



Universität für Bodenkultur Wien

University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna

Department für nachhaltige

Agrarsysteme

Institut für Landtechnik

Kumulierter Energieaufwand in der ökologischen Grundfutterproduktion

Diplomarbeit

Verfasser:

Sima Dominik

Betreuer:

o.Univ.Prof. DI Dr.nat.techn. Josef Christian Walter Boxberger

Mitbetreuer:

Univ.Ass. DI Dr.nat.techn. Gerhard Moitzi

Wien, November 2007



Meinen Eltern / staršem

Danksagung

Im Rahmen der Abfassung der vorliegenden Diplomarbeit wurde ich von einigen Personen unterstützt, bei denen ich mich an dieser Stelle recht herzlich bedanken möchte.

An erster Stelle stehen o.Univ.Prof. DI Dr. Josef Boxberger, dem ich für die fachliche Betreuung meiner Diplomarbeit zu Dank verpflichtet bin sowie Univ.Ass. DI Dr. Gerhard Moitzi, der mir mit vielen konstruktiven Hilfestellungen stets zur Seite stand. Ebenfalls von großer Hilfe war ao.Univ.Prof. DI Dr. Herbert Weingartmann, an den ich mich zusätzlich bei Fragen zu diversen Berechnungsmethoden wenden konnte.

Schließlich gilt es, meiner Lebensgefährtin, Frau Monika Schneider sowie meiner Schwester, Frau Mag. Dr. Katja Sima, ein großes Dankeschön für die übernommenen Korrekturarbeiten, die Hilfe bei EDV-basierten Belangen und für die stets motivierende Unterstützung auszusprechen.

Danke / hvala!

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
2.	Problemstellung	3
2.1.	Grundfutterproduktion in Österreich	3
2.1.1.	Agrarstrukturen.....	3
2.1.2.	Grundfutterkonservierung	4
2.2.	Klima- und Energiepolitik	5
2.2.1.	UN-Klimarahmenkonvention	5
2.2.2.	Kyoto-Protokoll	5
2.2.3.	EU-Richtlinie über Energieeffizienz und Energiedienstleistungen	6
2.3.	Energie – Begriffe und Definitionen	7
2.3.1.	Energieträger.....	7
2.3.2.	Indirekter und direkter Energieaufwand	7
2.3.3.	Energieformen	8
2.4.	Energiebilanzierung und deren Entwicklung.....	9
2.4.1.	Produktlinienanalyse.....	10
2.4.2.	Ökobilanz	10
2.4.3.	Energiebilanz	10
2.4.4.	Energieanalyse.....	10
2.4.5.	Kumulierter Energieaufwand	11
3.	Ziel.....	13

4.	Material und Methode.....	14
4.1.	Kumulierter Energieaufwand.....	14
4.2.	Bilanz- und Systemgrenzen	15
4.2.1.	Betriebsspiegel	15
4.2.2.	Konservierungsmethoden.....	17
4.2.3.	Nutzungshäufigkeit	19
4.2.4.	Ertragsschätzung	20
4.2.5.	Trocknungsverlauf/-vorgang.....	21
4.2.6.	Futterwerbung mit und ohne Mähaufbereiter	22
4.2.7.	Grundfutterfläche.....	23
5.	Ergebnisse und Diskussion.....	24
5.1.	Indirekter Energieaufwand.....	24
5.1.1.	Energieaufwand für die Herstellung landwirtschaftlicher Maschinen	24
5.1.2.	Energieaufwand für die Herstellung eines Fahrsilos	27
5.1.3.	Energieaufwand für die Herstellung einer Belüftungsbox.....	28
5.1.4.	Energieaufwand für die Herstellung einer Kollektorfläche zur Luftanwärmung.....	29
5.1.5.	Energieaufwand für die Herstellung einer Abdeckfolie für den Fahrsilo..	30
5.1.6.	Energieaufwand für die Herstellung von Wickelfolie für Ballensilage	31
5.1.7.	Energieaufwand für die Bereitstellung von Saatgut.....	32
5.2.	Direkter Energieaufwand.....	33
5.2.1.	Kraftstoffaufwand für Feldarbeitsgänge	33
5.2.2.	Kraftstoffaufwand für den Rundballentransport.....	33
5.2.3.	Kraftstoffaufwand für die Verdichtungsarbeit im Fahrsilo	34
5.2.4.	Kraftstoffaufwand für die Silagezuteilung.....	35

5.2.5.	Elektrischer Energieaufwand für das Heugebläse	36
5.2.6.	Elektrischer Energieaufwand für die Heutrocknung	36
5.3.	Kumulierter Energieaufwand.....	38
5.3.1.	Kumulierter Energieaufwand pro dt Trockenmasse	38
5.3.2.	Kumulierter Energieaufwand pro Hektar	45
5.3.3.	Kumulierter Energieaufwand pro MJ NEL	47
5.3.4.	Einfluss der zunehmenden Grundfutterfläche auf den Kumulierten Energieaufwand pro dt Trockenmasse	49
5.3.5.	Direkter und indirekter Energieaufwand.....	51
5.4.	Kraftstoffaufwand und Kraftstoffäquivalent	53
5.4.1.	Kraftstoffaufwand	53
5.4.2.	Kraftstoffäquivalent (l/dt TM)	54
5.4.3.	Kraftstoffäquivalent (l/ha).....	55
5.5.	Arbeitszeitaufwand.....	57
5.6.	Energieaufwand in der Kraftfutterproduktion.....	59
5.6.1.	Vergleich: Grund- mit Kraftfutterproduktion (Basis: KEA/dt TM)	62
5.6.2.	Vergleich: Grund- mit Kraftfutterproduktion (Basis: KEA/MJ NEL)	63
6.	Schlussfolgerung.....	65
7.	Weiterführende Arbeiten.....	67
8.	Zusammenfassung	69
	Anhang.....	73
	Literatur- und Quellenverzeichnis	VIII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Österreichische Treibhausemissionen im Vergleich zum Kyoto-Ziel (Umweltbundesamt, 2007)	6
Abbildung 2: Abtrocknungsverhalten von aufbereitetem Grundfutter (Buchgraber et al., 2003)	22
Abbildung 3: Kumulierter Energieaufwand (MJ/dt TM) unterschiedlicher Konservierungsverfahren unterteilt in direkten und indirekten Energieaufwand	38
Abbildung 4: Kumulierter Energieaufwand (GJ/ha) verschiedener Konservierungsverfahren	46
Abbildung 5: Kumulierter Energieaufwand bezogen auf die Energiekonzentration des geernteten Grundfutters (MJ KEA/MJ NEL)	48
Abbildung 6: Prozentuelle Aufteilung des KEA in direkten und indirekten Energieaufwand in der ökologischen Grundfutterproduktion.....	52
Abbildung 7: Kraftstoffaufwand (Diesel) und KEA in Kraftstoffäquivalent ohne Kraftstoff.....	56
Abbildung 8: Arbeitszeitaufwand je Hektar in der ökol. Grundfutterproduktion (3- Schnittnutzung)	57
Abbildung 9: Arbeitszeitaufwand je dt Trockenmasse in der Grundfutterproduktion (AKh/dt TM).....	58
Abbildung 10: Kumulierter Energieaufwand (KEA/dt TM) der ökol. Grundfutterproduktion im Vergleich zur ökol. und konv. Kraftfutterproduktion (jeweils 100 %).....	62
Abbildung 11: Kumulierter Energieaufwand (KEA/MJ NEL) der ökol. Grundfutterproduktion im Vergleich zu ökol. und konv. Kraftfutter (jeweils 100 %).....	63

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Spezifischer Energieaufwand landwirtschaftlicher Betriebsmittel	14
Tabelle 2: Übersicht über die ausgewählten Konservierungsverfahren nach Konservierungsmethode und dem Einsatz eines Rotationsmähers mit bzw. ohne Mähauflbereiter	18
Tabelle 3: Grünlanderträge einer 3-Schnittnutzung bei landesüblicher Bewirtschaftung dargestellt für die unterschiedlichen Konservierungsverfahren	21
Tabelle 4: Energieaufwand für die Herstellung landwirtschaftlicher Maschinen.....	25
Tabelle 5: Nutzungsdauer und Auslastung landwirtschaftlicher Maschinen (nach ÖKL, 2006)	26
Tabelle 6: Spezifischer Energieaufwand für die Herstellung eines Fahrsilos	28
Tabelle 7: Spezifischer Energieaufwand für die Herstellung einer Belüftungsbox.....	29
Tabelle 8: Spezifischer Energieaufwand für die Herstellung einer Kollektorfläche ...	30
Tabelle 9: Spezifischer Energieaufwand für die Herstellung einer Abdeckfolie in Anlehnung der berechneten Maße für ein Fahrsilo bei unterschiedlicher Grundfutterfläche.....	31
Tabelle 10: Ertrag, Dichte und Gewicht eines Rundballens sowie die Ballenanzahl pro Schnitt und Hektar	32
Tabelle 11: Spezifischer Kraftstoffaufwand für den Ballentransport bei einer mittleren Transportentfernung von 1 km	34
Tabelle 12: Kraftstoffaufwand für die Silagezuteilung	35
Tabelle 13: Spezifischer elektrischer Energieaufwand für das Befördern von Heu mit einem Heugebläse	36
Tabelle 14: Spezifischer elektrischer Energieaufwand bei der Trocknung von Belüftungheu (eigene Berechnung nach Weingartmann, 2004)	37

Tabelle 15: Reihung unterschiedlicher Konservierungsverfahren nach dem Kumulierten Energieaufwand	39
Tabelle 16: Aufteilung des Energieaufwands bei der Erzeugung von Heu in bauliche Anlagen, Trocknung und Kraftstoff	40
Tabelle 17: Direkter Energieaufwand bei unterschiedlichen Belüftungsheuvarianten für das Belüften für den benötigten Kraftstoff und den erforderlichen Wasserentzug	41
Tabelle 18: Spez. Energieaufwand für die Herstellung einer Rundballenpresse und eines Ladewagens unter Berücksichtigung der energetischen Amortisationsdauer	42
Tabelle 19: Spezifischer Energieaufwand für die Herstellung von Wickelfolie.....	43
Tabelle 20: Spez. Kumulierter Energieaufwand von Silage und Heu bei unterschiedlicher Nutzungs- und N-Düngungsintensität (KRAATZ ET AL., 2005).....	45
Tabelle 21: Reihung der verschiedenen Konservierungsvarianten bezüglich des Kumulierten Energieaufwands (GJ/ha; vergleiche Tabelle 15)	47
Tabelle 22: Einfluss der zunehmenden Grundfutterfläche auf den Kumulierten Energieaufwand (Prozentangaben beziehen sich relativ auf eine Futterfläche von 10 ha)	49
Tabelle 23: Prozentueller Anteil des Kraftstoffaufwands am Kumulierten Energieaufwand	53
Tabelle 24: Kumulierter Energieaufwand in Kraftstoffäquivalent in der ökologischen Grundfutterproduktion	55
Tabelle 25: Kumulierter Energieaufwand bei der Produktion von ökologischem und konventionellem Kraftfutter (Futtergerste)	60

Abkürzungsverzeichnis

TM	Trockenmasse
FM	Frischmasse
dt	Dezitonne
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KEA _H	Kumulierter Energieaufwand für die Herstellung
KEA _N	Kumulierter Energieaufwand für die Nutzung
KEA _B	Kumulierter Energieaufwand für den Betrieb
KEA _U	Kumulierter Energieaufwand für die Unterhaltung
KEA _E	Kumulierter Energieaufwand für die Entsorgung
h	Stunde
Stk	Stück
AKh	Arbeitskraftstunde
ha	Hektar
MJ	Megajoule
MJ NEL	Megajoule Netto-Energie Laktation
Konservierungsverfahren	
L-HEU	Bodenheu, lose (86% TM)
L-HEU (+A)	Bodenheu, lose; mit Mähaufbereiter (86 % TM)
RB-HEU	Heuballen (86 % TM)
RB-HEU (+A)	Heuballen; mit Mähaufbereiter (86 % TM)
K-HEU	Kaltbelüftungsheu, lose (70 % TM)
K-HEU (+A)	Kaltbelüftungsheu, lose; mit Mähaufbereiter (70 % TM)
S-HEU	Solarbelüftungsheu, lose (70 % TM)
S-HEU (+A)	Solarbelüftungsheu, lose; mit Mähaufbereiter (70 % TM)
G-HEU	Gärheu, lose (55 % TM)
G-HEU (+A)	Gärheu, lose; mit Mähaufbereiter (55 % TM)
F-SILO	Silage, im Fahrsilo verdichtet (38,4 % TM)
F-SILO (+A)	Silage, im Fahrsilo verdichtet; mit Mähaufbereiter (38,4 % TM)
RB-SILO	Siloballen (49,3 % TM)
RB-SILO (+A)	Siloballen; mit Mähaufbereiter (49,3 % TM)

1. Einleitung

In den letzten Jahren hat die Debatte um den Klimawandel an Brisanz gewonnen. Deutliche, auch für einzelne Individuen feststellbare Veränderungen sind eingetreten. Seit der jüngeren Vergangenheit begünstigen den Klimawandel neben seinen natürlichen Einflussgrößen zusätzlich Faktoren anthropogenen Ursprungs, die das Resultat zunehmenden Energieaufwands sind. Denn spätestens seit der Industrialisierung und der damit einhergehenden Erhöhung des allgemeinen Lebensstandards sind die energetischen Ansprüche der Bevölkerung gestiegen. Vor dem Hintergrund des starken Wachstums der Weltbevölkerung steigt der Energieaufwand im Zeitablauf daher überproportional.

Die Energieversorgung unserer Gesellschaft basiert dabei weitgehend auf dem Einsatz fossiler Energieträger wie Kohle, Erdöl und Erdgas. Bei deren Nutzung wird der in ihnen enthaltene Kohlenstoff in Kohlendioxid umgewandelt und freigesetzt, was zum sog. Treibhauseffekt führt. Dieses Phänomen des Klimawandels äußert sich durch die Erwärmung der Erdtemperatur. In den letzten 100 Jahren ist die Temperatur im globalen Mittel um 0,74 °C angestiegen. Neben der Erderwärmung konnten aber noch weitere Effekte, wie etwa ein Rückgang der Gletscher oder das Auftreten von extremen Wetterereignissen, bemerkt werden (IPCC, 2007).

Zusätzlich zu den bereits aufgetretenen Veränderungen werden noch deutlich dramatischere Zukunftsszenarien mittels Klimamodellen prognostiziert. Ein weiterer Anstieg der globalen Temperatur ist nicht mehr aufzuhalten, jedoch kann bzw. könnte die genaue Ausprägung durch eine Verringerung der CO₂-Emissionen noch beeinflusst werden. Das IPCC (2007) spricht von einem Temperaturanstieg in Höhe von 2,0 °C bis 4,5 °C bis zum Ende dieses Jahrhunderts, wobei von einem deutlichen Nord-Süd-Gefälle auszugehen ist. Der prognostizierte Temperaturanstieg geht mit einem Abschmelzen der polaren und alpinen Eismassen, einer Erwärmung der Ozeane und einer damit verbundenen Volumenausdehnung einher. Dieses Abschmelzen führt zum Anstieg des Meeresspiegels im selben Zeitraum um 28 bis 58 cm (IPCC, 2007). Die genauen Auswirkungen des Klimawandels können nicht mit absoluter Bestimmtheit prognostiziert werden, dessen Eintritt ist jedoch wissenschaftlich belegt.

Einzigster Ausweg, den eingetretenen Klimawandel aufzuhalten oder zumindest dessen Auswirkungen so gering wie möglich zu halten, wäre eine deutliche Verringerung klimarelevanter Spurengasemissionen und die Reduzierung des Energieaufwands aller Wirtschaftssektoren. Dazu gehört auch der Primärsektor Landwirtschaft. Die industrielle Landwirtschaft ist weltweit für etwa 15 % des anthropogenen Treibhauseffektes verantwortlich - hervorgerufen durch Mineraldüngung, Massentierhaltung und den Einsatz energieintensiver Vorleistungen der Industrie (BURDICK, 1994).

Laut KÖPKE (2002) können die Auswirkungen des Klimawandels durch eine nachhaltige Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Nutzflächen deutlich verringert werden. Dem ökologischen Landbau wird in diesem Zusammenhang ein großes Potenzial zugeschrieben. Im ökologischen Landbau ist der Einsatz mineralischer Stickstoffdüngemittel strengstens verboten, wogegen die konventionelle Landwirtschaft auf dessen Einsatz basiert. Mit dem Einsatz von stickstoffhaltigen Düngemitteln sind jedoch unweigerlich Distickstoffemissionen (N_2O) verbunden. Dieses Spurengas hat ein um 270-fach höheres Treibhauspotential als Kohlendioxid (CO_2). Weitere klimarelevante Gase sind Methan (CH_4) und Ammoniak (NH_3). Sie sind auf tierische Exkremente und auf die Tierhaltung allgemein zurückzuführen. Konventionelle Tierhaltungssysteme sind meist durch einstreuarmer Flüssigmistsysteme und höheren Tierbesatz gekennzeichnet. Bei tiergerechten Aufstallungsformen mit Einstreu und Festmist in Verbindung mit einem geringeren Tierbesatz, wie sie der ökologische Landbau verlangt, fallen diese Emissionen deutlich geringer aus (KÖPKE, 2002).

Der Energieeinsatz ist ein wichtiges Instrument zur Beurteilung unterschiedlicher Bewirtschaftungssysteme (HAAS & KÖPKE, 1996). Ihre Untersuchungen schreiben dem ökologischen Landbau ein Energieeinsparungspotential in der Höhe von 60 % im Vergleich zu anderen Bewirtschaftungssystemen zu. Der energetische Minderaufwand begründet sich dadurch, dass eine ökologische Bewirtschaftung vor allem auf Einsatz direkter Energie (50 %) beruht. Bei konventioneller Wirtschaftsweise beträgt der Anteil an direkter Energie lediglich 20 %. Die restlichen 80 % an indirekte Energie sind auf die hohe Zufuhr an externen Betriebsmitteln zurückzuführen, deren Herstellung auf dem Einsatz fossiler Energieträger basiert und wodurch wiederum Kohlendioxid freigesetzt wird.

2. Problemstellung

2.1. Grundfutterproduktion in Österreich

Die Grundfutterproduktion hat in der österreichischen Landwirtschaft aufgrund geografischer und klimatischer Gegebenheiten große Bedeutung. Vor allem in den westlichen Bundesländern wird durch sie und die damit verbundene Nutztierhaltung der Großteil der agrarischen Produktion erwirtschaftet. Neben ökonomischen Gesichtspunkten spielt die Grundfutterproduktion aber auch für den Erhalt der Kulturlandschaft und des ländlichen Raumes eine entscheidende Rolle.

2.1.1. Agrarstrukturen

Österreich besitzt eine Kulturfläche im Ausmaß von rund 6,5 Mio. ha. Diese wird annähernd zu gleichen Teilen land- und forstwirtschaftlich genutzt. Die landwirtschaftliche Nutzfläche von 3,2 Mio. ha gliedert sich in 1,4 Mio. ha Ackerfläche, wovon rund 170.000 ha als Feldfutter angebaut werden, und 1,6 Mio. ha Grünland (Stand 2005), wobei letzteres wiederum in normalertragsfähiges Grünland und extensiv genutztes Grünland eingeteilt werden. Mehrmähdige Wiesen und Kulturweiden werden dem normalertragsfähigen Grünland (52 % der Grundfutterfläche) zugeordnet. Unter dem Begriff extensiv genutztes Grünland (37 % der Grundfutterfläche) sind Almen und Bergmähder, Hutweiden, Streuwiesen sowie einmähdige Wiesen vereint. Obwohl Feldfutter als Ackerfläche definiert wird, spielt es eine bedeutende Rolle in der Grundfutterproduktion (11 % der Grundfutterfläche) - vor allem im ökologischen Landbau (BMLFUW, 2007).

Abhängig von der Nutzungsintensität und den Standortbedingungen sind die Grundfüttererträge der einzelnen Grünlandflächen sehr unterschiedlich. Extensiv genutztes Grünland weist in der Regel Netto-Trockenmasseerträge von rund 25 dt/ha auf. Auf normalertragfähigem Grünland wird deutlich mehr Grundfutter geerntet – durchschnittlich 70 dt TM/ha. Höchste Grundfüttererträge sind allerdings von Feldfutterflächen (105 dt TM/ha) zu erwarten (BUCHGRABER & GINDEL, 2004).

2.1.2. Grundfutterkonservierung

Um für die Winterfütterungsperiode genügend Grundfuttermittel sicherzustellen müssen Landwirte das auf den Grünlandflächen geerntete Futter konservieren. Dazu stehen ihnen verschiedene Konservierungsverfahren zu Verfügung. Die traditionelle Futterkonservierung – Bodenheuerzeugung – ist stark rückläufig. Neuere Konservierungsmethoden wie die Produktion von Belüftungsheu und von Silage werden verstärkt in Anspruch genommen. Dafür sind mehrere Gründe verantwortlich.

Bei der Bodenheuerzeugung wird das Grundfutter auf einen Trockenmassegehalt von unter 14 % am Feld getrocknet. Dazu ist eine große Anzahl an Feldarbeitsgängen notwendig, was mit einem hohen Arbeitszeit- und Kraftstoffaufwand verbunden ist. Außerdem ist das bereits erwähnte hohe Wetterrisiko nicht zu vernachlässigen. Diese negativen Faktoren werden durch die Erzeugung von Belüftungsheu und Silage reduziert. Aufgrund des geringen Trockenmassegehaltes des Grundfutters zum Zeitpunkt der Ernte bzw. Futterbergung von 30 bis 50 % bei Silage bzw. 50 bis 70 % bei Belüftungsheu verringert sich der Arbeitszeitaufwand beträchtlich. Das Grundfutter kann binnen eines bzw. maximal zwei Tagen geerntet werden. Damit geht ein deutlich geringerer Kraftstoffaufwand einher.

Selbstverständlich sind mit Vorteilen immer auch Nachteile verbunden. Diese wären zum einem der Mehraufwand für die erforderlichen baulichen Anlagen. Zum anderen darf der zusätzliche Energiebedarf für das Belüften des Heustockes nicht vernachlässigt werden. Bei der Silageproduktion kommt weiters noch der Arbeitskraft- und Kraftstoffaufwand für die Verdichtungsarbeit im Fahrsilo, das Wickeln der Silageballen und die technisierte Futterzuteilung hinzu.

Im Rahmen dieser Arbeit wird unter Berücksichtigung aller verfahrenstechnischer Vor- und Nachteile Gesichtspunkte ein Vergleich der verschiedenen Konservierungsverfahren durchgeführt. Dabei wird vor allem der energetische Aspekt der Grundfutterproduktion in den Vordergrund gestellt.

2.2. Klima- und Energiepolitik

Um dem Klimawandel entgegenzuwirken bzw. um ihn zu verlangsamen wurden verschiedene multilaterale Abkommen und Programme ins Leben gerufen.

2.2.1. UN-Klimarahmenkonvention

Den Anfang machte 1992 die von 154 Ländern in Rio de Janeiro unterzeichnete UN-Klimarahmenkonvention (UNFCCC). Diese Konvention beinhaltet jedoch keine klaren Vorgaben oder klimapolitischen Maßnahmen. Sie dient vielmehr als Rahmen für die zukünftige Entwicklung energie- und klimarelevanter Konzepte. Das von ihr formierte Ziel ist „die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau zu erreichen, auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird. Ein solches Niveau sollte innerhalb eines Zeitraums erreicht werden, der ausreicht, damit sich die Ökosysteme auf natürliche Weise den Klimaänderungen anpassen können, die Nahrungsmittelerzeugung nicht bedroht wird und die wirtschaftliche Entwicklung auf nachhaltige Weise fortgeführt werden kann“ (UNFCCC, 1992).

2.2.2. Kyoto-Protokoll

Deutliche Vorgaben zur Eindämmung des Klimawandels wurden fünf Jahre später durch das Kyoto-Protokoll formuliert. Dieses ist ein 1997 beschlossenes Zusatzprotokoll für den Klimaschutz zur Ausgestaltung der UN-Klimarahmenkonvention (UNFCCC) der Vereinten Nationen. Am 16. Februar 2005 trat das Kyoto-Protokoll in Österreich völkerrechtlich in Kraft. Über 55 % der CO₂-Emittenten verpflichteten sich zu einer Reduktion der Treibhausgase im Zeitraum von 2008 bis 2012 um 5% im Vergleich zum Stand von 1990 (UNFCCC, 1997). Damit wurden zum ersten Mal konkrete und verbindliche Reduktionsverpflichtungen festgelegt. Für Österreich bedeutet dies eine Reduzierung der treibhausmittenten Gase um 13 % im Vergleich zum Basisjahr.

Zu den Treibhausgasen des Kyoto-Protokolls zählen sechs Gase. Kohlendioxid (CO₂) ist mit einem Anteil von 82 % das wichtigste und wird, wie bereits erwähnt, bei der Nutzung fossiler Energieträger freigesetzt. Bis heute konnte jedoch keine Trendum-

kehr erreicht werden und auch in Österreich – wie es die Abbildung 1 verdeutlicht – ist nach wie vor eine deutliche Abweichung vom Zielkurs gegeben.

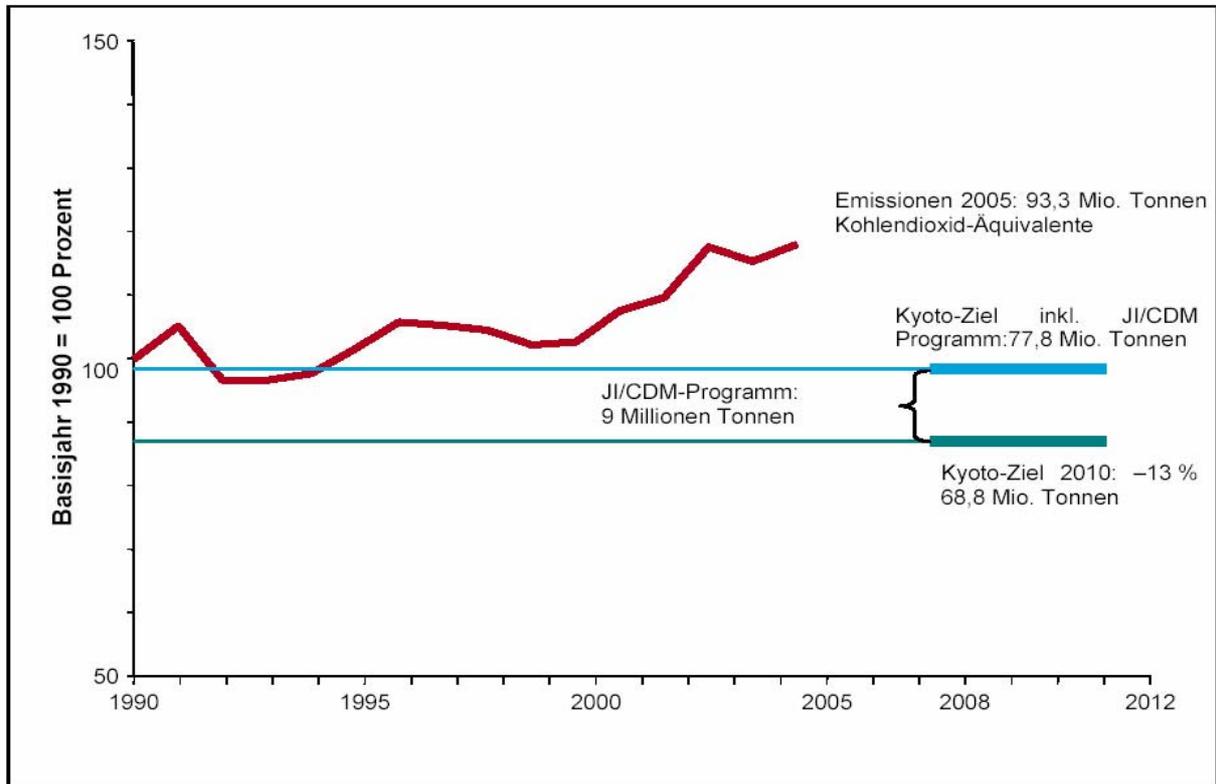


Abbildung 1: Österreichische Treibhausemissionen im Vergleich zum Kyoto-Ziel (Umweltbundesamt, 2007)

2.2.3. EU-Richtlinie über Energieeffizienz und Energiedienstleistungen

Einen Schritt in Richtung Klimaschutz machte auch die Europäische Union mit der EU-Richtlinie 2006/32/EG über Energieeffizienz und Energiedienstleistungen, die am 17. Mai 2006 in Kraft trat. Das Hauptziel der EU-Richtlinie zur Energieeffizienz und Energiedienstleistung ist eine Reduktion des Energieaufwands und somit eine Energieeinsparung bis 2015 um 9 % gegenüber dem Ist-Zustand. Darüber hinaus musste jeder Mitgliedstaat bis zum 30. Juni 2007 einen Energieeffizienz-Allokationsplan formulieren.

2.3. Energie – Begriffe und Definitionen

2.3.1. Energieträger

Als Energieträger werden Rohstoffe bezeichnet, die Energie in chemischer oder nuklearer Form speichern und die direkt oder durch Umwandlung der Energiegewinnung bzw. -nutzung dienen. Die wichtigsten Energieträger unserer Zeit sind fossiler Herkunft. Dazu gehören Erdöl, Erdgas und Kohle. Erdöl allein deckt rund 40 % des weltweiten Energiebedarfs und dient hauptsächlich zur Gewinnung von Kraftstoffen. Abgesehen davon dient Erdöl aber auch zur Erzeugung wichtiger alltäglicher Materialien wie zur Plastik-, Farben- und Lackherstellung sowie für Kosmetikprodukte und Medikamente (KROMP-KOLB & MEISTER, 2007).

2.3.2. Indirekter und direkter Energieaufwand

Wie in allen Wirtschaftssektoren wird auch in der Landwirtschaft Erdöl für die Erzeugung der erforderlichen Betriebsmittel benötigt. Dazu zählen mineralische Handelsdünger, Chemikalien und Pestizide. Neben diesen Betriebsmitteln wird Energie zusätzlich bei der Herstellung von Maschinen und Gebäuden eingesetzt. Energieaufwendungen für die eben genannten Betriebsmittel machen rund zwei Drittel des Energieaufwands in der landwirtschaftlichen Produktion aus und werden dem indirekten Energieaufwand zugeordnet. Demzufolge wird der indirekte Energieaufwand definiert als Energieaufwand für Vorleistungen der Industrie für die Bereitstellung von Betriebsmitteln (OHEIMB, 1987).

Dem gegenüber steht der direkte Energieaufwand und bezeichnet die in einem bestimmten Produktionsprozess direkt verbrauchten bzw. diesem unmittelbar zuordenbaren Energieaufwendungen. Darunter fällt die Nutzung von Kraftstoff und Strom, die rund ein Drittel des gesamten Energieaufwands in der Landwirtschaft darstellt. Oft ermöglicht erst der Einsatz direkter Energie die Nutzung indirekter Energie.

2.3.3. Energieformen

Als Primärenergie wird jene Energieform bezeichnet, die in den in der Natur vorkommenden Ressource, dem sog. Energieträger bzw. Energiequelle, enthalten ist. Primärenergie wird in fossile (Erdöl, Erdgas, Kohle), nukleare (Atomkraft) und regenerative (Solarstrahlung, Wasserkraft, Windenergie und Biomasse) Energieträger gegliedert (SCHÖN ET AL., 1998).

Durch deren technische Umwandlung entsteht Sekundärenergie. Diese beinhaltet meist weniger Energie, weil sog. Umwandlungsverluste durch energetisch geringere Ausbeute sowie Transportverluste und die dafür benötigten Energieaufwendungen auftreten. Elektrizität, synthetische Kraftstoffe sowie Fernwärme und Wasserstoff werden der Sekundärenergie zugeordnet (MOERSCHNER, 2000).

Da der Energiesektor zusätzlich einen gewissen Eigenverbrauch aufweist, gelangt an den Endverbraucher ein Energieträger (Kraftstoff, Strom, Heizöl, Erdgas,... usw.) mit einem wiederum geringeren Energiegehalt. Diese Energie wird als Endenergie bezeichnet.

Durch die Nutzung der Endenergie beim Endverbraucher entstehen u.a. durch Abwärme, Reibungsenergie, etc. weitere Verluste. Jene Energie die vom Konsumenten tatsächlich genutzt wird (nutzbare Energie), wird als Nutzenergie definiert (MOERSCHNER, 2000). Diese steht dem Verbraucher in Form mechanischer, thermischer, elektromagnetischer sowie chemisch gebundener Energie zu Verfügung (SCHÖN, 1998).

MOERSCHNER (2000) ermittelt nach einem Schema von HARTMANN & STREHLER (1995), dass jedem deutschen Staatsbürger nur noch „etwa 31 % der eingesetzten Primärenergie als Nutzenergie zu Verfügung stehen“. Ähnliche Schlüsse lassen sich auch für andere Volkswirtschaften wie Österreich ziehen.

2.4. Energiebilanzierung und deren Entwicklung

Die Bilanzierung des Energieumsatzes in der Landwirtschaft nahm ihren Anfang mit den Ölkrisen in den 70-er Jahren des vergangenen Jahrhunderts. Die ersten Studien, zunächst amerikanische und in weiterer Folge auch europäische, befassten sich hauptsächlich mit dem Fossilenenergieeinsatz in der landwirtschaftlichen Produktion. Später weiteten sich die Studien aus und es wurde der Primärenergieeinsatz unterschiedlicher Bewirtschaftungssysteme untersucht. Neuere Studien befassen sich u.a. mit der Gegenüberstellung herkömmlicher und integrierter Bewirtschaftungssysteme und der Energiebilanzierung landwirtschaftliche Rohstoffe, die für eine energetische Nutzung – in Form von Biomasse und/oder in Form biogener Treibstoffe – bestimmt sind. Dagegen versuchen die jüngsten Berechnungen einen Zusammenhang zwischen Energiebilanzen verschiedener Produkte und deren Umweltwirkungen aufzuzeigen. Solche Untersuchungen werden mittels komplexer Bilanzierungsmethoden berechnet – dies trifft besonders auf Energiebilanzen auf regionaler und nationaler Ebene zu (MOERSCHNER, 2000).

Entscheidend bei Energiebilanzierungen ist die Zielsetzung, denn sie hat „einen erheblichen Einfluss auf die Art und den Aggregationsgrad der zu verwendenden Energiekennzahlen, auf die Wahl der funktionellen Einheiten und auf die Darstellung der Bilanzergebnisse“ (MOERSCHNER, 2000).

Mikroanalytische Methoden zur Ermittlung des Energieumsatzes

Unter dem Aspekt des Klimawandels und der Ressourcenknappheit werden die Erfassung und Analyse von Energieumsätzen bei der Bereitstellung von Gütern (Produkte und Dienstleistungen) immer bedeutsamer. Zu deren Ermittlung, d.h. zur Energiebilanzierung, gibt es unterschiedliche Lösungsansätze und Methoden. Einige davon werden im Folgenden kurz vorgestellt. Dazu zählen u.a. die Produktlinienanalyse, die Ökobilanz, die Energiebilanz und die Energieanalyse. Eine detailliertere Betrachtung wird dem Kumulierten Energieaufwand gewidmet, der den Kern der vorliegenden Arbeit darstellt.

2.4.1. Produktlinienanalyse

Die Produktlinienanalyse (PLA) untersucht die ökologischen, ökonomischen und sozialen Wirkungen eines Produktes auf dem gesamten Lebensweg und bewertet die damit verbundenen Stoff- und Energieumsätze sowie die auftretenden Umweltbelastungen und darüber hinaus auch den gesellschaftlichen Effekt, der bei der Produktion eines bestimmten Gutes auftritt. Der Unterschied zur im Folgenden dargestellten Ökobilanz ist, dass die PLA sozioökonomische Gesichtspunkte berücksichtigt (GREHN, 1999).

2.4.2. Ökobilanz

Die Ökobilanz (Life cycle analysis, LCA) ist eine Methode zur Ermittlung von Umweltwirkungen, die ein bestimmtes Produkt im Laufe seines Lebens hervorruft. Dazu gehören alle Effekte, die während der Herstellung, Nutzung und Entsorgung auftreten. Die LCA ermöglicht die systematische Bewertung von Risiken und Schwächen eines Produktes und zeigt auch dessen Verbesserungspotenzial auf. Weiters ermöglicht sie den Vergleich von produktbezogenen Umweltwirkungen, die durch verschiedene Produkte entstehen (GREHN, 1999).

2.4.3. Energiebilanz

Der Zweck der Energiebilanz ist es, den Input an aufgewendeter Energie dem Output an erhaltener Energie gegenüberzustellen, d.h. den Energieverbrauch für die Gewinnung/Herstellung eines Gutes mit der zur Verfügung gestellten Nutzenergie zu vergleichen (Input-/Output-Faktor). Auf diese Weise erhält man den Wirkungsgrad eines bestimmten Produktionsverfahrens (GREHN, 1999).

2.4.4. Energieanalyse

Bei der Energieanalyse wird ein bestimmter Prozess bzw. ein bestimmtes Verfahren in seine einzelnen Verfahrensschritte zerlegt. Jedem Verfahrensschritt werden seine spezifischen Energieumsätze zugeordnet. Dies ermöglicht eine exakte Erfassung und Analyse des Energieumsatzes jedes einzelnen Verfahrensschritts. Zusätzlich erfolgt eine Unterteilung in direkten und indirekten Energieaufwand (GREHN, 1999).

2.4.5. Kumulierter Energieaufwand

Der Kumulierte Energieaufwand (KEA) stellt eine weitere Methode zur Berechnung des Energieaufwands auf mikroanalytischer Ebene dar, dient als wichtiger Kennwert bei der Ökobilanz oder Lebenszyklusanalyse und ermöglicht eine ökologische und energetische Bewertung des jeweils betrachteten Systems (VDI, 1997) und den Vergleich von Waren und Dienstleistungen.

Darüber hinaus liefert er laut VDI (1997) erforderliche Daten für die einzelnen berechneten Produkte und gibt „eine Basis für die Berechnung bzw. Hinweise auf

- § die damit verbundenen Materialaufwendungen
- § die Wahl der Werkstoffe und der Prozesstechnik unter energetischen Gesichtspunkten
- § die energetische Bedeutung der Behandlung benutzter Güter durch Teil-, Komponenten- oder Stoffrückführung, energetische Nutzung und Entsorgung
- § den Einfluss der Nutzungsdauer energieverbrauchender oder umwandelnder ökonomischer Güter (...)“

Der Kumulierte Energieaufwand gibt die Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwands an, der im Zusammenhang mit der Herstellung (KEA_H), der Nutzung (KEA_N) und Beseitigung bzw. Entsorgung (KEA_E) eines ökonomischen Gutes entsteht bzw. diesem ursächlich zugewiesen werden kann (VDI, 1997).

$$KEA = KEA_H + KEA_N + KEA_E$$

Kumulierter Energieaufwand für die Herstellung (KEA_H)

Der Kumulierte Energieaufwand für die Herstellung (KEA_H) stellt die Summe des primärenergetisch bewerteten Energieaufwands dar, der sich bei der Produktion von Betriebsmitteln ergibt (VDI, 1997). Als Beispiel soll hier die Maschinenherstellung dienen, bei der einerseits der Energieaufwand für die Herstellung der Werkstoffe (Halbzeugstufe) und andererseits der Energieaufwand für die Aufbereitung der Werkstoffe und deren Montage (Fertigteilstufe) berücksichtigt werden muss (RAMHARTER, 1999).

Kumulierter Energieaufwand für die Nutzung (KEA_N)

Unter dem Kumulierten Energieaufwand für die Nutzung (KEA_N) versteht man die Energieaufwendungen, die bei der Nutzung des betrachteten Gutes entstehen. Dabei unterscheidet man meist zwischen Unterhaltung (KEA_U) und dem eigentlichen Einsatz bzw. Betrieb (KEA_B). Der Energieaufwand für die Unterhaltung der Betriebsmittel (KEA_U) setzt sich aus Wartung und Reparatur sowie aus Unterbringung bzw. Lagerung zusammen. Energetische Aufwendungen für Strom, Wärme, Kraftstoff, Schmiermittel oder auch Wickelfolie und Bindegarn werden dem Betrieb (KEA_B) zugeordnet (SCHOLZ, 1997).

$$KEA_N = KEA_U + KEA_B$$

Kumulierter Energieaufwand für die Entsorgung (KEA_E)

Der Kumulierte Energieaufwand für die Entsorgung (KEA_E) gibt den spezifischen Energieaufwand für die Verschrottung bzw. Deponierung nicht mehr gebrauchter Güter an. Darüber hinaus beinhaltet der Kumulierte Energieaufwand für die Entsorgung auch die Energieaufwendungen, die für die Herstellung und Entsorgung von Betriebsmitteln, die für die Entsorgung eines Produktes erforderlich sind, benötigt werden. Weiters werden Transporte einbezogen. Hingegen werden die primärenergetisch bewerteten Aufwendungen von Verbrauchsmaterialien und Betriebsstoffen nicht einbezogen, da diese verbraucht oder umgewandelt werden (SCHOLZ, 1997).

Im Juni 1997 wurde vom Verein Deutscher Ingenieure die „VDI-Richtlinie 4600: Kumulierter Energieaufwand – Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden“ veröffentlicht. Ziel dieser Richtlinie ist die begriffliche Vereinheitlichung und die Schaffung eines einheitlichen Grundrahmens bei der Berechnung des Kumulierten Energieaufwands (VDI, 1997).

Die allgemein zugänglichen Richtwerte bzw. Kennzahlen zur Berechnung des Kumulierten Energieaufwands unterscheiden sich teilweise beträchtlich. Allerdings ist bei neueren Untersuchungen eine Tendenz zu niedrigeren Richtwerten feststellbar. Gründe dafür dürften der technische Fortschritt, der eine effizientere Herstellung ermöglicht, und das zusätzliche Betreiben einer intensiven Koppelenergiewirtschaft sein, die beide die Energiebilanzierung positiv beeinflussen. (OHEIMB, 1987).

3. Ziel

In den industrialisierten Ländern erklärt sich der enorme Energieaufwand der Landwirtschaft durch den hohen Grad an Mechanisierung und Motorisierung. Um Energieeinsparungen in diesem Sektor verwirklichen zu können, ist es jedoch notwendig, den Energieaufwand eines bestimmten Systems zu kennen. Daraus leitet sich das Ziel der vorliegenden Arbeit ab.

Das Hauptziel dieser Arbeit ist mithilfe der VDI-Richtlinie 4600 die Ermittlung des Energieaufwands in der ökologischen Grundfutterproduktion. Dabei werden unterschiedliche Konservierungsmethoden und -verfahren der Grundfutterproduktion zur Energiebilanzierung herangezogen, um einen Vergleich zwischen den einzelnen Varianten zu bieten.

Neben diesem Primärziel werden in der vorliegenden Arbeit noch weitere Sekundärziele erarbeitet:

- § die Relation zwischen direktem und indirektem Energieeinsatz in der Grundfutterproduktion,
- § die Berechnung des Kraftstoffaufwands der einzelnen Konservierungsvarianten,
- § die Ermittlung des Kraftstoffäquivalents (Gesamtenergieaufwand ausgedrückt in Kraftstoffeinheiten),
- § die Analyse der Einflussnahme unterschiedlicher Grundfutterflächen auf den Kumulierten Energieaufwand,
- § die Berechnung des Energieaufwands in der Kraftfutterproduktion und
- § der Vergleich des Energieaufwands zwischen Grund- und Kraftfutterproduktion.

Die vorliegende Arbeit dient in größerem Maße der Grundlagenforschung als konkreten Empfehlungen für die Praxis. Daraus leitet sich ein weiteres Ziel dieser Untersuchung ab: sie soll Anstöße für weiterführende Forschungsarbeiten im Rahmen des Kumulierten Energieaufwands geben bzw. als notwendige Basis dienen.

4. Material und Methode

4.1. Kumulierter Energieaufwand

Sämtliche Berechnungen im folgenden Kapitel 5 – dem Kern dieser Arbeit – stützen sich an die in Tabelle 1 nach SCHOLZ (1997) ausgewiesenen Richtwerte, die ihrerseits auf der VDI-Richtlinie 4600 beruhen.

Tabelle 1: Spezifischer Energieaufwand landwirtschaftlicher Betriebsmittel

Betriebsmittel	Spez. kumulierter Energieaufwand			
	Einheit	KEA _H	KEA _N	KEA _E
Radtraktoren	MJ/kg	65	27	0,5
Selbstfahrende Erntemaschinen	MJ/kg	70	22	0,5
Gezogene Erntemaschinen	MJ/kg	55	22	0,5
Ausbringgeräte	MJ/kg	55	15	0,5
Anhänger	MJ/kg	50	25	0,5
Bodenbearbeitungsgeräte	MJ/kg	48	24	0,5
Lastkraftwagen	MJ/kg	65	62	0,3
Stickstoffdünger	MJ/kg	59	-	-
Phosphordünger	MJ/kg	17	-	-
Kaliumdünger	MJ/kg	10	-	-
Kalkdünger	MJ/kg	3	-	-
Biozide	MJ/kg	200	-	-
Roggensaatgut	MJ/kg	6	-	-
Schmieröl	MJ/kg	54	-	-
PE-Folie	MJ/m ²	13	-	-
Bindegarn	MJ/kg	90	-	-
Lagerhalle	MJ/m ²	3100	800	300

4.2. Bilanz- und Systemgrenzen

Der erste Schritt bei der Berechnung von Energiebilanzen ist das Festsetzen von nach verschiedenen Kriterien festgelegten Bilanzgrenzen. Diese ermöglichen erst eine empirische Quantifizierung von Energieströmen innerhalb eines bestimmten Systems, z.B. bei der Herstellung eines bestimmten Produktes bzw. der Bereitstellung von definierten Dienstleistungen. Dabei erfolgt eine weitere Unterteilung der Bilanzgrenzen „nach dem Zeitraum der Betrachtung und der räumlichen Abgrenzung, den sog. Systemgrenzen“ (VDI, 1997).

Unter Bilanzzeitraum versteht man jene festgelegte Zeitspanne, in der die Energieaufwendungen auftreten bzw. dem definierten Zeitraum zugeordnet werden können. Bei der vorliegenden Arbeit bezieht sich die Zeitspanne auf ein Jahr.

Der Bilanzraum stellt den nach Energieaufwendungen zu quantifizierenden Bereich dar. Je nach Untersuchungsgegenstand können Bilanzräume in der Industrie einzelne Maschinen, Anlagen, Fertigungsbereiche oder ganze Betriebe umfassen (VDI, 1997); oder analog in der Landwirtschaft einzelne Tiere, Tiergruppen, Teilbereiche oder den gesamten landwirtschaftlichen Betrieb.

4.2.1. Betriebsspiegel

Dem zu untersuchenden Gegenstand werden in erster Linie die Charakteristika des landwirtschaftlichen Betriebs Sima, vulgo Leben, als Berechnungsbasis zugrunde gelegt. Dieser entspricht – betreffend Betriebsgröße, Ertragslage und Maschinenausstattung – einerseits in etwa dem österreichischen Durchschnitt und ist andererseits durch das nahe Verwandtschaftsverhältnis des Autors (Sohn des Betriebsführers Georg Sima) sowie die damit einhergehende leichte Zugänglichkeit zu den erforderlichen Rohdaten besonders als Berechnungsbasis geeignet.

Der Betrieb befindet sich im Rosental (Kärnten, Bezirk Villach-Land). Der Hof und seine Flächen liegen auf einer Seehöhe von rund 450 m. Der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt in dieser Region 1116 l/m², die durchschnittliche Jahrestemperatur 8,4°C (www.saatbaulinz.at, 2007).

Entwicklung des Betriebs

Seit 1997 wird der Betrieb Leben biologisch bewirtschaftet und ist Mitglied des Ernte-Verbandes. Vor der Umstellung auf die biologische Wirtschaftsweise wurden von den Eltern des jetzigen Betriebsführers Milchkühe in einem Anbindestall im Vollerwerb gehalten. Es gab ein Milchkontingent von 32.000 kg.

Nach der Hofübergabe an Georg Sima und dessen Gattin Brigitte erfolgte der Umbau zu einem Laufstall mit Mutterkuhhaltung. Der Grund für diese Entwicklung war der eher geringe Viehbestand, der eine ökonomisch haltbare Milchviehhaltung kaum ermöglichte. Außerdem ist der Betriebsleiter Georg Sima hauptberuflich als Lehrer tätig und die Mutterkuhhaltung, im Vergleich zur Milchviehhaltung, mit einem deutlich geringeren Arbeitsaufwand verbunden. Daher wird der landwirtschaftliche Betrieb seit der Hofübernahme im Nebenerwerb geführt.

Forst- und landwirtschaftliche Nutzflächen sowie deren Nutzung

Der Betrieb Leben verfügt über eine Eigenfläche von 20,11 ha. Diese gliedert sich in 11 ha forstwirtschaftliche Nutzfläche, 5,57 ha Ackerland und 3,88 ha Grünland. Zusätzlich zur Eigenfläche werden knapp 9 ha Acker- und Grünlandflächen benachbarter Landwirte zugepachtet. Insgesamt werden damit 17,23 ha landwirtschaftliche Nutzfläche bewirtschaftet, die in 5,53 ha Grünland und 11,70 ha Ackerfläche geteilt ist.

Die arrondierte Grünlandfläche von 3,88 ha wird als Mähweide genutzt; die gepachteten Flächen im Ausmaß von 1,65 ha werden ausschließlich gemäht. Aufgrund der biologischen Bewirtschaftung der Flächen und zur Sicherstellung der Futtermittellieferung der Nutztiere in der Winterfütterungsperiode wird jeweils auf zwei der fünf Schläge Ackerfutter angebaut.

Die Größe der als Feldfutter genutzten Ackerfläche variiert jedes Jahr je nach Fruchtfolge. Durchschnittlich werden 4,68 ha Feldfutter/Jahr angebaut. Daraus ergibt sich eine Grundfutterfläche von 10,18 ha, auf denen Heu und Grassilage in Form von Rundballen eingebracht werden, wobei der geschätzte Netto-Ertrag zwischen 65 und 75 dt TM/ha liegt. Zur einfacheren Berechnung des kumulierten Energieaufwands wird in weiterer Folge die Größe der Grundfutterfläche auf 10 ha festgelegt.

Die Ackerfläche beträgt 11,70 ha. Auf ihr wird, neben dem Ackerfutter, ausschließlich Getreide wie Weizen, Hafer, Dinkel und Roggen oder Buchweizen angebaut. Der Großteil des Getreides wird über die „Österreichische Agentur für Bio-Getreide“ vermarktet. Nur ein geringer Teil bleibt am Betrieb, der u.a. den Eigenverbrauch der Familie deckt. Der überwiegende Rest wird als Kraftfutter für die Tiere verwendet. Das von den Ackerflächen geerntete Stroh dient als Einstreu für die Tiere.

Tierhaltung

Am Betrieb Leben werden seit der Hofübernahme Jungrinder für den Verkauf erzeugt. Es werden Fleckvieh-Mutterkühe und ein eigener Zuchttier der Rasse Limousin gehalten. Aus dem Betriebszweig der Rinderhaltung stammt auch das landwirtschaftliche Haupteinkommen. Die aus der Gebrauchskreuzung gezeugten Kälber werden, wie oben erwähnt, als Jungrinder über die Bäuerliche Vermarktungsgesellschaft (BVG) in der Bio-Vermarktungsschiene der Lebensmittelkette „Billa“ als Bio-Jungrind vermarktet. Neben den Rindern werden auch Pferde, Schafe und Hühner am Hof gehalten.

Maschinenpark

Der Betrieb Leben verfügt über einen Maschinenpark, der es dem Betriebsführer ermöglicht, im Wesentlichen alle Feldarbeiten selbständig durchzuführen. Nur wenige Tätigkeiten werden ausgelagert und von Lohnunternehmen durchgeführt. Dazu zählen der Mähdrusch und das Wickeln der Silageballen.

4.2.2. Konservierungsmethoden

Unter Konservierung versteht man die Haltbarmachung des Grundfutters für die Winterfütterungsperiode (BUCHGRABER & GINDEL, 2004). In der Praxis stehen drei unterschiedliche Konservierungsmethoden zu Verfügung – nämlich die Erzeugung von Bodenheu, Belüftungsheu und Silage.

Alle drei Konservierungsmethoden wurden ausgewählt, um den Effekt unterschiedlicher Erntemethoden auf den Energieaufwand aufzuzeigen. Um einen noch detaillierteren Einblick zu erhalten, wurden - zusätzlich zu jeder Konservierungsmethode - weitere Unterscheidungen vorgenommen. Dazu zählt in erster Linie die Anwendung

unterschiedlicher Konservierungsverfahren wie z.B. der abwechselnde Einsatz eines Mähwerks mit und ohne Aufbereiter bzw. die Unterscheidung danach, ob das Grundfutter lose eingebracht oder zu Rundballen gepresst wird. Insgesamt stehen damit 14 unterschiedliche Konservierungsverfahren zur Verfügung, über die in Tabelle 2 ein Überblick gegeben und im Detail eingegangen wird.

Tabelle 2: Übersicht über die ausgewählten Konservierungsverfahren nach Konservierungsmethode und dem Einsatz eines Rotationsmähers mit bzw. ohne Mähauflbereiter

	ohne Aufbereiter	mit Aufbereiter
Bodenheu		
Loses Heu (86 % TM)	L-HEU	L-HEU+A
Rundballen (86 % TM)	RB-HEU	RB-HEU+A
Belüftungsheu		
Kaltbelüftung (70 % TM)	K-HEU	K-HEU+A
Solarbelüftung (70 % TM)	S-HEU	S-HEU+A
Gärheu (55 % TM)	G-HEU	G-HEU+A
Silage		
Fahrsilo (38,4 % TM)	F-SILO	F-SILO+A
Rundballen (49,3 % TM)	RB-SILO	RB-SILO+A

Bodenheu

Bodenheu wird grundsätzlich mit einem Trockenmassegehalt (TM) von mindestens 86 % eingefahren. Die dabei eingesetzten Konservierungsverfahren werden eingeteilt in lose eingebrachtes Heu [L-HEU (+A)] und Heuballen [RB-HEU (+A)]. Ein weiterer Unterschied ergibt sich daraus, ob das Futter mit einem Scheibenmähwerk oder mit einem Mähwerksaufbereiter mit Walzen geschnitten wird. Der Frischmasseertrag beträgt bei beiden Konservierungsverfahren 74,13 dt TM/ha, der Trockenmasseertrag 63,75 dt/ha.

Belüftungsheu

Die Unterschiede beim Konservierungsverfahren Belüftungsheu sind um einiges komplexer. Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal ist die Trocknungstechnik. Hierbei wird zwischen einer herkömmlichen Kaltbelüftung und einer Warmbelüftung mit solarer Luftanwärmung unterschieden. Ein weiterer Punkt ist der Trockenmassegehalt des geernteten Grundfutters bei der Futterbergung. Kaltbelüftungsheu wird mit einem Trockenmassegehalt von 70 % eingefahren, wogegen solarbelüftetes Heu sowohl mit 70 % als auch mit 55 % Trockenmasse geerntet werden kann. Dies hat einen entscheidenden Einfluss auf den Frischmasseertrag - er liegt bei Kaltbelüftungsheu [K-HEU(+A)] und bei Solarbelüftungsheu [S-HEU(+A)] bei 103,21 dt FM/ha und beträgt im Falle des sog. Gärheus [(G-HEU+A)] (BUCHGRABER, ET AL., 1994), das mit einem Trockenmassegehalt von nur 55 % eingebracht und ebenfalls mittels solarer Luftanwärmung getrocknet wird, 131,36 dt FM/ha. Der Trockenmasseertrag hält sich jedoch bei allen Konservierungsvarianten konstant bei 72,25 dt/ha. Auch bei dieser Konservierungsmethode wird danach unterschieden, ob das Grundfutter mit einem herkömmlichen Mähwerk oder mit einem Mähwerksaufbereiter geschnitten wird.

Silage

Bei der Silagebereitung werden die gleichen Verfahren wie bei der Bodenheubereitung eingesetzt. Der Unterschied liegt im TM-Gehalt. Das Grundfutter für die Silagebereitung im Fahrsilo wird mit einem Trockenmassegehalt von 38,4 % eingefahren. Ballensilage jedoch, mit einem TM-Gehalt von 49,3 %: Dies beruht auf der höheren Verdichtung und üblicherweise besseren Abdichtung des Futters durch die Wickelfolie (BUCHGRABER, ET AL., 1994). Der geerntete Frischmasseertrag beträgt 199,22 bzw. 155,17 dt/ha. Der Netto-Trockenmasseertrag liegt dagegen bei beiden Varianten bei 76,5 dt/ha. Auch bei der Silagebereitung wird sowohl ein Rotationsmäher als auch ein Mähwerksaufbereiter eingesetzt.

4.2.3. Nutzungshäufigkeit

Bei allen Konservierungsverfahren werden drei Schnittnutzungen im Jahr durchgeführt. In der Praxis fallen bei jedem Schnitt unterschiedliche Erträge, hervorgerufen durch den spezifischen Verlauf der Trockenmasse-Zuwachs-Kurve, an. Diese hat ih-

ren Höhepunkt ungefähr Mitte Mai. Danach kommt es zu einem starken Abfall des Grundfutterzuwachses. Im Herbst sind wieder leichte Steigerungen der täglichen Trockenmasse-Produktion feststellbar. Entscheidende Einflussfaktoren der Trockenmasse-Zuwachs-Kurve sind neben den spezifischen Standortbedingungen, wie Höhenlage und Exposition, die gegebenen Witterungsverhältnisse, die ihrerseits wieder auf den Vegetationsverlauf einwirken. Zur leichteren Berechnung des Kumulierten Energieaufwands wird jedoch davon ausgegangen, dass bei allen Nutzungen der gleiche Netto-Ertrag anfällt.

4.2.4. Ertragsschätzung

Bei der Berechnung des Kumulierten Energieaufwands in der Grundfutterproduktion wird von einem Erntertrag von 85 dt TM/ha ausgegangen. Da bei der Futterwerbung und -bergung sowie der Lagerung Verluste auftreten, die je nach Konservierungsmethode variieren, erhält man schlussendlich einen Nettoertrag von rund 70 dt TM/ha. Diese Annahme entspricht einer Dreischnittfläche bei landesüblicher Wirtschaftsweise (BUCHGRABER & GINDEL, 2004).

Die Verluste, die in Masse- und Qualitätsverluste eingeteilt werden, variieren nach angewandter Konservierungsmethode. Dabei wird von Gesamtverlusten in Höhe von 25 % bei Bodenheu, 15 % bei Belüftungsheu und von 10 % bei Silage ausgegangen (BUCHGRABER & GINDEL, 2004). Dies bedeutet einen Netto-Ertrag von 63,75 dt TM/ha bei der Erzeugung von Bodenheu, 72,25 dt TM/ha bei Belüftungsheu und von 76,5 dt TM/ha bei Silage.

Wie in Tabelle 3 ersichtlich unterscheidet sich auch der Trockenmassegehalt der verschiedenen Konservierungsmethoden. Die Bandbreite reicht von 38,4 % bei Silage bis hin zu 86 % bei Bodenheu. Die angegebenen Werte beziehen sich auf den Trockenmassegehalt des Grundfutters zum Zeitpunkt der Futterbergung. Der Wassergehalt reduziert sich nach vollzogener Bergung sowohl bei Belüftungsheu durch technische Maßnahmen als auch bei Bodenheu durch die Lagerung im Heustock noch um wenige Prozentpunkte. Der Wassergehalt beim Mähen liegt dagegen bei rund 80 %.

Tabelle 3: Grünlanderträge einer 3-Schnittnutzung bei landesüblicher Bewirtschaftung dargestellt für die unterschiedlichen Konservierungsverfahren

	Feldertrag dt TM/ha	Verluste %	Netto-Ertrag dt TM/ha	TM-Gehalt %	Futterertrag dt FM/ha
L-HEU(+A)	85	25	63,75	86	74,13
RB-HEU(+A)	85	25	63,75	86	74,13
K-HEU(+A)	85	15	72,25	70	103,21
S-HEU(+A)	85	15	72,25	70	103,21
G-HEU(+A)	85	15	72,25	55	131,36
F-SILO(+A)	85	10	75,6	38,4	199,22
RB-SILO(+A)	85	10	76,5	49,3	155,17

4.2.5. Trocknungsverlauf/-vorgang

Neben natürlichen Einflussfaktoren, wie Lufttemperatur und -feuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und den Standortfaktoren Höhenlage und Exposition, beeinflussen also auch die eingesetzten Konservierungsmethoden den Trocknungsvorgang.

Der Trocknungsverlauf der einzelnen Konservierungsverfahren unterscheidet sich mitunter beträchtlich. Erstens gibt es deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Konservierungsvarianten innerhalb der selben Schnittnutzung und zweitens treten bei Betrachtung einzelner Konservierungsverfahren Abweichungen hinsichtlich des spezifischen Abtrocknungsverhaltens und der damit zusammenhängenden Feldarbeitsgänge auch zwischen den einzelnen Schnitten auf (siehe Anhang). Der erste und der dritte Schnitt gleichen sich, jedoch ist bei der zweiten Schnittnutzung eine Beschleunigung der Abtrocknung am Feld erkennbar. Diese Gegebenheit lässt sich durch die meist wärmere Witterung im Hochsommer erklären.

4.2.6. Futterwerbung mit und ohne Mähaufbereiter

Der Einsatz des Mähaufbereiters hat einen erheblichen Einfluss auf den Trocknungsvorgang. Grundsätzlich verkürzt er die Feldtrocknungszeit um 25 bis 30 %. Mit zunehmender Feldtrocknungszeit eines bestimmten Konservierungsverfahrens nimmt auch die Zeiterparnis zu. Die Zeiteinsparung beträgt bei Anwelksilage bis zu drei Stunden, bei Belüftungsheu sogar bis zu fünf Stunden (FRICK, 2001).

Durch die Aufbereitung des Grundfutters verringert sich das Wetterrisiko erheblich, denn die Futterbergung kann oft schon einen Tag früher stattfinden (siehe Abbildung 2). Derselbe Vorteil kann bei Belüftungsheu ohne den Einsatz eines Aufbereiters genutzt werden. Beide Methoden ermöglichen dadurch eine Verbesserung der Grundfutterqualität (FRICK, 2001).

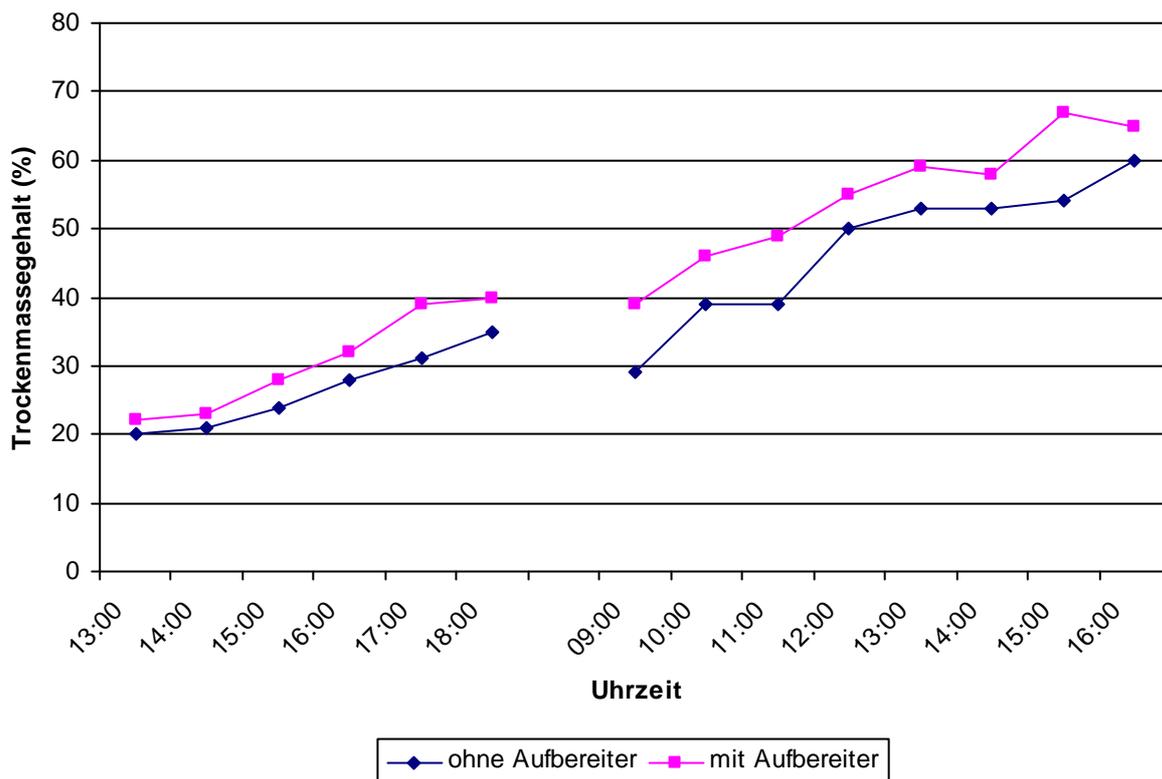


Abbildung 2: Abtrocknungsverhalten von aufbereitetem Grundfutter (Buchgraber et al., 2003)

4.2.7. Grundfutterfläche

Zur Berechnung des Kumulierten Energieaufwands wird, wie bereits erwähnt, eine Grundfutterfläche von 10 ha herangezogen. Um den Einfluss der bewirtschaftenden Fläche auf den Kumulierten Energieaufwand zu veranschaulichen (siehe Kapitel 5.3.4) wird der Kumulierte Energieaufwand zusätzlich für einen Betrieb mit einer Grundfutterfläche von 20 bzw. 30 ha kalkuliert. Bei diesen Berechnungen wird davon ausgegangen, dass derselbe Maschinenpark (Tabelle 4) zum Einsatz kommt. Auf etwaige Abweichungen in Bezug auf die Berechnungsgrundlage von 10 ha wird in den entsprechenden Abschnitten des Kapitels 5 eingegangen.

5. Ergebnisse und Diskussion

5.1. Indirekter Energieaufwand

Im folgenden Kapitel wird der indirekte Energieaufwand verschiedener energetischer Posten berechnet. Dazu gehören Maschinen, bauliche Anlagen und die erforderlichen Betriebsmittel.

5.1.1. Energieaufwand für die Herstellung landwirtschaftlicher Maschinen

Der ausgewählte Maschinenpark ähnelt jenem des Betriebs Leben. Da auf diesem – verständlicherweise – nicht alle berechneten Konservierungsverfahren praktiziert werden, sind vergleichbare Maschinenkapazitäten den jeweiligen Methoden zugeordnet worden.

Eine entscheidende Rolle bei der Berechnung des Kumulierten Energieaufwands spielt das Gewicht der Maschinen bzw. Geräte. Daher wurde bei jeder Maschinen-Gruppe das Gewicht dreier vergleichbarer Produkte herangezogen und aus der Summe ein Durchschnittsgewicht ermittelt (siehe Anhang). Daraufhin wurde mit den von SCHOLZ (1997) berechneten Werten (siehe Tabelle 4) der spezifische Energieaufwand für Herstellung, Nutzung und Entsorgung, der einen Teil der indirekten Energieaufwendungen darstellt, ermittelt. Der direkte Energieaufwand (Kraftstoff- und Stromaufwand) wird separat berechnet.

Tabelle 4: Energieaufwand für die Herstellung landwirtschaftlicher Maschinen

	Beschreibung	Gewicht kg	Spezifischer KEA	
			MJ/kg	MJ/Maschine
Traktor	55 kW/75 PS, Allrad	2.883	92,5	266.705
Traktor	45 kW/60 PS, Allrad	2.793	92,5	258.380
Mähwerk	2,8 m Arbeitsbreite	567	77,5	43.965
Mähwerk mit Aufbereiter	2,4 m Arbeitsbreite	810	77,5	62.821
Kreiselzettwender	4,5 m Arbeitsbreite	468	77,5	36.270
Kreiselschwader	2,8 m Arbeitsbreite	514	77,5	39.881
Rundballenpresse	Ballen: 1,2 x 1,25	2.851	77,5	220.999
Wickelgerät	gezogen	840	77,5	65.100
Ladewagen	22 m ³ DIN, 30 Messer	2.546	77,5	197.338
Miststreuer	4,5 t Nutzlast	1.880	77,5	145.700
Wiesenegge	4 m Arbeitsbreite	280	77,5	21.700
Frontlader	hydraulisch	640	77,5	49.623
Rundballenzange	hydraulisch	189	77,5	14.686
Mistgabel	hydraulisch	115	77,5	8.951
Anhänger	6 t Nutzlast	1.486	75,5	112.238
Silogreifschaufel	1 m ³	463	77,5	35.905

Da der spezifische Herstellungsaufwand auf die gesamte Nutzungsdauer aufgeteilt werden muss, wurde zur Berechnung des jährlichen Energieaufwands der spezifische Energieaufwand einem definierten Bilanzzeitraum zugeordnet (energetische Abschreibung). Als Hilfsmittel wurden die in Tabelle 5 dargestellten ÖKL-Richtwerte, welche die Nutzungsdauer in Jahren bzw. Leistung in Stunden/Jahr wiedergeben, herangezogen. Damit können auch Rückschlüsse auf die energetische Amortisationsdauer gezogen werden.

Tabelle 5: Nutzungsdauer und Auslastung landwirtschaftlicher Maschinen (nach ÖKL, 2006)

	Nutzungsdauer Jahre	Auslastung h/Jahr
Traktor	16,67	450
Frontlader mit Mistgabel	11,11	100
Frontlader mit Ballengabel	11,11	150
Frontlader mit Silozange	11,11	150
Anhänger	20	150
Miststreuer	8,33	100
Wiesenegge	11,11	50
Mähwerk	9,09	75
Mähwerksaufbereiter	9,09	125
Kreiselzettwender	11,11	100
Kreiselschwader	11,11	100
Ladewagen	11,11	150
Rundballenpresse	6,25	150
Wickelgerät	7,69	140
Fördergebläse	10	100
Fahrsilo	20	
Trocknungsanlage (Holz)	15	
Belüftungsanlage	15	
Kollektorfläche	15	

5.1.2. Energieaufwand für die Herstellung eines Fahrsilos

Der erste Schritt zur Berechnung des spezifischen Energieaufwands zur Herstellung eines Fahrsilos ist das Ermitteln der erforderlichen Lagerkapazitäten bei einer bestimmten Grundfuttermenge. Bei einem angenommenen Futterertrag von 76,5 dt TM/ha, einem TM-Gehalt von 38,4 % sowie einer spezifischen Lagerungsdichte von 129 kg TM/m³ (BUCHGRABER, ET AL., 1994) ergibt sich ein Lagerraumbedarf von 59,3 m³/ha. Daraus folgt, dass der Fahrsilo bei 10 ha ein Volumen von 593 m³ haben, bei 20 ha 1.186 m³ Silage aufnehmen können und bei 30 ha eine Lagerkapazität von 1.779 m³ aufweisen muss.

Die Festlegung der Form sowie die Ausführung des Fahrsilos werden als zweiter Schritt festgelegt. Dabei wurden folgende Annahmen getroffen: das Fahrsilo hat eine Höhe von 2,5 m sowie eine Breite von 5,2 m (WILHELM & WURM, 1998). Aufgrund der unterschiedlichen Grundfutterflächen von 10, 20 und 30 ha wurden Breite und Höhe des Fahrsilos als konstante Werte angenommen. Die Länge des Fahrsilos wird je nach benötigter Lagerkapazität als variabler Wert verändert und beträgt 45,62 m (10 ha), 91,23 m (20 ha) bzw. 136,85 m (30 ha). In der Praxis werden Fahrsilos mit einer derartigen Länge nicht gebaut, sondern nebeneinander angelegt. Zur Vereinfachung der Berechnung wird jedoch davon ausgegangen, dass jeder Fahrsilo 50 m lang ist. Bei einer Grundfutterfläche von 20 ha werden somit 2 Fahrsilos und bei 30 ha 3 Fahrsilos angenommen.

Im nächsten Schritt folgt die Berechnung des erforderlichen Baumaterials Beton. Dazu wird neben den bereits ermittelten Werten zusätzlich die Stärke der Bauteile benötigt. Je nach Hersteller und Literaturquelle unterscheiden sich die angegebenen Werte. Im Zuge der hier angestellten Berechnung wird von einer Wandstärke von 25 cm und einer Stärke der Bodenplatte von ebenfalls 25 cm ausgegangen (eigene Durchschnittsberechnung nach Angaben diverser Hersteller). Daraus ergibt sich ein Materialaufwand je nach Grundfutterfläche von 127,5 m³ (10 ha), 255 m³ (20 ha) bzw. 382,5 m³ (30 ha) Beton.

Beim Bau eines Fahrsilos werden üblicherweise Fertigbetonplatten verwendet. Diese weisen aus Stabilitätsgründen eine Stahlarmierung auf. Solche Bauteile haben ein Gewicht von rund 2.500 kg/m³ (JENSEIT ET AL., 1999). Der spezifische Energieaufwand

zur Herstellung einer Betonplatte schwankt je nach Zusammensetzung des Baumaterials (Beton- und Stahlanteil). Zur Berechnung wird ein Wert von 1,4 MJ/kg angenommen (VDI, 1998). Daraus ergeben sich ein Energieaufwand von 3.500 MJ/m³ sowie ein spezifischer Energieaufwand von 446.250 MJ bei einer Grundfutterfläche von 10 ha.

Der letzte Schritt ist das Zuteilen des spezifischen Energieaufwands nach der Nutzungsdauer auf den definierten Bilanzzeitraum. Wie so oft sind auch in diesem Fall unterschiedlichste Angaben über die Nutzungsdauer – nämlich 15 bis 30 Jahre – zu finden. Laut Auskunft des Österreichischen Kuratoriums für Landtechnik und Landentwicklung ist und wird demzufolge hier von einer 25-jährigen Nutzungsdauer ausgegangen. Bei einer Grünlandfläche von 10 ha ergibt sich ein spezifischer Energieaufwand von 17.850 MJ/Jahr oder 23,3 MJ/dt TM (s. Tabelle 6).

Tabelle 6: Spezifischer Energieaufwand für die Herstellung eines Fahrsilos

	Grundfutterfläche		
	10 ha	20 ha	30 ha
Futterertrag (dt)	765	1.530	2.295
Lagerraumbedarf (m ³)	593	1.186	1.779
Länge des Fahrsilos (m)	50	100	150
Volumen an Stahlbeton (m ³)	127,5	255	382,5
EA _H von Stahlbeton (MJ)	446.250	892.500	1.338.750
spez. Energieaufwand (MJ/Jahr)	17.850	35.700	53.550
spez. Energieaufwand (MJ/dt TM)	23,3	23,3	23,3

5.1.3. Energieaufwand für die Herstellung einer Belüftungsbox

Die Belüftungsbox für lose eingefahrenes Belüftungsheu besteht vorwiegend aus Holz und Spanplatten. Um eine Belüftungsbox mit einer Stockgrundfläche von 80 m² zu errichten, werden 9,18 m³ Bauholz und 4,5 m² Spanplatten benötigt. Der spezifische Primärenergieaufwand zur Herstellung von Bauholz beträgt 616 MJ/m³, jener von Spanplatten 6.338 MJ/m³ (JENSEIT ET AL., 1999). Der Energiegehalt des Baumateri-

als wird bei der Berechnung nicht berücksichtigt, da das Baumaterial für eine erneute Nutzung weiterhin zur Verfügung steht.

Durch Multiplikation des erforderlichen Baumaterials und des Energieaufwands bei dessen Herstellung ergibt sich ein Energieaufwand von 34.175,9 MJ. Bei einer unterstellten Nutzungsdauer der Anlage von 15 Jahren erhält man einen Wert von 2.278,4 MJ/Jahr bzw. 3,15 MJ/dt TM. Zur leichteren Berechnung wird angenommen, dass bei einer Vergrößerung der Grundfütterfläche um das Zwei- bzw. Dreifache, sich nicht einfach die Grundfläche des Heustocks um das entsprechende Maß erweitert, sondern, dass eine zweite bzw. dritte Belüftungsbox hinzukommt – so auch in der Praxis üblich. Dadurch bleibt der Energieaufwand, wie es Tabelle 7 verdeutlicht, für die Herstellung je Gewichtseinheit konstant bei 3,15 MJ/dt TM.

Tabelle 7: Spezifischer Energieaufwand für die Herstellung einer Belüftungsbox

	Grundfütterfläche		
	10 ha	20 ha	30 ha
Holzbedarf (m ³)	9,18	18,36	27,54
Spanplattenbedarf (m ³)	4,5	9,0	13,5
EA _H von Holz und Spanplatten (MJ)	34.175,9	68.351,8	102.527,6
spez. Energieaufwand (MJ/Jahr)	2.278,4	4.556,8	6.835,2
spez. Energieaufwand (MJ/dt TM)	3,15	3,15	3,15

5.1.4. Energieaufwand für die Herstellung einer Kollektorfläche zur Luftanwärmung

Laut GINDEL (2002) sollte die Kollektorfläche das Zweieinhalb- bis Dreifache der Heustockgrundfläche betragen, um eine ausreichende Erwärmung der Luft zu gewährleisten. Unter der Annahme, dass eine dreimal so große Fläche als jene des Grundstockes zur Luftanwärmung benötigt wird, ergibt sich eine Kollektorfläche von 240 m². Die Umkleidung der Kollektorfläche besteht wiederum vorwiegend aus Spanplatten und Holz. Als Abdeckung der Kollektorfläche dienen die schwarzen Dachziegel und als Holzkonstruktion Dachsparren sowie Dachlatten, die in die Be-

rechnung nicht einfließen, da diese ohnehin erforderlich sind. Neben dem Baumaterial für die eigentliche Kollektorfläche wird noch weiteres Material zur Luftführung vom Dach zum Gebläse benötigt. Dafür wird ein Zuschlag von 10 % des erforderlichen Baumaterials der Kollektorfläche angenommen, da ein realer Wert ohne genaue Planung nicht bestimmt werden kann. Da für die Unterdach-Absaugung Spanplatten mit einer Stärke von 2 cm verwendet werden, ergibt sich ein Materialaufwand von 5,3 m² Spanplatten.

Der spezifische Herstellungsaufwand beträgt 33.464,6 MJ bzw. 2.230,9 MJ/Jahr. Auch hier wächst der Energieaufwand zur Herstellung der Unterdach-Absaugung mit der Grundfutterfläche an. Der energetische Herstellungsaufwand von 3,1 MJ/dt TM bleibt aber wiederum konstant (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Spezifischer Energieaufwand für die Herstellung einer Kollektorfläche

	Grundfutterfläche		
	10 ha	20 ha	30 ha
Spanplattenbedarf	5,3	10,6	15,9
EA _H von Spanplatten (MJ)	33.464,6	66.929,3	100.393,9
spez. Energieaufwand (MJ/Jahr)	2.230,9	4.461,9	6.692,9
spez. Energieaufwand (MJ/dt TM)	3,1	3,1	3,1

5.1.5. Energieaufwand für die Herstellung einer Abdeckfolie für den Fahrsilo

Um den gewünschten Gärverlauf zu ermöglichen, muss das Fahrsilo luftdicht abgedeckt werden. Dazu werden UV-beständige Abdeckfolien aus Polyethylen verwendet. Vor allem an Randflächen des Fahrsilos ist das Grundfutter ungewolltem Verderb ausgesetzt. Deshalb werden Abdeckfolien mit etwas größeren Abmessungen bzw. Oberflächen als jene des Fahrsilos eingesetzt.

Der Energieaufwand bei der Herstellung von Polyethylen-Folie beträgt 13 MJ/m² (SCHOLZ, 1997). Daraus ergibt sich ein spez. Energieaufwand von 5,1 MJ/dt TM bei einer Grundfutterfläche von 10 ha. Die Energieaufwendungen bleiben bei zuneh-

mender Grundfutterfläche konstant bei 5,1 MJ/dt TM, da sich die Größe des bzw. der Fahrsilos nicht verändert (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Spezifischer Energieaufwand für die Herstellung einer Abdeckfolie in Anlehnung der berechneten Maße für ein Fahrsilo bei unterschiedlicher Grundfutterfläche

	Abmessungen Fahrsilo			Abmessungen Abdeckfolie		
	10 ha	20 ha	30 ha	10 ha	20 ha	30 ha
Breite (m)	5,2	5,2	5,2	6,0	6,0	6,0
Länge (m)	45,6	91,2	136,8	50	100	150
Fläche (m ²)	237,2	474,2	711,4	300	600	900
EA _H von Polyethylen-Folie(MJ)				3.900	7.800	11.700
spez. Energieaufwand (MJ/dt TM)				5,1	5,1	5,1

5.1.6. Energieaufwand für die Herstellung von Wickelfolie für Ballensilage

Bei der Berechnung des Kumulierten Energieaufwands wird mit Rundballen mit einer Höhe von 1,2 m und einem Durchmesser von 1,25 m kalkuliert. Das Volumen der Rundballen beträgt 1,5 m³ und die Oberfläche 7,2 m².

Bei der Futterwerbung von Heurundballen [RB-HEU (+A)] ist, bei einer Dichte von 150 kg TM/m³ (BUCHGRABER & GINDEL, 2004) und dem daraus folgendem Gewicht von 220,5 kg TM/Ballen bzw. 256,4 kg FM/Ballen, von einer Stückzahl von 9,64 Ballen/ha und Schnitt auszugehen. Diese ist bei Silageballen [RB-SILO (+A)] um einiges höher und beträgt 10,09 Stück/ha und Schnitt, obwohl Silageballen eine höhere Dichte (172 kg TM/m³) aufweisen (BUCHGRABER ET AL., 1994). Ausschlaggebend für die höhere Anzahl an Silageballen je Flächeneinheit sind die um 15 % geringeren Verluste (siehe Tabelle 3) bei der Futterwerbung.

Zur Berechnung der Wickelfolie für die Ballensilage wurde als Richtwert für die Aufwandsmenge 1,013 kg je Ballen angenommen (BISAGLIA ET AL., 2003). Dabei handelt es sich um einen Rundballen mit einer Höhe und einem Durchmesser von

120 cm. Da bei der folgenden Berechnung Rundballen mit der gleichen Höhe, aber einem Durchmesser von 125 cm unterstellt werden, kommt es zu einer Vergrößerung der Oberfläche um 5,6 %. Damit erhöht sich das Gewicht der Wickelfolie auf 1,07 kg je Rundballen (im Vergleich zu den von BISAGLIA ET AL. (2003) angenommenen Maßen).

Bei einem Frischmasseertrag von 155,17 dt FM/ha und einem durchschnittlichen Gewicht von 512,9 kg ergibt das 30,3 Ballen/ha. Unterstellt man einen Energieaufwand von 76,8 MJ/kg Folie (RAMHARTER ET AL., 1994), müssen auf einem Hektar 2.486,6 MJ an Primärenergie zur Herstellung der Wickelfolie eingesetzt werden. Daraus folgt bei einem Ertrag von 76,5 dt TM/ha ein spezifischer Energieaufwand von 32,5 MJ/dt TM (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Ertrag, Dichte und Gewicht eines Rundballens sowie die Ballenanzahl pro Schnitt und Hektar

	Ertrag	Dichte	Gewicht		Ballen
	dt TM/ha	kg TM/m ³	kg TM/Ballen	kg FM/Ballen	Stk/ha
Heuballen	63,75	150	220,5	256,4	9,6
Silageballen	76,5	172	252,9	512,9	10,1

5.1.7. Energieaufwand für die Bereitstellung von Saatgut

In der Literatur werden verschiedene Lösungsansätze sowie Richtwerte für die Ermittlung des energetischen Bereitstellungsaufwands von Saatgut angeführt. In der folgenden Berechnung werden die von MOERSCHNER (1997) zusammengestellten Werte für Feinsamen verwendet. Dabei wird zusätzlich neben dem Bereitstellungsaufwand für die Produktion (12,21 MJ/kg) auch der Brennwert bzw. Heizwert des Saatgutes (16,4 MJ/kg) einbezogen. Demzufolge beträgt der Primärenergieaufwand für die Bereitstellung für Feinsämereien 28,61 MJ/kg.

Der Betrieb Leben verfügt über eine Ackerfläche von 11,70 ha, die in fünf Schläge eingeteilt ist. Demzufolge ergibt sich eine Schlagfläche von durchschnittlich 2,34 ha pro Jahr. Diese wird zu Beginn der 5-gliedrigen Fruchtfolge mit Klee gras bei einer

Saatgutstärke von je 23 kg/ha eingesät (BUCHGRABER ET AL., 1998). Folglich wird jedes Jahr 53,82 kg Saatgut benötigt. Dies bedeutet einen Energieaufwand für die Bereitstellung von Saatgut in der Höhe von 152,98 MJ/ha Grundfutterfläche bzw. zwischen 2 und 2,4 MJ/dt TM abhängig vom jeweiligen Konservierungsverfahren.

5.2. Direkter Energieaufwand

5.2.1. Kraftstoffaufwand für Feldarbeitsgänge

Der Kraftstoffaufwand für die meisten Verfahrensschritte der Feldarbeit wurde mittels des Feldarbeitszeitrechners Version 1.0, bereitgestellt vom Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL, Stand 2007), berechnet. Dieses Programm erlaubt es durch eine dreistufige Auswahlmöglichkeit –Verfahrensgruppe, Arbeitsverfahren und Maschinenkombination – u.a. den Arbeitszeit- und Kraftstoffaufwand eines bestimmten Verfahrensschritts zu berechnen. Durch weitere Feineinstellungen bzw. das Festlegen von Parametern wie Parzellengröße, Feld-Hof-Entfernung, Menge und Arbeitsbreite lassen sich exakte Berechnungen zu bestimmten Annahmen durchführen. Die berechneten Werte sind im Anhang festgehalten. Der Kraftstoffaufwand für die Verfahrensschritte Walzarbeit, Hofarbeit und Rundballentransport wurde mittels ÖKL-Richtwerten berechnet.

Dieseldieselkraftstoff hat einen Heizwert von 42,96 MJ/kg sowie eine spezifische Dichte von 0,832 kg/l. Daraus folgt ein Energiegehalt von 35,74 MJ/l. Da jedoch auch beim Kraftstoff, wie bei allen anderen Energieträgern, gewisse Energieaufwendungen für die Gewinnung und den Transport (spezifischer Bereitstellungsaufwand) in Höhe von 4,86 MJ/kg auftreten, ergibt sich ein primärenergetisch bewerteter Energieaufwand von 47,82 MJ/kg bzw. 39,786 MJ/l (MOERSCHNER, 2000).

5.2.2. Kraftstoffaufwand für den Rundballentransport

Zur Beförderung der Rundballen vom Feld zum Hof wird der Einsatz eines Traktors (45 kW) mit einem hydraulischen Frontlader und einem Kipper unterstellt. Der Kipper verfügt über eine Ladekapazität von 4 Ballen pro Transport. Die Transportentfernung beträgt 1 km. Hierbei teilt sich der Prozess Ballentransport in die Verfah-

rensschritte des eigentlichen Transportvorgangs und in jenen des Ladens (Beladen und Abladen des Kippers).

Laut ÖKL (2006) muss für die Berechnung (siehe Tabelle 11) ein durchschnittlicher Kraftstoffaufwand von 0,13 l/Heuballen und km aufgewendet werden. Beim Transport von Silageballen erhöht sich der Aufwand auf 0,15 l/Rundballen und km. In diesem Wert ist der Kraftstoffaufwand für das Auf- und Abladen mit dem Frontlader aber noch nicht inkludiert und muss infolgedessen separat berechnet werden.

Der Transport von Silageballen weist mit 4,54 l/ha einen etwas höheren Wert auf als jener beim Transport von Heuballen (3,97 l/ha). Grund dafür ist der höhere Kraftstoffaufwand je Ballen und die höhere Stückzahl an zu transportierenden Ballen je Flächeneinheit.

Tabelle 11: Spezifischer Kraftstoffaufwand für den Ballentransport bei einer mittleren Transportentfernung von 1 km

	Ertrag dt TM/ha	Ballen/ha Stk/ha	Kraftstoffaufwand l/ha u. Jahr
Heuballen	74,1	28,9	3,97
Silageballen	155,2	30,3	4,54

Frontladerarbeit führt nur zu einer „geringen“ Motorauslastung des Traktors von 20 % (ÖKL, 2006). Die Auslastung des Motors auf dieser Intensitätsstufe bewirkt einen durchschnittlichen Kraftstoffaufwand von 2,8 l/h. Unter der Annahme, dass der Arbeitsgang des Laden 20 min/ha und Schnitt in Anspruch nimmt, ergibt sich ein Kraftstoffaufwand von 2,8 l/ha und Jahr.

5.2.3. Kraftstoffaufwand für die Verdichtungsarbeit im Fahrsilo

Der Arbeitszeitaufwand zur Einfuhr der Silage mit einem 55 kW-starken Traktor und einem Ladewagen (20 m² nach DIN) beträgt 1,1 h/ha und Schnitt. In diesem Zeitraum wird somit eine Erntemenge von 25,5 dt TM eingebracht. Das Verdichten der Silage wird mittels eines 45 kW-starken Allradtraktors, mit einem Gewicht von 2.793,3 kg (siehe Anhang) durchgeführt. Dadurch wird die allgemeine Annahme eingehalten,

dass je Tonne und Stunde geernteter Trockenmasse eine Tonne Walzgewicht erforderlich ist (BUCHGRABER ET AL., 2003); mehr noch, es muss weniger als eine Stunde Walzarbeit je geerntetem Hektar Futterfläche verrichtet werden - nämlich nur rund 50 Minuten. Bei einem durchschnittlichen Kraftstoffaufwand während des Walzens von 2,8 l/h (ÖKL, 2006) ergibt sich ein Kraftstoffaufwand von 2,32 l/ha und Schnitt bzw. 6,97 l/ha und Jahr.

5.2.4. Kraftstoffaufwand für die Silagezuteilung

Als Futterzuteilung ist der Transport der Silageballen vom Lagerplatz bzw. die Manipulation der im Fahrsilo gelagerten Silage zur Futterraufe definiert. Der dabei stattfindende Transport wird mit einem Traktor (55 kW) bei einer geringen Motorauslastung durchgeführt.

Aufgrund praktischer Erfahrungen am Betrieb Leben wird davon ausgegangen, dass der Transport des silierten Futters jeweils eine Dauer von fünf Minuten in Anspruch nimmt. Außerdem wird davon ausgegangen, dass das geerntete Grundfutter ad libitum und somit das gesamte Futter gleichmäßig an die Tiere verfüttert wird.

Eine geringe Motorauslastung mit einem durchschnittlichen Kraftstoffaufwand von 3,4 l/h und dem mit dem Transport verbundenen Arbeitszeitaufwand von 2,52 h/ha bei Ballensilage [RB-SILO (+A)] bzw. 3 h/ha bei Silage [F-SILO (+A)] ergibt einen Kraftstoffaufwand von 8,57 bzw. 10,2 l/ha (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Kraftstoffaufwand für die Silagezuteilung

	Kraftstoffaufwand l/h	Arbeitszeitaufwand h/ha	Kraftstoffaufwand l/ha u. Jahr
Ballensilage	3,4	2,52	8,57
Silage	3,4	3,00	10,20

5.2.5. Elektrischer Energieaufwand für das Heugebläse

Zur Beförderung des Heus in die Belüftungsbox wird ein Gebläse mit einem 11 kW-starken Elektro-Motor eingesetzt. Dieses Gebläse befördert fünf Tonnen Grundfutter (FM) je Stunde.

Tabelle 13: Spezifischer elektrischer Energieaufwand für das Befördern von Heu mit einem Heugebläse

	Fördermenge	Arbeitszeitaufwand	spez. Energieaufwand	
	dt FM/ha	AKh/ha	MJ/ha	MJ/dt TM
L-HEU	74,13	1,48	58,71	0,92
K+S-HEU	103,21	2,06	81,74	1,13
G-HEU	131,36	2,63	104,04	1,44

Bei einem Heuertrag von 74,13 dt FM/ha benötigt das Gerät ca. 1,48 Stunden bzw. 88,8 min zur Beförderung des Erntegutes von einem Hektar in den vorgesehenen Lagerraum. Durch Multiplikation des Arbeitszeitaufwands und der Leistung des Elektro-Motors erhält man einen spezifischen Energieaufwand von 13,43 kWh/ha oder umgerechnet 58,71 MJ/ha.

Bei der Berechnung (siehe Tabelle 13) des Energieaufwands zur Beförderung von Belüftungsheu mit 70 % bzw. 55 % TM ergibt sich, aufgrund des höheren Wassergehalts und damit auch des höheren Ernteertrags, ein spezifischer Energieaufwand von 103,21 MJ/ha oder 1,13 MJ/dt TM bzw. 104,04 MJ/ha und 1,44 MJ/dt TM.

5.2.6. Elektrischer Energieaufwand für die Heutrocknung

Der elektrische Energieaufwand für die Trocknung unterscheidet sich je nach dem, welches Trocknungsverfahren angewendet wird und welcher Feuchtigkeits- bzw. Trockenmassegehalt des Grundfutters bei der Futterbergung zugrunde gelegt ist. Zur Berechnung dienen empirisch nachgewiesene Richtwerte.

Formel: Wasserentzug (Weingartmann, 2004)

$$W = G1 * [(f1 - f2)/(1 - f2)]$$

W ... Wasserentzug

G1 ... Gewicht des geernteten Gutes

f1, f2 ... Anfangs- bzw. Endfeuchte

Belüftungsheu, das mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 30 % eingefahren wird, weist eine noch abzuführende Wassermenge von 19,2 dt auf, um die benötigte Lagerfähigkeit, bei einem Trockenmassegehalt von 86 %, zu erreichen. Jenes mit einem Wassergehalt von 45 % muss jedoch weitaus mehr, nämlich 47,35 dt, Wasser abführen. Diese Werte – dargestellt in Tabelle 14 – beziehen sich auf eine Grundfutterfläche von einem Hektar.

Demzufolge ergibt sich für Kaltbelüftungsheu [K-HEU (+A)] ein Aufwand an Primärenergie von 26,3 MJ/dt TM, für solarbelüftetes Heu [S-HEU (+A)] 14,4 MJ/dt TM und für Gärheu [G-HEU (+A)], das mit einem Trockenmassegehalt von 55 % eingefahren wird, ein spezifischer Energieaufwand von 35,4 MJ/dt TM.

Tabelle 14: Spezifischer elektrischer Energieaufwand bei der Trocknung von Belüftungsheu (eigene Berechnung nach Weingartmann, 2004)

	spez. elektrischer Energieaufwand			
	kWh/dt Wasser	kWh/ha	MJ/ha	MJ/dt TM
K-HEU	27,5	528,0	1.900,8	26,3
S-HEU	15,0	288,0	1.038,8	14,4
G-HEU	15,0	710,3	2.556,9	35,4

5.3. Kumulierter Energieaufwand

5.3.1. Kumulierter Energieaufwand pro dt Trockenmasse

Bei Betrachtung des Kumulierten Energieaufwands in der Grundfutterproduktion (siehe Abbildung 3) fällt zunächst der große Unterschied zwischen jenen Konservierungsmethoden auf, die mit einem Ladewagen eingebracht, und jenen, die zu Rundballen gepresst werden. Dies ermöglicht eine grobe Einteilung hinsichtlich des Energieaufwands bei der Futterkonservierung in zwei Blöcke.

Der Kumulierte Energieaufwand beträgt bei der ersten Gruppe, bei der das Grundfutter mit dem Ladewagen eingebracht wird, rund 150 MJ/dt TM; jener der zweiten Gruppe, bei der das Grundfutter zu Rundballen gepresst wird, liegt bei ungefähr 190 MJ/dt TM. Damit ist ein Größenunterschied zwischen diesen beiden Blöcken von ca. 40 MJ/dt TM gegeben.

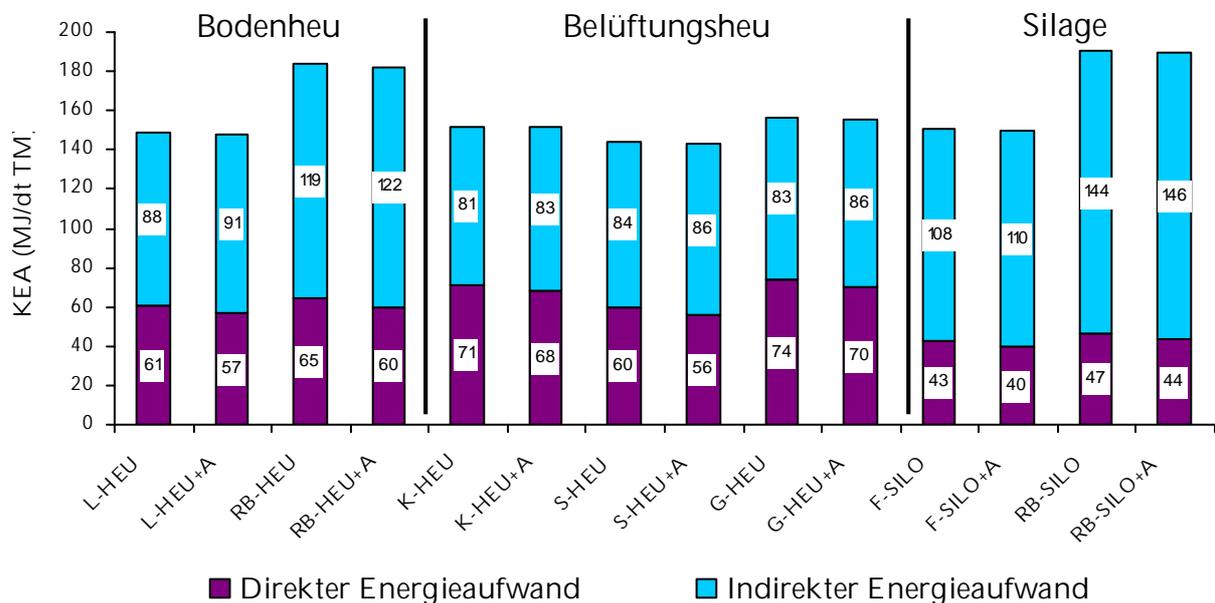


Abbildung 3: Kumulierter Energieaufwand (MJ/dt TM) unterschiedlicher Konservierungsverfahren unterteilt in direkten und indirekten Energieaufwand

Den geringsten Energieaufwand, mit rund 150 MJ/dt TM, weisen die Konservierungsverfahren Belüftungsheu mit solarer Luftanwärmung und einem Trockenmassegehalt von 70 % [S-HEU (+A)] mit 143,7 bzw. 142,7 MJ/dt TM, lose eingebrachtes Bodenheu [L- HEU (+A)] mit 148,8 und 147,6 MJ/dt TM und im Fahrsilo verdichtete Silage [F-SILO (+A)] mit 150,5 und 149,4 MJ/dt TM auf. Darauf folgen die Konservierungsverfahren der traditionellen Kaltbelüftungsheugewinnung [K-HEU (+A)] mit 152,6 und 151,6 MJ/dt TM sowie die Erzeugung von Gärheu mit einem Trockenmassegehalt zum Zeitpunkt der Futterbergung von 55 % (G-HEU (+A)) mit 156,8 und 155,8 MJ/dt TM.

Die höchsten Energieaufwendungen sind bei jenen Varianten, bei denen das Grundfutter (Silage oder Heu) in Ballen gepresst wird, feststellbar. Der Energieaufwand für Heuballen beträgt 183,5 bzw. 182,4 MJ/dt TM. Die Produktion von Silageballen [RB-SILO (+A)] hat, im Vergleich zu den Heuballen, mit 190,6 und 189,7 MJ/dt TM nur einen unwesentlich höheren Energieaufwand. Dies bedeutet, dass der energetische Mehraufwand für die erforderliche Wickelfolie nur geringfügig höher ist als jener, der aufgrund der zusätzlichen Feldarbeit auftritt.

Folgende Reihenfolge (vom niedrigsten zum höchsten Energieaufwand) für die betrachteten Konservierungsverfahren lässt sich ableiten (siehe Tabelle 15):

Tabelle 15: Reihung unterschiedlicher Konservierungsverfahren nach dem Kumulierten Energieaufwand

	Konservierungsverfahren	ohne Aufbereiter	mit Aufbereiter
		MJ/dt TM	MJ/dt TM
1	Solarbelüftungsheu	143,7	142,7
2	Bodenheu	148,8	147,6
3	Fahrsilo	150,0	149,5
4	Kaltbelüftungsheu	152,6	151,6
5	Gärheu	156,8	155,8
6	Heuballen	183,5	182,4
7	Silageballen	190,6	189,7

Solarbelüftungsheu

Der geringe Energieaufwand bei der Erzeugung von Belüftungsheu mit solarer Luftanwärmung [S-HEU+(A)] ergibt sich aus dem idealen Mix aus reduziertem Kraftstoffaufwand infolge des spezifischen Trocknungsverlaufes (70 % TM zum Zeitpunkt der Ernte) sowie geringem Energieaufwand für nachgelagerte Hofarbeiten (Trocknungsvorgang im Heustock) und für bauliche Tätigkeiten.

Lose geworbenes Bodenheu

Lose geworbenes Bodenheu [L-HEU (+A)] hat im Vergleich zu Solarbelüftungsheu einen höheren Kraftstoffaufwand von 15,9 l/ha bei der Futterwerbung. Dies entspricht einem energetischen Mehraufwand von 632,6 MJ/ha bzw. 9,9 MJ/dt TM (siehe Tabelle 16).

Tabelle 16: Aufteilung des Energieaufwands bei der Erzeugung von Heu in bauliche Anlagen, Trocknung und Kraftstoff

	bau. Anlage	Trocknung	Kraftstoff	
	MJ/dt TM	MJ/dt TM	l/ha	MJ/dt TM
L-HEU	-	-	96,3	60,1
K-HEU	3,2	27,5	80,4	44,3
S-HEU	6,3	15,6	80,4	44,3

Bei der Produktion von S-HEU (+A) entsteht zwar im Vergleich zu lose geworbenem Bodenheu ein zusätzlicher Energieaufwand für die benötigten baulichen Anlagen im Ausmaß von 6,3 MJ/dt TM sowie aufgrund des technischen Trocknungsvorgangs (15,6 MJ/dt TM). Trotzdem weist die Produktion von S-HEU (+A) einen geringeren kumulierten Energieaufwand auf. Hauptgrund dafür sind jedoch die geringeren Futterverluste bzw. der höhere Grünlandertrag. Dies führt zu einer Degression des kumulierten Energieaufwands für die Herstellung der Maschinen bzw. des indirekten Energieaufwands im Vergleich zu lose geworbenem Bodenheu (siehe Tabelle 15).

Kaltbelüftungsheu

Diesen Vorteil (Degression) kann traditionelles Belüftungsheu [K-HEU (+A)] aufgrund des wesentlich höheren Energieaufwands für die Trocknung im Heustock nicht ausnutzen. Grund dafür ist der um 12,5 kWh/dt Wasser höhere Energieaufwand für den erforderlichen Wasserentzug aus dem Grundfutter. Das bedeutet einen energetischen Mehraufwand von rund 12 MJ/dt TM im Vergleich zu Solarbelüftungsheu [S-HEU (+A)]. Die nur geringe Energieeinsparung von 3,1 MJ/dt TM, die durch die nicht vorhandene Kollektorfläche auftritt, kann diesen Mehraufwand nicht relativieren (siehe Tabelle 15).

Gärheu

Die Konservierungsvariante Gärheu [G-HEU (+A)] rangiert nur auf dem fünften Platz - trotz des geringeren Kraftstoffaufwands von 13,2 l/ha im Vergleich zu den Konservierungsvarianten S-HEU(+A) und K-HEU(+A) bzw. sogar von 29,1 l/ha im Vergleich zum lose erworbenen Bodenheu. Dies entspricht einer energetischen Einsparung von rund 600 bzw. 1200 MJ/ha. Der geringe Kraftstoffaufwand ist auf die verringerte Anzahl an Überfahrten zurückzuführen (siehe Abbildung 17).

Tabelle 17: Direkter Energieaufwand bei unterschiedlichen Belüftungsheuvarianten für das Belüften für den benötigten Kraftstoff und den erforderlichen Wasserentzug

	Energieaufwand Kraftstoff			Energieaufwand Wasserentzug		
	l/ha	MJ/ha	MJ/dt TM	dt H ₂ O/ha	MJ/ha	MJ/dt TM
K-HEU (+A)	77,3	3072,3	42,5	19,2	1.900,8	26,3
S-HEU (+A)	77,3	3072,3	42,5	19,2	1.038,8	14,4
G-HEU (+A)	64,0	2546,3	35,2	47,4	2.556,9	35,4

Hauptgrund für den höheren Energieaufwand bei der Produktion von Gärheu ist der energetische Mehraufwand der nachfolgenden Trocknung des erworbenen Grundfutters. Bei einer Trockenmasse von 55 % ist die Wassermenge von 47,35 dt bzw. fast 5000 Liter abzuführen. Der Energieaufwand für die Trocknung beträgt über 2500 MJ/ha bzw. 35,4 MJ/dt TM und ist damit doppelt so hoch wie die Energieeinsparung, die durch den oben geschilderten geringeren Kraftstoffaufwand eintritt.

Heuballen

Der Kumulierte Energieaufwand für die Erzeugung von Heuballen [RB-HEU (+A)] beträgt 183,5 bzw. 182,4 MJ/dt TM. Der deutlich höhere Energieaufwand im Vergleich zu den anderen Konservierungsvarianten ergibt sich vorwiegend aufgrund der kurzen Amortisationsdauer der Rundballenpresse. Sie beträgt 6,25 Jahre bzw. die Hälfte jener eines Ladewagens (11 Jahren). Diese Gegebenheit bewirkt mit 35.359,8 MJ einen doppelt so hohen jährlichen indirekten Energieaufwand und einen energetischen Mehraufwand von 28,6 MJ/dt TM (siehe Tabelle 18).

Tabelle 18: Spez. Energieaufwand für die Herstellung einer Rundballenpresse und eines Ladewagens unter Berücksichtigung der energetischen Amortisationsdauer

	Masse kg	KEA _{H,U,E} MJ	Nutzungsdauer Jahre	spez. Energieaufwand MJ/Jahr	MJ/dt TM
Rundballenpresse	2.851,6	220.999,0	6,25	35.359,8	55,5
Ladewagen	2.546,3	197.338,3	11,11	17.162,2	26,9

Zusätzlich treten noch Energieaufwendungen für den Transport der Heuballen vom Feld zum Hof in der Höhe von 8,3 MJ/dt TM auf. Dadurch lassen sich die Unterschiede bezüglich des Kumulierten Energieaufwands im Vergleich zu anderen Konservierungsvarianten erklären. Weiters auftretende Unterschiede bezüglich des Kraftstoffaufwands sind nur marginal.

Silageballen

Der Kumulierten Energieaufwand von Silageballen [RB-SILO (+A)] beträgt bei beiden Varianten – mit und ohne Aufbereiter – rund 190 MJ/dt TM. Verantwortlich für den hohen Kumulierten Energieaufwand ist, wie auch bei der Erzeugung von Heuballen, der spezifische jährliche Energieaufwand für die Herstellung der Rundballenpresse. Hinzu kommen noch die Energieaufwendungen, die bei der Herstellung der Wickelfolie auftreten. Wie in Kapitel 5.1.6 angenommen, wird für einen Rundballen zirka 1 kg Wickelfolie benötigt. Aufgrund des hohen Energieaufwands, der bei der Produktion von Wickelfolie eintritt, ergibt sich ein indirekter Energieaufwand von rund 82 MJ/Ballen bzw. 32,5 MJ/dt TM. Der geringe energetische Unterschied im

Vergleich zur Heuballenproduktion basiert auf dem deutlich höheren Netto-Ertrag bei der Silagegewinnung.

Wie entscheidend der Faktor Wickelfolie im Rahmen dieser Kalkulation ist, wird durch folgenden Vergleich dargestellt. Neben dem bei der Berechnung angenommenen Wert (1,07 kg Folie/Ballen) wird in der Literatur auch mit einem wesentlich niedrigeren Wert gerechnet: RAMHARTER ET AL. (1994) nehmen bei einer ähnlichen Berechnungsweise einen Wert von 0,544 kg Folie/Ballen bei einem Durchmesser von 1,5 m an. Auf den hier zugrunde gelegten Durchmesser von 1,25 m bedeutet dies einen Wert von 0,43 kg Folie/Ballen. Im Zuge der Arbeit wurde bei einer eigenen Gewichtsmessung auf dem Betrieb Leben jedoch ein Aufwand von ca. 1,5 kg Folie/Ballen ermittelt. In Tabelle 19 werden die Auswirkungen einer unterschiedlichen Anzahl von Folienschichten verdeutlicht.

Tabelle 19: Spezifischer Energieaufwand für die Herstellung von Wickelfolie

Quellen	Wickelfolienaufwand		spez. Energieaufwand		
	Lagen bzw.	kg/Ballen	MJ/Ballen	MJ/ha	MJ/dt TM
RAMHARTER ET AL. (1994)	4	0,43	33,0	998,6	13,1
BISAGLIA ET AL. (2003)	6	1,07	82,2	2.486,6	32,5
eig. Messung (2007)	8	1,5	115,2	3.486,0	45,6

Aufgrund dieser Bandbreite wurde die Berechnung mit jenem Folienaufwand aus Kap. 5.1.6, der eher einen Mittelwert darstellt, durchgeführt. Entscheidend für das Gewicht ist dabei die Anzahl der Folienschichten je Ballen (RAMHARTER ET AL., 1994).

Neben der Wickelfolie hat aber auch der Kraftstoffaufwand einen nicht zu vernachlässigbaren Einfluss auf den Energieaufwand. Bei der Silageballenerzeugung ist ein Minderaufwand von ungefähr 15 l/ha, im Gegensatz zu RB-HEU (+A), gegeben. Die Kraftstoffersparnis bei der Futterwerbung gleicht den zusätzlich auftretenden Energieaufwand für die Wickelfolie und Futterzuteilung nahezu aus. Der Kumulierte Energieaufwand je dt Trockenmasse ist somit bei der Produktion von Silageballen nur unwesentlich höher als bei jener von Heuballen.

Silage im Fahrsilo

Trotz des hohen Materialaufwands und der erforderlichen Energieaufwendungen die beim Bau eines Fahrsilos entstehen (3.500 MJ/m³ Beton) weist Silage einen relativ niedrigen Energieaufwand auf (150 MJ/dt TM). Das ist auf die geringe Anzahl an Feldarbeitsgängen bei der Futterwerbung zurückzuführen.

Der für den Bau eines Fahrsilos erforderliche spezifische Energieaufwand beträgt mit 23,3 MJ/dt TM rund 15 % des gesamten Energieaufwands. Hinzu kommt noch der Energieaufwand für die Herstellung der erforderlichen Abdeckfolie (5,1 MJ/dt TM). Weitere Energieaufwendungen entstehen infolge des zusätzlichen Kraftstoffaufwands von rund 17 l/ha bzw. 13,1 MJ/dt TM, der aus der Verdichtungsarbeit des eingebrachten Grundfutters und der Futterzuteilung resultiert.

Auch bei diesem Konservierungsverfahren kann ein großes Einsparungspotential aufgezeigt werden – nämlich bei der Wahl des Fahrsilos. Die in dieser Arbeit festgelegte Siloform wurde deshalb gewählt, weil sie dem vom Betrieb Leben verwendeten regionalen Standard entspricht. Wird das Fahrsilo jedoch als Traunsteinsilo gebaut, kann der spezifische Energieaufwand erheblich reduziert werden. Beim Traunsteinsilo kommt es durch die Reduzierung der Wandstärke um 15 cm und der Stärke der Bodenplatte um 10 cm zu einem um 40 % geringeren Energieaufwand für dessen Herstellung. Damit sinkt der Kumulierte Energieaufwand auf rund 140 MJ/dt TM.

Die von KRAATZ ET AL. (2006) berechneten Werte (siehe Tabelle 20) etwas höher als jene der vorliegenden Arbeit. Ausschlaggebend dafür sind mehrere Gründe. Zum einen werden bei einigen dieser Varianten mineralische Stickstoffdüngemittel eingesetzt. Dabei müssen je kg nach SCHOLZ (1997) 59 MJ aufgewendet werden. Bei einer Aufwandmenge von 140 kg N-Dünger/ha ergibt das 92 MJ/dt TM, bei rund 70 kg Stickstoffdüngemittel pro Hektar immerhin noch 59 MJ/dt TM.

Tabelle 20: Spez. Kumulierter Energieaufwand von Silage und Heu bei unterschiedlicher Nutzungs- und N-Düngungsintensität (KRAATZ ET AL., 2005)

	Nutzungen	Düngung	Ertrag	Kumulierter Energieaufwand	
	pro Jahr	kg N/ha	dt TM/ha	MJ/dt TM	MJ/MJ NEL
Silage	4	141	90	237	0,39
	3	65	70	199	0,33
	2	30	50	184	0,30
	2	0	40	192	0,32
Heu	3	140	90	214	0,40
	2	74	70	178	0,34
	2	50	50	203	0,38
	2	0	40	158	0,30

Anzumerken bleibt daher, dass im Themenbereich „Energieaufwand“ Vergleichswerte nur bedingt herangezogen werden können oder zumindest vor dem Hintergrund der zugrunde gelegten Annahmen (Grundfutterfläche, eingesetzter Maschinenpark, Richtwerte für die Ermittlung des spezifischen KEA_H,...) gesehen werden müssen.

5.3.2. Kumulierter Energieaufwand pro Hektar

Bei Betrachtung des Kumulierter Energieaufwands je Hektar (Abbildung 4) treten im Vergleich zu Abbildung 3 (Kumulierter Energieaufwand je dt TM) geringfügige Veränderungen ein.

Differenzen bei dieser Bezugsgröße treten vor allem bei der Erzeugung von Bodenheu – insbesondere bei lose eingebrachtem Bodenheu [L-HEU (+A)] – auf. Hier beträgt der Energieaufwand 9,5 bzw. 9,4 GJ/ha. Der Unterschied erklärt sich dadurch, dass bei dieser Bezugsgröße der Ertrag vernachlässigt wird und damit die hohen Futterverluste, die bei der Bodenheuerzeugung auftreten, in diesem Fall keinen Einfluss auf den Energieaufwand haben.

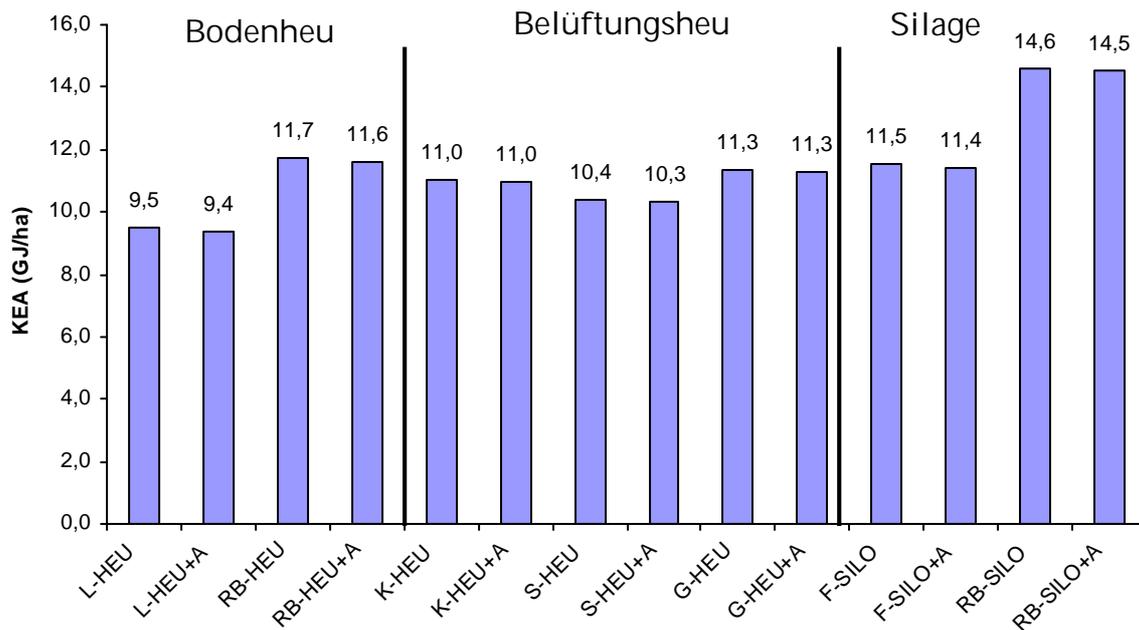


Abbildung 4: Kumulierter Energieaufwand (GJ/ha) verschiedener Konservierungsverfahren

Auch bei der Erzeugung von Heuballen [RB-HEU (+A); 11,7 bzw. 11,6 GJ/ha] ist, im Unterschied zur Betrachtung der Bezugsgröße (vorhergehendes Kapitel 5.3.1), ein geringerer Energieaufwand erforderlich. Zwar treten bei der Produktion der verschiedenen Belüftungsheuvarianten immer noch geringere Energieaufwendungen als bei Heuballen auf, jedoch ist der Unterschied nicht mehr so gravierend. Der Energieaufwand für Belüftungsheu liegt zwischen 10,3 und 11,3 GJ/ha. Daraus ergibt sich eine Schwankungsbreite des energetischen Minderaufwands von 0,4 bis 1,4 GJ/ha.

Im Fahrsilo verdichtete Silage [F-SILO (+A)] benötigt einen Energieaufwand von 11,5 bzw. 11,4 GJ/ha und liegt damit wiederholt im Mittelfeld aller betrachteten Konservierungsvarianten. Deutlich höher ist der Kumulierte Energieaufwand bei der Rundballenproduktion. Die Werte liegen bei rund 14,5 GJ/ha und sind damit um bis zu ein Drittel höher als bei den anderen Konservierungsvarianten. In Tabelle 21 werden die unterschiedlichen Konservierungsverfahren bezüglich ihres Gesamtenergieaufwandes (GJ/ha) gereiht.

Tabelle 21: Reihung der verschiedenen Konservierungsvarianten bezüglich des Kumulierten Energieaufwands (GJ/ha; vergleiche Tabelle 15)

	Konservierungsverfahren	Rotationsmäher	
		ohne Aufbereiter	mit Aufbereiter
1	Bodenheu	9,5	9,4
2	Solarbelüftungsheu	10,4	10,3
3	Kaltbelüftungsheu	11,0	11,0
4	Gärheu	11,3	11,3
5	Silage	11,5	11,4
6	Heuballen	11,7	11,6
7	Silageballen	14,6	14,5

5.3.3. Kumulierter Energieaufwand pro MJ NEL

Die Ermittlung der Energiekonzentration des Grundfutters erfolgte mithilfe der DLG-FUTTERWERTTABELLEN (1997). Hierzu wurde ein Mittelwert der Richtwerte von Heu und Silage bei unterschiedlichen, jedoch in der Praxis üblichen, Vegetationsstadien berechnet. Demzufolge hat Heu eine Energiekonzentration von 5,38 MJ NEL/kg TM. Aufgrund des früheren Nutzungszeitpunkts ist die Energiekonzentration der Silage etwas höher – diese beträgt 6,16 MJ NEL/kg TM.

Wie in Abbildung 5 ersichtlich, schwankt der Kumulierte Energieaufwand je MJ NEL der einzelnen Konservierungsverfahren zwischen 0,24 und 0,34 MJ. Traditionell erzeugte Silage [F-SILO (+A)] weist mit 0,24 MJ/MJ NEL den geringsten Energieaufwand je Energiegehalt des Grundfutters auf. Somit muss bei diesem Konservierungsverfahren am wenigsten Energie aufgebracht werden um einen MJ NEL Grundfutter zu erzeugen. Alle Belüftungsheuvarianten [K-HEU (+A), S-HEU (+A), G-HEU (+A)] und Bodenheu [L-HEU (+A)] liegen mit Werten unter 0,3 MJ/MJ NEL im Mittelfeld der betrachteten Konservierungsverfahren. Für die Rundballenproduktion müssen wiederholt deutlich höhere Energieaufwendungen aufgebracht werden. Ballensilage liegt mit Werten von 0,31 MJ/MJ NEL nur unwesentlich über

jenen der verschiedenen Belüftungsheuvarianten. Die mit Abstand höchsten Werte, auch im Vergleich zur Silageballenproduktion, sind bei der Erzeugung von Heuballen anzutreffen. Sie betragen bei beiden Varianten (mit und ohne Aufbereiter) 0,34 MJ/MJ NEL. Ausschlaggebend dafür ist der oben erwähnte höhere Energiegehalt der Silage.

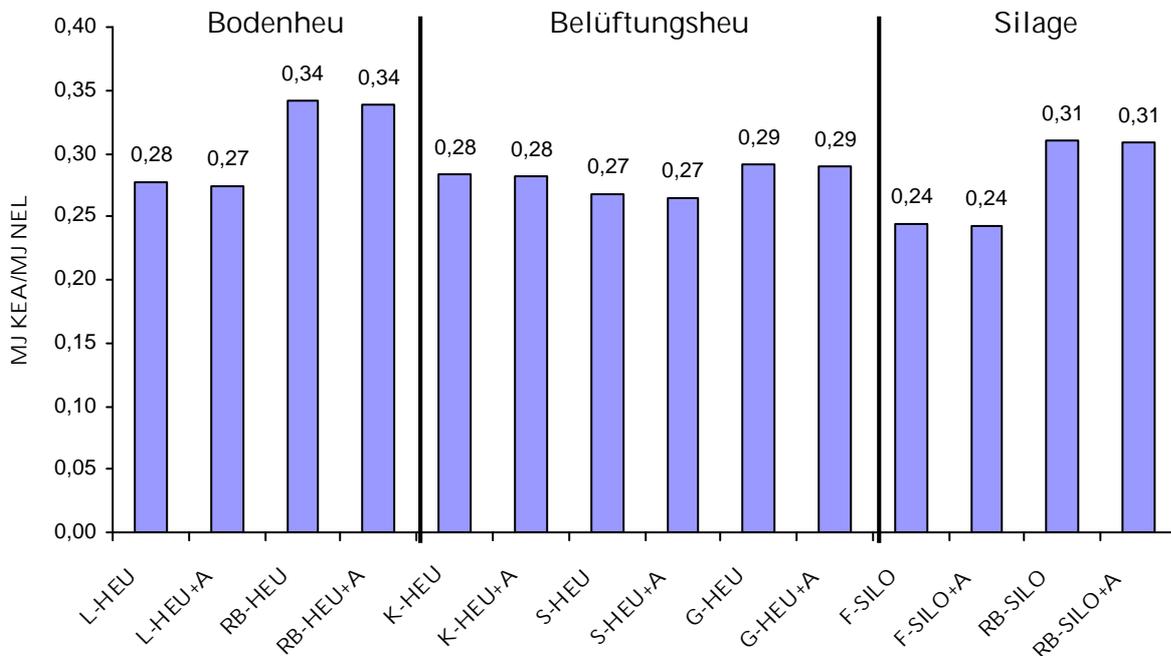


Abbildung 5: Kumulierter Energieaufwand bezogen auf die Energiekonzentration des geernteten Grundfutters (MJ KEA/MJ NEL)

Die von KRAATZ ET AL. (2006) berechneten Werte (siehe Tabelle 19) liegen bei den unterschiedlichen Bewirtschaftungsmethoden und -intensitäten zwischen 0,3 und 0,4 MJ/MJ NEL. Damit sind deren Werte höher als die in der vorliegenden Arbeit. Die höheren Werte sind vor allem auf den Einsatz von mineralischem N-Düngemittel zurückzuführen.

5.3.4. Einfluss der zunehmenden Grundfutterfläche auf den Kumulierten Energieaufwand pro dt Trockenmasse

Bei der folgenden Berechnung wird davon ausgegangen, dass der bereits in Kapitel 5.1.1. genannte Maschinenpark zum Einsatz kommt. Lediglich die Lagerkapazitäten werden an die entsprechende Bewirtschaftungsfläche angepasst. In Tabelle 22 sind neben den Kumulierten Energieaufwendungen der unterschiedlichen Grundfutterflächen zusätzlich die Anteile der Veränderung (in Prozent) bezogen auf die Basis von 10 ha (= 100 %) aufgelistet.

Tabelle 22: Einfluss der zunehmenden Grundfutterfläche auf den Kumulierten Energieaufwand (Prozentangaben beziehen sich relativ auf eine Futterfläche von 10 ha)

		10 ha	20 ha		30 ha	
		(MJ/dt TM)	(MJ/dt TM)	%	(MJ/dt TM)	%
Bodenheu	L-HEU	148,8	110,2	74,1	97,3	65,4
	L-HEU+A	147,6	107,4	72,8	94,0	63,7
	RB-HEU	185,1	131,9	70,4	114,1	60,8
	RB-HEU+A	182,3	127,5	69,9	109,2	59,9
Belüftungsheu	K-HEU	152,0	117,3	77,3	105,8	69,7
	K-HEU+A	151,5	115,5	76,2	103,4	68,3
	S-HEU	143,8	109,1	75,9	97,6	67,9
	S-HEU+A	142,7	106,6	74,7	94,6	66,3
	G-HEU	156,8	122,2	77,9	110,6	70,5
	G-HEU+A	155,8	119,7	76,8	107,7	69,1
Silage	F-SILO	150,5	123,7	82,2	112,3	74,6
	F-SILO+A	149,5	121,4	81,2	109,5	73,2
	RB-SILO	190,6	140,8	73,8	124,2	65,1
	RB-SILO+A	189,7	138,5	73,0	121,4	64,0

Mit zunehmender Grundfutterfläche und dem damit verbundenen linear zunehmenden Grundfutterertrag verringert sich der Kumulierte Energieaufwand pro dt Trockenmasse. Allerdings variiert diese Veränderung bei den unterschiedlichen Grundfutterflächen.

Wie schon bei den einzelnen Konservierungsverfahren ansatzweise ersichtlich ist, wird dieser Effekt (Einfluss des Netto-Ertrags auf den Energieaufwand pro dt Trockenmasse) bei der Annahme unterschiedlicher Grundfutterflächen bzw. Grundfutterflächen zunehmend augenscheinlicher. Die prozentuelle Verringerung des Kumulierten Energieaufwands nimmt jedoch mit zunehmender Grundfutterfläche ab, da gleichzeitig der Einfluss des direkten Energieaufwands zunimmt. Dieser Effekt erklärt sich durch die Degression des Kumulierten Energieaufwands für die Herstellung der Maschinen je Flächeneinheit

Die größten Veränderungen treten bei Rundballen auf. Ausschlaggebend dafür ist, wie schon oben erwähnt, der anteilmäßig reduzierte Energieaufwand bei der Herstellung der Rundballenpresse. Der Einfluss der geringen Amortisationsdauer und damit des relativ hohen indirekten Energieaufwands nimmt ab. Die konstant bleibenden Energiewendungen für die eingesetzte Wickelfolie je Flächeneinheit bei Silageballen [RB-SILO (+A)] von 32,5 MJ/dt üben nicht erwartenden Einfluss auf Kumulierte Energieaufwand aus.

Bodenheu [L-HEU (+A)] weist eine Veränderung von 74,1 bzw. 65,4 % auf. Auch bei dieser Konservierungsvariante konnte man aufgrund der Überlegungen in Kapitel 5.3.1. davon ausgehen, dass der Kumulierte Energieaufwand sich aufgrund der geringeren Einflussnahme der hohen Futterverluste (25 %) positiv ändern würde. Belüftungsheu hingegen weist Unterschiede bezüglich des Kumulierten Energieaufwands bei veränderter Grundfutterfläche zwischen 77,9 und 74,7 % bzw. 70,5 und 66,3 % auf. Diese Änderungen resultieren vorwiegend aus dem reduzierten Einfluss des spezifischen Energieaufwands für die Herstellung.

Die geringste Abnahme des Kumulierten Energieaufwands ist bei lose eingebrachter Silage [F-SILO (+A)] erkennbar. Grund dafür ist der konstant bleibende spezifische Energieaufwand bei der Herstellung des Fahrsilos von 23,3 MJ/dt TM.

5.3.5. Direkter und indirekter Energieaufwand

Im folgenden Kapitel werden die unterschiedlichen Konservierungsmethoden hinsichtlich direktem und indirektem Energieaufwands gegenübergestellt. Dafür wurde jeweils ein Mittelwert aller zu einer Konservierungsmethode zugehörigen Verfahren berechnet (Basis: Kumulierter Energieaufwand pro Hektar). Dem direkten Energieaufwand werden in erster Linie der Kraftstoff- und der Stromaufwand zugeordnet. Energieaufwendungen für die Herstellung von Maschinen, bauliche Tätigkeiten und Herstellung anderer diverser Betriebsmittel werden bei der Berechnung des indirekten Energieaufwandes einbezogen. Detaillierte Informationen zu dieser Thematik werden in Kapitel 2.2.2. gegeben.

Bodenheu

Der Kumulierte Energieaufwand bei der Konservierungsmethode Bodenheu setzt sich aus 63 % indirekter und 37 % direkter Energie zusammen. Der direkte Energieaufwand resultiert nahezu ausschließlich aus dem Kraftstoffaufwand, mit Ausnahme des geringen Stromaufwands für das Fördergebläse bei L-HEU (+A). Dieser beträgt 16,3 kWh/ha.

Belüftungsheu

Bei Belüftungsheu werden durchschnittlich 56 % indirekte und 44 % direkte Energie eingesetzt. Dieser Unterschied ergibt sich im Vergleich zu Bodenheu aufgrund des höheren Stromaufwands, der für die Trocknung des Grundfutters im Heustock notwendig ist. Er beträgt bei K-HEU (+A) 528 kWh/ha. S-HEU (+A) weist mit 288 kWh/ha den geringsten und G-HEU (+A) den höchsten (710 kWh/ha) Stromaufwand auf.

Silage

Die Silageerzeugung ist mit dem geringsten Anteil an direkter (26 %) und dem größten Anteil an indirekter Energie (74 %) verbunden. Dies resultiert aus dem Energieaufwand zur Herstellung des Fahrsilos, der Abdeck- wie auch der Wickelfolie. Mitverantwortlich für den geringen Anteil an direkter Energie ist die Tatsache, dass bei

dieser Konservierungsmethode nur der Kraftstoffaufwand zum direkten Energieaufwand beiträgt.

In Hinblick auf die Relation zwischen indirektem und direktem Energieaufwand ist erkennbar, dass sich der Anteil des direkten Energieaufwandes mit zunehmender Grundfutterfläche ebenfalls vergrößert (Abbildung 6). Der geringere Anteil an indirekter Energie bei größeren Grundfutterflächen basiert auf einer energetischen Aufteilung der eingesetzten Betriebsmittel; d.h. es muss bezogen auf eine bestimmte Fläche (1 Hektar) weniger indirekte Energie eingesetzt werden. Der direkte Energieaufwand je Hektar bleibt im Gegensatz dazu konstant. Dadurch vergrößert sich der Anteil an direkter Energie.

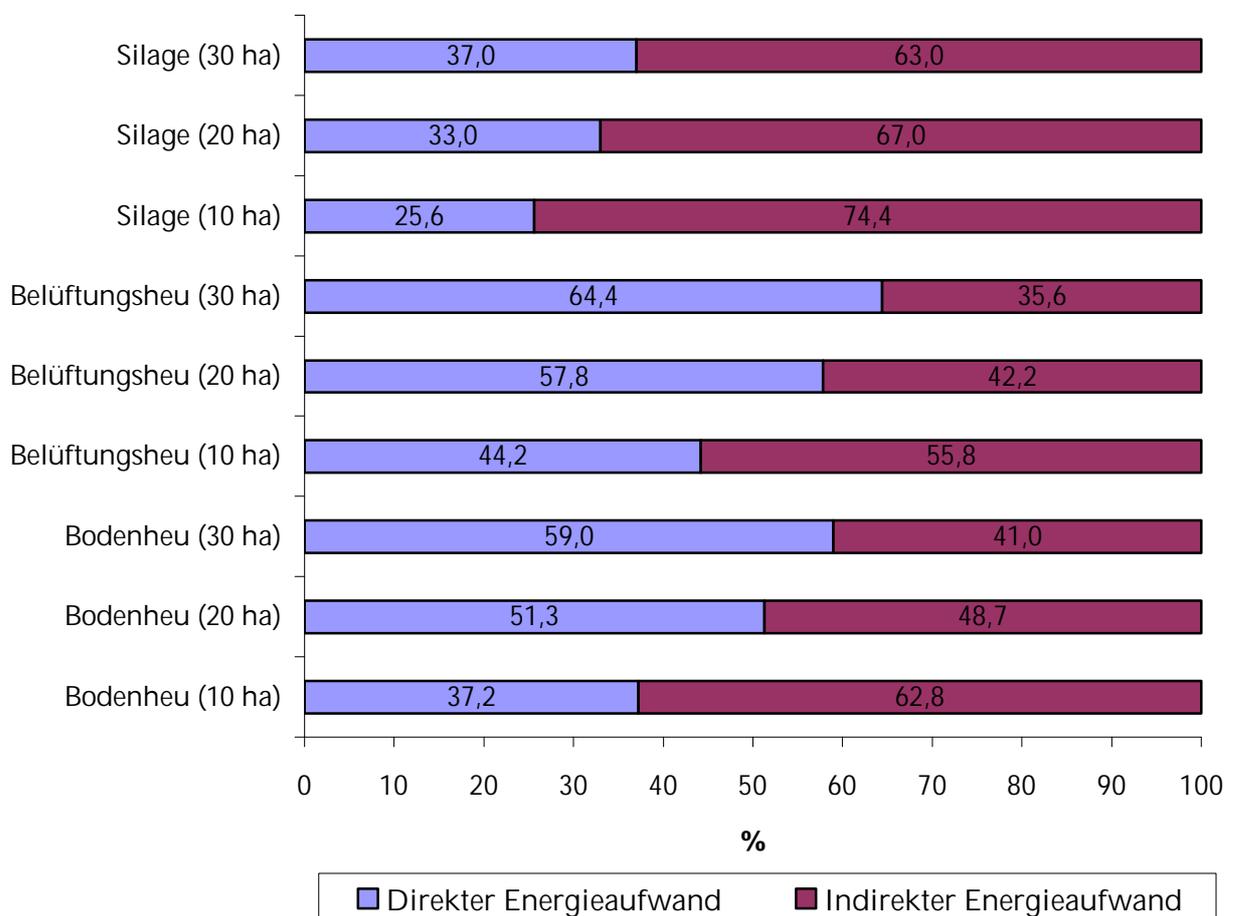


Abbildung 6: Prozentuelle Aufteilung des KEA in direkten und indirekten Energieaufwand in der ökologischen Grundfutterproduktion

5.4. Kraftstoffaufwand und Kraftstoffäquivalent

5.4.1. Kraftstoffaufwand

Der Kraftstoffaufwand wurde in den vorhergehenden Kapiteln bereits auszugsweise angesprochen. In der folgenden Tabelle wird nun eine detaillierte Übersicht über den Kraftstoffaufwand der unterschiedlichen Konservierungsverfahren gegeben. Zur Berechnung des Energieaufwands des Kraftstoffes wird diesem ein Energiegehalt von 39,786 MJ/l unterstellt (MOERSCHNER, 2000). Dieser Wert beinhaltet neben dem eigentlichen Energiegehalt, dem so genannten Heizwert, auch die primärenergetisch bewerteten Aufwendungen für die Bereitstellung des Dieselmotorkraftstoffes.

Tabelle 23: Prozentueller Anteil des Kraftstoffaufwands am Kumulierten Energieaufwand

		Kraftstoffaufwand			Kraftstoff-Anteil am KEA (%)
		l/ha	MJ/ha	MJ/dt	
Bodenheu	L-HEU	96,3	3.889,3	61,0	41,0
	L-HEU+A	90,0	3.638,7	57,1	38,7
	RB-HEU	103,4	4.115,5	64,6	35,2
	RB-HEU+A	97,1	3.864,8	60,6	33,2
Belüftungsheu	K-HEU	80,4	3.198,8	44,3	29,0
	K-HEU+A	74,1	2.948,1	40,8	26,9
	S-HEU	80,4	3.198,8	44,3	30,8
	S-HEU+A	74,1	2.948,1	40,8	28,6
	G-HEU	67,2	2.673,6	37,0	23,6
	G-HEU+A	60,9	2.423,0	33,5	21,5
Silage	F-SILO	82,6	3.286,3	43,0	28,6
	F-SILO+A	76,3	3.035,7	39,7	26,5
	RB-SILO	90,3	3.591,1	46,9	24,6
	RB-SILO+A	84,0	3.340,4	43,7	23,0

Wie in Tabelle 23 ersichtlich, beeinflussen speziell das Konservierungsverfahren und die Wahl des Mähwerks den Kraftstoffaufwand. Grundsätzlich verringert sich der Kraftstoffaufwand bei einem Einsatz des Mähaufbereiters um sechs bis sieben l/ha, obwohl dieser Arbeitsgang aufgrund des höheren Leistungsbedarfs beim Mähen einen l/ha mehr beansprucht. Dies ergibt sich aus einer Reduzierung des Kraftstoffaufwands für die nachfolgenden Bearbeitungsschritte bei der Grundfutterwerbung, die auf der Einsparung mindestens eines Kreiselsvorgangs (Zetten, Wenden) beruhen.

Den höchsten Kraftstoffaufwand haben jene Konservierungsverfahren, bei denen das Grundfutter am Feld auf die erforderliche Endfeuchte getrocknet wird bzw. bei denen noch Transporttätigkeiten und nachfolgende Hofarbeiten erforderlich sind. Den geringsten Kraftstoffaufwand weisen die Belüftungsheuvarianten – aufgrund der oben angesprochenen Reduzierung von Feldarbeiten und Wegfall von kraftstoffbeanspruchenden Hofarbeiten – auf.

Es besteht ein leichter Zusammenhang zwischen dem Trockenmassegehalt des Grundfutters zum Zeitpunkt der Futterbergung und dem Kraftstoffaufwand. Dies kommt besonders bei Betrachtung des prozentuellen Anteils des Kraftstoffs am Kumulierten Energieaufwand zum Ausdruck. Die höchsten Werte erreicht Bodenheu, gefolgt von Belüftungsheu und Silage.

5.4.2. Kraftstoffäquivalent (l/dt TM)

Das Kraftstoffäquivalent des Kumulierten Energieaufwands (l/dt TM) wird in der Tabelle 24 wiedergegeben und drückt den Kumulierten Energieaufwand in Kraftstoffeinheiten (l/dt TM) aus.

Die Berechnung des Kraftstoffäquivalents ist eine gängige Methode um den Energieaufwand unterschiedlicher Güter miteinander zu vergleichen. Hierzu wird jedoch nicht der primärenergetisch bewertete Heizwert (39,786 MJ/l) herangezogen, sondern der tatsächliche Energiegehalt eines Liters Dieseldieselkraftstoff (35,74 MJ/l).

Tabelle 24: Kumulierter Energieaufwand in Kraftstoffäquivalent in der ökologischen Grundfutterproduktion

		Kumulierter Energieaufwand		Kraftstoffäquivalent	
		MJ/dt TM	MJ/ha	l/dt TM	l/ha
Bodenheu	L-HEU	148,8	94.843,7	4,2	265,3
	L-HEU+A	147,6	94.108,2	4,1	263,3
	RB-HEU	183,5	116.990,4	5,1	327,3
	RB-HEU+A	182,4	116.254,9	5,1	325,3
Belüftungsheu	K-HEU	152,6	110.240,6	4,3	308,4
	K-HEU+A	151,6	109.505,1	4,2	306,4
	S-HEU	143,7	103.851,6	4,0	290,6
	S-HEU+A	142,7	103.116,1	4,0	288,5
	G-HEU	156,8	113.303,6	4,4	317,0
	G-HEU+A	155,8	112.568,0	4,4	314,9
Silage	F-SILO	150,5	115.129,3	4,2	322,1
	F-SILO+A	149,5	114.393,7	4,2	320,0
	RB-SILO	190,6	145.835,4	5,3	408,0
	RB-SILO+A	189,7	145.099,9	5,3	406,0

Wie in Tabelle 23 ersichtlich variiert das Kraftstoffäquivalent zwischen 4,0 und 5,3 l/dt TM. Jene Konservierungsverfahren, bei denen das Grundfutter lose eingebracht wird, weisen den geringsten Energieaufwand hinsichtlich des Kraftstoffäquivalents auf (4,0 bzw. 4,4 l/dt TM). Hohe Energieaufwendungen treten bei Rundballen (bis zu 5,3 l/dt TM) – sowohl bei Bodenheu als auch bei Silage – auf.

5.4.3. Kraftstoffäquivalent (l/ha)

Das Kraftstoffäquivalent des Kumulierten Energieaufwands (l/ha) wird in der Abbildung 7 wiedergegeben und drückt den Kumulierten Energieaufwand in Kraftstoffeinheiten (l/ha) aus.

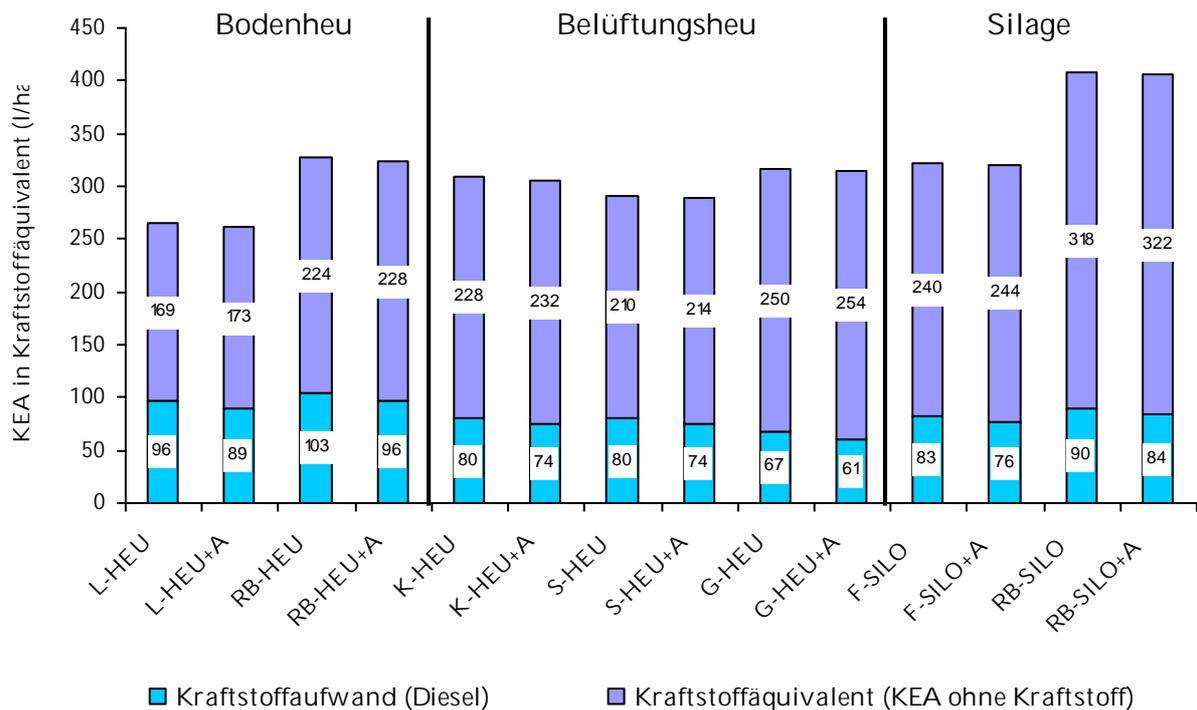


Abbildung 7: Kraftstoffaufwand (Diesel) und KEA in Kraftstoffäquivalent ohne Kraftstoff

Mit einem Energieaufwand von rund 265 l Kraftstoffäquivalent pro Hektar stellt Bodenheu [L-HEU (+A)] das energieintensivste Konservierungsverfahren dar. Belüftungsheu mit solarer Luftanwärmung [S-HEU (+A)] rangiert nur mehr auf dem zweiten Platz (290 l/ha), gefolgt von traditionellem Kaltbelüftungsheu [K-HEU (+A)], Gärheu [G-HEU (+A)] und im Fahrsilo verdichteter Silage [F-SILO (+A)] mit Werten zwischen 305 und 325 l Kraftstoffäquivalent pro Hektar. Die Heuballenproduktion ist in dieser Darstellung - verglichen mit der vorhergehenden Bezugsgröße (l/dt TM) - mit einem geringeren Energieaufwand verbunden (325 l/ha). In dieser Tabelle verdeutlicht sich der hohe Energieaufwand zur Herstellung von Silageballen [RB-SILO (+A)] mit über 400 l Kraftstoffäquivalent pro Hektar. Die genauen Werte sind in Tabelle 23 angegeben.

5.5. Arbeitszeitaufwand

Der Arbeitszeitaufwand ist definiert als kalkulatorischer Zeitaufwand einer oder mehrerer Arbeitskräfte für die Erledigung aller am Betrieb anfallenden Tätigkeiten und gibt somit Auskunft über die anfallende Arbeitszeit eines bestimmten Arbeitsschritts. Die dabei eingesetzte Arbeitskraft ist eine voll arbeitsfähige Person, die dem jeweiligen Betrieb zu Verfügung steht. Die zu verrichtende Tätigkeit einer Arbeitskraft innerhalb einer Stunde wird mit Arbeitskraftstunde bezeichnet (SCHÖN ET AL., 1998).

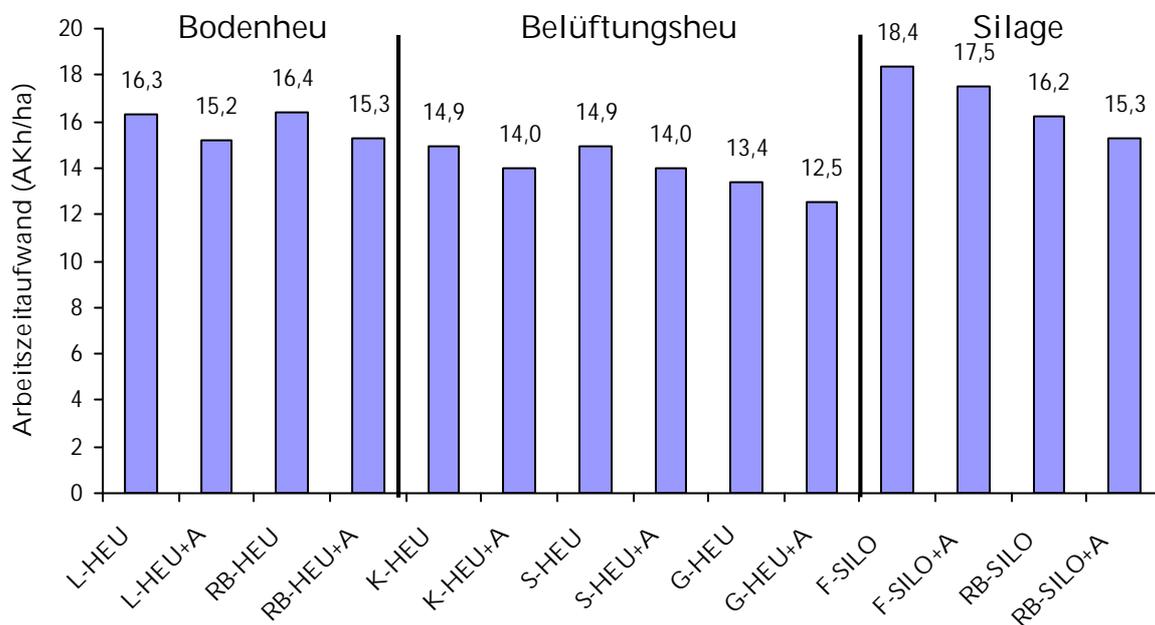
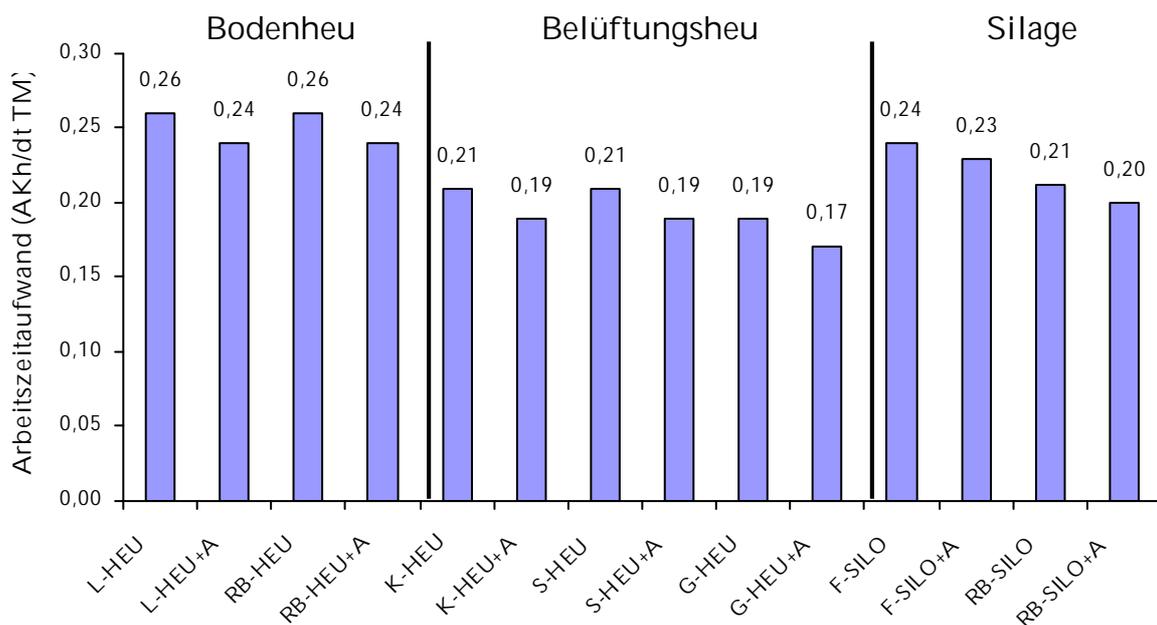


Abbildung 8: Arbeitszeitaufwand je Hektar in der ökol. Grundfutterproduktion (3-Schnittnutzung)

Der Arbeitszeitaufwand in der Grundfutterproduktion liegt – wie in Abbildung 8 dargestellt – zwischen 12,5 und 18,4 Akh/ha. Dabei erweist sich die Produktion von Belüftungsheu als relativ arbeitsexensiv. Je Flächeneinheit müssen je nach Konservierungsvariante zwischen 12,5 und 14,9 Arbeitsstunden aufgebracht werden. Für die Erzeugung von lose geworbenem Bodenheu und Heuballen müssen zwischen 15,2 und 16,4 AKh/ha aufgewendet werden. Die mit dem Belüftungsheu verglichene Differenz ergibt sich aus den zusätzlichen Arbeitsgängen der Futterwerbung, die aufgrund der Trocknung auf Endfeuchte am Feld notwendig sind. Mit einem ähnlichen Arbeitszeitaufwand ist die Produktion von Silageballen verbunden. Auch hier

liegen die Werte bei 15,3 bzw. 16,2 AKh/ha. Der mit Abstand höchste Arbeitskraftaufwand ist mit der Silageerzeugung im Fahrsilo verbunden. Er beträgt bis zu 18,4 AKh/ha. Vor allem die zusätzlich erforderlichen Transportvorgänge vom Feld zum Hof und auch am Betrieb selbst sowie die Ver- und Abdichtungsarbeit im Fahrsilo bedeuten einen Arbeitszeitmehraufwand.

Abbildung 9: Arbeitszeitaufwand je dt Trockenmasse in der Grundfutterproduktion (AKh/dt TM)



Bei Betrachtung des auf die Trockenmasse bezogenen Arbeitszeitaufwands in AKh/dt TM in Abbildung 9 sind Unterschiede - zur vorhergehenden Bezugsgröße (AKh/ha) - erkennbar. Belüftungsheu stellt wiederum die arbeitsextensivste Konservierungsmethode dar (0,17 - 0,19 AKh/dt TM). Darauf folgt jedoch die Silageerzeugung mit Werten zwischen 0,20 und 0,24 AKh/dt TM. Der größte Arbeitsaufwand mit bis zu 0,26 AKh/ha ist bei der Produktion von Bodenheu feststellbar. Diese Veränderungen resultieren aus den unterschiedlichen Futtermittelnverlusten der jeweiligen Konservierungsmethode.

5.6. Energieaufwand in der Kraftfutterproduktion

Die Leistungen in der Tierhaltung haben sich in allen Bereichen in den letzten Jahrzehnten stark erhöht. So ist beispielsweise die durchschnittliche Milchleistung seit 1950 auf das doppelte Produktionsniveau angestiegen. Neben den hier erreichten züchterischen Fortschritten ist insbesondere der steigende Kraftfuttermiteinsatz in der Milchviehfütterung für die Milchleistungssteigerung verantwortlich (GRUBER ET AL., 2000). Da der Kraftfuttermiteinsatz entscheidenden Einfluss auf den Energieaufwand in der Fütterung hat, soll die Kraftfutterproduktion an dieser Stelle thematisiert werden.

Die Berechnung des Kumulierten Energieaufwands in der Kraftfutterproduktion (siehe Tabelle 25) wurde auf dieselbe Weise wie in der Grundfutterproduktion durchgeführt. Zuerst wurden die Bilanzgrenzen festgelegt und folgende Annahmen unterstellt: die erzeugte Futtergerste wird auf einer Ackerfläche von 10 ha angebaut; der Netto-Ertrag der biologisch produzierten Futtergerste beträgt 38 dt TM/ha und jener des konventionell erzeugten 55 dt TM/ha (GRÜNER BERICHT, 2006). Daraufhin wurden die erforderlichen Maschinen und deren Gewichte ermittelt. Mit diesen Werten und den jeweiligen spezifischen Energieaufwendungen für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung (siehe Tabelle 1) wurde unter Berücksichtigung der Amortisationszeit die energetische Maschinenabschreibung berechnet.

Im nächsten Schritt erfolgte die Ermittlung des Kraftstoffaufwands der einzelnen Arbeitsschritte mit dem KTBL-Feldarbeit-Rechner ermittelt. Dabei wurde angenommen, dass die grundlegenden Arbeiten des Ackerbaus vom Betrieb bzw. dessen Personal selbst durchgeführt werden, mit Ausnahme des Striegeln im Fall ökologischer Bewirtschaftung bzw. der Applikation der Pflanzenschutzmittel (PSM) im konventionellen Ackerbau sowie des Mähdrusches bei beiden Bewirtschaftungssystemen. Des Weiteren wird unterstellt, dass die Getreideernte bei einem TM-Gehalt von 14 % erfolgt und eine nachfolgende Trocknung des Getreides nicht erforderlich ist.

Abschließend erfolgte die Ermittlung des Energieaufwands für die Herstellung des benötigten Saatguts und die Energieaufwendungen für die Herstellung der eingesetzten Handelsdünger und Pflanzenschutzmittel. Dabei wurde von einer Saatstärke von 145 kg/ha (BERGER ET AL., 2004) und einem primärenergetisch bewerteten Auf-

wand von 19,23 MJ/kg TM Saatgut ausgegangen (MOERSCHNER, 2000). Hierbei entstammen die Aufwandsmengen an Handelsdünger und PSM im konventionellen Ackerbau den STANDARDDECKUNGSBEITRÄGEN OST (2002), wobei sich bei der zu ihrer Herstellung notwendige Primärenergieaufwand an die Berechnungen von SCHOLZ (1997) anlehnt und mit dem von ihm berechneten Primärenergieaufwand für deren Herstellung in Zusammenhang gebracht wird.

Tabelle 25: Kumulierter Energieaufwand bei der Produktion von ökologischem und konventionellem Kraftfutter (Futtergerste)

	Energieaufwand ökol.		Energieaufwand konv.	
	MJ/dt TM	%	MJ/dt TM	%
Maschinen	107,4	43,3	67,1	19,9
Kraftstoff	67,0	27,1	44,9	13,3
Saatgut	73,4	29,6	60,7	18,1
Dünger und PSM	-	-	163,9	48,7
Summe	247,8	100,0	336,6	100,0

Der Kumulierte Energieaufwand für Futtergetreide im ökologischen Landbau beträgt 247,7 MJ/dt TM. Der prozentuelle Anteil für den Herstellungsaufwand der Maschinen beträgt rund 45 %, jener des primärenergetisch bewerteten Saatgutes ungefähr 30 % des Gesamtenergieaufwands. Der durchschnittliche Kraftstoffaufwand liegt bei 64 l/ha und beträgt rund ein Viertel der Energieaufwendungen zur Herstellung der biologischen Futtergerste.

Konventionell erzeugtes Kraftfutter erfordert im Vergleich zu ökologisch erzeugten einen um fast 90 MJ/dt TM höheren Energieaufwand. Dieser Unterschied resultiert aus dem energetischen Mehraufwand von rund 164 MJ/dt TM für die Herstellung und Ausbringung des Handelsdüngers und der Pflanzenschutzmittel und beläuft sich auf 336,6 MJ/dt TM. Aufgrund des höheren Netto-Ertrags konventionell erzeugter Futtergerste (55 bzw. 38 dt TM/ha) verringert sich im Vergleich zur ökologischen Bewirtschaftung der Energieaufwand je Gewichtseinheit für die Maschinenherstellung, für den Kraftstoff- und den Saatgutaufwand (172,7 bzw. 247,7 MJ/dt TM).

Der Kraftstoffaufwand im biologischen Gerstenanbau beträgt mit 64 l/ha rund 25 % des gesamten Energieaufwandes. Der im Vergleich zu einer konventionellen Bewirtschaftung der Getreideflächen (62 l/ha) notwendige Mehraufwand an Dieselkraftstoff von ungefähr 2 l/ha resultiert aus der arbeitsintensiveren mechanischen Unkrautbekämpfung. Damit ist der Kraftstoffaufwand im Rahmen des Ackerbaus geringer als jener in der Grundfutterproduktion (siehe Tabelle 23).

Trotzdem ist die Produktion von Futtergetreide mit einem deutlich höheren kumulierten Energieaufwand verbunden. Dieser beträgt bei einer Ackerfläche von 10 ha 247,73 bzw. 336,6 MJ/dt TM. Hierzu trägt vor allem der hohe indirekte Energieaufwand bei, der sich hauptsächlich aus dem Primärenergieaufwand für das Saatgut bzw. den Mineraldünger ergibt. Der Energieaufwand für das Saatgut beträgt mit 73,4 MJ/dt TM fast ein Drittel der gesamten Energieaufwendungen im ökologischen Ackerbau. Bei einer konventionellen Bewirtschaftung betragen die Energieaufwendungen für die Ausbringung der Dünge- und Pflanzenschutzmittel nahezu die Hälfte (48,7 %) des gesamten Energieaufwands.

RAMHARTER (1999) berechnete den kumulierten Energieaufwand unterschiedlicher Ackerfrüchte bei unterschiedlichen Bewirtschaftungssystemen. Er kam zu dem Schluss, dass für die Produktion von biologischer Sommergerste im pannonischen Klimaraum ein Energieaufwand von 162 MJ/dt TM, bei konventioneller Produktion 228 MJ/dt TM erforderlich wäre.

Der Hauptgrund für den gravierenden Unterschied im Vergleich zu den hier vorliegenden Werten ist, dass RAMHARTER (1999) bei seiner Berechnung die spezifische Feedstock-Energie der Gerste vernachlässigt und nur den Bereitstellungsaufwand für Züchtung, Transport und Lagerung berücksichtigt. Nach seiner Berechnung liegt dieser bei 3,31 MJ/kg TM und ist damit um rund 16 MJ/kg TM geringer als der hier verwendete Wert (19,23 MJ/kg TM). Demzufolge ergibt sich bei einer ökologischen Bewirtschaftung der Ackerfläche und einer Saatstärke von 145 kg/ha eine Differenz von ungefähr 60 MJ/dt TM.

Eine Diskussion über diese Thematik (Einbeziehung der Feedstock-Energie bei der Berechnung des Primärenergieaufwandes von Saatgut) findet sich bei MOERSCHNER (2000). Er zeigt auf, dass manche Autoren den Energiegehalt des Saatgutes einbezie-

hen und andere nicht. MOERSCHNER (2000) ist der Meinung, dass bei einer gesamt-energetischen Fragestellung die Einbeziehung der Feedstock-Energie von Biorohstoffen in die Berechnung durchaus gerechtfertigt ist. Diesbezüglich sei an dieser Stelle auf die, je nach zugrunde gelegter Berechnungsmethode, differierenden Werte des Kumulierten Energieaufwands hingewiesen.

5.6.1. Vergleich: Grund- mit Kraftfutterproduktion (Basis: KEA/dt TM)

In Abbildung 10 wird die Relation des Kumulierten Energieaufwands zwischen Grund- und Kraftfutterproduktion veranschaulicht. Dabei wird die ökologisch wie die konventionell erzeugte Futtergerste gleich 100 % gesetzt und der Kumulierte Energieaufwand der Grundfutterproduktion damit verglichen. Das Diagramm verdeutlicht die großen Unterschiede zwischen Grund- und Kraftfutttermittel, wenn der Energieaufwand je Gewichtseinheit als Bezugsgröße zugrunde gelegt wird.

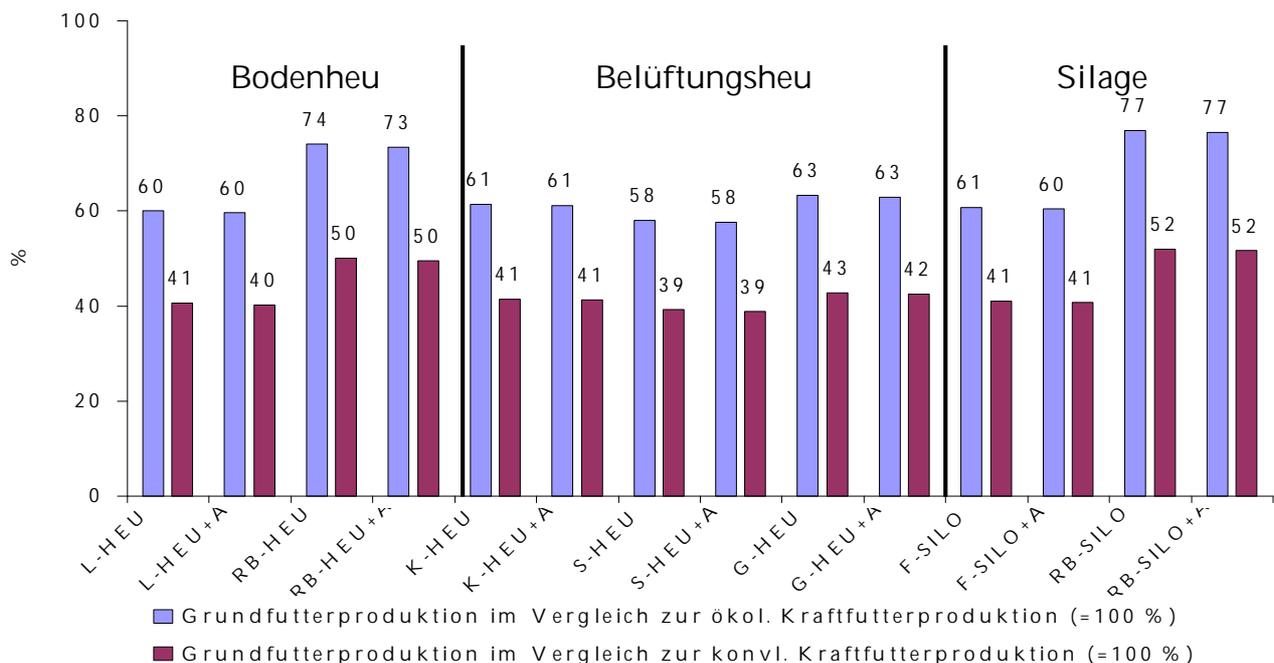


Abbildung 10: Kumulierter Energieaufwand (KEA/dt TM) der ökol. Grundfutterproduktion im Vergleich zur ökol. und konv. Kraftfutterproduktion (jeweils 100 %)

Der Energieaufwand für die Grundfutterproduktion ist durchschnittlich um 35 % geringer als jener der ökologischen Kraftfutterproduktion. Bei den energieextensiven Belüftungsheuvarianten beträgt der Unterschied sogar 42 %. Noch gravierender ist die Differenz bei konventionell produzierter Futtergerste. Deren Herstellung bean-

spricht im Durchschnitt mehr als doppelt so viel Energie (56 %) als die Erzeugung von Grundfuttermittel. Die Energieaufwendungen für lose geworbenes Heu (Bodenheu und Belüftungsheu) erfordern sogar nur 40 % des Energieaufwands, der für die Produktion von Futtergetreide notwendig ist.

5.6.2. Vergleich: Grund- mit Kraftfutterproduktion (Basis: KEA/MJ NEL)

Dieser deutlich energetische Mehraufwand der Kraftfutterproduktion wird bei Betrachtung des Kumulierten Energieaufwands, bezogen auf den Energiegehalt des Futtermittels, zum Teil relativiert. Futtergerste hat laut DLG-FUTTERWERTTABELLEN (1997) eine Energiekonzentration von 8,08 MJ NEL/kg TM. Der gleiche Wert wird von JEROCH ET AL. (1999) angegeben.

Daraus ergibt sich für biologisch erzeugte Futtergerste ein Energieaufwand von 0,31 MJ/MJ NEL. Dieser Wert liegt in der Bandbreite der Energieaufwendungen für die Grundfüttererzeugung (siehe Abb. 5). Der Energieaufwand für die Erzeugung von konventioneller Futtergerste ist deutlich höher. Er beträgt 0,42 MJ/MJ NEL. Hiermit scheint die fortlaufende Diskussion bezüglich des hohen Kraftfuttermiteinsatzes in der Milchviehfütterung besonders bei konventionellen Kraftfuttermittel gerechtfertigt.

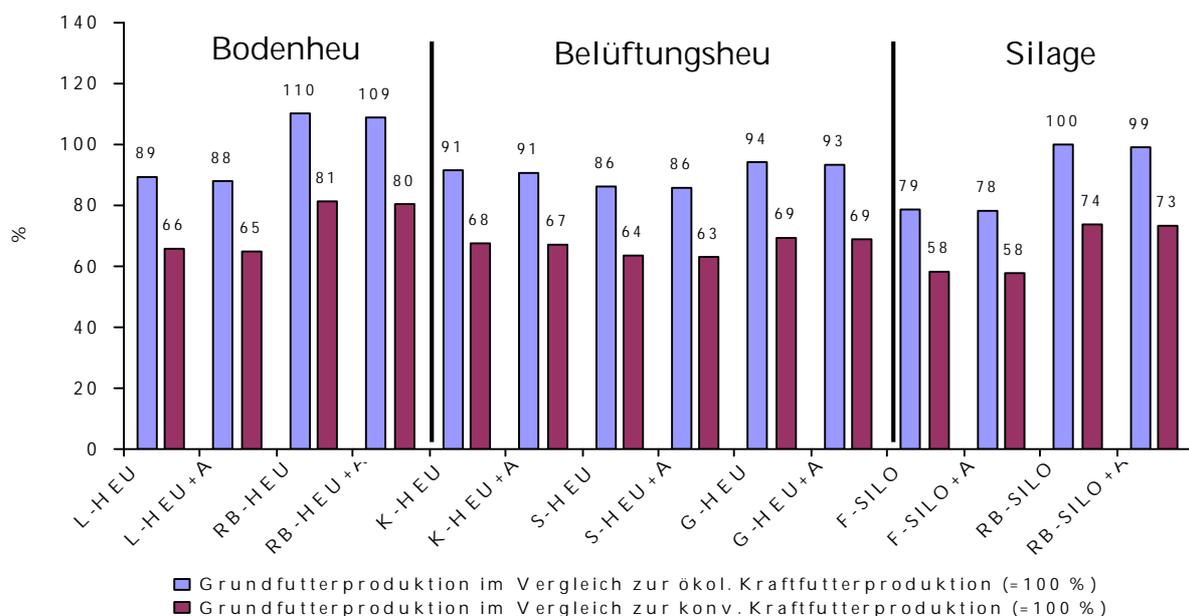


Abbildung 11: Kumulierter Energieaufwand (KEA/MJ NEL) der ökol. Grundfutterproduktion im Vergleich zu ökol. und konv. Kraftfutter (jeweils 100 %)

Mittels Abbildung 11 wird der Vergleich zwischen Grundfutterproduktion und ökologischer sowie konventioneller Kraftfutterproduktion in Hinblick auf den Energieaufwands je MJ NEL dargestellt.

Überraschenderweise ist bei dieser Bezugsgröße die Erzeugung von ökologischem Kraftfutter annähernd auf gleichem Niveau wie die Grundfutterproduktion. Der Energieaufwand für die Herstellung von ökologischem Kraftfutter ist nur um rund 8 % höher als für die Produktion von Grundfutttermittel. Für die Erzeugung von Heuballen müssen im Vergleich zur ökologischen Kraftfutterproduktion sogar um 10 % mehr Energie aufgewendet werden.

Immer noch erkennbar sind aber die deutlichen Unterschiede bezüglich des Energieaufwands (MJ/MJ NEL) bei der Produktion von konventionellem Kraftfutter. Hier machen die Energieaufwendungen für die Grundfutterproduktion zwischen 65 und 80 % jener, die für die Erzeugung von konventioneller Gerste erforderlich sind, aus. Der Energieaufwand für die Grundfutterproduktion ist durchschnittlich um 30 % niedriger als bei der Herstellung von konventionellem Kraftfutter.

Als Vergleichswerte dienen hier wiederum die von KRAATZ ET AL. (2006) berechneten Werte, wobei in diesem Fall der Energieaufwand für Triticale betrachtet wird. Diese liegen bei konventioneller Bewirtschaftung in Abhängigkeit von der Intensitätsstufe zwischen 0,31 und 0,40 MJ/MJ NEL und stimmen somit mit jenen der vorliegenden Arbeit überein. Nach KRAATZ ET AL. (2006) eine intensivere Bewirtschaftung der Ackerflächen (höherer Düngeraufwand) einen geringeren Energieaufwand sowohl je dt Trockenmasse als auch je MJ NEL bewirkt. Zurückgeführt werden kann dies auf die unterschiedlichen Rahmenbedingungen.

6. Schlussfolgerung

Der Kumulierte Energieaufwand ist die Summe von spezifischem Energieaufwand im Rahmen der Herstellung, Nutzung und Entsorgung der eingesetzten Betriebsmittel und direktem Energieaufwand (Kraftstoff- und Stromaufwand). Jede einzelne Konservierungsmethode und in weiterer Folge auch das durchgeführte Verfahren unterscheiden sich hinsichtlich der eingesetzten Maschinen und Gebäude sowie des spezifischen Kraftstoffaufwands. Durch Vergleiche bezüglich des Energieaufwands zwischen unterschiedlichen Konservierungsverfahren und gewissen Arbeitsschritten können Energieeinsparungspotentiale und -möglichkeiten aufgezeigt werden. Als solche wären in etwa eine Reduktion der Schichtenanzahl von Wickelfolie bei Silageballen oder der Bau von energieextensiven Fahrtilos (Traunsteinsilo) zu nennen.

Diese können jedoch nicht ohne weiteres in die Praxis umgesetzt werden. Aufgrund standortbedingter Gegebenheiten (Höhenlage, Exposition, Relief) und der betrieblichen Ausgangslage (Größe des Betriebs, Maschinen-, Flächen- und Personalkapazitäten) können in der Praxis nicht ausschließlich jene Konservierungsverfahren angewendet werden, die die geringsten Energieaufwendungen aufweisen.

Natürliche Witterungsverhältnisse wie z.B. die Anzahl der Schönwettertage, die einen erheblichen Einfluss auf die Anzahl der verfügbaren Feldarbeitstage hat, und Wetterumschwünge erschweren vor allem im Frühjahr die Trocknung des Grundfutters. Laut LUDER & MORIZ (2005) sind aufgrund der Klimaerwärmung eine Tendenz zu einer längeren Vegetationsdauer und eine Erhöhung der einzelnen Erntemöglichkeiten (jedoch nicht unbedingt Verlängerung) erkennbar. Um eine ausreichende Menge an Futter für die Winterperiode sicherzustellen, müssen Landwirte aus diesem Grund oft auf energieaufwendige Verfahren, wie etwa auf die Silageballenproduktion zurückgreifen.

Außerdem spielt, wie bereits erwähnt, die Betriebsstruktur eine gewichtige Rolle. Immer mehr landwirtschaftliche Betriebe, meist die kleineren, werden im Nebenerwerb geführt. Aufgrund von zeitlichen Engpässen, aus finanziellen Gründen und wegen fehlender Arbeitskräfte wird die Grundfutterbergung immer öfter mittels überbetrieblichem Maschineneinsatz (Lohnarbeiter oder Maschinenring) durchge-

führt. Dadurch wird vor allem der Einsatz von Rundballen, der mit hohen Energieaufwendungen verbunden ist, forciert.

Natürlich muss auch auf Anschaffungs- und laufende Kosten bei der Wahl der Konservierungsmethode Bedacht genommen werden. Diese beeinflussen den/die LandwirtIn bei seiner/ihrer Entscheidungsfindung wohl am stärksten. Umwelt schonende, also energieextensive Konservierungsvarianten werden nur dann als mögliche Alternative gesehen, wenn sie mit einem Zusatznutzen (meist finanzieller oder arbeits-technischer Art) verbunden sind.

Entsprechend dieser Zwiespältigkeit von theoretischen gegebenen und empirisch bestätigten Empfehlungen und der in der Praxis vorherrschenden (wenn auch zwangsweise) Nutzenmaximierung, bleibt es also weiterhin Aufgabe der Wissenschaft, praxisnahe Lösungsansätze, die sowohl ökonomisch realistisch als auch ökologisch vertretbar sind, zu liefern. Die vorliegende Arbeit soll einen Anstoß dazu geben.

7. Weiterführende Arbeiten

In der vorliegenden Arbeit wurde der Kumulierte Energieaufwand von 14 unterschiedlichen Konservierungsverfahren berechnet, um diese sodann miteinander zu vergleichen. Dennoch bleiben einige Fragen hinsichtlich des Energieaufwands in der Grundfutterproduktion offen, die aufgrund ihres Umfangs nicht berücksichtigt werden konnten.

§ Einsatz biogener Kraftstoffe bzw. erneuerbarer Energie

Die in dieser Arbeit vorgenommene Berechnung des Kumulierten Energieaufwands geht davon aus, dass als Kraftstoff fossile Energieträger in Form von Dieselmotorkraftstoff eingesetzt werden. Die Auswirkungen des Einsatzes von Pflanzenöl oder/und von Rapsmethylester (RME) als alternative Energieträger, die im Vormarsch begriffen sind und in Zukunft immer wichtiger werden, stehen einer (zunehmend dringlichen) Untersuchung offen.

§ Energieaufwand in der tierischen Produktion

Diese Arbeit konzentriert sich auf die Produktion und die Bereitstellung von Grundfuttermitteln. Die energetische Verwertung des Grundfutters in der Veredelung (Milch- oder Fleischproduktion) können Themen für weiterführende Arbeiten sein.

§ Einsatz alternativer Maschinen bzw. Erweiterung der Konservierungsverfahren

Einen weiteren Ansatzpunkt stellen der Einsatz und die energetischen Auswirkungen alternativer Maschinen und Geräte dar, wie z.B. eines Radialschwaders in der Futterwerbung oder einer Presswickelkombination bei der Bergung des Grundfutters.

§ Grundfutterproduktion unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensitäten

Unterschiedliche Bewirtschaftungsintensitäten mussten hier – um den Rahmen der Untersuchung nicht zu sprengen – vernachlässigt werden. Allerdings und gerade in Hinblick auf den wissenschaftlichen Beitrag und Zweck der vorliegenden Arbeit, stellt der Vergleich unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensitäten einen

weiteren interessanten Ansatzpunkt dar. So wäre etwa eine Gegenüberstellung von Bergbauernbetrieben und intensiv wirtschaftenden Betrieben in Gunstlagen oder von biologisch und konventionell wirtschaftenden Betrieben als zielführend zu erachten.

8. Zusammenfassung

Unter dem Aspekt des Klimawandels und der Ressourcenknappheit werden die Erfassung und Analyse von Energieumsätzen bei der Bereitstellung von Gütern (Waren und Dienstleistungen) immer bedeutsamer. Daraus leitet sich das primäre Ziel dieser Arbeit, das Aufzeigen des Energieaufwands unterschiedlicher Konservierungsmethoden und -verfahren in der ökologischen Grundfutterproduktion, ab.

Die Energiebilanzierung der verschiedenen Konservierungsarten erfolgt in der vorliegenden Arbeit durch die Berechnung des Kumulierten Energieaufwands. Die Berechnung beruht auf der VDI-RICHTLINIE 4600 (1997), derzufolge der Kumulierte Energieaufwand in den Kumulierten Energieaufwand für die Herstellung (KEA_H), Nutzung (KEA_N) und Entsorgung (KEA_E) zu unterteilen ist. Die Daten für die Berechnung beruhen neben Richtwerten von SCHOLZ (1997) auf einzelnen Werten der zusätzlich herangezogenen Literatur.

Als Bilanzraum wird die Futterkonservierung an einem Modellbetrieb, der einem realen Betrieb ähnelt, festgelegt. Die Grundfutterfläche dieses Betriebs, mit einem Netto-Ertrag von rund 70 dt TM/ha, beträgt 10 ha. Die Kalkulation wird für drei Konservierungsmethoden (Bodenheu, Belüftungsheu und Silage), die sich u.a. im Geräte- und Maschineneinsatz sowie Trocknungsverlauf unterscheiden, durchgeführt. Insgesamt stehen 14 unterschiedliche Konservierungsverfahren zur Verfügung um den Kumulierten Energieaufwand in der Grundfutterproduktion zu veranschaulichen und zu vergleichen.

Die Ermittlung des Kumulierten Energieaufwandes basiert auf der Aufsummierung des indirekten und direkten Energieaufwandes je Gewichtseinheit, wobei sich Erster aus dem primärenergetisch bewerteten Energieaufwand für die Erzeugung, Nutzung und Entsorgung der erforderlichen Maschinen, der baulichen Tätigkeiten und Betriebsmittel zusammensetzt. Der Kraftstoffaufwand der einzelnen Feld- und Hofarbeiten sowie der Stromaufwand für nachgelagerte Tätigkeiten wie das Einlagern und Trocknen des Grundfutters ergeben den direkten Energieaufwand. Der indirekte Energieaufwand macht im Durchschnitt aller Konservierungsverfahren rund zwei

Drittel (63,9 %), der direkte rund ein Drittel (36,1 %) des gesamten Energieaufwands aus.

Einen niedrigen Kumulierten Energieaufwand je dt Trockenmasse weisen Konservierungsverfahren, bei denen das Grundfutter lose eingebracht wird, auf (ca. 1,5 MJ/kg TM). Der höhere Energieaufwand bei der Erzeugung von Heu- und Silagerundballen (ca. 1,9 MJ/kg TM) beruht vorwiegend auf der kurzen Amortisationsdauer einer Rundballenpresse. Dies bewirkt eine Erhöhung des indirekten Energieaufwands von rund 30 MJ/dt TM.

Geringfügige Veränderungen treten bei Betrachtung des Kumulierten Energieaufwands je Hektar auf. Bei dieser Bezugsgröße ist die Produktion von lose eingebrachtem Bodenheu mit dem geringsten Energieaufwand (9,5 GJ/ha) verbunden. Darauf folgen die unterschiedlichen Varianten der Belüftungsheuproduktion (10,3 bis 11,4 GJ/ha) – dicht gefolgt von der Erzeugung im Fahrsilo verdichteter Silage (11,5 GJ/ha) und der Heuballenproduktion mit einem Energieaufwand von rund 11,7 GJ/ha. Deutlich höhere Energieaufwendungen treten bei der Silageballenerzeugung (14,6 GJ/ha) auf.

Die Grundfutterproduktion ist unmittelbar mit der Fütterung der landwirtschaftlichen Nutztiere verbunden. Um einen Zusammenhang zwischen diesen beiden Teilbereichen herzustellen, wird der Kumulierte Energieaufwand je MJ NEL berechnet. Dieser Wert liegt im Durchschnitt der einzelnen Produktionsverfahren bei zirka 0,3 MJ/MJ NEL und sagt aus, wie viel Energie zur Erzeugung einer fütterungsspezifischen Energieeinheit erforderlich ist.

Der Kraftstoffaufwand spielt in der Grundfutterproduktion eine gewichtige Rolle. Er variiert bei den einzelnen Konservierungsverfahren zwischen 103,4 und 60,9 l/ha und nimmt somit zwischen 21 und 40 % des Kumulierten Energieaufwands in Anspruch. Gründe für diese große Bandbreite sind zum einen unterschiedliche Anzahl an Überfahrten bei der Futterwerbung und zum anderen der Mehraufwand, der aus dem zusätzlichen Transportaufwand vom Feld zum Hof und am Hof selbst resultiert.

Als weiteres Maß für eine differenzierte Einschätzung des Kumulierten Energieaufwands dient das Kraftstoffäquivalent. Dieser drückt den Kumulierten Energieauf-

wand in Kraftstoffeinheiten aus. Die Werte schwanken zwischen 4,0 und 5,3 l/dt TM bzw. 265 und 400 l/ha.

Zusätzlich wurde in der vorliegenden Arbeit der Arbeitszeitaufwand berechnet. Dieser reicht bei den unterschiedlichen Konservierungsvarianten von rund 12,5 bis 18,4 Akh/ha bzw. 0,17 bis 0,26 Akh/dt TM. Dabei ist die Erzeugung von Belüftungsheu mit dem geringsten Arbeitskraftaufwand verbunden. Relativ arbeitszeitintensive Konservierungsverfahren sind die Produktion von Bodenheu und Silage. Die große Bandbreite hinsichtlich des Arbeitszeitaufwands resultiert aus der unterschiedlichen Anzahl an erforderlichen Feldarbeitsgängen sowie deutlichen Unterschieden bei der Transporttätigkeit und der anfallenden Hofarbeit der einzelnen Konservierungsverfahren.

Um auf die seit Jahren anhaltende Diskussion bezüglich des gesteigerten Einsatzes von Kraftfuttermittel vor allem in der Milchviehfütterung einzugehen wurde in der vorliegenden Arbeit zusätzlich der Kumulierte Energieaufwand für die Erzeugung von ökologischer sowie konventioneller Futtergerste berechnet und mit jenem der ökologischen Grundfutterproduktion verglichen. Der Kumulierte Energieaufwand für die ökologische Kraftfutterproduktion beträgt 247,7 MJ/dt TM bzw. 0,31 MJ/MJ NEL sowie 336,6 MJ/dt TM bzw. und 0,42 MJ/MJ NEL für die konventionelle Gers-
tenerzeugung. Damit konnte aufgezeigt werden, dass die Kraftfutterproduktion einen deutlich höheren Kumulierten Energieaufwand aufweist als die Grundfutterproduktion.

Abstract

This paper deals with the cumulative energy demand in ecological forage production. The calculation of the cumulative energy demand is based on VDI Richtlinie 4600: Kumulierter Energieaufwand – a Guideline on cumulative energy demand formulated by the Association of German Engineers (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 1997). The assumptions in the paper rely mainly on the values submitted by SCHOLZ (1997) or were gathered from different literary sources.

For the purpose of this paper an ecologically operated grassland farm with a productive area of 10 hectares, an assumed dry matter yield of ca 7 t per hectare and a cutting frequency of three times per season is used as balance area. For the calculation of the cumulative energy demand three different grass conservation methods are applied: field dried hay, air ventilated hay and silage. Eventually there are however 14 different preservation methods available for the respective calculations, due to a further differentiation of the three main methods according to the characteristics of dry matter content at the time of harvesting and the choice of different machinery and equipment at production.

The production of field dried hay as well as of air ventilated hay and of silage in stockpile (silo) has a small energy demand. An energy-intensive harvesting procedure however is for example the production of round bales. This results from the additional energy effort for the production of the used plastic films and the use of the baler.

A certain correlation exists also between the cumulative energy demand and the expenses for fuel and labour time. Again the production of air ventilated hay is the labour time saved alternative – due to the ideal mixture of a reduced quantity of field work and the fact that no additional work at the farm is necessary.

This paper provides also calculations for the energy demand in ecological and conventional production of concentrated feed (barley), which is compared to forage production. The cumulative energy demand for the production of barley is higher than of ecological forage from grassland.

Anhang

Anhang 1

Mittlere Maschinengewichte

Maschine/Gerät	Produktbezeichnung	Gewicht in kg	durchschn. Gewicht
Traktor (75 PS, Allrad)			2.883,3
New Holland	TN75DA	2.850	
Steyr	375 Kompakt	2.850	
Lindner	Geotrac 73	2.950	
Traktor (60 PS, Allrad)			2.793,3
New Holland	TN60DA	2.750	
Steyr	360 Kompakt	2.750	
Lindner	Geotrac 63	2.880	
Mähwerk (2,8 m Arbeitsbreite)			567,3
Krone	AM 283 S	550	
Pöttinger	NovaDisc 265	585	
Kuhn	GMD 700 II 2,8	567	
Mähwerk mit Aufbereiter (2,4 m Arbeitsbreite)			810,6
Krone	AM 243 CV	740	
Pöttinger	Novacat 225 CV	840	
Kuhn	FC 243	852	
Kreiselzettwender (4,5 m Arbeitsbreite)			468,0
Krone	KW 4,62/4	570	
Pöttinger	Eurohit 47 N	382	
Kuhn	GF 4.201MH	452	

Maschine/Gerät	Produktbezeichnung	Gewicht in kg	durchschn. Gewicht
Kreiselchwader	3,8 m Arbeitsbreite		514,6
Krone	Swadro 38	569	
Pöttinger	Eurotop 380 N	540	
Kuhn	GA 3501 GM	435	
Rundballenpresse (125 cm Ballendurchmesser, 15 Messer)			2.851,6
Krone	1250 Multicut	2.630	
Pöttinger	3300 L classic	3.150	
New Holland	BR 560 A	2.775	
Wickelgerät			840,0
Pöttinger	Rollprofi G 400 F	820	
Vielitz	FW 150 DP L	820	
Göweil	G 3010 Exklusiv	880	
Ladewagen (22 m ³ , über 30 Messer)			2.546,3
Pöttinger	EUROBOSS 330 T	2.450	
Gruber	E 35	2.800	
Mengele	LW 534	2.389	
Miststreuer (4,5 t Nutzlast, 4 stehende Walzen)			1.880,0
Pöttinger	Twist 6001	1.840	
Gruber	ES 6700	2.100	
Mengele	SM 55	1.700	
Wiesenegge (4 m Arbeitsbreite)			280,0
Gorenc		255	
Watzinger		260	
Kronenberg		325	

Maschine/Gerät	Produktbezeichnung	Gewicht in kg	durchschn. Gewicht
Ballengabel			97,5
Gorenc		105	
Göweil		90	
Presswickelkombination (125 cm Ballendurchmesser)			4.767,0
New Holland	BR 560 A Combi	4.580	
Krone	Combi Pack 1250	4.954	
Anhänger (6 t Nutzlast)			1.486,6
Mengele	MEDK 6000	1.200	
Pühringer	4020	1.660	
Oehler	OL/EDK 60	1.600	
Frontlader (ohne Parallel-Führung)			640,3
Hydrac	PL 1100	635	
Massey Ferguson	MF 930	625	
Hauer	HLC 70	661	
Rundballenzange (hydraulisch)			189,5
Hauer	110 – 150 cm	164	
Hauer	90 – 190 cm	215	
Mistgabel (hydraulisch)			115,5
Hauer	1200 mm	112,5	
Hauer	1400 mm	118,5	

Maschine/Gerät	Produktbezeichnung	Gewicht in kg	durchschn. Gewicht
Fronthydraulik			149,0
Mammut	FH I	125	
Hauer	FS 325	159	
Hauer	FS 330	163	
Silogreifzange (Volumen: 1m ³)			463,3
Strautmann	0,96m ³	450	
Pre-la	0,95m ³	520	
Pre-la	1,10m ³	420	
Pflug (3-scharig; 1,05 m Arbeitsbreite)			690
Regent		690	
Egge (3 m Arbeitsbreite)			460
Hatzenbichler		460	
Sämaschine (2,5 m Arbeitsbreite)			495
Reform		495	
Striegel (6 m Arbeitsbreite)			460
Hatzenbichler		460	
Mähdrescher (5 m Arbeitsbreite, 150 kW)			12.550
Claas	Lexion 550	14.550	
New Holland	CS 6070	10.600	

Anhang 2

Berechnungstabelle für die
ökologische Grundfutterproduktion

Bodenheu (lose)	KEA MJ	KEA MJ/Jahr	Diesel l/ha u. Jahr	KEA (MJ)				KEA (MJ/dt TM)		
				ha	10 ha	20 ha	30 ha	10 ha	20 ha	20 ha
Traktor 55 kW	266.705,3	124,4						2,0	2,0	2,0
Traktor 45 kW	258.380,3	388,5						6,1	6,1	6,1
Frontlader mit Dunggabel	58.574,5	10,5	1,5	59,7	596,8	1.193,6	1.790,4	1,1	1,1	1,1
Miststreuer	145.700,0	17.491,0	7,4	294,4	2.944,2	5.888,3	8.832,5	32,1	18,3	13,8
Wiesenegge	21.700,0	1.953,2	3,7	147,2	1.472,1	2.944,2	4.416,2	5,4	3,8	3,3
Rotationsmäher	43.965,8	4.836,7	12,0	477,4	4.774,3	9.548,6	14.323,0	15,1	11,3	10,0
Kreiselzettwender	36.270,0	3.264,6	47,8	1.903,4	19.033,6	38.067,2	57.100,9	35,0	32,4	31,6
Kreiselschwader	39.881,5	3.589,7	15,4	614,3	6.143,0	12.285,9	18.428,9	15,3	12,5	11,5
Ladewagen	197.338,3	17.762,2	8,4	334,2	3.342,0	6.684,0	10.026,1	33,1	19,2	14,5
Gebläse	2.783,0	278,3		58,7	587,1	1.174,2	1.761,3	1,4	1,1	1,1
Saatgut				154,0	1.539,8	3.079,6	4.619,4	2,4	2,4	2,4
Summe direkter Energieaufwand			MJ	3.889,3	38.893,1	77.786,1	116.679,2	61,0	61,0	61,0
Summe indirekter Energieaufwand			MJ	5.595,1	55.950,6	62.725,5	69.500,4	87,8	49,2	36,3
Summe Energieaufwand			MJ	9.484,4	94.843,7	140.511,6	186.179,6	148,8	110,2	97,3
Relation zur Grundfutterfläche			%					100,0	74,1	65,4
Direkter Energieaufwand			%		41,0	55,4	62,7			
Indirekter Energieaufwand			%		59,0	44,6	37,3			
KEA pro MJ NEL		MJ/MJ NEL						0,28	0,20	0,18
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/ha						265,3	196,6	173,6
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/dt						4,2	3,1	2,7
Kraftstoffaufwand		l/ha; MJ/ha; MJ/dt						96,3	3.830,6	60,1

Bodenheu (lose) mit Aufbereiter	KEA MJ	KEA MJ/Jahr	Diesel l/ha u. Jahr	KEA (MJ)				KEA (MJ/dt TM)		
				ha	10 ha	20 ha	30 ha	10 ha	20 ha	20 ha
Traktor 55 kW	266.705,3	145,8						2,3	2,3	2,3
Traktor 45 kW	258.380,3	330,0						5,2	5,2	5,2
Frontlader mit Dunggabel	58.574,5	10,5	1,5	59,7	596,8	1.193,6	1.790,4	1,1	1,1	1,1
Miststreuer	145.700,0	17.491,0	7,4	294,4	2.944,2	5.888,3	8.832,5	32,1	18,3	13,8
Wiesenegge	21.700,0	1.953,2	3,7	147,2	1.472,1	2.944,2	4.416,2	5,4	3,8	3,3
Mähwerksaufbereiter	62.821,5	6.911,1	15,0	596,8	5.967,9	11.935,8	17.903,7	20,2	14,8	13,0
Kreiselzettwender	36.270,0	3.264,6	37,8	1.501,9	15.019,2	30.038,4	45.057,6	28,7	26,1	25,3
Kreiselschwader	39.881,5	3.589,7	15,4	614,3	6.143,0	12.285,9	18.428,9	15,3	12,5	11,5
Ladewagen	197.338,3	17.762,2	8,4	334,2	3.342,0	6.684,0	10.026,1	33,1	19,2	14,5
Gebläse	2.783,0	278,3		58,7	587,1	1.174,2	1.761,3	1,4	1,1	1,1
Saatgut				154,0	1.539,8	3.079,6	4.619,4	2,4	2,4	2,4
Summe direkter Energieaufwand				3.607,2	36.072,2	72.144,5	108.216,7	56,6	56,6	56,6
Summe indirekter Energieaufwand				5.765,3	57.652,7	64.055,4	70.458,1	90,4	50,2	36,8
Summe Energieaufwand				9.372,5	93.725,0	136.199,9	178.674,8	147,0	106,8	93,4
Relation zur Grundfutterfläche			%					100,0	72,7	63,5
Direkter Energieaufwand			%		38,5	53,0	60,6			
Indirekter Energieaufwand			%		61,5	47,0	39,4			
KEA pro MJ NEL		MJ/MJ NEL						0,27	0,20	0,17
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/ha						262,2	190,5	166,6
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/dt						4,1	3,0	2,6
Kraftstoffaufwand		l/ha; MJ/ha; MJ/dt						89,2	3.548,5	55,7

Rundballenheu	KEA	KEA	Diesel	KEA (MJ)				KEA (MJ/dt TM)		
	MJ	MJ/Jahr	l/ha u. Jahr	ha	10 ha	20 ha	30 ha	10 ha	20 ha	20 ha
Traktor 55 kW	266.705,3	113,8						1,8	1,8	1,8
Traktor 45 kW	258.380,3	456,0						7,2	7,2	7,2
Frontlader mit Dunggabel	58.574,5	42,2	1,5	59,7	596,8	1.193,6	1.790,4	1,6	1,6	1,6
Miststreuer	145.700,0	17.491,0	7,4	294,4	2.944,2	5.888,3	8.832,5	32,1	18,3	13,8
Wiesenegge	21.700,0	1.953,2	3,7	147,2	1.472,1	2.944,2	4.416,2	5,4	3,8	3,3
Rotationsmäher	43.965,8	4.836,7	12,0	477,4	4.774,3	9.548,6	14.323,0	15,1	11,3	10,0
Kreiselzettwender	36.270,0	3.264,6	47,8	1.903,4	19.033,6	38.067,2	57.100,9	35,0	32,4	31,6
Kreiselschwader	39.881,5	3.589,7	15,4	614,3	6.143,0	12.285,9	18.428,9	15,3	12,5	11,5
Rundballenpresse	220.999,0	35.359,8	9,0	358,1	3.580,7	7.161,5	10.742,2	61,1	33,4	24,1
Rundballenzange	14.686,3	1.321,9	2,8	111,4	1.114,0	2.228,0	3.342,0	3,8	2,8	2,4
3-Seiten-Kipper	112.238,3	35,9	3,8	149,6	1.496,0	2.991,9	4.487,9	2,9	2,9	2,9
Saatgut				154,0	1.539,8	3.079,6	4.619,4	2,4	2,4	2,4
Summe direkter Energieaufwand				4.115,5	41.154,6	82.309,3	123.463,9	64,6	64,6	64,6
Summe indirekter Energieaufwand				7.583,6	75.835,8	83.854,6	91.873,4	119,0	65,8	48,0
Summe Energieaufwand				11.699,0	116.990,4	166.163,9	215.337,3	183,5	130,3	112,6
Relation zur Grundfutterfläche			%					100,0	71,0	61,4
Direkter Energieaufwand			%		35,2	49,5	57,3			
Indirekter Energieaufwand			%		64,8	50,5	42,7			
KEA pro MJ NEL		MJ/MJ NEL						0,34	0,24	0,21
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/ha						327,3	232,4	200,8
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/dt						5,1	3,6	3,2
Kraftstoffaufwand		l/ha; MJ/ha; MJ/dt						103,4	4.115,5	64,6

Rundballenheu mit Aufbereiter	KEA MJ	KEA MJ/Jahr	Diesel l/ha u. Jahr	KEA (MJ)				KEA (MJ/dt TM)		
				ha	10 ha	20 ha	30 ha	10 ha	20 ha	20 ha
Traktor 55 kW	266.705,3	135,1						2,1	2,1	2,1
Traktor 45 kW	258.380,3	397,5						6,2	6,2	6,2
Frontlader mit Dunggabel	58.574,5	42,2	1,5	59,7	596,8	1.193,6	1.790,4	1,6	1,6	1,6
Miststreuer	145.700,0	17.491,0	7,4	294,4	2.944,2	5.888,3	8.832,5	32,1	18,3	13,8
Wiesenegge	21.700,0	1.953,2	3,7	147,2	1.472,1	2.944,2	4.416,2	5,4	3,8	3,3
Mähwerksaufbereiter	62.821,5	6.911,1	15,0	596,8	5.967,9	11.935,8	17.903,7	20,2	14,8	13,0
Kreiselzettwender	36.270,0	3.264,6	37,8	1.501,9	15.019,2	30.038,4	45.057,6	28,7	26,1	25,3
Kreiselschwader	39.881,5	3.589,7	15,4	614,3	6.143,0	12.285,9	18.428,9	15,3	12,5	11,5
Rundballenpresse	220.999,0	35.359,8	9,0	358,1	3.580,7	7.161,5	10.742,2	61,1	33,4	24,1
Rundballenzange	14.686,3	1.321,9	2,8	111,4	1.114,0	2.228,0	3.342,0	3,8	2,8	2,4
3-Seiten-Kipper	112.238,3	35,9	3,8	149,6	1.496,0	2.991,9	4.487,9	2,9	2,9	2,9
Saatgut				154,0	1.539,8	3.079,6	4.619,4	2,4	2,4	2,4
Summe direkter Energieaufwand				3.833,4	38.333,8	76.667,6	115.001,4	60,1	60,1	60,1
Summe indirekter Energieaufwand				7.753,8	77.537,9	85.184,5	92.831,1	121,6	66,8	48,5
Summe Energieaufwand				11.587,2	115.871,7	161.852,1	207.832,5	181,8	126,9	108,7
Relation zur Grundfutterfläche			%					100,0	69,8	59,8
Direkter Energieaufwand			%		33,1	47,4	55,3			
Indirekter Energieaufwand			%		66,9	52,6	44,7			
KEA pro MJ NEL		MJ/MJ NEL						0,34	0,24	0,20
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/ha						324,2	226,4	193,8
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/dt						5,1	3,6	3,0
Kraftstoffaufwand		l/ha; MJ/ha; MJ/dt						96,4	3.833,4	60,1

Kaltbelüftungsheu	KEA MJ	KEA MJ/Jahr	Diesel l/ha u. Jahr	KEA (MJ)				KEA (MJ/dt TM)		
				ha	10 ha	20 ha	30 ha	10 ha	20 ha	20 ha
Traktor 55 kW	266.705,3	145,8						2,0	2,0	2,0
Traktor 45 kW	258.380,3	299,7						4,1	4,1	4,1
Frontlader mit Dunggabel	58.574,5	10,5	1,5	59,7	596,8	1.193,6	1.790,4	1,0	1,0	1,0
Miststreuer	145.700,0	17.491,0	7,4	294,4	2.944,2	5.888,3	8.832,5	28,3	16,2	12,1
Wiesenegge	21.700,0	1.953,2	3,7	147,2	1.472,1	2.944,2	4.416,2	4,7	3,4	2,9
Rotationsmäher	43.965,8	4.836,7	12,0	477,4	4.774,3	9.548,6	14.323,0	13,3	10,0	8,8
Kreiselzettwender	36.270,0	3.264,6	36,3	1.443,0	14.430,4	28.860,8	43.291,1	24,5	22,2	21,5
Kreiselschwader	39.881,5	3.589,7	9,3	370,0	3.700,1	7.400,2	11.100,3	10,1	7,6	6,8
Ladewagen	197.338,3	17.762,2	10,2	405,8	4.058,2	8.116,3	12.174,5	30,2	17,9	13,8
Gebläse	2.783,0	278,3		81,7	817,4	1.634,8	2.452,2	1,5	1,3	1,3
Kaltbelüftung	8.855,0	885,5		1.900,8	19.008,0	38.016,0	57.024,0	27,5	26,9	26,7
Belüftungsbox					2.278,4	4.556,8	6.835,2	3,2	3,2	3,2
Saatgut				154,0	1.539,8	3.079,6	4.619,4	2,1	2,1	2,1
Summe direkter Energieaufwand				5.180,1	51.801,4	103.602,8	155.404,2	71,7	71,7	71,7
Summe indirekter Energieaufwand				5.843,9	58.439,2	66.817,2	75.195,1	80,9	46,2	34,7
Summe Energieaufwand				11.024,1	110.240,6	170.420,0	230.599,3	152,6	117,9	106,4
Relation zur Grundfutterfläche			%					100,0	77,3	69,7
Direkter Energieaufwand			%		47,0	60,8	67,4			
Indirekter Energieaufwand			%		53,0	39,2	32,6			
KEA pro MJ NEL		MJ/MJ NEL						0,28	0,22	0,20
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/ha						308,4	238,4	215,1
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/dt						4,3	3,3	3,0
Kraftstoffaufwand		l/ha; MJ/ha; MJ/dt						80,4	3.197,6	44,3

Kaltbelüftungsheu mit Aufbereiter	KEA MJ	KEA MJ/Jahr	Diesel l/ha u. Jahr	KEA (MJ)				KEA (MJ/dt TM)		
				ha	10 ha	20 ha	30 ha	10 ha	20 ha	20 ha
Traktor 55 kW	266.705,3	167,1						2,3	2,3	2,3
Traktor 45 kW	258.380,3	248,0						3,4	3,4	3,4
Frontlader mit Dunggabel	58.574,5	10,5	1,5	59,7	596,8	1.193,6	1.790,4	1,0	1,0	1,0
Miststreuer	145.700,0	17.491,0	7,4	294,4	2.944,2	5.888,3	8.832,5	28,3	16,2	12,1
Wiesenegge	21.700,0	1.953,2	3,7	147,2	1.472,1	2.944,2	4.416,2	4,7	3,4	2,9
Mähwerksaufbereiter	62.821,5	6.911,1	15,0	596,8	5.967,9	11.935,8	17.903,7	17,8	13,0	11,4
Kreiselzettwender	36.270,0	3.264,6	27,0	1.073,0	10.730,3	21.460,6	32.190,9	19,4	17,1	16,4
Kreiselschwader	39.881,5	3.589,7	9,3	370,0	3.700,1	7.400,2	11.100,3	10,1	7,6	6,8
Ladewagen	197.338,3	17.762,2	10,2	405,8	4.058,2	8.116,3	12.174,5	30,2	17,9	13,8
Gebläse	2.783,0	278,3		81,7	817,4	1.634,8	2.452,2	1,5	1,3	1,3
Kaltbelüftung	8.855,0	885,5		1.900,8	19.008,0	38.016,0	57.024,0	27,5	26,9	26,7
Belüftungsbox					2.278,4	4.556,8	6.835,2	3,2	3,2	3,2
Saatgut				154,0	1.539,8	3.079,6	4.619,4	2,1	2,1	2,1
Summe direkter Energieaufwand				4.929,5	49.294,9	98.589,8	147.884,7	68,2	68,2	68,2
Summe indirekter Energieaufwand				6.021,0	60.210,2	68.284,8	76.359,4	83,3	47,3	35,2
Summe Energieaufwand				10.950,5	109.505,1	166.874,6	224.244,1	151,6	115,5	103,5
Relation zur Grundfutterfläche			%					100,0	76,2	68,3
Direkter Energieaufwand			%		45,0	59,1	65,9			
Indirekter Energieaufwand			%		55,0	40,9	34,1			
KEA pro MJ NEL		MJ/MJ NEL						0,28	0,21	0,19
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/ha						306,4	233,4	209,1
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/dt						4,2	3,2	2,9
Kraftstoffaufwand		l/ha; MJ/ha; MJ/dt						74,1	2.946,9	40,8

Solarbelüftungsheu	KEA	KEA	Diesel	KEA (MJ)				KEA (MJ/dt TM)		
	MJ	MJ/Jahr	l/ha u. Jahr	ha	10 ha	20 ha	30 ha	10 ha	20 ha	20 ha
Traktor 55 kW	266.705,3	145,8						2,0	2,0	2,0
Traktor 45 kW	258.380,3	299,7						4,1	4,1	4,1
Frontlader mit Dunggabel	58.574,5	10,5	1,5	59,7	596,8	1.193,6	1.790,4	1,0	1,0	1,0
Miststreuer	145.700,0	17.491,0	7,4	294,4	2.944,2	5.888,3	8.832,5	28,3	16,2	12,1
Wiesenegge	21.700,0	1.953,2	3,7	147,2	1.472,1	2.944,2	4.416,2	4,7	3,4	2,9
Rotationsmäher	43.965,8	4.836,7	12,0	477,4	4.774,3	9.548,6	14.323,0	13,3	10,0	8,8
Kreiselzettwender	36.270,0	3.264,6	36,3	1.443,0	14.430,4	28.860,8	43.291,1	24,5	22,2	21,5
Kreiselschwader	39.881,5	3.589,7	9,3	370,0	3.700,1	7.400,2	11.100,3	10,1	7,6	6,8
Ladewagen	197.338,3	17.762,2	10,2	405,8	4.058,2	8.116,3	12.174,5	30,2	17,9	13,8
Gebläse	2.783,0	278,3		81,7	817,4	1.634,8	2.452,2	1,5	1,3	1,3
Solarbelüftung	8.855,0	885,5		1.038,8	10.388,0	20.776,0	31.164,0	15,6	15,0	14,8
Kollektorfläche					2.231,0	4.462,0	6.692,9	3,1	3,1	3,1
Belüftungsbox					2.278,4	4.556,8	6.835,2	3,2	3,2	3,2
Saatgut				154,0	1.539,8	3.079,6	4.619,4	2,1	2,1	2,1
Summe direkter Energieaufwand				4.318,1	43.181,4	86.362,8	129.544,2	59,8	59,8	59,8
Summe indirekter Energieaufwand				6.067,0	60.670,2	71.279,1	81.888,0	84,0	49,3	37,8
Summe Energieaufwand				10.385,2	103.851,6	157.641,9	211.432,3	143,7	109,1	97,5
Relation zur Grundfutterfläche			%					100,0	75,9	67,9
Direkter Energieaufwand			%		41,6	54,8	61,3			
Indirekter Energieaufwand			%		58,4	45,2	38,7			
KEA pro MJ NEL		MJ/MJ NEL						0,27	0,20	0,18
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/ha						290,6	220,5	197,2
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/dt						4,0	3,1	2,7
Kraftstoffaufwand		l/ha; MJ/ha; MJ/dt						80,4	3.197,6	44,3

Solarbelüftungsheu mit Aufbereiter	KEA MJ	KEA MJ/Jahr	Diesel l/ha u. Jahr	KEA (MJ)				KEA (MJ/dt TM)		
				ha	10 ha	20 ha	30 ha	10 ha	20 ha	20 ha
Traktor 55 kW	266.705,3	167,1						2,3	2,3	2,3
Traktor 45 kW	258.380,3	248,0						3,4	3,4	3,4
Frontlader mit Dunggabel	58.574,5	10,5	1,5	59,7	596,8	1.193,6	1.790,4	1,0	1,0	1,0
Miststreuer	145.700,0	17.491,0	7,4	294,4	2.944,2	5.888,3	8.832,5	28,3	16,2	12,1
Wiesenegge	21.700,0	1.953,2	3,7	147,2	1.472,1	2.944,2	4.416,2	4,7	3,4	2,9
Mähwerksaufbereiter	62.821,5	6.911,1	15,0	596,8	5.967,9	11.935,8	17.903,7	17,8	13,0	11,4
Kreiselzettwender	36.270,0	3.264,6	27,0	1.073,0	10.730,3	21.460,6	32.190,9	19,4	17,1	16,4
Kreiselschwader	39.881,5	3.589,7	9,3	370,0	3.700,1	7.400,2	11.100,3	10,1	7,6	6,8
Ladewagen	197.338,3	17.762,2	10,2	405,8	4.058,2	8.116,3	12.174,5	30,2	17,9	13,8
Gebälse	2.783,0	278,3		81,7	817,4	1.634,8	2.452,2	1,5	1,3	1,3
Solarbelüftung	8.855,0	885,5		1.038,8	10.388,0	20.776,0	31.164,0	15,6	15,0	14,8
Kollektorfläche					2.231,0	4.462,0	6.692,9	3,1	3,1	3,1
Belüftungsbox					2.278,4	4.556,8	6.835,2	3,2	3,2	3,2
Saatgut				154,0	1.539,8	3.079,6	4.619,4	2,1	2,1	2,1
Summe direkter Energieaufwand				4.067,5	40.674,9	81.349,8	122.024,7	56,3	56,3	56,3
Summe indirekter Energieaufwand				6.244,1	62.441,2	72.746,8	83.052,4	86,4	50,3	38,3
Summe Energieaufwand				10.311,6	103.116,1	154.096,6	205.077,1	142,7	106,6	94,6
Relation zur Grundfutterfläche			%					100,0	74,7	66,3
Direkter Energieaufwand			%		39,4	52,8	59,5			
Indirekter Energieaufwand			%		60,6	47,2	40,5			
KEA pro MJ NEL		MJ/MJ NEL						0,27	0,20	0,18
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/ha						288,5	215,6	191,3
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/dt						4,0	3,0	2,6
Kraftstoffaufwand		l/ha; MJ/ha; MJ/dt						74,1	2.946,9	40,8

Gärheu	KEA MJ	KEA MJ/Jahr	Diesel l/ha u. Jahr	KEA (MJ)				KEA (MJ/dt TM)		
				ha	10 ha	20 ha	30 ha	10 ha	20 ha	20 ha
Traktor 55 kW	266.705,3	145,8						2,0	2,0	2,0
Traktor 45 kW	258.380,3	230,4						3,2	3,2	3,2
Frontlader mit Dunggabel	58.574,5	10,5	1,5	59,7	596,8	1.193,6	1.790,4	1,0	1,0	1,0
Miststreuer	145.700,0	17.491,0	7,4	294,4	2.944,2	5.888,3	8.832,5	28,3	16,2	12,1
Wiesenegge	21.700,0	1.953,2	3,7	147,2	1.472,1	2.944,2	4.416,2	4,7	3,4	2,9
Rotationsmäher	43.965,8	4.836,7	12,0	477,4	4.774,3	9.548,6	14.323,0	13,3	10,0	8,8
Kreiselzettwender	36.270,0	3.264,6	22,8	905,1	9.051,3	18.102,6	27.153,9	17,0	14,8	14,0
Kreiselschwader	39.881,5	3.589,7	9,3	370,0	3.700,1	7.400,2	11.100,3	10,1	7,6	6,8
Ladewagen	197.338,3	17.762,2	10,5	417,8	4.177,5	8.355,1	12.532,6	30,4	18,1	14,0
Gebälse	2.783,0	278,3		104,0	1.040,4	2.080,8	3.121,2	1,8	1,6	1,6
Solarbelüftung	8.855,0	885,5		2.556,9	25.569,0	51.138,0	76.707,0	36,6	36,0	35,8
Kollektorfläche					2.231,0	4.462,0	6.692,9	3,1	3,1	3,1
Belüftungsbox					2.278,4	4.556,8	6.835,2	3,2	3,2	3,2
Saatgut				154,0	1.539,8	3.079,6	4.619,4	2,1	2,1	2,1
Summe direkter Energieaufwand				5.332,6	53.325,7	106.651,4	159.977,1	73,8	73,8	73,8
Summe indirekter Energieaufwand				5.997,8	59.977,9	69.894,5	79.811,1	83,0	48,4	36,8
Summe Energieaufwand				11.330,4	113.303,6	176.545,9	239.788,2	156,8	122,2	110,6
Relation zur Grundfutterfläche			%					100,0	77,9	70,5
Direkter Energieaufwand			%		47,1	60,4	66,7			
Indirekter Energieaufwand			%		52,9	39,6	33,3			
KEA pro MJ NEL		MJ/MJ NEL						0,29	0,23	0,21
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/ha						317,0	247,0	223,6
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/dt						4,4	3,4	3,1
Kraftstoffaufwand		l/ha; MJ/ha; MJ/dt						67,2	2.671,6	37,0

Gärheu mit Aufbereiter	KEA MJ	KEA MJ/Jahr	Diesel l/ha u. Jahr	KEA (MJ)				KEA (MJ/dt TM)		
				ha	10 ha	20 ha	30 ha	10 ha	20 ha	20 ha
Traktor 55 kW	266.705,3	167,1						2,3	2,3	2,3
Traktor 45 kW	258.380,3	178,8						2,5	2,5	2,5
Frontlader mit Dunggabel	58.574,5	10,5	1,5	59,7	596,8	1.193,6	1.790,4	1,0	1,0	1,0
Miststreuer	145.700,0	17.491,0	7,4	294,4	2.944,2	5.888,3	8.832,5	28,3	16,2	12,1
Wiesenegge	21.700,0	1.953,2	3,7	147,2	1.472,1	2.944,2	4.416,2	4,7	3,4	2,9
Mähwerksaufbereiter	62.821,5	6.911,1	15,0	596,8	5.967,9	11.935,8	17.903,7	17,8	13,0	11,4
Kreiselzettwender	36.270,0	3.264,6	13,5	535,1	5.351,2	10.702,4	16.053,7	11,9	9,7	8,9
Kreiselschwader	39.881,5	3.589,7	9,3	370,0	3.700,1	7.400,2	11.100,3	10,1	7,6	6,8
Ladewagen	197.338,3	17.762,2	10,5	417,8	4.177,5	8.355,1	12.532,6	30,4	18,1	14,0
Gebläse	2.783,0	278,3		104,0	1.040,4	2.080,8	3.121,2	1,8	1,6	1,6
Solarbelüftung	8.855,0	885,5		2.556,9	25.569,0	51.138,0	76.707,0	36,6	36,0	35,8
Kollektorfläche					2.231,0	4.462,0	6.692,9	3,1	3,1	3,1
Belüftungsbox					2.278,4	4.556,8	6.835,2	3,2	3,2	3,2
Saatgut				154,0	1.539,8	3.079,6	4.619,4	2,1	2,1	2,1
Summe direkter Energieaufwand				5.081,9	50.819,2	101.638,4	152.457,5	70,3	70,3	70,3
Summe indirekter Energieaufwand				6.174,9	61.748,9	71.362,1	80.975,4	85,5	49,4	37,4
Summe Energieaufwand				11.256,8	112.568,0	173.000,5	233.433,0	155,8	119,7	107,7
Relation zur Grundfutterfläche			%					100,0	76,8	69,1
Direkter Energieaufwand			%		45,1	58,8	65,3			
Indirekter Energieaufwand			%		54,9	41,2	34,7			
KEA pro MJ NEL		MJ/MJ NEL						0,29	0,22	0,20
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/ha						314,9	242,0	217,7
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/dt						4,4	3,3	3,0
Kraftstoffaufwand		l/ha; MJ/ha; MJ/dt						60,9	2.421,0	33,5

Silage im Fahrsilo	KEA	KEA	Diesel	KEA (MJ)				KEA (MJ/dt TM)		
	MJ	MJ/Jahr	l/ha u. Jahr	ha	10 ha	20 ha	30 ha	10 ha	20 ha	20 ha
Traktor 55 kW	266.705,3	284,4						3,7	3,7	3,7
Traktor 45 kW	258.380,3	289,0						3,8	3,8	3,8
Frontlader mit Dunggabel	58.574,5	112,5	1,5	59,7	596,8	1.193,6	1.790,4	2,3	2,3	2,3
Miststreuer	145.700,0	17.491,0	7,4	294,4	2.944,2	5.888,3	8.832,5	26,7	15,3	11,5
Wiesenegge	21.700,0	1.953,2	3,7	147,2	1.472,1	2.944,2	4.416,2	4,5	3,2	2,8
Rotationsmäher	43.965,8	4.836,7	12,0	477,4	4.774,3	9.548,6	14.323,0	12,6	9,4	8,3
Kreiselzettwender	36.270,0	3.264,6	17,4	692,3	6.922,8	13.845,5	20.768,3	13,3	11,2	10,5
Kreiselschwader	39.881,5	3.589,7	9,3	370,0	3.700,1	7.400,2	11.100,3	9,5	7,2	6,4
Ladewagen	197.338,3	17.762,2	14,1	561,0	5.609,8	11.219,7	16.829,5	30,6	18,9	15,1
Verdichten			7,0	277,3	2.773,1	5.546,2	8.319,3	3,6	3,6	3,6
Silogreifzange	35.905,8	3.231,8	10,2	405,8	4.058,2	8.116,3	12.174,5	9,5	7,4	6,7
Abdeckfolie					3.900,0	19.000,8	28.267,2	5,1	12,4	12,3
Fahrsilo				1.785,0	17.850,0	35.700,0	53.550,0	23,3	23,3	23,3
Saatgut				154,0	1.539,8	3.079,6	4.619,4	2,0	2,0	2,0
Summe direkter Energieaufwand				3.285,1	32.851,3	65.702,6	98.553,9	42,9	42,9	42,9
Summe indirekter Energieaufwand				8.227,8	82.278,0	123.627,4	159.142,5	107,6	80,8	69,3
Summe Energieaufwand				11.512,9	115.129,3	189.330,0	257.696,4	150,5	123,7	112,3
Relation zur Grundfutterfläche			%					100,0	82,2	74,6
Direkter Energieaufwand			%		28,5	34,7	38,2			
Indirekter Energieaufwand			%		71,5	65,3	61,8			
KEA pro MJ NEL		MJ/MJ NEL						0,24	0,20	0,18
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/ha						322,1	264,8	240,3
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/dt						4,2	3,5	3,1
Kraftstoffaufwand		l/ha; MJ/ha; MJ/dt						82,6	3.285,1	42,9

Silage im Fahrсило mit Aufbereiter	KEA MJ	KEA MJ/Jahr	Diesel l/ha u. Jahr	KEA (MJ)				KEA (MJ/dt TM)		
				ha	10 ha	20 ha	30 ha	10 ha	20 ha	20 ha
Traktor 55 kW	266.705,3	305,8						4,0	4,0	4,0
Traktor 45 kW	258.380,3	237,3						3,1	3,1	3,1
Frontlader mit Dunggabel	58.574,5	112,5	1,5	59,7	596,8	1.193,6	1.790,4	2,3	2,3	2,3
Miststreuer	145.700,0	17.491,0	7,4	294,4	2.944,2	5.888,3	8.832,5	26,7	15,3	11,5
Wiesenegge	21.700,0	1.953,2	3,7	147,2	1.472,1	2.944,2	4.416,2	4,5	3,2	2,8
Mähwerksaufbereiter	62.821,5	6.911,1	15,0	596,8	5.967,9	11.935,8	17.903,7	16,8	12,3	10,8
Kreiselzettwender	36.270,0	3.264,6	8,1	322,3	3.222,7	6.445,3	9.668,0	8,5	6,3	5,6
Kreiselschwader	39.881,5	3.589,7	9,3	370,0	3.700,1	7.400,2	11.100,3	9,5	7,2	6,4
Ladewagen	197.338,3	17.762,2	14,1	561,0	5.609,8	11.219,7	16.829,5	30,6	18,9	15,1
Verdichten			7,0	277,3	2.773,1	5.546,2	8.319,3	3,6	3,6	3,6
Silogreifzange	35.905,8	3.231,8	10,2	405,8	4.058,2	8.116,3	12.174,5	9,5	7,4	6,7
Abdeckfolie					3.900,0	19.000,8	28.267,2	5,1	12,4	12,3
Fahrсило				1.785,0	17.850,0	35.700,0	53.550,0	23,3	23,3	23,3
Saatgut				154,0	1.539,8	3.079,6	4.619,4	2,0	2,0	2,0
Summe direkter Energieaufwand				3.034,5	30.344,8	60.689,6	91.034,3	39,7	39,7	39,7
Summe indirekter Energieaufwand				8.404,9	84.049,0	125.095,1	160.306,8	109,9	81,8	69,9
Summe Energieaufwand				11.439,4	114.393,7	185.784,7	251.341,2	149,5	121,4	109,5
Relation zur Grundfutterfläche			%					100,0	81,2	73,2
Direkter Energieaufwand			%		26,5	32,7	36,2			
Indirekter Energieaufwand			%		73,5	67,3	63,8			
KEA pro MJ NEL		MJ/MJ NEL						0,24	0,20	0,18
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/ha						320,0	259,9	234,4
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/dt						4,2	3,4	3,1
Kraftstoffaufwand		l/ha; MJ/ha; MJ/dt						76,3	3.034,5	39,7

Rundballensilage	KEA	KEA	Diesel	KEA (MJ)				KEA (MJ/dt TM)		
	MJ	MJ/Jahr	l/ha u. Jahr	ha	10 ha	20 ha	30 ha	10 ha	20 ha	20 ha
Traktor 55 kW	266.705,3	267,4						3,5	3,5	3,5
Traktor 45 kW	258.380,3	299,7						3,9	3,9	3,9
Frontlader mit Dunggabel	58.574,5	130,8	1,5	59,7	596,8	1.193,6	1.790,4	2,5	2,5	2,5
Miststreuer	145.700,0	17.491,0	7,4	294,4	2.944,2	5.888,3	8.832,5	26,7	15,3	11,5
Wiesenegge	21.700,0	1.953,2	3,7	147,2	1.472,1	2.944,2	4.416,2	4,5	3,2	2,8
Rotationsmäher	43.965,8	4.836,7	12,0	477,4	4.774,3	9.548,6	14.323,0	12,6	9,4	8,3
Kreiselzettwender	36.270,0	3.264,6	22,8	905,1	9.051,3	18.102,6	27.153,9	16,1	14,0	13,3
Kreiselschwader	39.881,5	3.589,7	9,3	370,0	3.700,1	7.400,2	11.100,3	9,5	7,2	6,4
Rundballenpresse	220.999,0	35.359,8	11,1	441,6	4.416,2	8.832,5	13.248,7	52,0	28,9	21,2
Wickelgerät	65.100,0	8.465,5	6,3	250,7	2.506,5	5.013,0	7.519,6	14,3	8,8	7,0
Rundballenzange	14.686,3	1.321,9	11,4	452,4	4.523,7	9.047,3	13.571,0	7,6	6,8	6,5
3-Seiten-Kipper	112.238,3	37,8	4,5	180,6	1.806,3	3.612,6	5.418,9	2,9	2,9	2,9
Wickelfolie				2.486,6	24.866,0	49.732,0	74.598,0	32,5	32,5	32,5
Saatgut				154,0	1.539,8	3.079,6	4.619,4	2,0	2,0	2,0
Summe direkter Energieaufwand				3.579,1	35.791,5	71.583,0	107.374,5	46,8	46,8	46,8
Summe indirekter Energieaufwand				11.004,4	110.043,9	143.805,4	177.566,8	143,8	94,0	77,4
Summe Energieaufwand				14.583,5	145.835,4	215.388,3	284.941,2	190,6	140,8	124,2
Relation zur Grundfutterfläche			%					100,0	73,8	65,1
Direkter Energieaufwand			%		24,5	33,2	37,7			
Indirekter Energieaufwand			%		75,5	66,8	62,3			
KEA pro MJ NEL		MJ/MJ NEL						0,31	0,23	0,20
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/ha						408,0	301,3	265,7
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/dt						5,3	3,9	3,5
Kraftstoffaufwand		l/ha; MJ/ha; MJ/dt						90,0	3.579,1	46,8

Rundballensilage mit Aufbereiter	KEA MJ	KEA MJ/Jahr	Diesel l/ha u. Jahr	KEA (MJ)				KEA (MJ/dt TM)		
				ha	10 ha	20 ha	30 ha	10 ha	20 ha	20 ha
Traktor 55 kW	266.705,3	288,7						3,8	3,8	3,8
Traktor 45 kW	258.380,3	248,0						3,2	3,2	3,2
Frontlader mit Dunggabel	58.574,5	130,8	1,5	59,7	596,8	1.193,6	1.790,4	2,5	2,5	2,5
Miststreuer	145.700,0	17.491,0	7,4	294,4	2.944,2	5.888,3	8.832,5	26,7	15,3	11,5
Wiesenegge	21.700,0	1.953,2	3,7	147,2	1.472,1	2.944,2	4.416,2	4,5	3,2	2,8
Mähwerksaufbereiter	62.821,5	6.911,1	15,0	596,8	5.967,9	11.935,8	17.903,7	16,8	12,3	10,8
Kreiselzettwender	36.270,0	3.264,6	13,5	535,1	5.351,2	10.702,4	16.053,7	11,3	9,1	8,4
Kreiselschwader	39.881,5	3.589,7	9,3	370,0	3.700,1	7.400,2	11.100,3	9,5	7,2	6,4
Rundballenpresse	220.999,0	35.359,8	11,1	441,6	4.416,2	8.832,5	13.248,7	52,0	28,9	21,2
Wickelgerät	65.100,0	8.465,5	6,3	250,7	2.506,5	5.013,0	7.519,6	14,3	8,8	7,0
Rundballenzange	14.686,3	1.321,9	11,4	452,4	4.523,7	9.047,3	13.571,0	7,6	6,8	6,5
3-Seiten-Kipper	112.238,3	37,8	4,5	180,6	1.806,3	3.612,6	5.418,9	2,9	2,9	2,9
Wickelfolie				2.486,6	24.866,0	49.732,0	74.598,0	32,5	32,5	32,5
Saatgut				154,0	1.539,8	3.079,6	4.619,4	2,0	2,0	2,0
Summe direkter Energieaufwand				3.328,5	33.285,0	66.569,9	99.854,9	43,5	43,5	43,5
Summe indirekter Energieaufwand				11.181,5	111.814,9	145.273,0	178.731,1	146,2	94,9	77,9
Summe Energieaufwand				14.510,0	145.099,9	211.843,0	278.586,0	189,7	138,5	121,4
Relation zur Grundfutterfläche			%					100,0	73,0	64,0
Direkter Energieaufwand			%		22,9	31,4	35,8			
Indirekter Energieaufwand			%		77,1	68,6	64,2			
KEA pro MJ NEL		MJ/MJ NEL						0,31	0,22	0,20
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/ha						406,0	296,3	259,8
KEA in Kraftstoffäquivalent		l/dt						5,3	3,9	3,4
Kraftstoffaufwand		l/ha; MJ/ha; MJ/dt						83,7	3.328,5	43,5

Anhang 3

Arbeitszeit- und Kraftstoffaufwand in der ökologischen Grundfutterproduktion

Bodenheu (lose)

ÜF	Arbeitsschritt	Arbeitszeit (in Akh)						Leistung ha/h	Dieselbedarf (in Litern)					
		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha
1,0	Mist laden	0,2	0,2	0,2	2,0	4,0	6,0	0,0	1,5	1,5	1,5	15,0	30,0	45,0
1,0	Mist ausbringen	1,4	1,4	1,4	14,0	28,0	42,0	0,6	7,4	7,4	7,4	74,0	148,0	222,0
1,0	Schleppen	0,6	0,6	0,6	6,0	12,0	18,0	2,1	3,7	3,7	3,7	37,0	74,0	111,0
1,0	Mähen	0,5	0,5	1,5	15,0	30,0	45,0	2,1	4,0	4,0	12,0	120,0	240,0	360,0
1,7	Zetten	0,5	0,8	2,5	24,9	49,8	74,7	2,1	3,1	5,1	15,4	154,4	308,8	463,1
4,0	Wenden	0,4	1,6	4,8	48,0	96,0	144,0	2,7	2,7	10,8	32,4	324,0	648,0	972,0
1,7	Schwaden	0,4	0,7	2,0	19,9	39,8	59,8	2,4	3,1	5,1	15,4	154,4	308,8	463,1
1,0	Laden/Transport	0,6	0,6	1,8	18,0	36,0	54,0	1,7	2,8	2,8	8,4	84,0	168,0	252,0
3,0	Befördern	0,5	0,5	1,5	15,0	30,0	45,0							
	Summe		6,9	16,3	162,8	325,6	488,5			40,5	96,3	962,8	1.925,5	2.888,3

Bodenheu (lose) mit Aufbereiter

ÜF	Arbeitsschritt	Arbeitszeit (in Akh)						Leistung ha/h	Dieselbedarf (in Litern)					
		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha
1,0	Mist laden	0,2	0,2	0,2	2,0	4,0	6,0	0,0	1,5	1,5	1,5	15,0	30,0	45,0
1,0	Mist ausbringen	1,4	1,4	1,4	14,0	28,0	42,0	0,6	7,4	7,4	7,4	74,0	148,0	222,0
1,0	Schleppen	0,6	0,6	0,6	6,0	12,0	18,0	2,1	3,7	3,7	3,7	37,0	74,0	111,0
1,0	Mähen/Aufbereiter	0,7	0,7	2,1	21,0	42,0	63,0	1,7	5,0	5,0	15,0	150,0	300,0	450,0
0,0	Zetten	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4,7	Wenden	0,4	1,9	5,6	55,9	111,8	167,8	2,7	2,7	12,6	37,7	377,5	754,9	1.132,4
1,7	Schwaden	0,4	0,7	2,0	19,9	39,8	59,8	2,4	3,1	5,1	15,4	154,4	308,8	463,1
1,0	Laden/Transport	0,6	0,6	1,8	18,0	36,0	54,0	1,7	2,8	2,8	8,4	84,0	168,0	252,0
3,0	Befördern	0,5	0,5	1,5	15,0	30,0	45,0							
	Summe		6,5	15,2	151,8	303,6	455,4			38,1	89,2	891,8	1.783,7	2.675,5

Rundballenheu

ÜF	Arbeitsschritt	Arbeitszeit (in Akh)						Leistung ha/h	Dieselbedarf (in Litern)					
		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha
1,0	Mist laden	0,2	0,2	0,2	2,0	4,0	6,0	0,0	1,5	1,5	1,5	15,0	30,0	45,0
1,0	Mist ausbringen	1,4	1,4	1,4	14,0	28,0	42,0	0,6	7,4	7,4	7,4	74,0	148,0	222,0
1,0	Schleppen	0,6	0,6	0,6	6,0	12,0	18,0	2,1	3,7	3,7	3,7	37,0	74,0	111,0
1,0	Mähen	0,5	0,5	1,5	15,0	30,0	45,0	2,1	4,0	4,0	12,0	120,0	240,0	360,0
1,7	Zetten	0,5	0,8	2,5	24,9	49,8	74,7	2,1	3,1	5,1	15,4	154,4	308,8	463,1
4,0	Wenden	0,4	1,6	4,8	48,0	96,0	144,0	2,7	2,7	10,8	32,4	324,0	648,0	972,0
1,7	Schwaden	0,4	0,7	2,0	19,9	39,8	59,8	2,4	3,1	5,1	15,4	154,4	308,8	463,1
1,0	Pressen	0,5	0,5	1,5	15,0	30,0	45,0	2,7	3,0	3,0	9,0	90,0	180,0	270,0
1,0	Transport Kipper	0,3	0,3	1,0	9,6	19,2	28,8	2,9	1,3	1,3	3,8	37,6	75,2	112,8
1,0	Ballenzange	0,3	0,3	1,0	10,0	20,0	30,0	3,0	0,9	0,9	2,8	28,0	56,0	84,0
	Summe		6,9	16,4	164,4	328,8	493,3			41,9	103,4	1.034,3	2.068,7	3.103,0

Rundballenheu mit Aufbereiter

ÜF	Arbeitsschritt	Arbeitszeit (in Akh)						Leistung ha/h	Dieselbedarf (in Litern)					
		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha
1,0	Mist laden	0,2	0,2	0,2	2,0	4,0	6,0	0,0	1,5	1,5	1,5	15,0	30,0	45,0
1,0	Mist ausbringen	1,4	1,4	1,4	14,0	28,0	42,0	0,6	7,4	7,4	7,4	74,0	148,0	222,0
1,0	Schleppen	0,6	0,6	0,6	6,0	12,0	18,0	2,1	3,7	3,7	3,7	37,0	74,0	111,0
1,0	Mähen/ Aufbereiter	0,7	0,7	2,1	21,0	42,0	63,0	1,7	5,0	5,0	15,0	150,0	300,0	450,0
0,0	Zetten	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4,7	Wenden	0,4	1,9	5,6	55,9	111,8	167,8	2,7	2,7	12,6	37,7	377,5	754,9	1.132,4
1,7	Schwaden	0,4	0,7	2,0	19,9	39,8	59,8	2,4	3,1	5,1	15,4	154,4	308,8	463,1
1,0	Pressen	0,5	0,5	1,5	15,0	30,0	45,0	2,7	3,0	3,0	9,0	90,0	180,0	270,0
1,0	Transport Kipper			1,0	9,6	19,2	28,8	2,9	1,3	1,3	3,8	37,6	75,2	112,8
1,0	Ballenzange			1,0	10,0	20,0	30,0				2,8	28,0	56,0	84,0
	Summe		5,9	15,3	153,4	306,9	460,3			39,6	96,3	963,4	1.926,9	2.890,3

Kaltbelüftungsheu

ÜF	Arbeitsschritt	Arbeitszeit (in Akh)						Leistung ha/h	Dieselbedarf (in Litern)					
		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha
1,0	Mist laden	0,2	0,2	0,2	2,0	4,0	6,0	0,0	1,5	1,5	1,5	15,0	30,0	45,0
1,0	Mist ausbringen	1,4	1,4	1,4	14,0	28,0	42,0	0,6	7,4	7,4	7,4	74,0	148,0	222,0
1,0	Schleppen	0,6	0,6	0,6	6,0	12,0	18,0	2,1	3,7	3,7	3,7	37,0	74,0	111,0
1,0	Mähen	0,5	0,5	1,5	15,0	30,0	45,0	2,1	4,0	4,0	12,0	120,0	240,0	360,0
1,0	Zetten	0,5	0,5	1,5	15,0	30,0	45,0	2,1	3,1	3,1	9,3	93,0	186,0	279,0
3,3	Wenden	0,4	1,3	4,0	40,0	79,9	119,9	2,7	2,7	9,0	27,0	269,7	539,5	809,2
1,0	Schwaden	0,4	0,4	1,2	12,0	24,0	36,0	2,4	3,1	3,1	9,3	93,0	186,0	279,0
1,0	Laden/Transport	0,8	0,8	2,4	24,0	48,0	72,0	1,7	3,4	3,4	10,2	102,0	204,0	306,0
3,0	Befördern	0,7	0,7	2,1	20,6	41,2	61,8							
	Summe		6,4	14,9	148,6	297,2	445,8			35,2	80,4	803,7	1.607,5	2.411,2

Kaltbelüftungsheu mit Aufbereiter

ÜF	Arbeitsschritt	Arbeitszeit (in Akh)						Leistung ha/h	Dieselbedarf (in Litern)					
		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha
1,0	Mist laden	0,2	0,2	0,2	2,0	4,0	6,0	0,0	1,5	1,5	1,5	15,0	30,0	45,0
1,0	Mist ausbringen	1,4	1,4	1,4	14,0	28,0	42,0	0,6	7,4	7,4	7,4	74,0	148,0	222,0
1,0	Schleppen	0,6	0,6	0,6	6,0	12,0	18,0	2,1	3,7	3,7	3,7	37,0	74,0	111,0
1,0	Mähen/Aufbereiter	0,7	0,7	2,1	21,0	42,0	63,0	1,7	5,0	5,0	15,0	150,0	300,0	450,0
0,0	Zetten	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,3	Wenden	0,4	1,3	4,0	40,0	79,9	119,9	2,7	2,7	9,0	27,0	269,7	539,5	809,2
1,0	Schwaden	0,4	0,4	1,2	12,0	24,0	36,0	2,4	3,1	3,1	9,3	93,0	186,0	279,0
1,0	Laden/Transport	0,8	0,8	2,4	24,0	48,0	72,0	1,7	3,4	3,4	10,2	102,0	204,0	306,0
3,0	Befördern	0,7	0,7	2,1	20,6	41,2	61,8							
	Summe		6,1	14,0	139,6	279,2	418,8			33,1	74,1	740,7	1.481,5	2.222,2

Solarbelüftungsheu

ÜF	Arbeitsschritt	Arbeitszeit (in Akh)						Leistung ha/h	Dieselbedarf (in Litern)					
		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha
1,0	Mist laden	0,2	0,2	0,2	2,0	4,0	6,0	0,0	1,5	1,5	1,5	15,0	30,0	45,0
1,0	Mist ausbringen	1,4	1,4	1,4	14,0	28,0	42,0	0,6	7,4	7,4	7,4	74,0	148,0	222,0
1,0	Schleppen	0,6	0,6	0,6	6,0	12,0	18,0	2,1	3,7	3,7	3,7	37,0	74,0	111,0
1,0	Mähen	0,5	0,5	1,5	15,0	30,0	45,0	2,1	4,0	4,0	12,0	120,0	240,0	360,0
1,0	Zetten	0,5	0,5	1,5	15,0	30,0	45,0	2,1	3,1	3,1	9,3	93,0	186,0	279,0
3,3	Wenden	0,4	1,3	4,0	40,0	79,9	119,9	2,7	2,7	9,0	27,0	269,7	539,5	809,2
1,0	Schwaden	0,4	0,4	1,2	12,0	24,0	36,0	2,4	3,1	3,1	9,3	93,0	186,0	279,0
1,0	Laden/Transport	0,8	0,8	2,4	24,0	48,0	72,0	1,7	3,4	3,4	10,2	102,0	204,0	306,0
3,0	Befördern	0,7	0,7	2,1	20,6	41,2	61,8							
	Summe		6,4	14,9	148,6	297,2	445,8			35,2	80,4	803,7	1.607,5	2.411,2

Solarbelüftungsheu mit Aufbereiter

ÜF	Arbeitsschritt	Arbeitszeit (in Akh)						Leistung ha/h	Dieselbedarf (in Litern)					
		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha
1,0	Mist laden	0,2	0,2	0,2	2,0	4,0	6,0	0,0	1,5	1,5	1,5	15,0	30,0	45,0
1,0	Mist ausbringen	1,4	1,4	1,4	14,0	28,0	42,0	0,6	7,4	7,4	7,4	74,0	148,0	222,0
1,0	Schleppen	0,6	0,6	0,6	6,0	12,0	18,0	2,1	3,7	3,7	3,7	37,0	74,0	111,0
1,0	Mähen/Aufbereiter	0,7	0,7	2,1	21,0	42,0	63,0	1,7	5,0	5,0	15,0	150,0	300,0	450,0
0,0	Zetten	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,3	Wenden	0,4	1,3	4,0	40,0	79,9	119,9	2,7	2,7	9,0	27,0	269,7	539,5	809,2
1,0	Schwaden	0,4	0,4	1,2	12,0	24,0	36,0	2,4	3,1	3,1	9,3	93,0	186,0	279,0
1,0	Laden/Transport	0,8	0,8	2,4	24,0	48,0	72,0	1,7	3,4	3,4	10,2	102,0	204,0	306,0
3,0	Befördern	0,7	0,7	2,1	20,6	41,2	61,8							
	Summe		6,1	14,0	139,6	279,2	418,8			33,1	74,1	740,7	1.481,5	2.222,2

Gärheu

ÜF	Arbeitsschritt	Arbeitszeit (in Akh)						Leistung ha/h	Dieselbedarf (in Litern)					
		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha
1,0	Mist laden	0,2	0,2	0,2	2,0	4,0	6,0	0,0	1,5	1,5	1,5	15,0	30,0	45,0
1,0	Mist ausbringen	1,4	1,4	1,4	14,0	28,0	42,0	0,6	7,4	7,4	7,4	74,0	148,0	222,0
1,0	Schleppen	0,6	0,6	0,6	6,0	12,0	18,0	2,1	3,7	3,7	3,7	37,0	74,0	111,0
1,0	Mähen	0,5	0,5	1,5	15,0	30,0	45,0	2,1	4,0	4,0	12,0	120,0	240,0	360,0
1,0	Zetten	0,5	0,5	1,5	15,0	30,0	45,0	2,1	3,1	3,1	9,3	93,0	186,0	279,0
1,7	Wenden	0,4	0,7	2,0	19,9	39,8	59,8	2,7	2,7	4,5	13,4	134,5	268,9	403,4
1,0	Schwaden	0,4	0,4	1,2	12,0	24,0	36,0	2,4	3,1	3,1	9,3	93,0	186,0	279,0
1,0	Laden/Transport	0,8	0,8	2,4	24,0	48,0	72,0	1,1	3,5	3,5	10,5	105,0	210,0	315,0
3,0	Befördern	0,9	0,9	2,6	26,3	52,6	78,9							
	Summe		6,0	13,4	134,2	268,4	402,6			30,8	67,1	671,5	1.342,9	2.014,4

Gärheu mit Aufbereiter

ÜF	Arbeitsschritt	Arbeitszeit (in Akh)						Leistung ha/h	Dieselbedarf (in Litern)					
		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha
1,0	Mist laden	0,2	0,2	0,2	2,0	4,0	6,0	0,0	1,5	1,5	1,5	15,0	30,0	45,0
1,0	Mist ausbringen	1,4	1,4	1,4	14,0	28,0	42,0	0,6	7,4	7,4	7,4	74,0	148,0	222,0
1,0	Schleppen	0,6	0,6	0,6	6,0	12,0	18,0	2,1	3,7	3,7	3,7	37,0	74,0	111,0
1,0	Mähen/Aufbereiter	0,7	0,7	2,1	21,0	42,0	63,0	1,7	5,0	5,0	15,0	150,0	300,0	450,0
1,7	Wenden	0,4	0,7	2,0	19,9	39,8	59,8	2,7	2,7	4,5	13,4	134,5	268,9	403,4
1,0	Schwaden	0,4	0,4	1,2	12,0	24,0	36,0	2,4	3,1	3,1	9,3	93,0	186,0	279,0
1,0	Laden/Transport	0,8	0,8	2,4	24,0	48,0	72,0	1,1	3,5	3,5	10,5	105,0	210,0	315,0
3,0	Befördern	0,9	0,9	2,6	26,3	52,6	78,9							
	Summe		5,7	12,5	125,2	250,4	375,6			28,7	60,8	608,5	1.216,9	1.825,4

Silage im Fahrsilo

ÜF	Arbeitsschritt	Arbeitszeit (in Akh)						Leistung ha/h	Dieselbedarf (in Litern)					
		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha
1,0	Mist laden	0,2	0,2	0,2	2,0	4,0	6,0	0,0	1,5	1,5	1,5	15,0	30,0	45,0
1,0	Mist ausbringen	1,4	1,4	1,4	14,0	28,0	42,0	0,6	7,4	7,4	7,4	74,0	148,0	222,0
1,0	Schleppen	0,6	0,6	0,6	6,0	12,0	18,0	2,1	3,7	3,7	3,7	37,0	74,0	111,0
1,0	Mähen	0,5	0,5	1,5	15,0	30,0	45,0	2,1	4,0	4,0	12,0	120,0	240,0	360,0
1,0	Zetten	0,5	0,5	1,5	15,0	30,0	45,0	2,1	3,1	3,1	9,3	93,0	186,0	279,0
1,0	Wenden	0,4	0,4	1,2	12,0	24,0	36,0	2,7	2,7	2,7	8,1	81,0	162,0	243,0
1,0	Schwaden	0,4	0,4	1,2	12,0	24,0	36,0	2,4	3,1	3,1	9,3	93,0	186,0	279,0
1,0	Laden/Transport	1,1	1,1	3,3	33,0	66,0	99,0	1,1	4,7	4,7	14,1	141,0	282,0	423,0
1,0	Verdichten	0,8	0,8	2,5	24,9	49,8	74,7	1,2	2,3	2,3	7,0	69,7	139,4	209,2
1,0	Silozange	1,0	1,0	3,0	30,0	60,0	90,0	1,0	10,2	10,2	10,2	102,0	204,0	306,0
3,0	Abdichten	0,7	0,7	2,0	20,0	40,0	60,0							
	Summe		7,6	18,4	183,9	367,8	551,7			42,7	82,6	825,7	1.651,4	2.477,2

Silage im Fahrsilo mit Aufbereiter

ÜF	Arbeitsschritt	Arbeitszeit (in Akh)						Leistung ha/h	Dieselbedarf (in Litern)					
		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha
1,0	Mist laden	0,2	0,2	0,2	2,0	4,0	6,0	0,0	1,5	1,5	1,5	15,0	30,0	45,0
1,0	Mist ausbringen	1,4	1,4	1,4	14,0	28,0	42,0	0,6	7,4	7,4	7,4	74,0	148,0	222,0
1,0	Schleppen	0,6	0,6	0,6	6,0	12,0	18,0	2,1	3,7	3,7	3,7	37,0	74,0	111,0
1,0	Mähen/Aufbereiter	0,7	0,7	2,1	21,0	42,0	63,0	1,7	5,0	5,0	15,0	150,0	300,0	450,0
1,0	Wenden	0,4	0,4	1,2	12,0	24,0	36,0	2,7	2,7	2,7	8,1	81,0	162,0	243,0
1,0	Schwaden	0,4	0,4	1,2	12,0	24,0	36,0	2,4	3,1	3,1	9,3	93,0	186,0	279,0
1,0	Laden/Transport	1,1	1,1	3,3	33,0	66,0	99,0	1,1	4,7	4,7	14,1	141,0	282,0	423,0
1,0	Verdichten	0,8	0,8	2,5	24,9	49,8	74,7	1,2	2,3	2,3	7,0	69,7	139,4	209,2
1,0	Silozange	1,0	1,0	3,0	30,0	60,0	90,0	1,0	10,2	10,2	10,2	102,0	204,0	306,0
3,0	Abdichten	0,7	0,7	2,0	20,0	40,0	60,0							
	Summe		7,3	17,5	174,9	349,8	524,7			40,6	76,3	762,7	1.525,4	2.288,2

Rundballensilage

ÜF	Arbeitsschritt	Arbeitszeit (in Akh)						Leistung ha/h	Dieselbedarf (in Litern)					
		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha
1,0	Mist laden	0,2	0,2	0,2	2,0	4,0	6,0	0,0	1,5	1,5	1,5	15,0	30,0	45,0
1,0	Mist ausbringen	1,4	1,4	1,4	14,0	28,0	42,0	0,6	7,4	7,4	7,4	74,0	148,0	222,0
1,0	Schleppen	0,6	0,6	0,6	6,0	12,0	18,0	2,1	3,7	3,7	3,7	37,0	74,0	111,0
1,0	Mähen	0,5	0,5	1,5	15,0	30,0	45,0	2,1	4,0	4,0	12,0	120,0	240,0	360,0
1,0	Zetten	0,5	0,5	1,5	15,0	30,0	45,0	2,1	3,1	3,1	9,3	93,0	186,0	279,0
1,7	Wenden	0,4	0,7	2,0	19,9	39,8	59,8	2,7	2,7	4,5	13,4	134,5	268,9	403,4
1,0	Schwaden	0,4	0,4	1,2	12,0	24,0	36,0	2,4	3,1	3,1	9,3	93,0	186,0	279,0
1,0	Pressen	0,5	0,5	1,5	15,0	30,0	45,0	3,0	3,7	3,7	11,1	111,0	222,0	333,0
1,0	Wickeln	0,6	0,6	1,8	18,0	36,0	54,0	2,5	2,2	2,2	6,6	66,0	132,0	198,0
1,0	Transport Kipper	0,3	0,3	1,0	10,1	20,2	30,3	3,0	1,5	1,5	4,5	45,4	90,8	136,2
1,0	Ballenzange	0,8	0,8	3,5	35,2	70,4	105,6	1,2	3,8	3,8	11,4	113,7	227,4	341,1
	Summe		6,5	16,2	162,2	324,4	486,7			38,5	90,3	902,6	1.805,1	2.707,7

Rundballensilage mit Aufbereiter

ÜF	Arbeitsschritt	Arbeitszeit (in Akh)						Leistung ha/h	Dieselbedarf (in Litern)					
		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha		ha	Schnitt	Jahr	10 ha	20 ha	30 ha
1,0	Mist laden	0,2	0,2	0,2	2,0	4,0	6,0	0,0	1,5	1,5	1,5	15,0	30,0	45,0
1,0	Mist ausbringen	1,4	1,4	1,4	14,0	28,0	42,0	0,6	7,4	7,4	7,4	74,0	148,0	222,0
1,0	Schleppen	0,6	0,6	0,6	6,0	12,0	18,0	2,1	3,7	3,7	3,7	37,0	74,0	111,0
1,0	Mähen/Aufbereiter	0,7	0,7	2,1	21,0	42,0	63,0	1,7	5,0	5,0	15,0	150,0	300,0	450,0
1,7	Wenden	0,4	0,7	2,0	19,9	39,8	59,8	2,7	2,7	4,5	13,4	134,5	268,9	403,4
1,0	Schwaden	0,4	0,4	1,2	12,0	24,0	36,0	2,4	3,1	3,1	9,3	93,0	186,0	279,0
1,0	Pressen	0,5	0,5	1,5	15,0	30,0	45,0	3,0	3,7	3,7	11,1	111,0	222,0	333,0
1,0	Wickeln	0,6	0,6	1,8	18,0	36,0	54,0	2,5	2,2	2,2	6,6	66,0	132,0	198,0
1,0	Transport Kipper	0,3	0,3	1,0	10,1	20,2	30,3	3,0	1,5	1,5	4,5	45,4	90,8	136,2
1,0	Ballenzange	0,8	0,8	3,5	35,2	70,4	105,6	1,2	3,8	3,8	11,4	113,7	227,4	341,1
	Summe		6,2	15,3	153,2	306,4	459,7			36,4	84,0	839,6	1.679,1	2.518,7

Anhang 4

Berechnungstabelle für die
ökologische und konventionelle
Kraftfutterproduktion

Kraftfuttermittel - biologisch	KEA	KEA	Kraftstoff l/ha	KEA (MJ)				KEA (MJ/dt TM)		
	MJ	MJ/Jahr		ha	10 ha	20 ha	30 ha	10 ha	20 ha	30 ha
Traktor 55 kW	266.705,3	117,3						3,1	3,1	3,1
Traktor 45 kW	258.380,3	86,1						2,3	2,3	2,3
Frontlader mit Dunggabel	58.574,5	10,5	2,0	79,6	795,7	1.591,4	2.387,2	2,4	2,4	2,4
Miststreuer	145.700,0	17.491,0	8,5	338,2	3.381,8	6.763,6	10.145,4	54,9	31,9	24,2
Pflug	50.025,0	4.502,7	17,5	696,3	6.962,6	13.925,1	20.887,7	30,2	24,2	22,3
Egge	33.350,0	3.001,8	6,4	254,6	2.546,3	5.092,6	7.638,9	14,6	10,7	9,3
Sämaschine	35.887,5	2.511,4	4,2	167,1	1.671,0	3.342,0	5.013,0	11,0	7,7	6,6
Striegel	33.350,0	389,0	4,6	183,0	1.830,2	3.660,3	5.490,5	5,8		
		777,9	4,6						5,8	
		1.166,9	4,6							5,8
Mähdrescher (7 ha)	1.160.875,0	5.804,4	13,9	553,0	5.530,3	11.060,5	16.590,8	29,8		
Mähdrescher (14 ha)		11.608,8	13,9						29,8	
Mähdrescher (21 ha)		17.413,1	13,9							29,8
Grubber	55.100,0	4.959,5	6,9	274,5	2.745,2	5.490,5	8.235,7	20,3	13,7	11,6
Saatgut				2.788,4	27.883,5	55.767,0	83.650,5	73,4	73,4	73,4
Summe		35.745,1	64,0	5.829,3	58.293,3	116.586,6	174.879,9	247,8	205,0	190,8

Kraftfuttermittel - konventionell	KEAi	KEAa	Kraftstoff l/ha	KEA (MJ)				KEA (MJ/dt TM)		
	MJ	MJ		ha	10 ha	20 ha	30 ha	10 ha	20 ha	30 ha
Traktor 55 kW	266.705,3	117,3						2,1	2,1	2,1
Traktor 45 kW	258.380,3	86,1						1,6	2,3	2,3
Frontlader mit Dunggabel	58.574,5	10,5	2,0	79,6	795,7	1.591,4	2.387,2	1,6	2,4	2,4
Miststreuer	145.700,0	17.491,0	8,5	338,2	3.381,8	6.763,6	10.145,4	38,0	22,0	16,7
Pflug	50.025,0	4.502,7	17,5	696,3	6.962,6	13.925,1	20.887,7	20,8	16,8	15,4
Egge	33.350,0	3.001,8	6,4	254,6	2.546,3	5.092,6	7.638,9	10,1	7,4	6,4
Sämaschine	35.887,5	2.511,4	4,2	167,1	1.671,0	3.342,0	5.013,0	7,6	5,3	4,6
Kastenstreuer	14.100,0	1.692,7	1,6	63,7	636,6	1.273,2	1.909,7	4,2	2,7	2,2
Feldspritze (10 ha)	22.912,5	308,1	1,1	43,8	437,6	875,3	1.312,9	1,4		
Feldspritze (20 ha)	22.912,5	616,1	1,1						1,4	
Feldspritze (30 ha)	22.912,5	924,2	1,1							1,4
Mähdrescher (10 ha)	1.160.875,0	5.804,4	13,9	553,0	5.530,3	11.060,5	16.590,8	20,6		
Mähdrescher (20 ha)		11.608,8	13,9						20,6	
Mähdrescher (30 ha)		17.413,1	13,9							20,6
Grubber	55.100,0	4.959,5	6,9	274,5	2.745,2	5.490,5	8.235,7	14,0	9,5	8,0
Saatgut				2.788,4	27.883,5	55.767,0	83.650,5	50,7	50,7	50,7
N-Dünger				6.018,0	60.180,0	120.360,0	180.540,0	109,4	109,4	109,4
P-Dünger				850,0	8.500,0	17.000,0	25.500,0	15,5	15,5	15,5
K-Dünger				610,0	6.100,0	12.200,0	18.300,0	11,1	11,1	11,1
Kalk				900,0	9.000,0	18.000,0	27.000,0	16,4	16,4	16,4
PSM				636,0	6.360,0	12.720,0	19.080,0	11,6	11,6	11,6
Summe		35.356,2	62,1	14.767,7	147.677,4	295.354,7	443.032,1	336,6	307,0	296,7

Anhang 5

Feldarbeitsgänge für die einzelnen Konservierungsverfahren

Futterwerbung 1. + 3. Schnitt

	L-HEU	L-HEU+A	RB-HEU	RB-HEU+A	K-HEU	K-HEU+A	S-HEU	S-HEU+A	G-HEU	G-HEU+A	F-SILO	F-SILO+A	RB-SILO	RB-SILO+A
12:00	Mähen		Mähen	Mähen										
14:00	Zetten		Zetten	Mähen	Zetten									
16:00		Wenden				Wenden								
18:00														
10:00	Wenden													
12:00														
14:00	Wenden	Schwanden	Schwanden	Schwanden	Wenden	Schwanden								
16:00														
18:00									Schwanden				Schwanden	
10:00	Wenden													
12:00														
14:00	Wenden	Wenden	Wenden	Wenden	Wenden	Schwanden	Wenden	Schwanden						
16:00														
18:00	Schwanden	Schwanden	Schwanden	Schwanden	Schwanden		Schwanden							
10:00	Zetten		Zetten											
12:00														
14:00	Schwanden		Schwanden											
16:00														
18:00														

Futterwerbung 2. Schnitt

	L-HEU	L-HEU+A	RB-HEU	RB-HEU+A	K-HEU	K-HEU+A	S-HEU	S-HEU+A	G-HEU	G-HEU+A	F-SILO	F-SILO+A	RB-SILO	RB-SILO+A
12:00	Mähen			Mähen	Mähen									
14:00	Zetten		Mähen		Zetten	Zetten								
16:00		Wenden		Wenden		Wenden		Wenden	Zetten		Zetten	Mähen	Zetten	
18:00														
10:00	Wenden													
12:00														
14:00	Wenden	Wenden	Wenden	Wenden	Wenden	Schwanden	Wenden	Schwanden						
16:00														
18:00					Schwanden		Schwanden							
10:00	Wenden	Wenden	Wenden	Wenden										
12:00														
14:00	Wenden	Schwanden	Wenden	Schwanden										
16:00														
18:00	Schwanden		Schwanden											

Literatur- und Quellenverzeichnis

AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION (2006): Richtlinie 2006/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Energieeffizienz und Energiedienstleistungen und zur Aufhebung der Richtlinie 93/76/EWG des Rates, verfügbar unter http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/oj/2006/L_114/L_11420060427de00640085.pdf, Zugriff am 29.06.2007

BISAGLIA, C., BORREANI, G. & TABACCO, E. (2003): Plastic consumption and surface distribution of innovative and conventional round bale wrapping systems, XXX CIOSTA – CIGRV Congress, Turin

BUCHGRABER K., DEUTSCH A. & GINDEL G. (1994): Zeitgemäße Grünlandbewirtschaftung, Leopold Stocker Verlag, Graz

BUCHGRABER, K. et al. (1998): Grünland braucht bestes Saatgut, Sonderbeilage, Der Fortschrittliche Landwirt, Leopold Stocker Verlag, Graz

BUCHGRABER. K, PÖTSCH. E., RESCH. R. & PÖLLINGER. A. (2003): Erfolgreich silieren – Spitzenqualitäten bei Grassilagen, Sonderbeilage, Der Fortschrittliche Landwirt, Leopold Stocker Verlag, Graz

BUCHGRABER K. & GINDEL G. (2004): Zeitgemäße Grünlandbewirtschaftung, Leopold Stocker Verlag, Graz

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT (2002): Standarddeckungsbeiträge und Daten für die Betriebsberatung 2002/03 – Konventionelle Produktion – Ausgabe Ostösterreich (2002), Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung II/2, Wien, verfügbar unter http://www.awi.bmlfuw.gv.at/datenkatalog/stdb_ost.pdf, Zugriff am 18.05.2006

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT (2007): Grüner Bericht 2007, gemäß § 9 des Landwirtschaftsgesetzes BGBl. Nr. 375/1992, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung II 5

BURDICK, B. (1994): Ökolandbau – die klimaverträglichere Alternative: Vergleich der klimarelevanten Spurengasemissionen aus der ökologischen und konventionellen Landwirtschaft, *Ökologie und Landbau*, 90,

DLG – Futterwerttabellen Wiederkäuer (1997), 7. erweiterte und überarbeitete Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt

FRICK, R. (2001): Futterwerbung und Mähauflbereiter –Arbeitseigenschaften verschiedener Geräte und Systeme, FAT-Schriftenreihe 54 bzw. Internationale Fachtagung: Landtechnik im Alpenraum, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon, Ettenhausen

GINDEL, G. & WILHELM, H. (2002): Qualitätsheu und Belüftung, Sonderbeilage, *Der Fortschrittliche Landwirt*, Leopold Stocker Verlag, Graz

GREHN, J. (1999): Makro- und mikroanalytische Methoden zur Bestimmung des Endenergieeinsatzes landwirtschaftlicher Betriebe und Ermittlung von Energiekennzahlen (Dissertation), *Haushaltstechnik – Berichte aus Forschung und Praxis*, Band 6, Shaker Verlag, Aachen

GRUBER, L., STEINWIDDER, A., GUGGENBERGER, T., SCHAUER, A., HÄUSLER, J., STEINWENDER, R. & STEINER, B. (2000): Einfluss der Grünlandbewirtschaftung auf Ertrag, Futterwert, Milcherzeugung und Nährstoffausscheidung, 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung(2000), Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft, Gumpenstein

HAAS, G. & KÖPKE, U. (1996): Klimarelevanz des organischen Landbaus – Ziel erreicht?, *Ökologie und Landbau*, 97

IPCC (2007): *Climate Change 2007 – The Physical Science Basis*, Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), verfügbar unter http://www.grida.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf, Zugriff am 25.11.2007

JENSEIT, W., LÜTZKENDORF, T. & EIERMANN, O. (1999): Der Kumulierte Energieaufwand (KEA) im Baubereich, Arbeitspapier im Rahmen des UBA-F&E Vorhabens Nr. 104 01 123: Erarbeitung von Basisdaten zum Energieaufwand und der Umweltbelastung von Energieintensiven Produkten und Dienstleistungen für Ökobilanzen und Öko-Audits, Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e. V.), verfügbar unter <http://www.oeko.de/service/kea/dateien/bau-anhang.pdf>, Zugriff am 23.03.2007

JEROCH, H., DROCHNER, W. & SIMON, O. (1999): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere: Ernährungsphysiologie, Futtermittelkunde, Fütterung, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart

KÖPKE, U. (2002): Umweltleistungen des ökologischen Landbaus, Ökologie und Landbau, 122

KRAATZ, S., BERG, W., KÜSTERMANN, B. & HÜLSBERGEN, K.-J. (2006): Energy and Carbon Balancing in Livestock Keeping, World Congress: Agricultural Engineering for a Better World. Congress Bonn, 03.-07. September 2006. VDI Verlag GmbH. VDI-Berichte Nr. 1958. Düsseldorf 2006, verfügbar unter <http://www.atb-potsdam.de/Hauptseite-deutsch/Institut/Abteilungen/Abt2/Mitarbeiter/skraatz/Publikationen/FP-Kraatz-4c.pdf>, Zugriff am 05.05.2007

KROMP-KOLB, H. & MEISTER, F. (2007): Wiederbelebung der Kerndiskussion: Klimawandel und „Peak Oil“, erschienen in Kernenergie, Klimaschutz und Nachhaltigkeit – Ein Argumentarium des Forum für Atomfragen, BM f. Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, verfügbar unter http://gpool.lfrz.at/gpoolexport/media/file/Energie,_Klimaschutz_und_Nachhaltigkeit_dt.pdf, Zugriff am 15.05.2007

LUDER, W. & MORIZ, Ch. (2005): Raufutterernte: Klimaerwärmung besser nutzen, FAT-Bericht NR. 634/2005, Agroskope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Ettenhausen

MOERSCHNER J. (2000): Stoff- und Energiebilanzen von Ackerbausystemen unterschiedlicher Intensität - Eine Untersuchung an den Rapsfruchtfolgen des Göttinger INTEX-Systemversuchs, Forschungsbericht Agrartechnik, dissertation.de – Verlag im Internet, Berlin

OHEIMB von, R., PONATH, J., PROTHMANN, G., SERGEOIS, C., WILLER, H. & WERSCHNITZKY, U. (1987): Energie und Agrarwirtschaft, KTBL-Schrift 320, KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup

ÖKL (2006): ÖKL-Richtwerte für Maschinenkosten 2006, Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung, Wien

RAMHARTER, R., AMON, T. & BOXBERGER J. (1994): Ein ökologisches Problem? Rundballenwickelsilage, Zeitschrift für Ökologie und Landwirtschaft

RAMHARTER, R (1999): Energiebilanzierung ausgewählter Feldfrüchte des biologischen und konventionellen Landbaus im pannonischen Klimaraum, Dissertation, Universität für Bodenkultur

SCHOLZ, V. (1997): Methodik zur Ermittlung des Energieaufwands pflanzenbaulicher Produkte am Beispiel von Biofestbrennstoffen, Agrartechnische Forschung 3 (1997) H.1

SCHÖN, H., AUERNHAMMER, H., BAUER, R., BOXBERGER, J., DEMMEL, M., ESTLER, M., GRONAUER, A., HAIDN, B., MEYER, J., PIRKELMANN, H., STREHLER, A. & WIDMANN, B. (1998): Landtechnik - Bauwesen, Verfahrenstechnik – Arbeit – Gebäude – Umwelt, BLV Verlagsgesellschaft, München – Zürich - Wien

UMWELTBUNDESAMT (2003): Kyoto-Fortschrittsbericht Österreich, BE-222, <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/BE222.pdf>, Zugriff am 29.06.2007

UNFCCC (1992): Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, United Nations Framework Convention On Climate Change, verfügbar unter <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convger.pdf>, Zugriff am 30.06.2007

UNFCCC (1997): Das Protokoll von Kyoto zu Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, United Nations Framework Convention On Climate Change, verfügbar unter <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpger.pdf>, Zugriff am 30.06.2007

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (1997): VDI 4600 Kumulierter Energieaufwand - Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden, Beuth Verlag, Berlin

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (1998): VDI 4600 Kumulierter Energieaufwand - Beispiele, Beuth Verlag, Berlin

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2003): VDI 4661: Energiekenngrößen, Definition - Begriffe - Methodik, Beuth Verlag, Berlin

WILHELM, H. & WURM, K. (1998): Ganzjahressilage, Sonderbeilage, Der Fortschrittliche Landwirt, Leopold Stocker Verlag, Graz

WEINGARTMANN, H. (2005): Skriptum zur Vorlesung Nacherntetechnologie, Universität für Bodenkultur

Auf folgende Internetseiten wurden für die Ermittlung der Maschinengewichte zugegriffen. Der Zugriff erfolgte am: 09.12.2006, 07.03.2007, 27.05.2007

<http://members.aon.at/mb-otto-gruber>

<http://www.claas.com>

<http://www.goeweil.at>

<http://www.gorenc.si>

<http://www.hatzenbichler.com>

<http://www.hfl.co.at>

<http://www.h-kronenberg.ch>

<http://www.hydrac.com>

<http://www.jessernigg.co.at>

<http://www.kipper.at>

<http://www.krone.de>

<http://www.kuhnsa.com>

<http://www.lindner-traktoren.at>

<http://www.masseyferguson.com>

<http://www.mengele-agrartechnik.de>

<http://www.newholland.com>

<http://www.oehlermaschinen.de>

<http://www.poettinger.at>

<http://www.pre-la.de>

<http://www.rauch.de>

<http://www.reform-werke.at>

<http://www.regent-berger.com>

<http://www.steyr-traktoren.com>

<http://www.strautmann.com>

<http://www.vielitz.de>

<http://www.watzinger.co.at>