg Reinnährstoff}$

Kalk: 300 kg pauschal/ha

Quellen: Nährstoffentzugs- und Bedarfswerte für betriebswirtschaftliche Kalkulationen, Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur, München

Anhang 2 – Sechsjährige Fruchtfolge

Fruchtfolge – biologisch und konventionell: Betriebsmitteleinsatz^{1 2}, Energieaufwendungen und Bilanzkennzahlen

			Sys. Bio; N ü. FF, PK; Kk=300kg		Sys. Konv; NPK; Kk=300kg	
Betriebsmittel	Einh.	GJ/Einh.	Menge	GJ	Menge	GJ
1. Jahr:			Bio: Luzerne		Konv: W-Weizen	
Diesel	l	39,7	68,1	2,7	86,7	3,4
N	kg	49,1	0,0	0,0	168,0	8,2
P2O5	kg	17,7	0,0	0,0	72,0	1,3
K2O	kg	10,5	0,0	0,0	82,0	0,9
Pflanzenschutz	kg	263,0	0,0	0,0	5,0	1,3
Kalk	kg	2,4	0,0	0,0	300,0	0,7
Summe Input				2,7		15,9
Output	kg		15,4	0,0	8000,0	123,2
Netto-Energieertrag				-2,7		107,3
Output/Input-Relation				0,0		7,8

2. Jahr:			Bio: W-Weizen		Konv: W-Weizen	
Diesel	l	39,7	81,1	3,2	86,7	3,4
N	kg	49,1	0,0	0,0	168,0	8,2
P2O5	kg	17,7	54,0	1,0	72,0	1,3
K2O	kg	10,5	61,0	0,6	82,0	0,9
Pflanzenschutz	kg	263,0	0,0	0,0	5,0	1,3
Kalk	kg	2,4	300,0	0,7	300,0	0,7
Summe Input				5,5		15,9
Output	kg	15,4	6000,0	92,4	8000,0	123,2
Netto-Energieertrag				86,9		107,3
Output/Input-Relation				16,7		7,8

Zwischenfrucht:			Bio: Sommerwicke		Konv: Senf	
Diesel	l	39,7	19,3	0,8	19,3	0,8
Summe Input				0,8		0,8
Output	kg		0,0	0,0	0,0	0,0
Netto-Energieertrag				-0,8		-0,8
Output/Input-Relation				0,0		0,0

3. Jahr:			Bio: Kartoffel		Konv: Kartoffel	
Diesel	l	39,7	134,5	5,3	128,3	5,1
N	kg	49,1	0,0	0,0	164,0	8,1
P2O5	kg	17,7	44,0	0,8	65,0	1,2
K2O	kg	10,5	244,0	2,6	366,0	3,8
Pflanzenschutz	kg	263,0	0,0	0,0	15,0	3,9
Kalk	kg	2,4	300,0	0,7	300,0	0,7
Summe Input				9,4		22,8
Output	kg	3,9	30000,0	117,0	45000,0	175,5
Netto-Energieertrag				107,6		152,7
Output/Input-Relation				12,5		7,7

¹ Dieselverbräuche: siehe „Arbeitsgänge und Dieselverbräuche: Fruchtfolge – konventionell“ und „Arbeitsgänge und Dieselverbräuche: Fruchtfolge – biologisch“ (kommende Seiten)

² NPK-Düngergaben, Pflanzenschutzmittelgaben und Kalkgaben (Standard-DB-Katalog, BMFLUW 2002c)

Zwischenfrucht:			Bio: Buchweizen		Konv: Buchweizen	
Diesel	l	39,7	19,3	0,8	19,3	0,8
Summe-Input				0,8		0,8
Output	kg		0,0	0,0	0,0	0,0
Netto-Energie-Ertrag				-0,8		-0,8
Output/Input-Relation				0,0		0,0

4. Jahr:			Bio: Futtererbse		Konv: Futtererbse	
Diesel	l	39,7	83,4	3,3	81,9	3,2
N	kg	49,1	0,0	0,0	0,0	0,0
P2O5	kg	17,7	28,0	0,5	36,0	0,6
K2O	kg	10,5	60,0	0,6	76,0	0,8
Pflanzenschutz	kg	263,0	0,0	0,0	4,1	1,1
Kalk	kg	2,4	300,0	0,7	300,0	0,7
Summe Input				5,2		6,5
Output	kg	16,9	2750,0	46,5	3500,0	59,2
Netto-Energieertrag				41,3		52,7
Output/Input-Relation				9,0		9,1

5. Jahr:			Bio: W-Roggen		Konv: W-Roggen	
Diesel	l	39,7	70,4	2,8	80,1	3,2
N	kg	49,1	0,0	0,0	122,0	6,0
P2O5	kg	17,7	38,0	0,7	52,0	0,9
K2O	kg	10,5	59,0	0,6	76,0	0,8
Pflanzenschutz	kg	263,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Kalk	kg	2,4	300,0	0,7	300,0	0,7
Summe Input				4,8		11,6
Output	kg	15,0	4750,0	71,3	6500,0	97,5
Netto-Energieertrag				66,5		85,9
Output/Input-Relation				14,8		8,4

Zwischenfrucht:			Bio: Buchweizen & Phacelia		Konv: Senf	
Diesel	l	39,7	19,3	0,8	19,3	0,8
Summe Input				0,8		0,8
Output	kg		0,0	0,0	0,0	0,0
Netto-Energieertrag				-0,8		-0,8
Output/Input-Relation				0,0		0,0

6. Jahr:			Bio: Braugerste		Konv: Braugerste	
Diesel	l	39,7	76,9	3,0	77,4	3,1
N	kg	49,1	0,0	0,0	109,0	5,4
P2O5	kg	17,7	38,0	0,7	54,0	1,0
K2O	kg	10,5	51,0	0,5	71,0	0,7
Pflanzenschutz	kg	263,0	0,0	0,0	3,2	0,9
Kalk	kg	2,4	300,0	0,7	300,0	0,7
Summe Input				5,0		11,7
Output	kg	15,3	4250,0	65,0	6000,0	91,8
Netto-Energieertrag				60,1		80,1
Output/Input-Relation				13,1		7,9

			Bio		Konv	
Summe Input (6 ha)				34,8		86,6
Summe Output (6 ha)				392,2		670,4
Netto-Energie-Ertrag (6 ha)				357,3		583,8
Output/Input-Relation (6 ha)				11,3		7,7

	Bio		Konv	
Summe Input (1 ha)		5,8		14,4
Summe Ertrag (1 ha)		65,4		111,7
Netto-Energieertrag (1 ha)		59,6		97,3
Output/Input-Relation (1 ha)		11,3		7,7

Arbeitsgänge/Dieserverbräuche: Fruchtfolge – konventionell (KTBL-Datensammlung, Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/05)

WINTER-WEIZEN: Konventionell, wendend, gezogene Saatbettbereitung, viehlos, Bodenart: mittel, 2-ha-Schlag, 8.000 kg Ertrag;							
						Zeit	Diesel
	Arbeitsgänge / Teilarbeitsgänge	Leistung	Maschinen	Zeitraum	Häufigk.	AKh/ha	l/ha
*	PK-Dünger ab Hof streuen, loser Dünger	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaufel, Traktor	SEP1	1,00	0,18	1,48
		67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer				
*	Pflügen	67 kW	Anbaudrehpflug, 4 Schare, 1,40 m	SEP2	1,00	1,88	23,43
*	Eggen	67 kW	Saatbettkombination, angebaut, 4,0 m	OKT1	1,00	0,54	6,13
*	Säen	45 kW	Sämaschine, 3,0 m	OKT2	1,00	0,84	4,02
*	Herbizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	OKT2	1,00	0,32	0,92
*	Kalkammonsalpeter (27% N) ab Hof streuen, loser Dünger		Düngerförderschnecke	FEB2	1,00	0,28	0,89
		45 kW	0,8 m ³ , Anbauschleuderstreuer				
*	Halmverkürzeranwendung - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	MAE1	1,00	0,32	0,92
*	Kalkammonsalpeter (27% N) ab Hof streuen, loser Dünger		Düngerförderschnecke	APR1	1,00	0,21	0,75
		45 kW	0,8 m ³ , Anbauschleuderstreuer				
*	Fungizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	APR2	1,00	0,32	0,92
*	Kalkammonsalpeter (27% N) ab Hof streuen, loser Dünger		Düngerförderschnecke	JUN1	1,00	0,21	0,75
		45 kW	0,8 m ³ , Anbauschleuderstreuer				
*	Fungizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	JUN1	1,00	0,32	0,92
*	Mähdrusch	90 kW	3 m	AUG1	1,00	1,90	24,74
*	Korntransport	67 kW	14 (10,5) t, Dreiseitenkippanhänger	AUG1	1,00	0,27	0,81
*	Kalk ab Feld streuen	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaufel, Traktor	AUG2	0,33	0,13	1,05
		67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer				
*	1. Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	AUG2	1,00	0,73	7,91
*	2. Stoppelgrubbern tief, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	SEP2	1,00	0,94	11,04
	Summe:					9,40	86,68

ZWISCHENFRUCHT: Konventionell, wendend, gezogene Saatbettbereitung, viehlos, Bodenart: mittel, 2-ha-Schlag,							
						Zeit	Diesel
	Arbeitsgänge / Teilarbeitsgänge	Leistung	Maschinen	Zeitraum	Häufigk.	AKh/ha	l/ha
*	Eggen	67 kW	Saatbettkombination, angebaut, 4,0 m	SEP2	1,00	0,54	6,13
*	Säen von Grassamen	45 kW	Sämaschine, 3,0 m	SEP2	1,00	0,83	3,95
*	Mulchen	67 kW	3,5 m	FEB1	1,00	0,96	9,26
	Summe: Zwischenfrucht					2,34	19,34

SPEISEKARTOFFEL: Konventionell, wendend, gezogene Saatbettbereitung, viehlos, Bodenart: mittel, 2-ha-Schlag, 45.000 kg Ertrag;

						Zeit	Diesel
	Arbeitsgänge / Teilarbeitsgänge	Leistung	Maschinen	Zeitraum	Häufigk.	AKh/ha	l/ha
*	PK-Dünger ab Hof streuen, loser Dünger	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaufel, Traktor	OKT1	1,00	0,18	1,32
		67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer				
*	Pflügen	67 kW	Anbaudrehpflug, 4 Schare, 1,40 m	OKT2	1,00	1,88	23,43
*	Eggen	67 kW	Saatbettkombination, angebaut, 4,0 m	MAE2	1,00	0,54	6,13
*	Pflanzkartoffeltransport, Sackware		Gabelstapler 3,0 m, 2 t	APR1	1,00	0,27	0,74
		45 kW	8 (5,7) t, Dreiseitenkipphanhänger				
*	Legen von Kartoffeln, Pflanzgut lose	67 kW	4 Reihen, 1 AK, 1,2 t, Bunker	APR1	1,00	1,20	12,55
*	Kalkammonsalpeter (27% N) ab Hof streuen, loser Dünger		Düngerförderschnecke	APR2	1,00	0,29	0,84
		45 kW	0,8 m ³ , Anbauschleuderstreuer				
*	Häufeln von Kartoffeln, Vorauf- lauf		4-reihig, 45 kW	APR2	1,00	0,71	3,67
*	Herbizidmaßnahme - Pflanzen- schutz ab Hof	67 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 18 m, 1500 l	MAI1	1,00	0,26	1,03
*	Fungizidmaßnahme - Pflanzen- schutz ab Hof	67 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 18 m, 1500 l	JUN2	1,00	0,26	1,03
*	Fungizidmaßnahme - Pflanzen- schutz ab Hof	67 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 18 m, 1500 l	JUL1	1,00	0,26	1,03
*	Fungizidmaßnahme - Pflanzen- schutz ab Hof	67 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 18 m, 1500 l	JUL1	1,00	0,26	1,03
*	Fungizidmaßnahme - Pflanzen- schutz ab Hof	67 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 18 m, 1500 l	JUL2	1,00	0,26	1,03
*	Herbizidmaßnahme - Pflanzen- schutz ab Hof	67 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 18 m, 1500 l	AUG2	1,00	0,26	1,03
*	Kartoffel roden	67 kW	Sammelroder, einreihig, 4,0 t, 2 AK	SEP2	1,00	19,87	58,32
*	Kartoffeltransport	45 kW	6 (4,6) t, Dreiseitenkippan- hänger	SEP2	1,00	3,27	6,12
			Hallenfüller 30 t/h				
*	Kalk ab Feld streuen	45 kW	Frontlader mit Mineraldün- gerschaufel, Traktor	OKT1	0,33	0,13	1,05
		67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuder- streuer				
*	1.Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	OKT1	1,00	0,73	7,91
	Summe:					30,58	128,26

FUTTERERBSE: Konventionell, wendend, gezogene Saatbettbereitung, viehlos, Bodenart: mittel, 2-ha-Schlag, 3.500 kg Ertrag;							
						Zeit	Diesel
	Arbeitsgänge / Teilarbeitsgänge	Leistung	Maschinen	Zeitraum	Häufigk.	AKh/ha	l/ha
*	PK-Dünger ab Hof streuen, loser Dünger	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaukel, Traktor	OKT1	1,00	0,18	1,48
		67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer				
*	Pflügen	67 kW	Anbaudrehpflug, 4 Schare, 1,40 m	OKT2	1,00	1,88	23,43
*	Eggen	67 kW	Saatbettkombination, angebaut, 4,0 m	MAE1	1,00	0,54	6,13
*	Säen	45 kW	Sämaschine, 3,0 m	MAE1	1,00	0,84	4,02
*	Herbizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	MAE2	1,00	0,32	0,92
*	Mähdrusch von Erbsen	125 kW	4,5 m	JUL2	1,00	1,53	25,47
*	Korntransport	45 kW	6 (4,6) t, Dreiseitenkipphanhänger	JUL2	1,00	0,23	0,42
*	Kalk ab Feld streuen	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaukel, Traktor	AUG1	0,33	0,13	1,05
		67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer				
*	1.Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	AUG1	1,00	0,73	7,91
*	2.Stoppelgrubbern tief, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	SEP1	1,00	0,94	11,04
	Summe:					7,34	81,87

GERSTE: Konventionell, wendend, gezogene Saatbettbereitung, viehlos, Bodenart: mittel, 2-ha-Schlag, 6.000 kg Ertrag;							
						Zeit	Diesel
	Arbeitsgänge / Teilarbeitsgänge	Leistung	Maschinen	Zeitraum	Häufigk.	AKh/ha	l/ha
*	PK-Dünger ab Hof streuen, loser Dünger	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaukel, Traktor	OKT1	1,00	0,17	1,40
		67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer				
*	Pflügen	67 kW	Anbaudrehpflug, 4 Schare, 1,40 m	OKT2	1,00	1,88	23,43
*	Eggen	67 kW	Saatbettkombination, angebaut, 4,0 m	MAE1	1,00	0,54	6,13
*	Säen	45 kW	Sämaschine, 3,0 m	MAE1	1,00	0,84	4,00
*	Kalkammonsalpeter (27% N) ab Hof streuen, loser Dünger		Düngerförderschnecke	MAE1	1,00	0,28	0,89
		45 kW	0,8 m ³ , Anbauschleuderstreuer				
*	Herbizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	MAE2	1,00	0,32	0,92
*	Fungizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	JUN1	1,00	0,32	0,92
*	Mähdrusch	90 kW	3 m	JUL2	1,00	1,52	19,03
*	Korntransport	45 kW	6 (4,6) t, Dreiseitenkipphanhänger	JUL2	1,00	0,33	0,71
*	Kalk ab Feld streuen	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaukel, Traktor	AUG1	0,33	0,14	1,05
		67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer				
*	1.Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	AUG1	1,00	0,73	7,91
*	2.Stoppelgrubbern tief, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	SEP1	1,00	0,94	11,04
	Summe:					8,01	77,43

Arbeitsgänge/Dieserverbräuche: Fruchtfolge – biologisch (KTBL-Datensammlung, Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/05)

GRÜNDÜNGUNG: Ökologisch, wendend, gezogene Saatbettbereitung, viehlos, Bodenart: mittel, 2-ha-Schlag;							
						Zeit	Diesel
	Arbeitsgänge / Teilarbeitsgänge	Leistung	Maschinen	Zeitraum	Häufigk.	AKh/ha	l/ha
*	Pflügen	67 kW	Anbaudrehpflug, 4 Schare, 1,40 m	SEP2	1,00	1,88	23,43
*	Eggen	67 kW	Saatbettkombination, angebaut, 2,0m	OKT1	1,00	0,90	8,41
*	Säen von Grassame	45 kW	Sämaschine, 3,0 m	OKT2	1,00	0,83	3,95
*	Mulchen	67 kW	2,5 m	JUN1	1,00	1,42	10,76
*	Mulchen	67 kW	2,5 m	JUL2	1,00	1,42	10,76
*	Mulchen	67 kW	2,5 m	SEP1	1,00	1,42	10,76
	Summe Gründüngung					7,86	68,07

WINTER-WEIZEN: Ökologisch, wendend, gezogene Saatbettbereitung, viehlos, Bodenart: mittel, 2-ha-Schlag, 6.000 kg Ertrag;							
						Zeit	Diesel
	Arbeitsgänge / Teilarbeitsgänge	Leistung	Maschinen	Zeitraum	Häufigk.	AKh/ha	l/ha
*	Pflügen	67 kW	Anbaudrehpflug, 4 Schare, 1,40 m	SEP2	1,00	1,88	23,43
*	Eggen	67 kW	Saatbettkombination, angebaut, 4,0m	OKT1	1,00	0,54	6,13
*	Säen	45 kW	Sämaschine, 3,0 m	OKT2	1,00	0,84	4,02
*	Striegeln	45 kW	6 m	OKT2	1,00	0,49	3,20
*	Striegeln	45 kW	6 m	APR1	1,00	0,49	3,20
*	Insektizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l,	MAI2	1,00	0,32	0,92
*	Mähdrusch von Weizen	90 kW	3 m	AUG1	1,00	1,38	19,61
*	Korntransport	67 kW	14 (10,5) t, Dreiseitenkippanhänger	AUG1	1,00	0,14	0,61
*	Kalk ab Feld streuen	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaukel, Traktor	AUG2	0,33	0,13	1,05
		67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer				
*	1.Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	AUG1	1,00	0,73	7,91
*	2.Stoppelgrubbern tief, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	SEP2	1,00	0,94	11,04
	Summe: Weizen					7,89	81,12

ZWISCHENFRUCHT: Ökologisch, wendend, gezogene Saatbettbereitung, viehlos mit Grünbrache, Bodenart: mittel, 2-ha-Schlag;							
						Zeit	Diesel
	Arbeitsgänge / Teilarbeitsgänge	Leistung	Maschinen	Zeitraum	Häufigk.	AKh/ha	l/ha
*	Eggen	67 kW	Saatbettkombination, angebaut, 4,0 m	SEP2	1,00	0,54	6,13
*	Säen von Grassamen	45 kW	Sämaschine, 3,0 m	SEP2	1,00	0,83	3,95
*	Mulchen	67 kW	3,5 m	FEB1	1,00	0,96	9,26
	Summe: Zwischenfrucht					2,34	19,34

SPEISEKARTOFFEL: Ökologisch, wendend, gezogene Saatbettbereitung, viehlos, Bodenart: mittel, 2-ha-Schlag, 30.000 kg Ertrag;							
						Zeit	Diesel
	Arbeitsgänge / Teilarbeitsgänge	Leistung	Maschinen	Zeitraum	Häufigk.	AKh/ha	l/ha
*	Pflügen	67 kW	Anbaudrehpflug, 4 Schare, 1,40 m	MAE1	1,00	1,88	23,43
*	Eggen	67 kW	Saatbettkombination, angebaut, 4,0 m	MAE2	1,00	0,54	6,13
*	Pflanzkartoffeltransport, Sackware		Gabelstapler 3,0 m, 2 t	APR1	1,00	0,27	0,74
*	Legen von Kartoffeln, Pflanzgut lose	67 kW	4 Reihen, 1 AK, 1,2 t, Bunker	APR1	1,00	1,20	12,55
*	Hacken und Striegeln, Vorauflauf	45 kW	4-reihig	APR1	1,00	0,71	3,67
*	Hacken und Striegeln, Vorauflauf	45 kW	4-reihig	APR2	1,00	0,71	3,67
*	Hacken und Striegeln, Nachauflauf	45 kW	4-reihig	MAI1	1,00	0,96	4,40
*	Hacken und Striegeln, Nachauflauf	45 kW	4-reihig	MAI2	1,00	0,96	4,40
*	Häufeln von Kartoffeln, Nachauflauf	67 kW	4-reihig	JUN1	1,00	0,96	5,42
*	Fungizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	67 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 18 m, 1500 l	JUN1	1,00	0,26	1,03
*	Fungizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	67 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 18 m, 1500 l	JUL1	1,00	0,26	1,03
*	Fungizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	67 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 18 m, 1500 l	AUG1	1,00	0,26	1,03
*	Kartoffel roden	67 kW	Sammelroder, einreihig, 4,0 t, 2 AK	SEP2	1,00	15,78	53,99
*	Kartoffeltransport	45 kW	6 (4,6) t, Dreiseitenkippanhänger	SEP2	1,00	2,18	4,08
			Hallenfüller 30 t/h				
*	Kalk ab Feld streuen	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaukel, Traktor	OKT1	0,33	0,13	1,05
		67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer				
*	1.Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	OKT1	1,00	0,73	7,91
	Summe: Speisekartoffel					27,77	134,53

FUTTERERBSE: Ökologisch, wendend, gezogene Saatbettbereitung, viehlos, Bodenart: mittel, 2-ha-Schlag, 2.750 kg Ertrag;							
						Zeit	Diesel
	Arbeitsgänge / Teilarbeitsgänge	Leistung	Maschinen	Zeitraum	Häufigk.	AKh/ha	l/ha
*	Pflügen	67 kW	Anbaudrehpflug, 4 Schare, 1,40 m	OKT2	1,00	1,88	23,43
*	Eggen	67 kW	Saatbettkombination, angebaut, 4,0 m	MAE1	1,00	0,54	6,13
*	Säen	45 kW	Sämaschine, 3,0 m	MAE1	1,00	0,84	4,02
*	Striegeln	45 kW	6 m	MAE1	1,00	0,49	3,20
*	Striegeln	45 kW	6 m	MAI1	1,00	0,49	3,20
*	Mähdrusch	125 kW	4,5 m	JUL2	1,00	1,51	23,19
*	Korntransport	67 kW	14 (10,5) t, Dreiseitenkippanhänger	JUL2	1,00	0,09	0,25
*	Kalk ab Feld streuen	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaukel, Traktor	AUG1	0,33	0,13	1,05
		67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer				
*	1.Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	AUG1	1,00	0,73	7,91
*	2.Stoppelgrubbern tief, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	SEP1	1,00	0,94	11,04
	Summe: Futtererbse					7,65	83,42

ROGGEN: Ökologisch, wendend, gezogene Saatbettbereitung, viehlos, Bodenart: mittel, 2-ha-Schlag, 4.750 kg Ertrag;							
						Zeit	Diesel
	Arbeitsgänge / Teilarbeitsgänge	Leistung	Maschinen	Zeitraum	Häufigk.	AKh/ha	l/ha
*	Pflügen	67 kW	Anbaudrehpflug, 4 Schare, 1,40 m	SEP2	1,00	1,88	23,43
*	Eggen	67 kW	Saatbettkombination, angebaut, 4,0 m	OKT1	1,00	0,54	6,13
*	Säen	45 kW	Sämaschine, 3,0 m	OKT1	1,00	0,83	3,99
*	Striegeln	45 kW	6 m	MAE2	1,00	0,49	3,20
*	Mähdrusch	90 kW	3 m	AUG1	1,00	1,38	16,33
*	Korntransport	67 kW	14 (10,5) t, Dreiseitenkippanhänger	AUG1	1,00	0,14	0,40
*	Kalk ab Feld streuen	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaufel, Traktor	AUG1	0,33	0,13	1,05
		67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer				
*	1. Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	AUG1	1,00	0,73	7,91
*	2. Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	SEP2	1,00	0,73	7,91
	Summe: Roggen					6,86	70,35

SOMMERGERSTE: Ökologisch, wendend, gezogene Saatbettbereitung, viehlos, Bodenart: mittel, 2-ha-Schlag, 4.250 kg Ertrag;							
						Zeit	Diesel
	Arbeitsgänge / Teilarbeitsgänge	Leistung	Maschinen	Zeitraum	Häufigk.	AKh/ha	l/ha
*	Pflügen	67 kW	Anbaudrehpflug, 4 Schare, 1,40 m	SEP1	1,00	1,88	23,43
*	Eggen	67 kW	Saatbettkombination, angebaut, 4,0 m	SEP2	1,00	0,54	6,13
*	Säen von Grassamen	45 kW	Sämaschine, 3,0 m	SEP2	1,00	0,83	3,95
*	Mulchen	67 kW	3,5 m	FEB1	1,00	0,96	9,26
	Summe: Gründüngung					4,22	42,77
*	Pflügen	67 kW	Anbaudrehpflug, 4 Schare, 1,40 m	FEB2	1,00	1,88	23,43
*	Eggen	67 kW	Saatbettkombination, angebaut, 4,0 m	MAE1	1,00	0,54	6,13
*	Säen	45 kW	Sämaschine, 3,0 m	MAE1	1,00	0,84	4,00
*	Striegeln	45 kW	6 m	MAE1	1,00	0,49	3,20
*	Striegeln	45 kW	6 m	APR1	1,00	0,49	3,20
*	Mähdrusch von Sommergerste	90 kW	3 m	JUL2	1,00	1,43	16,54
*	Korntransport	67 kW	14 (10,5) t, Dreiseitenkippanhänger	JUL2	1,00	0,14	0,40
*	Kalk ab Feld streuen	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaufel, Traktor	AUG1	0,33	0,13	1,05
		67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer				
*	1. Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	AUG1	1,00	0,73	7,91
*	2. Stoppelgrubbern tief, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	SEP1	1,00	0,94	11,04
	Summe: Sommergerste					7,62	76,90

**Fruchtfolge: konventionell, konventionell mit reduzierter Bodenbearbeitung und konventionell mit reduzierter Bodenbearbeitung & 50 % mehr Pflanzenschutzmittel:
Betriebsmitteleinsatz ^{1 2 3}, Energieaufwendungen und Bilanzkennzahlen**

Betriebsmittel	Einh.	GJ/Einh.	Sys. Konv; NPK; Kk=300kg		Sys. Konv; NPK; red. BB; Kk=300kg		Sys. Konv; NPK; red. BB +50% PS	
			Menge	GJ	Menge	GJ	Menge	GJ
1. Jahr:			Konv: W-Weizen		red. BB: W-Weizen		red. BB+50% PS: W-Weizen	
Diesel	l	39,7	86,7	3,4	58,2	2,3	58,2	2,3
Saatgut	kg	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N	kg	49,1	168,0	8,2	168,0	8,2	168,0	8,2
P2O5	kg	17,7	72,0	1,3	72,0	1,3	72,0	1,3
K2O	kg	10,5	82,0	0,9	82,0	0,9	82,0	0,9
Pflanzenschutz	kg	263,0	5,0	1,3	5,0	1,3	7,5	2,0
Kalk	kg	2,4	300,0	0,7	300,0	0,7	300,0	0,7
Summe Input				15,9		14,7		15,4
Output	kg	15,4	8000,0	123,2	8000,0	123,2	8000,0	123,2
Netto-Energieertrag				107,3		108,5		107,8
Output/Input-Relation				7,8		8,4		8,0

2. Jahr:			Konv: W-Weizen		red. BB: W-Weizen		red. BB+50% PS: W-Weizen	
Diesel	l	39,7	86,7	3,4	58,2	2,3	58,2	2,3
N	kg	49,1	168,0	8,2	168,0	8,2	168,0	8,2
P2O5	kg	17,7	72,0	1,3	72,0	1,3	72,0	1,3
K2O	kg	10,5	82,0	0,9	82,0	0,9	82,0	0,9
Pflanzenschutz	kg	263,0	5,0	1,3	5,0	1,3	7,5	2,0
Kalk	kg	2,4	300,0	0,7	300,0	0,7	300,0	0,7
Summe Input				15,9		14,7		15,4
Output	kg	15,4	8000,0	123,2	8000,0	123,2	8000,0	123,2
Netto-Energieertrag				107,3		108,5		107,8
Output/Input-Relation				7,8		8,4		8,0

Zwischenfrucht:			Konv: Senf		red. BB: Senf		red. BB+50% PS: Senf	
Diesel	l	39,7	19,3	0,8	19,3	0,8	19,3	0,8
Summe Input				0,8		0,8		0,8
Output	kg		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Netto-Energieertrag				-0,8		-0,8		-0,8
Output/Input-Relation				0,0		0,0		0,0

¹ Dieserverbräuche: siehe „Arbeitsgänge und Dieserverbräuche: Fruchtfolge – konventionell“ und „Arbeitsgänge und Dieserverbräuche: Fruchtfolge – konventionell Direktsaat“ (folgende Seiten)

² NPK-Düngergaben, Pflanzenschutzmittelgaben und Kalkgaben (Standard-DB-Katalog, BMFLUW 2002c)

³ Pflanzenschutzmittelgaben in „red. BB +50% PS“: 50 % Zuschlag zu Standard-DB-Katalog Angaben

3. Jahr:			Konv.: Kartoffel		Nicht wendend: Kartoffel		Nicht wendend: Kartoffel	
Diesel	l	39,7	128,3	5,1	124,0	4,9	124,0	4,9
N	kg	49,1	164,0	8,1	164,0	8,1	164,0	8,1
P205	kg	17,7	65,0	1,2	65,0	1,2	65,0	1,2
K20	kg	10,5	366,0	3,8	366,0	3,8	366,0	3,8
Pflanzenschutz	kg	263,0	15,0	3,9	15,0	3,9	15,0	3,9
Kalk	kg	2,4	300,0	0,7	300,0	0,7	300,0	0,7
Summe Input				22,8		22,6		22,6
Output	kg	3,9	45000,0	175,5	45000,0	175,5	45000,0	175,5
Netto-Energieertrag				152,7		152,9		152,9
Output/Input-Relation				7,7		7,8		7,8

Zwischenfrucht:			Konv: Buchweizen		red. BB: Buchweizen		red. BB+50% PS: Buchweizen	
Diesel	l	39,7	19,3	0,8	19,3	0,8	19,3	0,8
Summe Input				0,8		0,8		0,8
Output	kg		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Netto-Energieertrag				-0,8		-0,8		-0,8
Output/Input-Relation				0,0		0,0		0,0

4. Jahr:			Konv: Futtererbse		red. BB: Futtererbse		red. BB+50% PS: Futtererbse	
Diesel	l	39,7	81,9	3,2	52,5	2,1	52,5	2,1
N	kg	49,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P205	kg	17,7	36,0	0,6	36,0	0,6	36,0	0,6
K20	kg	10,5	76,0	0,8	76,0	0,8	76,0	0,8
Pflanzenschutz	kg	263,0	4,1	1,1	4,1	1,1	6,2	1,6
Kalk	kg	2,4	300,0	0,7	300,0	0,7	300,0	0,7
Summe Input				6,5		5,3		5,9
Output	kg	16,9	3500,0	59,2	3500,0	59,2	3500,0	59,2
Netto-Energieertrag				52,7		53,8		53,3
Output/Input-Relation				9,1		11,1		10,1

5. Jahr:			Konv: Roggen		red. BB: Roggen		red. BB+50% PS: Roggen	
Diesel	l	39,7	80,1	3,2	49,9	2,0	49,9	2,0
N	kg	49,1	122,0	6,0	168,0	8,2	168,0	8,2
P205	kg	17,7	52,0	0,9	72,0	1,3	72,0	1,3
K20	kg	10,5	76,0	0,8	82,0	0,9	82,0	0,9
Pflanzenschutz	kg	263,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
Kalk	kg	2,4	300,0	0,7	300,0	0,7	300,0	0,7
Summe Input				11,6		13,1		13,1
Ertrag	kg	15,0	6500,0	97,5	6500,0	97,5	6500,0	97,5
Netto-Energieertrag				85,9		84,4		84,4
Output/Input-Relation				8,4		7,4		7,4

Zwischenfrucht:			Konv: Senf		red. BB: Senf		red. BB+50% PS: Senf	
Diesel	l	39,7	19,3	0,8	19,3	0,8	19,3	0,8
Summe Input				0,8		0,8		0,8
Output	kg		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Netto-Energieertrag				-0,8		-0,8		-0,8
Output/Input-Relation				0,0		0,0		0,0

6. Jahr:			Konv: Braugerste		red. BB: Braugerste		red. BB+50% PS: Braugerste	
Diesel	l	39,7	77,4	3,1	48,1	1,9	48,1	1,9
N	kg	49,1	109,0	5,4	109,0	5,4	109,0	5,4
P205	kg	17,7	54,0	1,0	54,0	1,0	54,0	1,0
K20	kg	10,5	71,0	0,7	71,0	0,7	71,0	0,7
Pflanzenschutz	kg	263,0	3,2	0,9	3,2	0,9	4,9	1,3
Kalk	kg	2,4	300,0	0,7	300,0	0,7	300,0	0,7
Summe Input				11,7		10,5		11,0
Output	kg	15,3	6000,0	91,8	6000,0	91,8	6000,0	91,8
Netto-Energieertrag				80,1		81,3		80,8
Output/Input-Relation				7,9		8,7		8,4

	Konv		red. BB		red. BB+50% PS	
Summe Input (6 ha)		86,6		83,3		85,6
Summe Output (6 ha)		670,4		670,4		670,4
Netto-Energieertrag (6 ha)		583,8		587,0		584,7
Output/Input-Relation (6 ha)		7,7		8,0		7,8

	Konv		red. BB		red. BB+50% PS	
Summe Input (1 ha)		14,4		13,9		14,3
Summe Output (1 ha)		111,7		111,7		111,7
Netto-Energieertrag (1 ha)		97,3		97,8		97,5
Output/Input-Relation (1 ha)		7,7		8,0		7,8

Arbeitsgänge/Dieserverbräuche: Fruchtfolge – konventionell, reduzierte Bodenbearbeitung (KTBL-Datensammlung, Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/05) ^{1 2}

WINTER-WEIZEN: Konventionell, Direktsaat, viehlos, Bodenart: mittel, 2-ha-Schlag, 8.000 kg Ertrag;							
Arbeitsgänge / Teilarbeitsgänge	Leistung	Maschinen	Zeitraum	Häufigk.	Zeit AKh/ha	Diesel l/ha	
* PK-Dünger ab Hof streuen, loser Dünger	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaufel, Traktor	SEP1	1,00	0,18	1,48	
	67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer					
* Herbizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	OKT1	1,00	0,32	0,92	
* Direktsaat von Weizen	67 kW	Direktsämaschine, 3 m, 1800 l	OKT2	1,00	0,74	7,31	
* Herbizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	OKT2	1,00	0,32	0,92	
* Kalkammonsalpeter (27% N) ab Hof streuen, loser Dünger	45 kW	0,8 m ³ , Anbauschleuderstreuer	FEB2	1,00	0,28	0,89	
		Düngerförderschnecke					
* Halmverkürzeranwendung - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	MAE1	1,00	0,32	0,92	
* Kalkammonsalpeter (27% N) ab Hof streuen, loser Dünger	45 kW	0,8 m ³ , Anbauschleuderstreuer	APR1	1,00	0,21	0,75	
		Düngerförderschnecke					
* Fungizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	APR2	1,00	0,32	0,92	
* Kalkammonsalpeter (27% N) ab Hof streuen, loser Dünger	45 kW	0,8 m ³ , Anbauschleuderstreuer	JUN1	1,00	0,21	0,75	
		Düngerförderschnecke					
* Fungizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	JUN1	1,00	0,32	0,92	
* Mähdrusch von Weizen, Roggen, Triticale	90 kW	3 m	AUG1	1,00	1,90	24,74	
* Korntransport	67 kW	14 (10,5) t, Dreiseitenkippanhänger	AUG1	1,00	0,27	0,81	
* Kalk ab Feld streuen	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaufel, Traktor	AUG2	0,33	0,13	1,05	
	67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer			0,00	0,00	
* 1.Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	AUG1	1,00	0,73	7,91	
* 2.Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	SEP1	1,00	0,73	7,91	
Summe:					6,99	58,20	

ZWISCHENFRUCHT: Konventionell, wendend, gezogene Saatbettbereitung, viehlos, Bodenart: mittel, 2-ha-Schlag,							
Arbeitsgänge / Teilarbeitsgänge	Leistung	Maschinen	Zeitraum	Häufigk.	Zeit AKh/ha	Diesel l/ha	
* Eggen	67 kW	Saatbettkombination, angebaut, 4,0 m	SEP2	1,00	0,54	6,13	
* Säen von Grassamen	45 kW	Sämaschine, 3,0 m	SEP2	1,00	0,83	3,95	
* Mulchen	67 kW	3,5 m	FEB1	1,00	0,96	9,26	
Summe: Zwischenfrucht					2,34	19,34	

¹ Bei den Zwischenfrüchten bleiben die Arbeitsgänge unverändert

² Bei der Kartoffel kommen Tiefenrübber und Kreiselege zum Einsatz

SPEISEKARTOFFEL: Konventionell, nicht wenden, kreiseleggen, viehlos, Bodenart: mittel, 2-ha-Schlag, 45.000 kg Ertrag;							
						Zeit	Diesel
Arbeitsgänge / Teilarbeitsgänge	Leistung	Maschinen	Zeitraum	Häufigk.	AKh/ha		l/ha
* PK-Dünger ab Hof streuen, loser Dünger	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaukel, Traktor	MAE1	1,00	0,18		1,32
	67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer					
* Tiefgrubbern	67 kW	2,5 m	MAE1	1,00	1,10		15,80
* Eggen mit Kreiselegge	45 kW	2,5 m	MAE2	1,00	1,13		9,45
* Pflanzkartoffeltransport, Sackware		Gabelstapler 3,0 m, 2 t	APR1	1,00	0,27		0,74
	45 kW	8 (5,7) t, Dreiseitenkippanhänger					
* Legen von Kartoffeln, Pflanzgut lose	67 kW	4 Reihen, 1 AK, 1,2 t, Bunker	APR1	1,00	1,20		12,55
* Kalkammonsalpeter (27% N) ab Hof streuen, loser Dünger		Düngerförderschnecke	APR2	1,00	0,29		0,84
	45 kW	0,8 m ³ , Anbauschleuderstreuer					
* Häufeln von Kartoffeln, Voraufbau		4-reihig, 45 kW	APR2	1,00	0,71		3,67
* Herbizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	67 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 18 m, 1500 l	MAI1	1,00	0,26		1,03
* Fungizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	67 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 18 m, 1500 l	JUN2	1,00	0,26		1,03
* Fungizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	67 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 18 m, 1500 l	JUL1	1,00	0,26		1,03
* Fungizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	67 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 18 m, 1500 l	JUL1	1,00	0,26		1,03
* Fungizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	67 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 18 m, 1500 l	JUL2	1,00	0,26		1,03
* Herbizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	67 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 18 m, 1500 l	AUG2	1,00	0,26		1,03
* Kartoffel roden	67 kW	Sammelroder, einreihig, 4,0 t, 2 AK	SEP2	1,00	19,87		58,32
* Kartoffeltransport	45 kW	6 (4,6) t, Dreiseitenkippanhänger	SEP2	1,00	3,27		6,12
		Hallenfüller 30 t/h					
* Kalk ab Feld streuen	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaukel, Traktor	OKT1	0,33	0,13		1,05
	67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer					
* 1. Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	OKT1	1,00	0,73		7,91
Summe:					30,39		123,95

FUTTERERBSE: Konventionell, Direktsaat, viehlos, Bodenart: mittel, 2-ha-Schlag, 3.500 kg Ertrag;							
						Zeit	Diesel
Arbeitsgänge / Teilarbeitsgänge	Leistung	Maschinen	Zeitraum	Häufigk.	AKh/ha		l/ha
* PK-Dünger ab Hof streuen, loser Dünger	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaukel, Traktor	OKT1	1,00	0,18		1,48
	67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer					
* Direktsaat von Futtererbse	67 kW	Direktsämaschine, 3 m, 1800 l	MAE1	1,00	0,74		7,31
* Herbizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	MAE2	1,00	0,32		0,92
* Mähdrusch von Erbsen, Lupinen	125 kW	4,5 m	JUL2	1,00	1,53		25,47
* Korntransport	45 kW	6 (4,6) t, Dreiseitenkippanhänger	JUL2	1,00	0,23		0,42
* Kalk ab Feld streuen	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaukel, Traktor	AUG1	0,33	0,13		1,05
	67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer			0,00		0,00
* 1. Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	AUG1	1,00	0,73		7,91
* 2. Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	SEP1	1,00	0,73		7,91
Summe:					4,61		52,47

GERSTE: Konventionell, Direktsaat, viehlos, Bodenart: mittel, 2-ha-Schlag, 6.000 kg Ertrag;							
						Zeit	Diesel
	Arbeitsgänge / Teilarbeitsgänge	Leistung	Maschinen	Zeitraum	Häufigk.	AKh/ha	l/ha
*	PK-Dünger ab Hof streuen, loser Dünger	45k W	Frontlader mit Mineraldüngerschaufel, Traktor	OKT1	1,00	0,17	1,40
		67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer				
*	Direktsaat von Gerste	67 kW	Direktsämaschine, 3 m, 1800 l	MAE1	1,00	0,74	7,31
*	Kalkammonsalpeter (27% N) ab Hof streuen, loser Dünger		Düngerförderschnecke	MAE1	1,00	0,28	0,89
		45 kW	0,8 m ³ , Anbauschleuderstreuer				
*	Herbizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	MAE2	1,00	0,32	0,92
*	Fungizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	JUN1	1,00	0,32	0,92
*	Mähdrusch von Sommergerste	90 kW	3 m	JUL2	1,00	1,52	19,03
*	Korntransport	45 kW	6 (4,6) t, Dreiseitenkippanhänger	JUL2	1,00	0,40	0,71
*	Kalk ab Feld streuen	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaufel, Traktor	AUG1	0,33	0,13	1,05
		67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer				
*	1.Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	AUG1	1,00	0,73	7,91
*	2.Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	SEP1	1,00	0,73	7,91
	Summe:					5,33	48,05
ROGGEN: Konventionell, Direktsaat, viehlos, Bodenart: mittel, 2-ha-Schlag, 6.500 kg Ertrag;							
						Zeit	Diesel
	Arbeitsgänge / Teilarbeitsgänge	Leistung	Maschinen	Zeitraum	Häufigk.	AKh/ha	l/ha
*	PK-Dünger ab Hof streuen, loser Dünger	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaufel, Traktor	SEP1	1,00	0,18	1,48
		67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer				
*	Herbizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	OKT1	1,00	0,32	0,92
*	Direktsaat von Roggen	67 kW	Direktsämaschine, 3 m, 1800 l	OKT2	1,00	0,74	7,31
*	Herbizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	OKT2	1,00	0,32	0,92
*	Herbizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	MAE1	1,00	0,32	0,92
*	Kalkammonsalpeter (27% N) ab Hof streuen, loser Dünger	45 kW	0,8 m ³ , Anbauschleuderstreuer	MAE1	1,00	0,21	0,75
			Düngerförderschnecke				
*	Herbizidmaßnahme - Pflanzenschutz ab Hof	45 kW	Anbaupflanzenschutzspritze, 15 m, 1000 l	APR	1,00	0,32	0,92
*	Mähdrusch von Weizen, Roggen, Triticale	90 kW	3 m	AUG1	1,00	1,50	19,21
*	Korntransport	67 kW	14 (10,5) t, Dreiseitenkippanhänger	AUG1	1,00	0,21	0,61
*	Kalk ab Feld streuen	45 kW	Frontlader mit Mineraldüngerschaufel, Traktor	AUG2	0,33	0,13	1,05
		67 kW	4,0 m ³ , Anhängeschleuderstreuer			0,00	0,00
*	1.Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	AUG1	1,00	0,73	7,91
*	2.Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	67 kW	2,5 m	SEP1	1,00	0,73	7,91
	Summe:					5,72	49,91

Fruchtfolge: biologisch und ProBio: Betriebsmitteleinsatz ^{1 2 3 4}, Energieaufwendungen und Bilanzkennzahlen

Sys. Bio; N ü. FF, PK; Kk=300kg				Sys. Bio; N ü. FF; +20% Ertrag; Kk=300kg			
Betriebsmittel	Einh.	GJ/Einh.	Menge	GJ	Menge	GJ	
1. Jahr:			Bio: Luzerne		ProBio: Luzerne		
Diesel	l	39,7	68,1	2,7	68,1	2,7	
N	kg	49,1	0,0	0,0	0,0	0,0	
P2O5	kg	17,7	0,0	0,0	0,0	0,0	
K2O	kg	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	
Pflanzenschutz	kg	263,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Kalk	kg	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	
Summe Input				2,7		2,7	
Output	kg		0,0	0,0	0,0	0,0	
Netto-Energieertrag				-2,7		-2,7	
Output/Input-Relation				0,0		0,0	

2. Jahr:			Bio: W-Weizen		ProBio.: W-Weizen	
Diesel	l	39,7	81,1	3,2	81,1	3,2
N	kg	49,1		0,0	0,0	0,0
P2O5	kg	17,7	54,0	1,0	0,0	0,0
K2O	kg	10,5	61,0	0,6	0,0	0,0
Pflanzenschutz	kg	263,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kalk	kg	2,4	300,0	0,7	300,0	0,7
Summe Input				5,5		3,9
Output	kg	15,4	6000,0	92,4	7200,0	110,9
Netto-Energieertrag				86,9		106,9
Output/Input-Relation				16,7		28,2

Zwischenfrucht:			Bio: Sommerwicke		ProBio: Sommerwicke	
Diesel	l	39,7	19,3	0,8	19,3	0,8
Summe Input				0,8		0,8
Output	kg		0,0	0,0	0,0	0,0
Netto-Energieertrag				-0,8		-0,8
Output/Input-Relation				0,0		0,0

3. Jahr:			Bio: Kartoffel		ProBio.: Kartoffel	
Diesel	l	39,7	134,5	5,3	134,5	5,3
N	kg	49,1	0,0	0,0	0,0	0,0
P2O5	kg	17,7	44,0	0,8	0,0	0,0
K2O	kg	10,5	244,0	2,6	0,0	0,0
Pflanzenschutz	kg	263,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kalk	kg	2,4	300,0	0,7	300,0	0,7
Summe Input				9,4		6,1
Output	kg	3,9	30000,0	117,0	36000,0	140,4
Netto-Energieertrag				107,6		134,3
Output/Input-Relation				12,5		23,2

¹ Dieselverbräuche: siehe „Arbeitsgänge und Dieselverbräuche: Fruchtfolge – biologisch“

² Kalkgaben (Standard-DB-Katalog, BMFLUW 2002c)

³ P- und K-Gaben in Bio-Variante: Standard-DB-Katalog, BMFLUW 2002c,

⁴ Erträge: Bio-Variante (KTBL-Datensammlung u. Freyer 2003), ProBio-Variante: (KTBL-Datensammlung u. Freyer 2003 + 50 %)

Zwischenfrucht:			Bio: Buchweizen		ProBio: Buchweizen	
Diesel	l	39,7	19,3	0,8	19,3	0,8
Summe Input				0,8		0,8
Output	kg		0,0	0,0	0,0	0,0
Netto-Energieertrag				-0,8		-0,8
Output/Input-Relation				0,0		0,0

4. Jahr:			Bio: Futtererbse		ProBio: Futtererbse	
Diesel	l	39,7	83,4	3,3	83,4	3,3
N	kg	49,1	0,0	0,0	0,0	0,0
P205	kg	17,7	28,0	0,5	0,0	0,0
K20	kg	10,5	60,0	0,6	0,0	0,0
Pflanzenschutz	kg	263,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kalk	kg	2,4	300,0	0,7	300,0	0,7
Summe Input				5,2		4,0
Output	kg	16,9	2750,0	46,5	3300,0	55,8
Netto-Energieertrag				41,3		51,7
Output/Input-Relation				9,0		13,9

5. Jahr:			Bio: W-Roggen		ProBio: W-Roggen	
Diesel	l	39,7	70,4	2,8	70,4	2,8
N	kg	49,1	0,0	0,0	0,0	0,0
P205	kg	17,7	38,0	0,7	0,0	0,0
K20	kg	10,5	59,0	0,6	0,0	0,0
Pflanzenschutz	kg	263,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kalk	kg	2,4	300,0	0,7	300,0	0,7
Summe Input				4,8		3,5
Output	kg	15,0	4750,0	71,3	5700,0	85,5
Netto-Energieertrag				66,5		82,0
Output/Input-Relation				14,8		24,4

Zwischenfrucht:			Bio: Buchweizen & Phacelia		ProBio: Buchweizen & Phacelia	
Diesel	l	39,7	19,3	0,8	19,3	0,8
Summe Input				0,8		0,8
Output	kg		0,0	0,0	0,0	0,0
Netto-Energieertrag				-0,8		-0,8
Output/Input-Relation				0,0		0,0

6. Jahr:			Bio: Braugerste		ProBio.: Braugerste	
Diesel	l	39,7	76,9	3,0	76,9	3,0
N	kg	49,1	0,0	0,0	0,0	0,0
P205	kg	17,7	38,0	0,7	0,0	0,0
K20	kg	10,5	51,0	0,5	0,0	0,0
Pflanzenschutz	kg	263,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kalk	kg	2,4	300,0	0,7	300,0	0,7
Summe Input				5,0		3,8
Output	kg	15,3	4250,0	65,0	5100,0	78,0
Netto-Energieertrag				60,1		74,3
Output/Input-Relation				13,1		20,7

	Biologisch			ProBio	
Summe Input (6 ha)				34,8	26,3
Summe Output (6 ha)				392,2	470,6
Netto-Energieertrag (6 ha)				357,3	444,3
Output/Input-Relation (6 ha)				11,3	17,9

	Biologisch			ProBio	
Summe Input (1 ha)				5,8	4,4
Summe Output (1 ha)				65,4	78,4
Netto-Energieertrag (1 ha)				59,6	74,0
Output/Input-Relation (1 ha)				11,3	17,9

Kalkulatorischer Gesamtdüngeraufwand in Beziehung zum Ertrag (Standard-DB-Katalog, BMFLUW 2002c)

Winter-Weizen

Ertrag dt/ha	40	45	50	52,5	55	57,5	60	62,5	65	67,5	70	75	80
N kg	84	95	105	111	116	121	126	132	137	142	148	158	168
P2O5 kg	36	41	45	47	50	52	54	56	59	61	63	68	72
K2O kg	41	46	51	53	56	58	61	63	66	68	71	76	82
CaO kg	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300

Kartoffel

Ertrag dt/ha	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
N kg	55	64	73	82	91	101	110	119	128	137	146	155	164
P2O5 kg	22	26	29	33	36	40	44	47	51	55	58	62	65
K2O kg	42	142	163	183	203	224	244	264	285	305	325	346	366
CaO kg	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300

Futtererbse

Ertrag dt/ha	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40	42,5	45	47,5	50
N kg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2O5 kg	25	28	31	34	36	39	42	44	47	49	52
K2O kg	54	60	65	70	76	81	86	92	97	103	108
CaO kg	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300

Roggen

Ertrag dt/ha	25	30	32,5	35	37,5	40	42,5	45	47,5	50	52,5	55	60	65
N kg	47	57	61	66	71	76	80	85	90	95	99	104	113	122
P2O5 kg	20	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	48	52
K2O kg	31	37	40	43	47	50	53	56	59	62	65	68	72	76
CaO kg	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300

Sommergerste

Ertrag dt/ha	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40	42,5	45	47,5	50	52,5	55	60
N kg	47	51	55	59	64	68	73	77	82	86	91	96	100	109
P2O5 kg	22	24	27	29	31	34	36	38	41	43	45	47	50	54
K2O kg	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	62	65	71
CaO kg	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300