

Department für Nachhaltige Agrarsysteme
Institut für Landtechnik

**Kumulierter Energieaufwand (KEA) der Weizenproduktion bei
verschiedenen Produktionssystemen (konventionell und
ökologisch) und verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen
(Pflug, Mulchsaat, Direktsaat)**

Diplomarbeit

Verfasser:

Biedermann Gerald

Betreuer:

o.Univ.Prof. DI Dr.Dr.habil. Josef Boxberger

Mitbetreuer:

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

Wien,

September

2009

Herzlicher Dank gilt allen voran meinen Eltern, welche mir die Möglichkeit zu diesem Studium geboten und mich immer unterstützt haben, sowie meinen Geschwistern.

. Weiters meinen Betreuern, Herrn o. Univ. Prof. DI Dr. Dr. habil. Josef Boxberger und Herrn Univ. Ass. DI Dr. nat. techn. Gerhard Moitzi, welche mir jederzeit mit tatkräftiger Unterstützung zur Seite standen, und auch meinen Freunden.

DANKE

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis.....	VI
Kurzfassung.....	VIII
Abstract.....	IX
1. Einführung.....	1
2. Problemstellung	2
3. Zielsetzung.....	5
4. Material und Methode	6
4.1 Modellbeschreibung.....	6
4.2 Der Kumulierte Energieaufwand (KEA)	8
4.3 Direkter Energieaufwand	9
4.3.1 Anwendung des KTBL-Feldarbeitszeitrechners	11
4.4 Indirekter Energieaufwand	13
4.4.1 Düngemittel.....	13
4.4.2 Pflanzenschutzmittel	16
4.4.3 Saatgut	19
4.4.4 Maschineneinsatz	19
4.4.5 Kumulierter Energieaufwand von Landmaschinen.....	20
5. Ergebnisse und Diskussion.....	24
5.1 Betrachtung Betriebsmittel.....	24
5.1.1 Dieserverbrauch	24
5.1.2 Saatgut	34
5.1.3 Düngemittel.....	34
5.1.4 Pflanzenschutz	39
5.1.5 Maschinen.....	42

5.2 Gesamtbewertung	56
5.2.1 Faktor Produktionssystem.....	57
5.2.2 Faktor Bodenbearbeitungssystem	61
5.2.3 Faktor Bodenbearbeitungswiderstand	63
5.2.4 Faktor Betriebsgröße	64
6. Schlussfolgerungen	67
6.1 Schlussfolgerungen für die Praxis	67
6.2 Schlussfolgerungen für die Wissenschaft	68
7. Weiterführende Arbeiten	70
8. Zusammenfassung	71
9. Literatur	74
10. Anhang.....	77

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wirkung unterschiedlicher N-Düngungsstufen auf den Ertrag von WW.....	14
Abbildung 2: Dieserverbrauch [l/ha] der Grundbodenbearbeitung und Aussaat in Abhängigkeit von Bodenbearbeitungssystem und Bodenschwere.....	25
Abbildung 3: Dieserverbrauch [l/ha] für Pflege und Düngemaßnahmen.....	27
Abbildung 4: Dieserverbrauch [l/ha] für die Ernte von WW bei einer Feldentfernung von 2 Kilometern; Konventionelle Produktionssysteme (KM, KW) 7 t/ha, Ökologisch (ÖKO) 5 t/ha.....	29
Abbildung 5: Dieserverbrauch Stoppelbearbeitung [l/ha] bei zweimaliger Überfahrt bei verschiedenen Bodenbearbeitungswiderständen.....	30
Abbildung 6: Vergleich Gesamtdieserverbrauch [l/ha WW] bei den betrachteten Produktionssystemen; GBB = Grundbodenbearbeitung.....	31
Abbildung 7: Dieserverbrauch [l/ha WW] in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem und Bodenbearbeitungswiderstand bei einer Getreidefläche von 50 ha/Betrieb.....	32
Abbildung 8: Durchschnittlicher Dieserverbrauch [l/ha] über alle Varianten, Variante mit geringsten (MIN) und höchstem (MAX) Kraftstoffverbrauch im Modell.....	33
Abbildung 9: Energieaufwand [MJ/ha] für N-Düngung in Abhängigkeit des Produktionssystems.....	35
Abbildung 10: Energieeffizienz von WW (Haupt- und Nebenprodukt) in Abhängigkeit vom Mineral-N-Einsatz (nach HÜLSENBERGEN et al. 2003).....	36
Abbildung 11: Kumulierter Energieaufwand [MJ/ha] der gesamten Düngung in Abhängigkeit vom Produktionssystem.....	38
Abbildung 12: Energieaufwand von Pflanzenschutzmaßnahmen [MJ/ha] bei den Produktionssystemen Konventionell mit Mineraleinsatz „KM“ und Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz „KW“.....	39
Abbildung 13: Absoluter und relativer Energieaufwand verschiedener Pflanzenschutzmaßnahmen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem.....	40
Abbildung 14: Indirekter Energieaufwand des Maschineneinsatzes [MJ/ha] in Abhängigkeit der bearbeiteten Getreidefläche pro Betrieb. Mw - Mittelwert.....	43
Abbildung 15: Sinkender indirekter Energieaufwand der eingesetzten Maschinen bei steigender Auslastung und verschiedenen Varianten inkl. Mittelwert über alle Varianten (Beschreibung siehe Tabelle).....	44
Abbildung 16: Einfluss der Bodenschwere auf den indirekten Energieaufwand von Zugmaschinen (Ermittlung über Maschinengewicht) beim Produktionssystem Konventionell mit Mineraleinsatz „KM“ mit Pflugeinsatz (PF).....	46
Abbildung 17: Vergleich des KEA der Zugmaschinen bei Eigen- und Fremdmechanisierung mit Ausweisung der jährlichen Einsatzstunden der Zugmaschinen. Produktionssystem "Konventionell mit Mineraleinsatz - (KM)", Bodenbearbeitungswiderstand schwer.....	47
Abbildung 18: Kumulierter Energieaufwand (KEA) der Geräte für Bodenbearbeitung (BB) und Aussaat (AS) bei verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen sowie die Arbeitskraftstunden für BB und AS.....	49

Abbildung 19: Einfluss indirekter Energie (KEA) unterschiedlicher Mähdrescher in Abhängigkeit der Einsatzfläche (ha) und deren Auswirkung auf die Druschstunden/Jahr. "KON" - Konventionell, "ÖKO" - Ökologisch.....	51
Abbildung 20: Einfluss indirekter Energie (KEA) von Geräten für Düngung und Pflanzenschutz bei unterschiedlichen Produktionssystemen in Abhängigkeit der Getreidefläche/Betrieb.....	54
Abbildung 21: Aufgegliederter Kumulierter Energieaufwand (KEA) und Output/Input Verhältnis bei der Variante mit dem geringsten , mittleren (Mittelwert aller Varianten) und höchstem KEA/ha WW	56
Abbildung 22: Energieinput, Netto-Energieoutput und Output/Input-Verhältnis bei der Variante mit dem geringsten KEA/ha WW, der Variante die den Mittelwert aller Varianten darstellt und der mit dem größten KEA/ha WW	57
Abbildung 23: Kumulierter Energieaufwand, Output/Input-Verhältnis und Energieintensität der Getreideproduktion bei den betrachteten Produktionssystemen.....	58
Abbildung 24: Energieintensität und Output/Input bei den verschiedenen Produktionssystemen. Die Getreidefläche wurde pro Betrieb mit 200 ha festgesetzt, alle Bodenbearbeitungssysteme und die Bodenschwere berücksichtigt (Mittelwerte).....	58
Abbildung 25: Relativer Anteil der verschiedenen Produktionsfaktoren am KEA von WW in Abhängigkeit des Produktionssystems und Energieintensität [MJ/t WW]. EI - Energieintensität	59
Abbildung 26: Der Einfluss des Bodenbearbeitungssystems auf den KEA (MJ/ha) und den Output/Input bei den konventionellen Varianten „KM“ und „KW“. Bodenbearbeitungswiderstände und Betriebsgrößen flossen in die Bewertung ein (Mittelwerte)	61
Abbildung 27: Relativer Anteil der einzelnen Betriebsmittel am KEA/ha WW in Abhängigkeit des Bodenbearbeitungssystems	62
Abbildung 28: Kumulierter Energieaufwand (KEA) und Output/Input - Verhältnis bei den Bodenbearbeitungswiderständen leicht, mittel und schwer. Die untersuchten Produktionssysteme, Bodenbearbeitungssysteme und Betriebsgrößen flossen in die Berechnung ein (Mittelwerte)	63
Abbildung 29: Einfluss der Getreidefläche pro Betrieb auf den kumulierten Energieaufwand, Output/Input Verhältnis und die Energieintensität beim untersuchten Maschinenbestand (Schlepper 67 - 120 kW, bei Bodenbearbeitung vorwiegend 3 m Arbeitsbreite)	64
Abbildung 30: KEA in MJ/ha WW in Abhängigkeit von der bearbeiteten Getreidefläche. Mittelwerte (Bodenbearbeitungssysteme, Produktionssysteme und Bodenbearbeitungswiderstände flossen ein).....	65
Abbildung 31: Relative Anteile der Betriebsmittel am KEA in Abhängigkeit der Getreidefläche/Betrieb	66

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Untersuchte Einflussfaktoren im Modell	6
Tabelle 2: Einstufung der Bodenschwere nach dem Tongehalt oder der Bodenart (BMLFUW, 2006)	7
Tabelle 3: Verwendete Mineraldünger im Modell	13
Tabelle 4: Nährstoffgehalte in Winterweizen (Korn, FM) [kg]	14
Tabelle 5: Kumulierter Energieaufwand (KEA) zur Bereitstellung der eingesetzten Düngemittel	16
Tabelle 6: Verwendete Pflanzenschutzmitteln (Varianten KM und KW)	17
Tabelle 7: Kumulierter Energieaufwand zur Herstellung von Pflanzenschutzmittel	18
Tabelle 8: Energieaufwand Saatgutproduktion	19
Tabelle 9: Spezifischer kumulierter Energieaufwand von Landmaschinen [MJ/kg]	21
Tabelle 10: Nutzungsdauer eingesetzter Maschinen (Auswahl), ND - Nutzungsdauer	22
Tabelle 11: Für Dünge- und Pflanzenschutzmaßnahmen eingesetzte Geräte bei unterschiedlichen Produktionssystemen	54

Abkürzungsverzeichnis

AKh	Arbeitskraftstunde
AS	Aussaat
BB	Bodenbearbeitung
BBS	Bodenbearbeitungssystem
BBW	Bodenbearbeitungswiderstand
BMLFUW	Bundesministerium für Land-, Forst- und Wasserwirtschaft
DS	Direktsaat
DSM	Direktsämaschine
EM	Eigenmechanisierung
FE	Feld-Hof-Entfernung
FM	Frischmasse
GBB	Grundbodenbearbeitung
GJ	Giga Joule (1 GJ = 10^9 J)
GM	Gemeinschaftsmaschine
GR	Grubber
KAS	Kalkammonsalpeter
KE	Kreiselegge
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KM	Konventionell mit Mineraldüngereinsatz
KSE	Kurzscheibenegge
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
KW	Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz
kW	Kilowatt
l	Bodenbearbeitungswiderstand leicht
m	Bodenbearbeitungswiderstand mittelschwer
MD	Mähdrescher
MJ	Megajoule (1 MJ = 10^6 J)
MS	Mulchsaat
MSM	Mulchsämaschine
MW	Mittelwert
ND	Nutzungsdauer
ÖKO	Ökologisch ohne Fruchtfolgebetrachtung
ÖKO FF	Ökologisch mit Fruchtfolgebetrachtung
PAR	photosynthetisch aktive Strahlung
PF	Pflug

PSM	Pflanzenschutzmittel
s	Bodenbearbeitungswiderstand schwer
SBK	Saatbettkombination
t	Tonne
TKG	Tausendkorngewicht
TM	Trockenmasse
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WW	Winterweizen
ZM	Zugmaschine

Kurzfassung

Mit dieser Arbeit wird das Ziel verfolgt, verschiedene Produktionssysteme, Bodenbearbeitungssysteme (Pflug, Mulchsaat und Direktsaat), Bodenbearbeitungswiderstände und Betriebsgrößen bezüglich ihres Einflusses auf den Kumulierten Energieeinsatz (KEA) der Winterweizenproduktion zu bewerten. Der Einfluss der verschiedenen Produktionsbedingungen wird quantifiziert und die Abweichungen diskutiert.

In weiterer Folge soll die Arbeit dazu dienen, vorhandene Produktionssysteme zu bewerten und bezüglich ihrer Energieeffizienz zu optimieren. Um alle Energieströme zu erfassen, wurde in dieser Arbeit das Konzept des KEAs angewendet, welches die notwendige Energie für die Herstellung, Unterhaltung und Entsorgung der Betriebsmittel in die Bilanzierung einfließen lässt.

Das Modell wurde mit Hilfe von Ergebnissen pflanzenbaulicher Versuche und der Unterstellung des typischen Maschineneinsatzes bei den untersuchten Bodenbearbeitungssystemen erstellt. Der Dieselbedarf wurde mit Hilfe des KTBL-Feldarbeitsrechners ermittelt.

Der Ergebnisteil gliedert sich in eine Betrachtung des Einflusses der einzelnen Betriebsmittel bei den verschiedenen Varianten und in eine Betrachtung der bereits erwähnten Hauptkriterien (Produktionssystem, Bodenbearbeitungssystem, Bodenbearbeitungswiderstand und Betriebsgröße).

Im Rahmen der Diplomarbeit zeigte sich, dass sich der kumulierte Energieaufwand der Weizenproduktion unter den unterstellten Produktionsbedingungen zwischen 7500 und 16500 MJ/ha erstreckt. Das Output/Input-Verhältnis bewegte sich zwischen 6,5 und 15,0 und unterstreicht die gute Energiebilanz der Getreideproduktion, die unter allen untersuchten Bedingungen klar positiv ausfällt. Eine energetische Nutzung von Getreide kann daher bei energieeffizienten Umwandlungsprozessen sinnvoll sein. Die größten Einflussfaktoren auf den KEA sind in Abhängigkeit der verschiedenen Varianten der Mineraldüngereinsatz, der Dieseleinsatz und der indirekte Energieeinsatz in Form von Maschinen.

Abstract

Cumulative Energy Demand (KEA) of the wheat cultivation for various production systems (conventional and organic farming) and various tillage systems (plough, mulch-till, no till)

One of the main objectives of this diploma thesis is to assess various agricultural production systems, tillage systems (plough, mulch-till, no till), cultivation resistance and farm sizes according to their influence on the Cumulative Energy Demand of the production of winter wheat. The influence of the different production conditions has been quantified and the deviations have been discussed.

Furthermore this work should help to assess the available production systems and to improve their energy efficiency. The concept of the Cumulative Energy Demand has been used to ascertain the entire energy flow, because the amount of energy used for production, maintenance and disposal of agricultural resources is considered.

The model has been created with the results of crop farming experiments and the assumption of the typical machine usage at the different tillage systems. The fuel consumption has been calculated by the help of the "KTBL-Feldarbeitsrechner".

The chapter where the results are presented is structured in two parts. One part deals with the energetic influence of the different agricultural resources, the other part presents the influence of the investigated main criteria on the energy efficiency.

The diploma thesis shows that the Cumulative Energy Demand of the wheat production reaches from 7.500 to 16.500 MJ/ha. The Output/Input-ratio ranges between 6,5 and 15,0 and underlines the good energy balance of the wheat production, which is positive under all of the treated conditions. Energetic usage of grain makes sense when the transformation process is efficient. The biggest factors of influence are the use of fertilizer, fuel consumption and the indirect energy demand of the machine employment.

1. Einführung

Getreide, besonders Winterweizen, hat sich auf Grund seiner vielen Anwendungsmöglichkeiten (menschliche und tierische Ernährung, energetische Nutzung) zur meistangebauten Kultur im mitteleuropäischen Ackerbau entwickelt. Vor allem ökonomische und förderungspolitische Faktoren bestimmen gegenwärtig die Produktionsbedingungen. Wie man in jüngster Vergangenheit sehen konnte, wird die Intensität der Getreideproduktion vor allem durch den Rohstoffpreis bestimmt.

Allerdings darf der Energieaufwand nicht unberücksichtigt bleiben. Denn das Wissen über aufgewendete Energie im Bereich der Rohstoffproduktion sollte bei der Bewertung der Sinnhaftigkeit verschiedener Verwertungsmöglichkeiten (Verbrennung, Ethanolproduktion) eine grundlegende Rolle spielen.

Der direkte Energieeinsatz und seine Höhe bei verschiedenen Produktionsverfahren sind den Erzeugern von Agrarrohstoffen weitgehend bekannt. So weiß um seinen Dieserverbrauch im Ackerbau so gut wie jeder Landwirt bescheid. Allerdings ist die Größenordnung des Bedarfs an indirekter Energie bei der Getreideproduktion sowohl den Produzenten als auch den Verbrauchern unbekannt.

Die Energiebilanz der Produktion agrarischer Güter liegt jedenfalls auf Grund der Diskussion über den Einsatz von Agrotreibstoffen im öffentlichen Interesse.

2. Problemstellung

Die Produktion agrarischer Rohstoffe hat eine Reihe von negativen Folgen auf die Umwelt. Neben dem Ressourceneinsatz (Energiebedarf, Ozonbildungs- und Treibhauspotential) gehen vom Nährstoffeinsatz (Eutrophierungs- und Versauerungspotential) und Schadstoffeinsatz (terrestrische und aquatische Toxizität, Humantoxizität) potentielle Umweltwirkungen aus. Diese werden in der Literatur häufig mit Hilfe der Ökobilanz, die neben den direkten auch indirekte Umweltwirkungen umfasst, bewertet. Das Verfahren der Ökobilanz ist in der ISO 14040 (1997) umfassend bewertet (vgl. ARMAN 2003). Der englische Name life cycle assessment (LCA) drückt klar aus, dass es sich bei der Ökobilanz um die Bewertung eines Produktes über den Verlauf seines gesamten Lebensweges handelt.

Von der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART) sind auf einer Dauerbeobachtungsfläche die Umweltwirkungen der beiden Anbausysteme Direktsaat und Pflug bewertet worden. Die Umweltwirkung Energiebedarf wird im System Direktsaat um durchschnittlich 1300 MJ pro ha und Jahr besser bewertet, was sich mit den Ergebnissen dieser Arbeit deckt (bei 200 ha unterstellter Betriebsgröße). Neben Getreide werden auch noch andere agrarische Rohstoffe wie Silomais, Zuckerrübe und Körnererbse betrachtet. Es zeigt sich, dass die N-Düngung Haupteinflussfaktor ist. Großen Einfluss wirkt laut ihren Berechnungen auch der Energieeinsatz im Rahmen der Ernte aus. Die größte Energieeffizienz weisen die Kulturen mit hohen Biomassenerträgen auf gefolgt von den wenig gedüngten Kulturen wie Winterroggen und Körnererbse. Große Vorteile weist das System Direktsaat beim Faktor Erosionsrisiko auf. Tendenziell sind alle betrachteten Umweltwirkungen bei Direktsaat günstiger zu bewerten. Energetisch hat allerdings die Düngung höheren Einfluss als das Bodenbearbeitungssystem (vgl. ART 2009)

Beate Arman hat in ihrer Dissertation (ARMAN 2003) die Ökobilanz zur Abschätzung von Umweltwirkungen in der Pflanzenproduktion verwendet. Sie hat die Auswirkungen konventioneller und konservierender Bodenbearbeitungsverfahren bilanziert. Die Ergebnisse der Ökobilanzen zeigen, dass die Wirkungskategorien Treibhauseffekt, Versauerung, Eutrophierung sowie Human- und Ökotoxizität

Problemstellung

hauptsächlich von der Höhe der Düngung abhängen (ARMAN 2003). In der Pflugvariante war das Erosionsrisiko ungefähr 6mal höher als in der Grubbervariante (in dieser Arbeit mit dem Bodenbearbeitungssystem Mulchsaat vergleichbar).

Am Beispiel ihrer Arbeit zeigt sich der Umfang einer vollständigen Ökobilanz. Die Arbeit umfasst 246 Seiten und es wäre im Rahmen einer Diplomarbeit zu umfangreich, die einzelnen Produktionssysteme und Bodenbearbeitungssysteme der Winterweizenproduktion im Bezug auf alle genannten Wirkungskategorien zu untersuchen.

RÖVER et al. (1999) behandeln in ihrer Studie *„Bewertung und Verfahren der ökologischen und konventionellen landwirtschaftlichen Produktion im Hinblick auf den Energieeinsatz und bestimmte Schadgasemissionen“* vorrangig den Kumulierten Energieeinsatz. Anfänglich erwogen die Autoren, neben den CO₂- auch die CH₄-, N₂O und NH₃-Mengen aller Produktionsschritte zu quantifizieren. Aufgrund von nicht verfügbaren oder unzureichenden Daten konnten bezüglich der biogenen Schadgasemissionen nur qualitative Bewertungen einbezogen werden (vgl. RÖVER et al, 1999). In ihrem Vergleich werden drei Produktionsvarianten unterschieden (konventionell, ressourcenschonend mit Wirtschaftsdüngereinsatz, ökologisch), welche die Grundlage für die Berechnung des Primärenergieaufwands und der Schadgasemissionen pflanzlicher und tierischer Produkte bilden. Es erfolgt keine Schlüsselung in Bodenbearbeitungssysteme, Bodenschwere und Betriebsgröße. Für den konventionellen Landbau wird im Rahmen dieser Studie bei allen Produkten ein höherer Primärenergieeinsatz als im ökologischen Landbau errechnet. Getreide zum Beispiel hat in der konventionellen Variante einen um 33 % höheren Primärenergieeinsatz (pro t Korn) als in der ökologischen. Für die Variante „ressourcenschonend“, welche das Pendant für die in dieser Diplomarbeit betrachteten Variante „Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz“ darstellt, errechnete sich ein gleich hoher bzw. teilweise etwas niedriger Energieaufwand als in der ökologischen Variante.

Die Erkenntnisse dieser Studie verlangen nach einer Betrachtung der Produktionssysteme bei unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen. Weiters zeigt sich, dass eine Betrachtung der direkten und indirekten aufgewendeten Energie bereits sehr umfangreich ist. Außerdem fehlt eine energetische Bewertung der eingesetzten Maschinen, welche einen großen Anteil am Kumulierten Energieaufwand der Getreideproduktion hat.

Problemstellung

Die Betriebsgröße (wichtige Rolle im Rahmen der Maschinenauslastung) und der Bodenbearbeitungswiderstand waren in der betrachteten Literatur unberücksichtigt. Es stellte sich die Frage nach dem energetischen Einfluss dieser Faktoren, und ob Wechselwirkungen auftreten (Bodenschwere – Bodenbearbeitungssystem).

Laut SCHOLZ (1997) kann man mit Hilfe des Aufwands an Energie eines Verfahrens die Umweltverträglichkeit von Erzeugnissen charakterisieren. Ihre Ermittlung ist jedoch überaus komplex und führt daher häufig zu unterschiedlichen oder nicht vergleichbaren Ergebnissen.

Mit Hilfe der VDI-Richtlinie 4600 (Kumulierter Energieaufwand) können land- und forstwirtschaftliche Produktionsverfahren energetisch bilanziert werden. Die Bilanzgrenzen müssen vorher definiert werden und umfassen in der Regel den indirekten und direkten Energieaufwand der eingesetzten Betriebsmittel (vgl. SCHOLZ 1997). Vereinfacht ausgedrückt lässt der kumulierte Energieaufwand über Kennwerte aus der Literatur Rückschlüsse auf die CO₂ Bilanz eines Produktionsverfahrens zu. Für eine umfassend Treibhausbilanz sind zusätzlich vor allem Methan und Stickoxide zu berücksichtigen.

Der Energieeinsatz in der pflanzlichen Produktion bedeutet neben den negativen Folgen des Ressourceneinsatzes (Treibhausgasbilanz, Verbrauch von fossilen Rohstoffen) auch finanzielle Belastungen für den Erzeuger. So wirkt sich in der Regel ein erhöhter indirekter Energieeinsatz in Form von Maschinen über die Abschreibungen auf den Gewinn/Verlust aus der pflanzlichen Produktion aus. Gerade bei niedrigen Erzeugerpreisen ist ein hoher Energieaufwand ökonomisch negativ zu bewerten.

Es gibt also nach dem Studium der vorliegenden Literatur Forschungsbedarf bezüglich des Energieaufwands der landwirtschaftlichen Produktion bei den unterschiedlichen Produktionsbedingungen. Auf Grund seiner Dominanz im weltweiten Ackerbau wurde Getreide als betrachtete Kulturpflanze ausgewählt. Winterweizen stellt die in Europa bevorzugt angebaute Getreideart da.

3. Zielsetzung

Pflanzliche Erzeugnisse müssen in der Praxis unter verschiedenen Einflussfaktoren erzeugt werden. Neben der Betriebsgröße unterscheiden sich häufig Produktionssystem, Bodenbearbeitungssystem und Bodenbearbeitungswiderstand. Es ist daher nicht ausreichend, wenn mit einer einzigen Energiebilanzierung die gesamte Getreideproduktion abgehandelt wird, sondern die einzelnen Parameter müssen verknüpft werden. In der Folge erhält man einen Bereich, innerhalb dessen sich der Energieaufwand der Getreideproduktion bewegt und kann Tendenzen erkennen.

Im Rahmen der Arbeit erfolgt eine Betrachtung verschiedener Bodenbearbeitungssysteme (Pflug, Mulchsaat und Direktsaat), Produktionssysteme (konventionell mit Mineraldüngereinsatz, konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz und ökologisch), Betriebsgrößen und Bodenbearbeitungswiderständen. Die Kombination dieser Produktionsbedingungen ergibt 81 Varianten, welche in der Folge verglichen werden.

Im ersten Abschnitt des Ergebnisteils erfolgt eine Bewertung der Einzelkategorien (Dieselverbrauch, Saatgut, Düngung, Pflanzenschutz und Maschinen) bei den verschiedenen Varianten.

Im zweiten Abschnitt werden die verschiedenen Produktionssysteme, Bodenbearbeitungssysteme, Betriebsgrößen und Bodenbearbeitungswiderstände verglichen.

In diesem Bereich liegt das Hauptziel dieser Arbeit. Es soll ein für mitteleuropäische Verhältnisse typischer kumulierter Energieaufwand für die Getreide-, speziell Weizenproduktion ermittelt werden.

Im Rahmen der Arbeit werden keine Versuche angelegt, sondern das zuvor mit Hilfe von Versuchsergebnissen ausformulierte Modell (mit 81 Varianten) wird durchgerechnet. Der Einfluss der verschiedenen Produktionsbedingungen wird quantifiziert und die Abweichungen diskutiert.

In weiterer Folge soll die Arbeit dazu dienen, vorhandene Produktionssysteme zu bewerten und in ihre Energieeffizienz zu optimieren.

4. Material und Methode

4.1 Modellbeschreibung

In diesem Kapitel wird kurz auf das Modell eingegangen, damit der Leser ein Verständnis für die Wichtigkeit der im Nachhinein behandelten Faktoren bekommt. Das Verstehen des Modells ist für die Betrachtung dieser Arbeit grundlegend.

Im Zuge dieser Arbeit wird der Energieaufwand der Weizenproduktion unter verschiedenen Produktionssystemen verglichen. Um eine möglichst große Breite der Weizenproduktion abzudecken, wurden 4 Faktoren bestimmt, die mit jeweils 3 Abstufungen in Summe 81 Varianten ergeben.

Tabelle 1: Untersuchte Einflussfaktoren im Modell

Faktor			
Produktionssystem	Konventionell Mineraldünger (KM)	Konventionell Wirt- schaftsdünger (KW)	Ökologisch (ÖKO)
Bodenbearbeitung	Pflugeinsatz (PF)	Mulchsaat (MS)	Direktsaat (DS)
Bodenschwere	Leicht (l)	Mittel (m)	Schwer (s)
Betriebsgröße	50 ha	100 ha	200 ha

Beim Produktionssystem werden drei unterschiedliche Systeme betrachtet: Das konventionelle Produktionsverfahren mit Mineraldüngereinsatz zeichnet sich durch einen hohen Betriebsmitteleinsatz, vor allem in Form von Mineraldüngern und Pflanzenschutzmitteln aus. Beim Verfahren „Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz“ wird ein Großteil der Mineraldünger durch organische Dünger, in diesem Modell durch Rindergülle, ersetzt. Bei beiden Produktionssystemen wird im Modell ein Ertrag von 7 t FM erreicht, der durch einen Versuch der FS Hatzendorf untermauert wird (VERSUCHSREFERAT STEIERMARK, 2007a). Die dritte Produktionsweise (ökologisch) verzichtet auf den Einsatz von leicht löslichen Mineraldüngern und konventionellen Pflanzenschutzmitteln, was niedrigere Erträge zur Folge hat. Der im Modell erreichte Ertrag liegt bei 5 t FM/ha (VERSUCHSREFERAT STEIERMARK, 2007b).

Beim Bodenbearbeitungssystem werden die drei Varianten Pflugeinsatz, Mulchsaat (konservierend mit krumentiefer Lockerung) und Direktsaat untersucht. Der Pflug war in den letzten Jahrzehnten in Europa das Standardgerät für die Grundbodenbearbeitung. Seine Vorteile liegen in der guten Bekämpfung von Unkräutern und der Lockerung des Bodens, während Nachteile vor allem Erosionsgefahr, die Bildung von Pflugsohlen und hohe Maschinenkosten darstellen. Durch zunehmenden Kostendruck, dem Aufkommen von Totalherbiziden und der Entwicklung von weitgehend verstopfungsresistenter Sätechnik (organische Erntereste) hat in den letzten zwanzig Jahren die Mulchsaat stark an Bedeutung gewonnen, bei der aufwendende Bodenbearbeitung verzichtet wird. Direktsaat ist in Europa noch kaum anzutreffen, weist aber durch die geringe Bodenbearbeitungsintensität ökonomische und energetische Vorteile auf. Eingesetzt wird sie vor allem in Nordamerika und Australien (KÖLLER und LINKE, 2001). Problematisch ist bei diesem Bodenbearbeitungssystem die Unkrautbekämpfung, wodurch sie im ökologischen Landbau in unseren Breiten heute so gut wie keine Bedeutung hat.

In dieser Arbeit wird auch die Bodenschwere berücksichtigt, weil sie für den direkten Energieeinsatz eine wesentliche Rolle spielt. Weiters ist sie für die Auswahl von Bodenbearbeitungsgeräten von Bedeutung. Die Bodenart wird durch das Verhältnis der Korngrößenklassen Sand (S), Schluff (U) und Ton (T) zueinander charakterisiert. Vereinfacht kann die Bodenart als „Bodenschwere“ angegeben werden, wobei nur mehr der Tongehalt berücksichtigt wird (vgl. BMLFUW, 2006). Es gilt folgende Zuordnung (Bezeichnung der Bodenart gemäß ÖNORM L 1050):

Tabelle 2: Einstufung der Bodenschwere nach dem Tongehalt oder der Bodenart (BMLFUW, 2006)

Bodenschwere	Tongehalt	Bodenart
leicht	unter 15 %	S, uS, IS, sU
mittel	15 – 25 %	tS, U, IU, sL
schwer	über 25 %	L, uL, sT, IT, T

Auch die Betriebsgröße fließt in die Arbeit ein. Es wurden für Österreich typische Betriebsgrößen von 50, 100 und 200 ha gewählt, ein Bereich, in welchem die Mehrzahl der österreichischen Marktfruchtbetriebe liegt. Die Betriebsgröße hat

Einfluss auf die Maschinenauslastung und in der Folge auf den indirekten Energieaufwand beim Maschineneinsatz.

4.2 Der Kumulierte Energieaufwand (KEA)

Energiebilanzen für landwirtschaftliche Erzeugnisse sind vor allem bei deren energetischen Nutzung unverzichtbar. Allerdings ist die Bewertung des indirekten Energieeinsatzes in Form von verschiedenen Betriebsmitteln schwierig und uneinheitlich.

Zur Bewertung des Energieaufwands eines Produktionsverfahrens hat sich in der Literatur das Konzept des „Kumulierten Energieaufwands“ (VDI-Richtlinie 4600) durchgesetzt. In der Arbeit wird, wie in der Literatur üblich, zwischen direktem Energieeinsatz (fossile Treibstoffe, elektrische Energie) und indirektem Energieeinsatz (Düngemittel, Pflanzenschutzmittel, zur Herstellung von Maschinen benötigte Energie, ...) unterschieden, wobei vor allem für die Bestimmung der indirekten Energieaufwände das Konzept des Kumulierten Energieaufwands vorteilhaft ist.

Technikbewertung und Technologiefolgenabschätzung erfordern eine Quantifizierung und Analyse des Aufwands und der Ressourcenbelastung, um Verfahren bezüglich ihrer Umweltverträglichkeit zu beurteilen. Der KEA kann bei der Ökobilanz oder Lebenszyklusanalyse ein wichtiger Kennwert für die ökologische Bewertung des jeweils betrachteten Systems sein (vgl. VDI 1997).

Definition zum Kumulierten Energieaufwand: Der Kumulierte Energieaufwand (KEA) gibt die Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwands an, der im Zusammenhang mit der Herstellung, Nutzung und Beseitigung eines ökonomischen Gutes entsteht bzw. diesem ursächlich zugewiesen werden kann. Dieser Energieaufwand stellt die Summe der Kumulierten Energieaufwendungen für die Herstellung (KEA_H), für die Nutzung (KEA_N) und die Entsorgung (KEA_E) des ökonomischen Gutes dar, wobei für diese Teilsummen anzugeben ist, welche Vor- und Nebenstufen einbezogen sind:

$$KEA = KEA_H + KEA_N + KEA_E \text{ (VDI 1997)}$$

Eine Energiebilanz erfasst Energiemengen bzw. Energiearten in kJ oder Wh, welche während des Betrachtungszeitraumes die festgelegten Bilanzraumgrenzen überschreiten.

Die Aufwendungen in jeder Prozessstufe teilen sich in den direkten prozessspezifischen Material- und Energieeinsatz und in den indirekten, nur über Schlüssel und Abschreibungen zuweisbaren Aufwand, der für die Bereitstellung der diesen Prozess betreibenden Geräte, Maschinen und Anlagen notwendig ist. Diese dürfen prinzipiell nicht vernachlässigt werden, weil sie die entscheidenden Beiträge zum gesamten KEA sein können. (vgl. VDI, 1997, 11)

4.3 Direkter Energieaufwand

Als direkt zugeführte Energie werden jene Energieträger bezeichnet, die unmittelbar im Produktionsprozess zur Erzeugung nutzbarer Energie verbraucht werden (WERSCHNITZKY et al. 1987).

Dazu zählen Mineralölprodukte wie Treibstoff oder Heizöl, elektrischer Strom, Gas, Kohle sowie Biomasse in Form von Stroh oder Holz.

Üblicherweise werden in der Landwirtschaft dieselbetriebene Zugmaschinen eingesetzt. Der Kraftstoffverbrauch der für gewöhnlich direkt einspritzenden Dieselmotoren hat in letzter Zeit stark an Bedeutung gewonnen. Kraftstoffpreis, gestiegenes Umweltbewusstsein und Ressourcenschonung sind hier wichtige Schlagwörter.

Im Vergleich zum Ottomotor besitzt der direkt einspritzende Dieselmotor eine um 20% bessere thermische Effizienz (BÖTTINGER 2008). Der Großteil der im Dieselmotorkraftstoff gespeicherten Energie geht allerdings in Form von Abwärme verloren und kann nicht genutzt werden.

Den Kraftstoffverbrauch kann man auf verschiedene Arten bestimmen. Der Kraftstoffverbrauch pro Zeit- (h) oder Flächeneinheit (ha) wird unter festgesetzten Bedingungen wie Arbeitsbreite, Bodenart, Bodenschwere, Arbeitstiefe und anderen gemessen und durch Wiederholungen untermauert.

Material und Methode

In dieser Arbeit wurde der Kraftstoffverbrauch auf Grund der großen Anzahl von Varianten nicht unter Versuchsbedingungen bestimmt, sondern mit Hilfe des KTBL-Feldarbeitszeitrechners bestimmt. Dieser ist unter www.ktbl.de abrufbar und ermöglicht eine gezielte Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs unter verschiedenen Bedingungen.

Dieseldieselkraftstoff besitzt einen Heizwert 42,4 MJ/kg bei einer Dichte von 0,83 kg/l. Der volumetrische Heizwert beträgt 35,2 MJ/l.

Inklusive Vorleistungen (Förderung, Raffination, Transport) beträgt das Energieäquivalent für einen Liter Dieseldieselkraftstoff **39,8 MJ** (HÜLSBERGEN 2003). Dieser Wert wird in der Arbeit für die Umrechnung des verbrauchten Kraftstoffs in die Energieeinheit (MJ) verwendet.

Bei der Prozessanalyse bleiben die Sonnenenergie und die menschliche Arbeit unberücksichtigt (HÜLSBERGEN 2008). Es existieren methodische Ansätze, allerdings differieren die Energieäquivalente beträchtlich. Fraglich ist, ob man nur die Muskeltätigkeit während der Arbeitszeit oder den gesamten Energiebedarf der Betriebsführerfamilie im Zeitraum eines Jahres berücksichtigt und auf die bestellte Fläche umrechnet. REFSGAARD et al. (1998) vertreten die Auffassung, dass menschliche Arbeit und fossile Energie zu unterschiedliche Kategorien sind um sie miteinander zu vergleichen.

In dieser Arbeit wurde der Energieeinsatz für die menschliche Arbeit nicht berücksichtigt. Prinzipiell wäre eine Erfassung möglich, weil der verwendete KTBL-Feldarbeitsrechner auch die Arbeitskraftstunden (AKh) des verwendeten Arbeitsverfahrens ausweist. Hier darf aber die Betriebsgröße nicht unberücksichtigt bleiben, weil mit steigender Betriebsgröße fraglich ist, ob noch eine Arbeitskraft ausreicht um alle anfallenden Arbeiten zu erledigen. Umfangreiche Annahmen wären nötig (verfügbare Feldarbeitstage, familieneigene oder Fremdarbeitskräfte, ...), die den Rahmen der Arbeit sprengen würden.

Kulturpflanzen setzen nur etwa 0,5 bis 5 % der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) in Biomasse um (GREEF et al. 1993); die PAR übertrifft den fossilen Energieeinsatz um den Faktor 10^3 . Bei einer Bewertung der Sonneneinstrahlung würden die Unterschiede des fossilen Energieeinsatzes unbedeutend erscheinen.

Außerdem ist die Sonneneinstrahlung im Vergleich zu den fossilen Energieträgern CO₂-neutral. Daher wird die Sonneneinstrahlung in der Arbeit vernachlässigt.

4.3.1 Anwendung des KTBL-Feldarbeitszeitrechners

Beim Feldarbeitszeitrechner wird der Treibstoffverbrauch teilzeitspezifisch auf Basis der Zeitanteile für Arbeit im Feld, Wenden, Wegstrecken, ... und der Motorbelastung in der jeweiligen Teilzeit berechnet. Teilzeiten dienen auch der Abstimmung anderer abhängiger Teilarbeiten, die zeitgleich von mehreren Arbeitskräften erledigt werden (KTBL, 2006).

Bei der Verwendung des Feldarbeitszeitrechners besteht der erste Schritt aus der Wahl der Verfahrensgruppe, wobei hier neun Gruppen zur Auswahl stehen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Arbeitsverfahren aus den Verfahrensgruppen Bestellung, Bodenbearbeitung, Mähdrusch und Pflege verwendet. Nach dieser Einschränkung folgt die Auswahl des Arbeitsverfahrens, wo nun die verwendete Arbeitsmaschine ausgewählt wird. Ein Beispiel hierzu ist die Eingrenzung beim Pflügen, wobei hier zwischen Anbaudrehpflug, Aufsatteldrehpflug und Aufsatteldrehpflug mit Packer unterschieden werden kann. Im nächsten Schritt wird die Maschinenkombination ausgewählt, beim Pflügen kann hier zwischen der Anzahl der Schare und der Motorleistung in 15 kW Schritten unterschieden werden.

In der Folge werden die Feinheiten des Arbeitsverfahrens bestimmt. Die Parzellengröße kann angepasst werden (1, 2, 5, 10, 20, 40, 80 ha), in dieser Arbeit wurde sie auf 2 ha gesetzt. Dieser Wert ist für nach mündlichen Recherchen ein für Österreich realistischer Mittelwert, außerdem ist der Sprung auf 5 Hektar sehr groß und dieser Wert trifft für österreichische Verhältnisse kaum zu.

Beim Bodenbearbeitungswiderstand kann zwischen niedrig, mittel und hoch variiert werden. In dieser Arbeit werden alle 3 Stufen behandelt.

Die Hof-Feld Entfernung kann ebenfalls angepasst werden (1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20 oder 30 km). Üblicherweise erhöht sich die Hof-Feld Entfernung mit der Betriebsgröße. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen steigt die durchschnittliche Feldentfernung im Rahmen der Arbeit von 1 km (50 ha Modellbetrieb) über 2 km

Material und Methode

(100 ha Modellbetrieb) auf 3 km beim 200 ha Modellbetrieb an. Aus meinen Erfahrungen mit dem Feldarbeitsrechner steigt der Dieselbedarf pro km Fahrstrecke um 0,1 l/ha an. Bei den Modellbetrieben handelt es sich um arrundierte Betriebe, wie man aus den geringen Hof-Feld Entfernungen ablesen kann.

Bei Arbeitsverfahren mit Betriebsmitteleinsatz (Düngemittel, PSM, Saatgut ...) kann man auch die eingesetzte Menge festsetzen.

Nun erfolgt die Ausgabe des Arbeitszeitbedarfs in AKh/ha, der Maschinenkosten in €/ha und des Dieselbedarfs in l/ha.

In der Gesamtarbeitszeit sind alle Teilzeiten enthalten. Die Teilzeiten sind Hauptzeit, Wendezeit, Versorgungszeit, nicht vermeidbare Verlustzeit, Wartezeit, Wegezeit und Rüstzeit.

4.4 Indirekter Energieaufwand

Der indirekte Energieaufwand umfasst den Aufwand für die Bereitstellung von landwirtschaftlichen Betriebsmitteln. In dieser Arbeit umfassen diese Betriebsmittel Düngemittel, Pflanzenschutzmittel, Saatgut und landwirtschaftliche Maschinen und Anlagen. Der indirekte Energieeinsatz steht in einem engen Verhältnis zur Intensität der landwirtschaftlichen Produktion und ist in den letzten Jahrzehnten, insbesondere im Bereich des Chemikalieneinsatzes, stark angestiegen (BOCKISCH, F. J. et al. 2000).

4.4.1 Düngemittel

Die Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen ist eine grundlegende Aufgabe der erfolgreichen Landbewirtschaftung. Im konventionellen Landbau wird dies vor allem über den Einsatz von Mineraldüngern erreicht, während der ökologische Landbau vorwiegend versucht, mit Hilfe der Kreislaufwirtschaft möglichst viele Nährstoffe im System zu halten.

Tabelle 3: Verwendete Mineraldünger im Modell

Düngemittel	Nährstoffgehalt	Aufwandmenge
KAS	27 % N	KM - 482 kg
NP	26 % N, 14 % P ₂ O ₅	KW - 110 kg
PK	16 % P ₂ O ₅ , 16 % K ₂ O	KM - 350 kg
PK	12 % P ₂ O ₅ , 15 % K ₂ O	ÖKO - 340 kg
Rindergülle [m ³]	3,2 kg N, 1,5 kg P ₂ O ₅ , 5,1 kg K ₂ O	KW - 32 m ³
Kohlensaurer Kalk	56 % CAO	KM - 1015 kg, KG - 1051 kg, ÖKO - 973 kg

KM – Konventionell mit Mineraldüngereinsatz, KW – Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz, ÖKO – Ökologisch;

Die Grundnährstoffe N, P und K werden im Modell auf Entzug nachgedüngt. So entzieht eine Tonne WW mit einem Rohproteingehalt von 12 % 18 kg N, 8 kg P₂O₅ und 6 kg K₂O.

Tabelle 4: Nährstoffgehalte in Winterweizen (Korn, FM) [kg]

Ertrag	Quelle	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1 t Korn	KTBL, 2006	18	8	6
7 t – K (12 % RP)		126	56	36
5 t – ÖKO (12 % RP)		90	40	30

Untermauert werden die Ertragsangabe von 7 t und der Stickstoffeinsatz von 130 kg Rein-Stickstoff durch einen Düngerversuch der FS Hatzendorf. (VERSUCHSREFERAT STEIERMARK, 2007a)

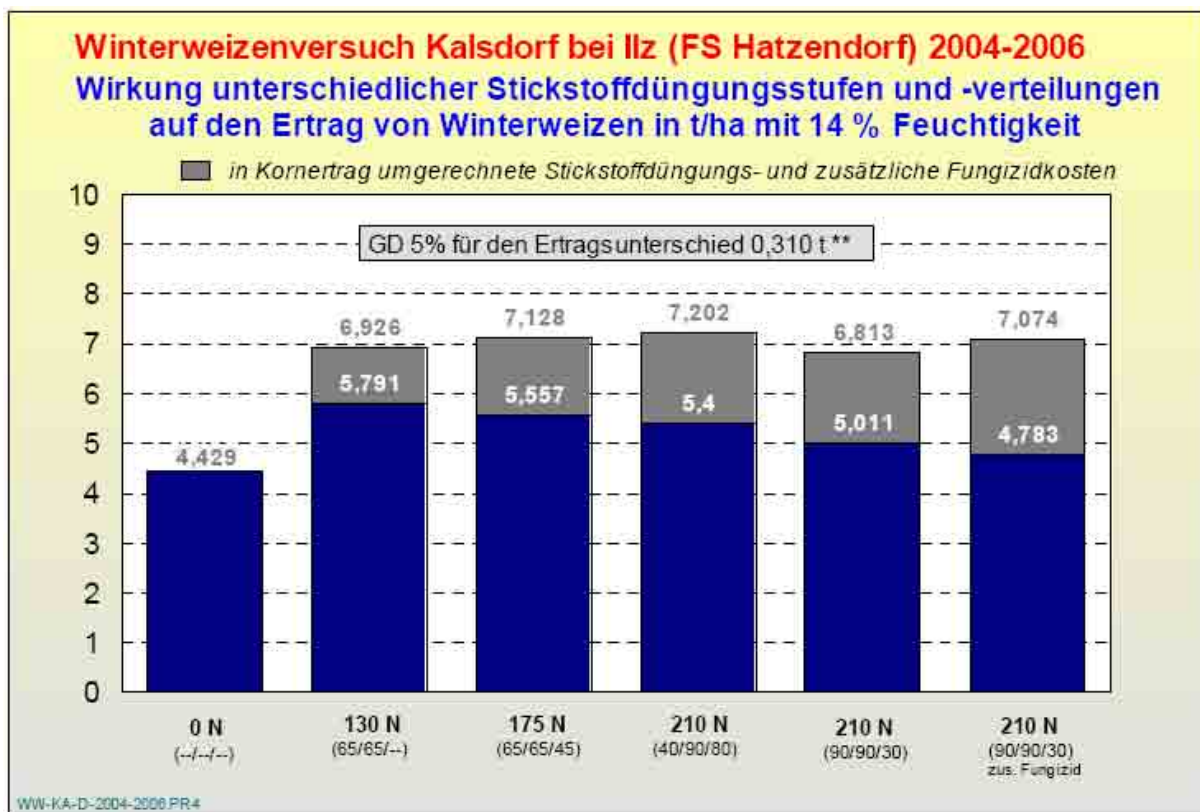


Abbildung 1: Wirkung unterschiedlicher N-Düngungsstufen auf den Ertrag von WW

Man erkennt in Abbildung 1 eine enorme Ertragssteigerung durch die Stickstoffdüngung. Die Stickstoffdüngung mit 130 kg N ist in diesem Versuch und auf diesem Standort die wirtschaftlichste Variante (VERSUCHSREFERAT STEIERMARK 2007a).

Die N-Düngung erfolgte in diesem mehrjährigen Versuch mit Kalkammonsalpeter. Der Proteingehalt in Variante 130 kg N betrug 12,5 %, mit höherer N-Düngung steigerte sich dieser auf 14 %.

Material und Methode

In der Literatur wird für einen Ertrag von 7 t Winterweizen ein Nährstoffbedarf von 175 kg N angegeben (KTBL 2006). Die fehlenden 45 kg werden durch Mineralisation von organischer Substanz und Einträge durch Niederschläge gedeckt.

Auf unterschiedliche Gehaltsklassen von P_2O_5 und K_2O kann auf Grund der Vielzahl von Varianten nicht eingegangen werden. Es wird deshalb in jeder Variante der direkte Entzug durch das Korn nachgedüngt. Auch im Ökolandbau wird dem Boden, dem Ziel einer langfristigen Bodenfruchtbarkeit entsprechend, Phosphor und Kali in Form von Patent-PK, einem im Ökolandbau zugelassenen Düngemittel, zugeführt.

Die Produktion der Mineraldünger ist mit einem erheblichen Energieeinsatz verbunden. Insbesondere die Ammoniaksynthese, welche die Grundlage aller gängigen Stickstoffdünger bildet, ist sehr energieintensiv. Allerdings wird laut KÜSTERS in Abhängigkeit von der Kultur zehn- bis fünfzehn mal mehr Energie durch den N-Düngereinsatz gebunden, als durch Produktion, Transport und Ausbringung des Düngers verbraucht wird.

Ammoniak (NH_3) ist heute der Grundbaustein für fast alle Mineraldünger, welche Stickstoff enthalten. Ammoniak wird aus Luftstickstoff (N_2) und Erdgas, das zu etwa 70 % als Prozessgas und zu 30 % Brennstoff verwendet wird, synthetisiert (BRENTROP et al. 2008).

Heutige moderne Produktionsanlagen sind in der Lage, Ammoniak mit einem energetischen Aufwand von nur etwa 35 MJ/kg NH_3 -N zu produzieren.

Der Energieaufwand zur Herstellung von Phosphor-Düngern ist geringer. In modernen Anlagen kann die Energiebilanz sogar positiv sein, in für 2003 durchschnittlichen Anlagen reicht der Energieverbrauch bis zu 5,2 MJ/kg P_2O_5 . Allerdings ist bei P-Düngern der Energieverbrauch für den Transport höher, weil die Lagerstätten (Russland, Nordafrika, USA) weiter entfernt sind, im Schnitt 3,9 MJ/kg P_2O_5 (vgl. BRENTROP et al. 2008).

Der Energieverbrauch in der Herstellung von K-Düngern ist niedrig, weil in der Regel keine energieverbrauchenden chemischen Reaktionen ablaufen. Das Rohmaterial Kalisalz wird abgebaut, vermahlen und auf den gewünschten Nährstoffgehalt

konzentriert. Je nach Anlagentechnologie liegt der Energiebedarf pro kg K₂O zwischen 6,6 und 2,5 MJ. (vgl. BRENTRUP et al. 2008).

Tabelle 5: Kumulierter Energieaufwand (KEA) zur Bereitstellung der eingesetzten Düngemittel

Düngemittel	KEA [MJ/t]	Literaturquelle
Kalkammonsalpeter (KAS-27)	11241	JENSSEN und KONGSHAUG 2003
NP (26-14)	10065	JENSSEN und KONGSHAUG 2003
PK (16-16)	1930	JENSSEN und KONGSHAUG 2003
Patent-PK (12-15)	1612	JENSSEN und KONGSHAUG 2003
Rindergülle – Lagerung [m ³]	9	DÖHLER 2008
Kohlensaurer Kalk (56 % CaO)	952	PATYK et al. 1997

Wirtschaftsdünger nehmen im Bereich der Düngemittel eine Sonderstellung. So müsste bei ihnen analog zu Handelsdüngern auch der indirekte Energieeinsatz für ihre Erzeugung berechnet werden. Die Bewertung von Betriebsmitteln in einer Ökobilanz wird jedoch unter anderem von dem Zweck bestimmt, für den sie produziert wurden. Die Tierhaltung dient eindeutig dem Ziel der Fleisch- und Milchgewinnung und nicht der Gülle- oder Mistproduktion. Der Fest- bzw. Flüssigmist ist demnach kein Koppelprodukt, sondern ein Nebenprodukt der Tierproduktion (vgl. BOCKISCH et al. 2000).

Daher wird im Modell bei Produktionssystem „Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz“ neben der Ausbringung nur die Lagerung der Gülle betrachtet, welche indirekte Energie für die Lagereinrichtungen und direkte Energie für das Aufrühren beinhaltet. Laut DÖHLER (2008) beträgt der Energieaufwand bei einer 600 m³ fassenden Grube mit Schlepperrührwerk 9 MJ/m³ Gülle.

4.4.2 Pflanzenschutzmittel

In der konventionellen Landwirtschaft werden Pflanzenschutzmittel eingesetzt um Erträge abzusichern. Daher muss im Rahmen dieser Arbeit auch der Energieaufwand für die Produktion der Pflanzenschutzmittel berücksichtigt werden. Diese umfasst die eigentliche Herstellung der Wirkstoffe, ihre Formulierung (Überführung in einfach und sicher handhabbare und auszubringende Präparate) und Verpackung.

Unterteilt werden Pflanzenschutzmittel (PSM) je nach Anwendungsbereich in verschiedene Wirkungsklassen. Die größte Rolle spielen dabei Herbizide, Fungizide

und Insektizide. Die so genannten Wachstumsregulatoren, wie z. B. Halmverkürzer, werden zu den Herbiziden gezählt.

Tabelle 6: Verwendete Pflanzenschutzmitteln (Varianten KM und KW)

PSM	Kategorie	Wirkstoff	Einsatzmenge
Stomp SC	Getreideherbizid	400 g/l Pendimethalin	2,5 l
Axial	Gräserherbizid	100 g/l Pinoxaden	0,9 l
Gladio	Fungizid	125 g/l Propioconazol, 125 g/l Tebuconazol, 375 g/l Fenpropidin	0,8 l
Moddus	Wachstumsregler	222 g/l Trinexapac-ethyl	0,4 l
RoundUp Turbo	Totalherbizid	680 g/kg Glyphosat	1,6 kg

Im beschriebenen Produktionsverfahren Winterweizen erfolgt der Herbizideinsatz im Herbst. Die Beeinträchtigung des Getreides durch Unkrautkonkurrenz beginnt bereits sehr früh. Aus diesem Grunde verdienen frühzeitig einsetzbare Bekämpfungsmaßnahmen bevorzugte Beachtung (DIEPENBROCK et al. 1999). Angewendet wird „Stomp SC“ mit dem Wirkstoff *Pendimethalin* gegen dikotyle Unkräuter und Axial mit dem Wirkstoff *Pinoxaden* gegen Ungräser.

Zeitige Lagerbildung gefährdet die Ertragsbildung aller Getreidearten. Neben Sortenwahl, Anbau- und Düngungstechnik kann die Anwendung von Wachstumsregulatoren während der Vegetationszeit den Längenwuchs der Halme reduzieren und damit eine Verbesserung der Standfestigkeit erreichen (DIEPENBROCK et al.1999).

Im Modell erfolgt in den Varianten KM und KW der Einsatz von „Moddus“ als Wachstumsregler, dessen Wirkstoff *Trinexapac* zu einer Hemmung der Biosynthese bestimmter Pflanzeneigener Gibberelline führt.

Die FS Hatzendorf führte in Kalsdorf bei Ilz Versuche mit Wachstumsregulatoren durch. „Moddus“ wurde bei Variante 3 in EC 32 mit 0,3 l/ha eingesetzt. Bei den 3 jährigen Versuchsergebnissen zeigt sich ein um 2,5 dt höherer Ertrag (67 dt), eine geringere Lagerung und Wuchshöhe, allerdings kein Einfluss auf die Qualitätseigenschaften im Vergleich zur unbehandelten (keine Wachstumsregler) Methode.

Die Getreidearten dienen einer großen Anzahl von z. T. hochgradig spezialisierten Krankheitserregern und Schädlingen als Wirtspflanzen. Die Wirkung effizienter

Maßnahmen zur Krankheitsbekämpfung beruht in erster Linie in der Sicherung und Aufrechterhaltung von Speichervorgängen während der Abreife. Eine Steigerung der Kornerträge solcher Bestände um 10 – 20 dt/ha wird vor allem über erhöhte 1000-Korngewichte erreicht (vgl. DIEPENBROCK et al. 1999).

Im Modell wird das Fungizid „Gladio“ in den Varianten KM und KW eingesetzt. Dieses ist eine Kombination aus drei Wirkstoffen mit systemischen Eigenschaften. In Winterweizen darf es ab Frühjahr bei Befallsbeginn bzw. bei Sichtbarwerden der ersten Symptome bis Beginn der Blüte (BBCH 61) eingesetzt werden. Es wirkt gegen Echten Mehltau, Blatt- und Spelzenbräune, Septoria-Blattdürre, Braunrost und Gelbrost. (vgl. DOW AGRO 2008)

Tabelle 7: Kumulierter Energieaufwand zur Herstellung von Pflanzenschutzmittel

Gruppe	KEA [MJ/kg]	Quelle
Herbizid	259 (MW 23 Herbizide)	SALING und KÖLSCH 2008
Fungizid	177 (MW 8 Fungizide)	SALING und KÖLSCH 2008
Wirkstoff Glyphosat	454	GREEN 1987

MW - Mittelwert

Der Energieaufwand der Herstellung der PSM enthält dem KEA entsprechend den Energieeinsatz in Form von Primärenergieträgern, deren Vorleistungen und aufgewendete Transportenergie.

SALING und KÖLSCH (2008) haben den Energieaufwand zur Herstellung unterschiedlicher PSM verglichen. Ihrer Ansicht nach weisen zwar einzelne Varianten den höchsten Energieverbrauch in der Produktion und Verwendung auf, dieser Nachteil wird aber durch die Einsparungen bei der Anwendung der Produkte kompensiert. So können aufwendigere Produkte in der Herstellung durch ihre Funktion, z. B. beim Gesamtertrag im weiteren Lebensweg, Vorteile in der Gesamtbewertung aufweisen.

4.4.3 Saatgut

Die für die Saatgutbereitstellung notwendigen Energiemengen sind nur schwierig in der Literatur aufzufinden. Es ist eine Unterscheidung zwischen konventionellen und ökologischen Landbau zu treffen, weil das Saatgut bei diesem aus anerkannt ökologischen Betrieben stammen muss und nicht mit chemisch-synthetischen Beizmitteln behandelt sein darf, wie es im konventionellen Landbau üblich ist.

Tabelle 8: Energieaufwand Saatgutproduktion

	Energieaufwand [MJ/kg]	Quelle
WW (konventionell)	2,86	RAMHARTER 1999
WW (ökologisch)	1,52	RAMHARTER 1999
Kleegrass (ökologisch)	21,0	BOCKISCH 2000

4.4.4 Maschineneinsatz

Dem Maschineneinsatz kommt in dieser Arbeit sehr große Bedeutung zu. Im Rahmen der Erstellung des bearbeiteten Modells mussten hier einige fundamentale Annahmen getroffen werden.

In Abhängigkeit des Tongehaltes weisen Böden einen unterschiedlichen Bodenbearbeitungswiderstand auf. In Tabelle 2 ist ersichtlich, wie man mit Hilfe des Tongehalts Böden in die Gruppen „leicht“, „mittel“ und „schwer“ unterteilen kann. Im Rahmen der Arbeit wurde diese Einteilung getroffen, deren Ziel es ist, den unterschiedlichen Kraftstoffverbrauch aufzuzeigen und energetisch zu bewerten. In der Regel erfordert ein größerer Bodenbearbeitungswiderstand eine höhere Motorleistung pro m Arbeitsbreite, was sich in einem größeren indirekten Energieeinsatz niederschlägt, weil leistungsfähigere Zugmaschinen normalerweise schwerer sind.

In der Praxis wird dem größeren Leistungsbedarf bei der Bearbeitung von schweren Böden (gleiche Bearbeitungstiefe vorausgesetzt) auf zwei Arten entgegengetreten: entweder die Arbeitsbreite wird verringert und die Leistung der Zugmaschine konstant gehalten, oder die Motorleistung der Zugmaschine wird erhöht und mit der gleichen Arbeitsbreite wie beim leichten Boden gearbeitet.

Um den Energieverbrauch der Bearbeitung unterschiedlicher Böden bewerten zu können, wird im Modell die Arbeitsbreite konstant gehalten und die Motorleistung der Zugmaschine dem Bodenbearbeitungswiderstand angepasst. Dazu kommen vereinfachend auf jedem Betrieb nur leichte, mittelschwere oder schwere Böden vor.

4.4.5 Kumulierter Energieaufwand von Landmaschinen

Für die Bilanzierung des Energieverbrauchs der Getreideproduktion spielt der Landmaschineneinsatz eine große Rolle. Neben dem bereits behandelten Primärenergieeinsatz in Form von Dieselkraftstoff spielt der Einsatz von indirekter Energie, die zur Herstellung und dem Betrieb der benötigten Maschinen nötig ist, eine wichtige Rolle.

Hier kommt wieder der Bereits in Kapitel 2 vorgestellte KEA zum Einsatz.

Zur Berechnung des kumulierten Energieaufwandes eines Betriebsmittels werden seine spezifischen Energiekennwerte, nachfolgend Energieäquivalente genannt, benötigt. Für die Berechnung des KEA_H wird in dieser Arbeit auf Werte von SCHOLZ (1997) zurückgegriffen.

Der spezifische Energieaufwand für die Unterhaltung setzt sich aus Energieaufwendungen für Wartung und Reparatur sowie für Unterbringung und Lagerung zusammen. Zur Wartung und Reparatur liegen Literaturangaben vor, die je nach Maschinengruppe zwischen 15 und 145 % des Herstellungsaufwandes KEA_H liegen. Zur Unterbringung von Maschinen wurden Richtwerte ermittelt, die in Abhängigkeit von der Maschinenart, der Nutzungsdauer und der Standfläche 3 bis 6 MJ/kg betragen (SCHOLZ 1997).

Für die Entsorgung landwirtschaftlicher Maschinen liegen laut Scholz keine speziellen Kennwerte vor, er schlägt einen spezifischen Energieaufwand KEA_E von 0,5 MJ/kg vor.

Tabelle 9: Spezifischer kumulierter Energieaufwand von Landmaschinen [MJ/kg]

Maschinentyp	KEA_H (Herstellung)	KEA_U (Unterhaltung)	KEA_E (Entsorgung)
Radtraktoren	65	27	0,5
Selbstfahrende Erntemaschinen	70	22	0,5
Gezogene Erntemaschinen	55	22	0,5
Ausbringgeräte	55	15	0,5
Anhänger	50	25	0,5
Bodenbearbeitungsgeräte	48	24	0,5

Quelle: SCHOLZ 1997

Um nun den energetischen Einfluss des Maschineneinsatzes für einen Hektar Getreidefläche oder eine Tonne Getreide bestimmen zu können, muss man die Nutzungsdauer der Maschinen kennen. Die Nutzungsdauer spielt vor allem bei betriebswirtschaftlichen Überlegungen eine Rolle, um beispielsweise die Maschinenkosten pro ha Einsatzfläche ausrechnen zu können.

Üblicherweise wird bei Maschinen mit eigenem Verbrennungsmotor (Zugmaschinen, Mähdrescher, ...) von einem Leistungsvorrat in Stunden (h) ausgegangen, nach deren Erreichen die Maschine kalkulatorisch bzw. energetisch amortisiert sein sollte und aus der Produktion ausscheidet.

Bei Bodenbearbeitungsmaschinen geht man laut KTBL (2006) von einem Leistungsvorrat in Hektar (ha) aus, ebenso bei Erntemaschinen, während bei Anhängern die transportierte Masse berücksichtigt wird. Bei Ausbringgeräten ist die ausgebrachte Menge entscheidend.

Weiters wird die Nutzungsdauer für alle Maschinenarten in Jahren angegeben. Sollte der vom Einsatzumfang abhängige Leistungsvorrat in einer gewissen Zeitspanne nicht erreicht werden (zu geringe Einsatzfläche bzw. Einsatzstunden), kommt die zeitabhängige Nutzungsdauer zum Einsatz. Die Literatur geht bei Zugmaschinen zum Beispiel von einer Nutzungsdauer von 12 Jahren aus. Da man aber in der Praxis eine weit längere Nutzung betrachten kann, und diese vor allem bei geringer Auslastung sinnvoll und betriebswirtschaftlich auch notwendig ist, wurde im Modell eine Adaption der Nutzungsdauer vorgenommen. Der vom KTBL vorgeschlagene Wert wurde mit dem Faktor 1,5 erhöht, eine Zugmaschine zum Beispiel ist bei geringer Auslastung statt 12 Jahren nun 18 Jahre im Einsatz, es sei denn sie erreicht

den Leistungsvorrat von 10.000 Einsatzstunden schon vor dem achtzehnten Nutzungsjahr.

Tabelle 10: Nutzungsdauer eingesetzter Maschinen (Auswahl), ND - Nutzungsdauer

Maschinentyp	ND – KTBL	Adaptierte ND	Leistungsvorrat
	[Jahre]	[Jahre]	[h], [ha], [t], [m ³]
Schlepper	12	18	10000 h
Mähdrescher	10	15	3000 h
Gez. Bodenbearbeitung	14	21	abh. AB [ha]
Kipper	15	22,5	abh. NL [t]
Feldspritze	10	15	abh. AB [ha]
Güllefass	10	15	abh. Vol. [m ³]

abh. abhängig von

Wenn der Leistungsvorrat der Maschine vor dem Erreichen der adaptierten Nutzungsdauer erschöpft ist, wird die Maschine ersetzt. Bei geringem Einsatzumfang wird die Maschine beim Erreichen der adaptierten Nutzungsdauer ersetzt. Es gilt daher wie in der Betriebswirtschaft, wo eine ökonomische Abschreibungsschwelle erreicht werden sollte, eine „energetische“ Abschreibungsschwelle zu erreichen. Bei Zugmaschinen (mit 10000 h Leistungsvorrat und 18 Jahren maximaler Nutzungsdauer) gilt es über 550 h Jahresauslastung zu erreichen. Dadurch ist die Zugmaschine „energetisch“ abgeschrieben, wenn sie verschrottet wird, und das Leistungspotential ist vollständig genutzt. Würde sie mit 18 Jahren und nur 3000 Betriebsstunden verschrottet, so wäre das energetische Leistungspotential nicht ausgeschöpft und der indirekte Energieeinsatz pro Betriebsstunde wäre wesentlich erhöht, was beim Beispiel Getreideproduktion einen negativen Einfluss auf die Energiebilanz pro ha Getreide hätte.

Kleinere Betriebe erreichen oft nur eine geringe Auslastung der Maschinen und Geräte. Dies ist betriebswirtschaftlich unvorteilhaft und hat auch negative Auswirkungen auf den indirekten Energieeinsatz pro Zeit- bzw. Flächeneinheit.

Im Modell wird diese Problematik veranschaulicht, indem verschiedene Betriebsgrößen betrachtet werden. Man kann unter den Betriebsgrößen auch „Auslastungsstufen“ für den eingesetzten Maschinenpark verstehen. Denn die Maschinen bleiben gleich, sie werden entweder auf 50, 100 oder 200 ha Getreidefläche pro Jahr eingesetzt. Also eine zu geringe, mittlere und sehr hohe Auslastung, bei welcher beinahe alle eingesetzten Maschinen ihre energetische

Material und Methode

Abschreibungsschwelle übertreffen. Angepasst werden im Rahmen der „Betriebsgröße“ nur die Anhänger und der Mähdrescher, alle anderen Maschinen bleiben gleich. So ist die übliche Bearbeitungsbreite bei den Bodenbearbeitungsgeräten 3 m (Grubber, Kurzscheibenegge und Sätechnik), welche auch in der Praxis für Betriebe bis über 200 ha eingesetzt werden kann. Die Anzahl der Zugmaschinen ist auf 2 begrenzt und deren Größe hängt vom Bodenbearbeitungswiderstand des Standortes ab.

5. Ergebnisse und Diskussion

5.1 Betrachtung Betriebsmittel

Die Bearbeitung der Ergebnisse ist zweiteilig gegliedert. Im ersten Teil des Kapitels erfolgt eine Einzelbetrachtung der unterschiedlichen Betriebsmittel Diesel, Saatgut, Düngemittel, Pflanzenschutzmittel und des Maschineneinsatzes. Im zweiten Teil erfolgt eine Gesamtbetrachtung, die sich mit einzelnen Varianten und den Einfluss der Faktoren Produktionssystem, Bodenbearbeitungssystem, Bodenschwere und Betriebsgröße befasst

5.1.1 Dieserverbrauch

Der Energieaufwand in Form von Kraftstoffen ist bei der Getreideproduktion einer der größten Energie-Inputfaktoren. Einflussfaktoren in dieser Arbeit sind neben dem Produktionssystem auch das Bodenbearbeitungssystem, die Bodenschwere und die Betriebsgröße, weil mit zunehmender Betriebsgröße die Feldentfernung steigt. Die Schlaggröße wurde in dieser Arbeit generell mit 2 ha festgesetzt.

Wie bereits im vorigen Kapitel beschrieben wurde zur Berechnung des Dieserverbrauches der KTBL-Feldarbeitsrechner angewendet.

Vor allem ökonomische Gründe führten in den letzten Jahren zur Einsparung von Kraftstoff im Ackerbau. Einsparungspotential findet sich vor allem im Bereich der Bodenbearbeitung, während Pflege und Mähdrusch nur geringes Einsparungspotential zulassen. So bestimmt das Bodenbearbeitungssystem, in Abhängigkeit vom Bodentyp, maßgeblich den Dieselbedarf bei der Produktion von Marktfrüchten.

5.1.1.1 Grundbodenbearbeitung und Aussaat

Der Dieselverbrauch der Grundbodenbearbeitung hängt stark vom Bodenbearbeitungssystem und dem Bearbeitungswiderstand des Bodens ab.

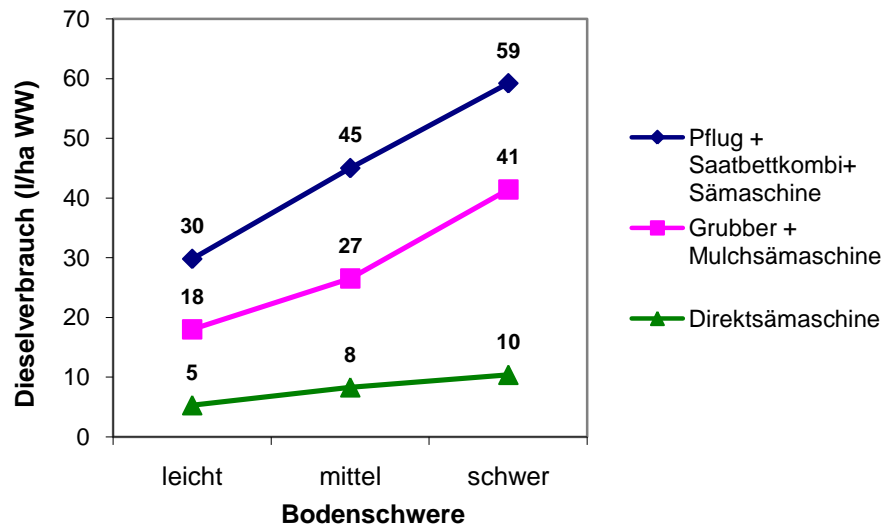


Abbildung 2: Dieselverbrauch [l/ha] der Grundbodenbearbeitung und Aussaat in Abhängigkeit von Bodenbearbeitungssystem und Bodenschwere.

In Abbildung 2 ist der Dieselverbrauch von Aussaat und vorausgehenden Bodenbearbeitungsmaßnahmen bei verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen dargestellt. Die Leistung der Zugmaschinen beträgt wie im Modell üblich 69 kW bei leichtem Boden, 102 kW für den mittelschweren und 120 kW für den schweren Standort.

Der geringe Dieselverbrauch bei Direktsaat beruht auf der geringen Bodenbewegung, je nach System werden nur Schlitze für das Saatgut mit Hilfe von Zinken- oder Scheibensäelementen geöffnet, welche mittels Druck- und Schließrollen geschlossen werden. Laut KÖLLER und LINKE (2001) bestehen die wesentlichen Anforderungen in einer geringen Verstopfungsanfälligkeit, ausreichendem Gewicht (Schardruck), gleichmäßiger Saattiefe und gutem Bodenkontakt des Saatgutes. Stroh darf auch bei weichen Böden nicht in die Saatrille gedrückt werden, weil dieses die Wasserversorgung des Saatkornes unterbinden kann. Nach ihren Aussagen sind kalkreiche Ton- und Lehmböden, gut drainierte Lehmböden und humose Sandböden besser für die Direktsaat geeignet. Mangelhaft drainierte und schlecht strukturierte

Tonböden, sand- und schluffreiche Böden mit sehr geringen Humusgehalten hingegen sind weniger gut geeignet.

In Abbildung 2 ist ersichtlich, dass die Direktsaat mit 5 – 10 Litern Diesel, je nach Bodenschwere, nur ein Sechstel des Kraftstoffes benötigt, welcher beim Bodenbearbeitungssystem mit Pflugeinsatz aufzuwenden ist. Allerdings ist die Direktsaat mit sehr hohem Management- und Wissensaufwand verbunden, und die Technik ist laut KÖLLER und LINKE (2001) noch nicht optimal für mitteleuropäische Verhältnisse angepasst.

Zwischen dem Dieselbedarf von Direktsaat- und Pflugsystem ordnet sich das konservierende Bodenbearbeitungssystem ein, welches umgangssprachlich als „Mulchsaat“ bezeichnet wird. Im Rahmen des Modells erfolgt eine Grundbodenbearbeitung mittels vierbalkigen Grubbers mit Doppelherzscharen. Die Weizensaat erfolgt mit einer Mulchsämaschine („Lemken Compact Solitär“), mittels schräg angeordneter Scheiben wird der Boden gelockert und vorhandene Unkräuter bekämpft.

Beim Bodenbearbeitungssystem mit Pflugeinsatz erfolgt die Grundbodenbearbeitung mit einem vierscharigen Anbaudrehpflug. Mittels 2-maliger Überfahrt mit einer Saatbettkombination („Lemken System Korund“) wird die Saatbettvorbereitung auf leichten und mittleren Standorten durchgeführt, die anschließende Saat erfolgt mit einer mechanischen Scheibensämaschine. Bei schweren Böden erfolgt eine kombinierte Saat mit Kreiselegge und aufgebauter Sämaschine. Der Dieselbedarf ist bei diesem Bodenbearbeitungssystem am höchsten einzustufen, allerdings ergeben sich Vorteile in der Unkrautbekämpfung, in einem schnelleren Aufwärmen der Böden im Frühjahr und durch geringeren Befallsdruck von Stängel- und Fußkrankheiten. Nachteilig sind die Erosionsgefahr und der hohe Arbeitszeitbedarf des Pflügens.

5.1.1.2 Pflege und Düngung

Der Dieserverbrauch für Pflege und Düngemaßnahmen ist im Vergleich zur Bodenbearbeitung verhältnismäßig gering.

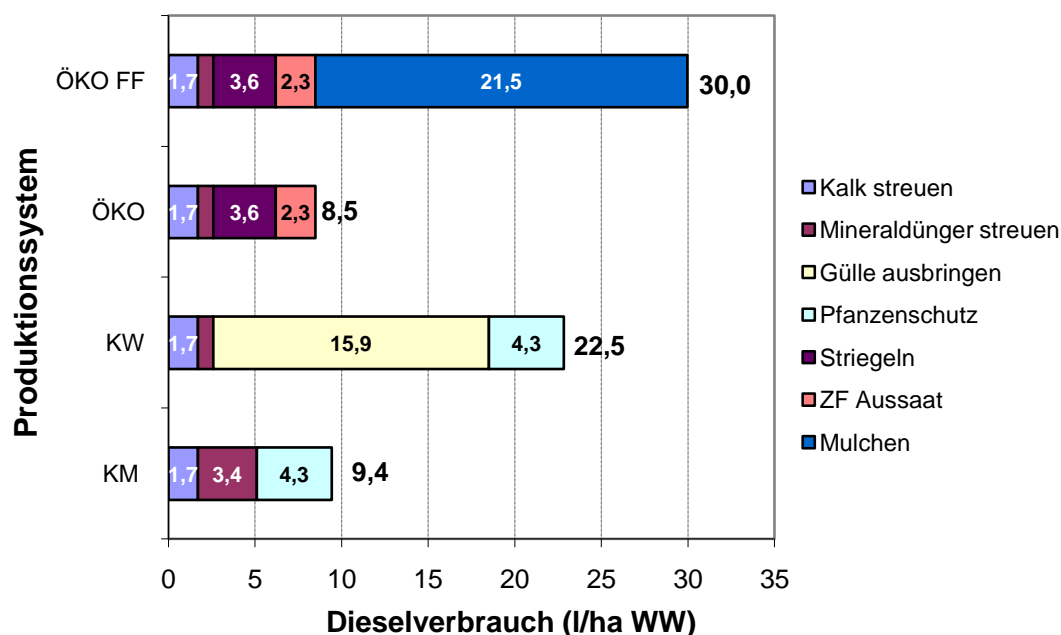


Abbildung 3: Dieserverbrauch [l/ha] für Pflege und Düngemaßnahmen

KM	Konventionell mit Mineraldüngereinsatz (Stickstoff über KAS)
KW	Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz (Rindergülle)
ÖKO FF	Ökologisch mit Fruchtfolgebetrachtung (40% Klee gras, gemulcht)
ÖKO	Ökologisch ohne Fruchtfolgebetrachtung

Aufgrund des Verzichts von Pflanzenschutzmittel fällt in der ökologischen Getreideproduktion der Einsatz der Feldspritze weg, was den Dieselbedarf senkt. Jede Ausfahrt mit der Feldspritze schlägt mit ca. 1,4 l Diesel/ha zu Buche, während ein Dünevorgang mit Mineraldünger ca. 1 l Diesel/ha verbraucht.

Die Ausbringung von Kohlensäuren Kalk verbraucht 1,7 l Kraftstoff pro Jahr, sie erfolgt nur alle 3 Jahre, wodurch dieser niedrige Wert pro Jahr zustande kommt.

Die Wirtschaftsdüngerausbringung verbraucht auf Grund des großen Volumens der Dünger relativ viel Kraftstoff. In der Variante „KW“ werden im Rahmen der Weizenproduktion 32 m³ Rindergülle auf zwei Gaben verteilt mit einer Feldentfernung von 3 km (200 ha Betrieb) ausgebracht. Die Fassgröße beträgt 10 m³, die

Ausbringung erfolgt mit einem Schleppschauchverteiler mit 12 m Breite. Insgesamt beträgt der Dieserverbrauch hierzu 16 l/ha Winterweizen.

Im ökologischen Landbau erfolgt an Stelle des Einsatzes von Herbiziden eine Überfahrt mit einem Striegel, die je nach Bodenschwere mit durchschnittlich 3,6 l Diesel/ha zu Buche schlägt. Weiters wird die Aussaat von Klee gras, die im Rahmen der Fruchtfolge im ökologischen Getreidebau erfolgt, in der Arbeit zu den Düngemaßnahmen gerechnet. Dem Klee gras kommt die Aufgabe der Stickstoff-Fixierung mit Hilfe von Rhizobien zu, und daher wird der Anbau des zweijährigen Klee grasses den 3 Hauptkulturen angerechnet, was bedeutet, dass in die Bilanz ein Drittel der durchschnittlich 10,8 Liter Diesel für die Klee grassaat einfließen – also 3,6 l pro ha Winterweizen. Dies ist der einzige Arbeitsgang im Rahmen von „Düngung und Pflege“, bei dem die Bodenschwere einen Einfluss hat, der Dieserverbrauch bewegt sich zwischen 2,6 und 4,3 l Dieselkraftstoff pro Hektar Winterweizen.

In die Variante „ÖKO FF“ fällt zusätzlich das Mulchen des zweijährigen Klee grasses an, welches im Rahmen der Fruchtfolge 7 mal erfolgt und auf die drei Hauptkulturen aufgeteilt mit jeweils 21,5 l Dieselkraftstoff/ha in die Bilanz aufgenommen werden muss.

5.1.1.3 Ernte

Einflussfaktoren auf den Dieserverbrauch beim Mähdrusch von Winterweizen sind der Kornertrag, das Korn/Stroh-Verhältnis, der Feuchtigkeitsgehalt von Korn und Stroh, die Schnitthöhe, eventuelles Lager, die Befahrbarkeit des Bodens (erhöhter Rollwiderstand bei Einsinken der Fahrzeuge) und die Mähdreschereinstellung. Ein wesentlicher Einflussfaktor ist die Behandlung des Strohs, Häckseln ist sehr kraftaufwendig und erfordert einen optimal gewarteten Häcksler. Besonders bei Mulch- und Direktsaatsystemen ist auf die optimale Strohverteilung zu achten, weil ungleichmäßige Strohverteilung bei den folgenden Arbeitsgängen und auch bei der Entwicklung der Folgekultur zu großen Problemen führen kann (vgl. KÖLLER und LINKE, 2001).

Weiters ist die Feld-Hof-Entfernung im Rahmen des Korntransports von Bedeutung.

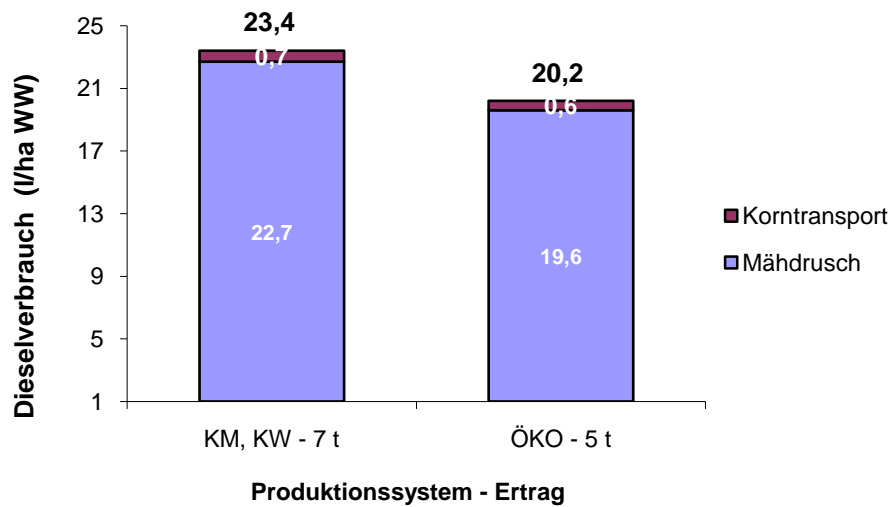


Abbildung 4: Dieserverbrauch [l/ha] für die Ernte von WW bei einer Feldentfernung von 2 Kilometern; Konventionelle Produktionssysteme (KM, KW) 7 t/ha, Ökologisch (ÖKO) 5 t/ha

KM	Konventionell mit Mineraldüngereinsatz (Stickstoff über KAS)
KW	Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz (Rindergülle)
ÖKO FF	Ökologisch mit Fruchtfolgebetrachtung (40% Klee gras, gemulcht)
ÖKO	Ökologisch ohne Fruchtfolgebetrachtung

Wie man aus der Abbildung ablesen kann, bewegt sich der Dieserverbrauch bei einem Ertrag von 7 t um 23 l/ha, während er bei 5 t ca. 20 l ausmacht.

Der Abtransport des Korns spielt bei geringen Feld-Hof Entfernungen energetisch eine eher untergeordnete Rolle (0,3 bis 0,9 l/ha bei 1-3 km Feld-Hof-Entfernung). In der Praxis zeigt sich bei steigenden Feldgrößen der Trend zur Einführung von Überladewägen, um die Leistung der Mähdrescher zu erhöhen und Bodenschäden zu vermeiden. Im Verbrauch inkludiert ist das Häckseln des Strohs, welches ca. 2 l Diesel/ha beim ökologischen und 3 l Diesel/ha beim konventionellen Ertragsniveau ausmacht (eigene Schätzung – großer Einfluss von Feuchtigkeit und Reifezustand des Strohs).

5.1.1.4 Stoppelbearbeitung

Die Stoppelbearbeitung dient in erste Linie der Reduzierung des Samenbestandes des Bodens (besonders Ausfallgetreide) als auch der Verringerung der Evapotranspiration, um Bodenwasser für Folgefrüchte zu sparen. In der Praxis sind zwei Bearbeitungsgänge üblich, wobei der erste flach erfolgen sollte, während der

zweite Bearbeitungsgang dann mitteltief erfolgt, um die Ernterückstände im Boden zu verteilen.

Wie in Abbildung 5 ersichtlich ist spielt die Bodenschwere bei der Stoppelbearbeitung eine große Rolle. Es erfolgt eine flache Überfahrt (ca. 5-8 cm) mit einer Kurzscheibenegge direkt nach dem Drusch, während der zweite Bearbeitungsgang nach dem Auflaufen des Ausfallgetreides mit einem Grubber (Amazone Cenius Spezial) tiefer erfolgt (ca. 10-15 cm). Der Dieselbedarf für die Stoppelbearbeitung beträgt laut Dieselbedarfsrechner zwischen 12,5 und 30 Liter/ha in Abhängigkeit von der Bodenschwere

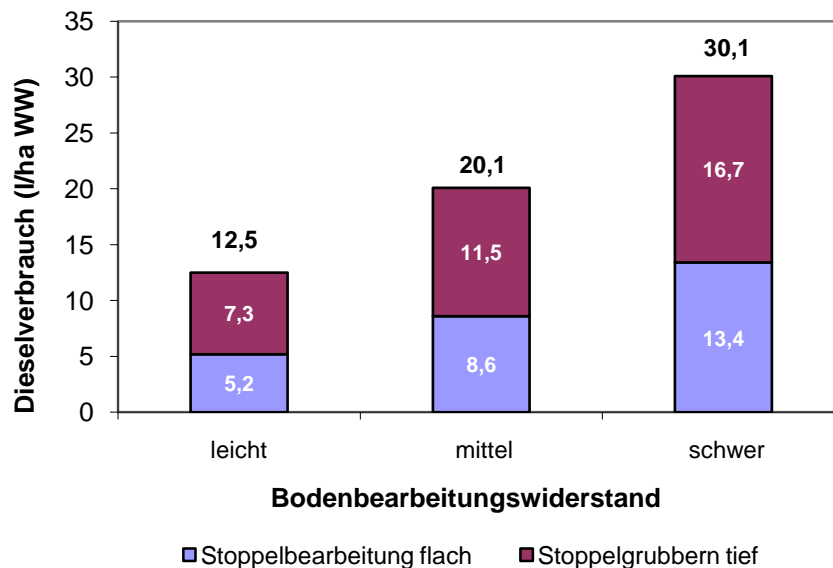


Abbildung 5: Dieserverbrauch Stoppelbearbeitung [l/ha] bei zweimaliger Überfahrt bei verschiedenen Bodenbearbeitungswiderständen

5.1.1.5 Gesamtdieselbedarf in Abhängigkeit vom Produktionssystem

Der Gesamtdieselbedarf der verschiedenen Produktionssysteme setzt sich aus den Verbräuchen von Grundbodenbearbeitung und Aussaat, Pflege und Dünge, Ernte und Stoppelbearbeitung zusammen.

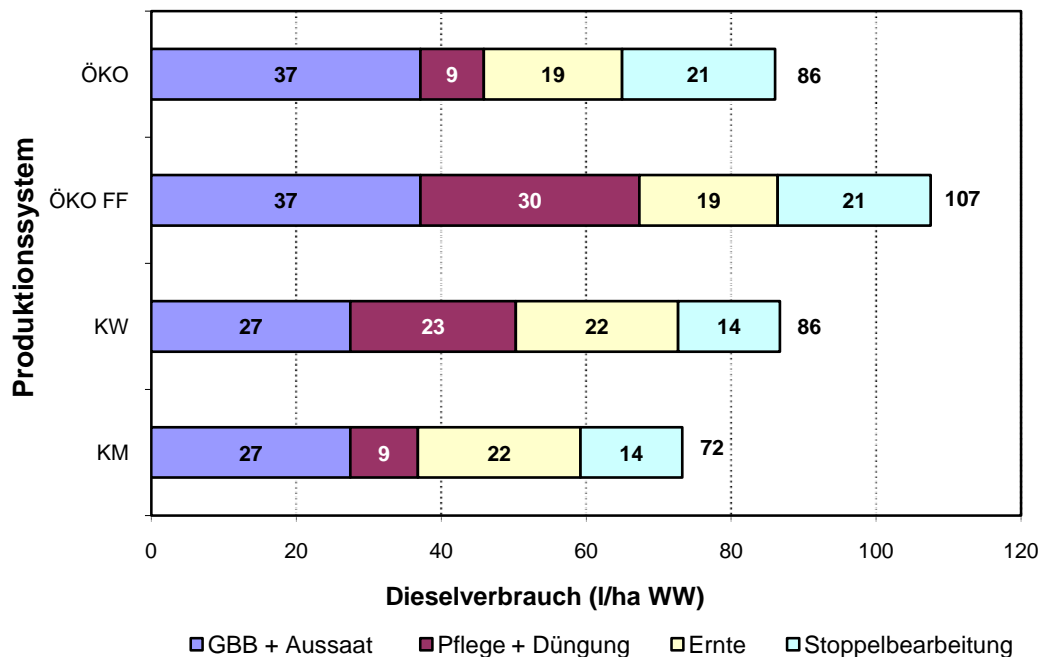


Abbildung 6: Vergleich Gesamtdieserverbrauch [l/ha WW] bei den betrachteten Produktionssystemen; GBB = Grundbodenbearbeitung

- KM** Konventionell mit Mineraldüngereinsatz (Stickstoff über KAS)
- KW** Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz (Rindergülle)
- ÖKO FF** Ökologisch mit Fruchtfolgebetrachtung (40% Klee gras, gemulcht)
- ÖKO** Ökologisch ohne Fruchtfolgebetrachtung

In Abbildung 6 ist der Mittelwert für den Dieserverbrauch der untersuchten Produktionssysteme aufgezeigt. Auch der Bodenbearbeitungswiderstand floss in den Mittelwert ein, wodurch die Werte einem mittelschweren Boden entsprechen. Der Dieserverbrauch für „Bodenbearbeitung und Aussaat“ und „Stoppelbearbeitung“ ist bei den ökologischen Varianten höher, weil aufgrund der Unkrautproblematik keine Direktsaat-Variante in die Berechnung einfließt. „ÖKO FF“ beinhaltet wieder zweimaliges Mulchen der stickstofffixierenden Vorfrucht Klee gras im Rahmen der Fruchtfolge.

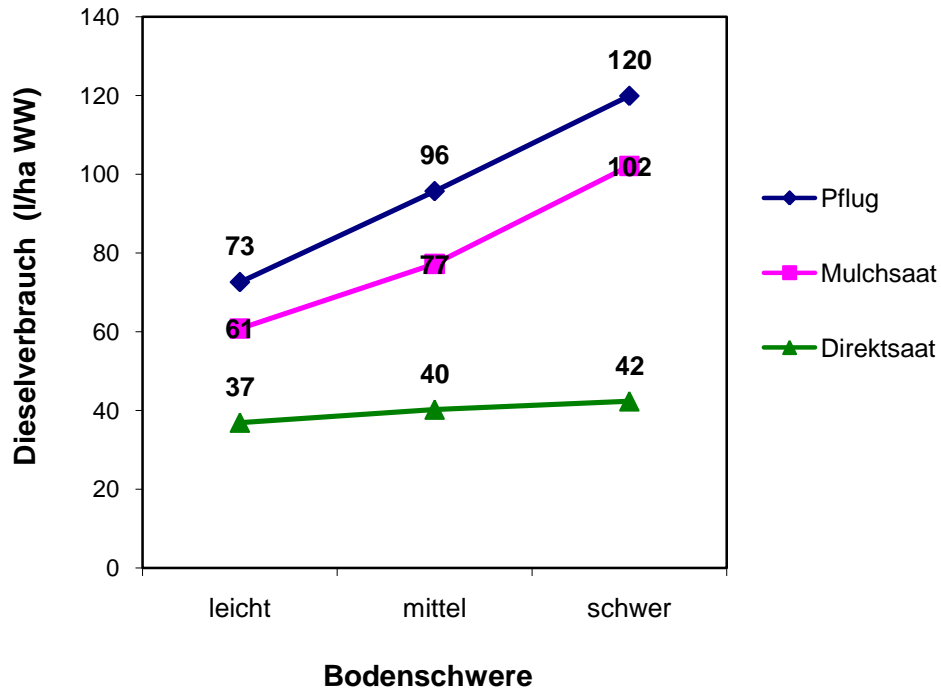


Abbildung 7: Dieserverbrauch [l/ha WW] in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem und Bodenbearbeitungswiderstand bei einer Getreidefläche von 50 ha/Betrieb

Noch größeren Einfluss als das Produktionssystem hat allerdings das Bodenbearbeitungssystem auf den Dieserverbrauch. Mit steigendem Bodenbearbeitungswiderstand steigt der Dieserverbrauch sehr stark an, wie in Abbildung 7 ersichtlich ist. Beträgt die Einsparung beim Umstieg von Pflugeinsatz auf Direktsaat auf leichten Böden schon 50 %, so beträgt sie auf schweren Standorten 65 % des eingesetzten Dieselkraftstoffes. Auch ist bei Direktsaat der verhältnismäßig geringe Einfluss der Bodenschwere auffällig. Dieser kann aber mit der geringen Bearbeitungsintensität erklärt werden, weil ja nur Schlitze in den unbearbeiteten Boden geritzt werden, in welche das Saatgut abgelegt wird.

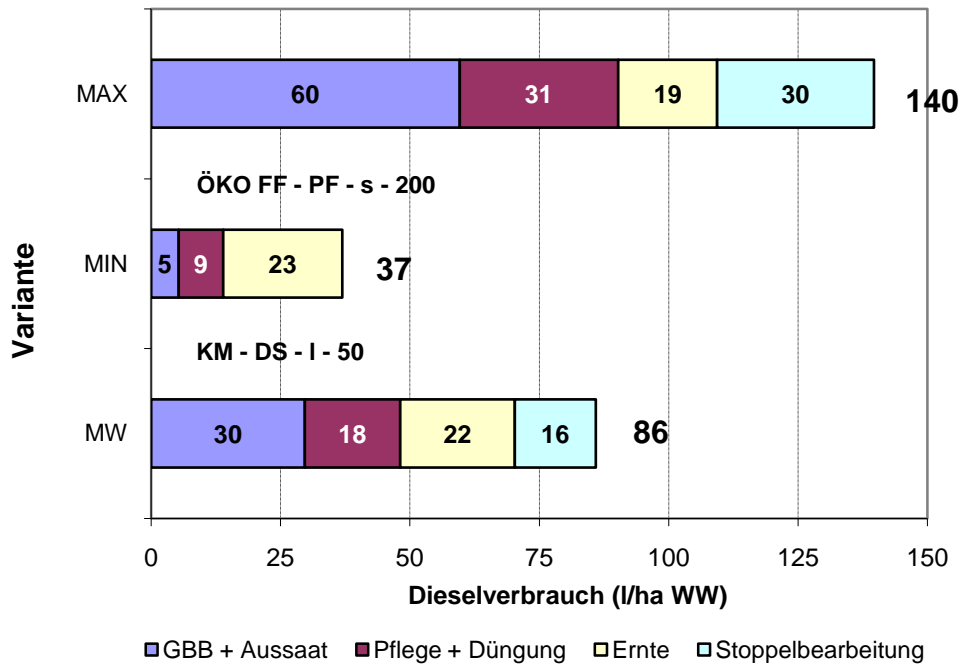


Abbildung 8: Durchschnittlicher Dieselerverbrauch [l/ha] über alle Varianten, Variante mit geringstem (MIN) und höchstem (MAX) Kraftstoffverbrauch im Modell

Der durchschnittliche Dieselerverbrauch aller untersuchten Varianten liegt bei 85 l/ha Winterweizen. Dieser Wert scheint praxisnah zu sein. So nimmt das BMLFW bei der Rückerstattung der Mineralölsteuer mittels pauschaler Abrechnungsvariante (kein Nachweis des tatsächlichen Verbrauchs) einen Dieselerverbrauch für Getreide von 80 l/ha an.

Der maximale Dieselerverbrauch kommt mit 150 Liter in der Variante „Ökologisch mit Fruchtfolge – Pflug – schwer – 200 ha“ vor. Hier muss der Einfluss der Mulchvorgänge im Rahmen der Fruchtfolge berücksichtigt werden, welche 22 l/ha WW beanspruchen. 90 Liter Dieseldieselkraftstoff beansprucht in dieser Variante allein die Bodenbearbeitung, wobei diese im Ökolandbau eine wichtige Rolle in der Unkrautbekämpfung übernehmen muss.

Mit nur 37 l/ha ist Variante „Konventionell mit Mineraldüngereinsatz – Direktsaat – leicht – 50 ha“ um den Faktor 4 sparsamer. Hierbei wirken zusätzlich zur Direktsaat der hohe Mineraldüngereinsatz (geringer Dieselerverbrauch bei der Ausbringung im Vergleich zu Wirtschaftsdüngern) und der geringe Bodenbearbeitungswiderstand verbrauchsreduzierend.

5.1.2 Saatgut

Der Energiebedarf für die Saatgutbereitstellung nimmt im Gegensatz zum Dieselkraftstoff eine geringe Rolle ein. Je nach Variante fallen zwischen 2 und 4 % des Energieinputs für einen Hektar Winterweizen auf die Saatgutbereitstellung. Bei der ökologischen Variante ohne Betrachtung der Fruchtfolge beträgt der Anteil bis max. 5 % des Energieinputs. Der Mittelwert über alle Varianten beträgt 2,8 %.

Die Saatstärke beträgt 300 Körner/m², was bei einem TKG von 38 g 115 kg Saatgut pro ha ergibt. Daraus ergibt sich für die konventionellen Varianten ein Energieinput von 329 MJ/ha, bei den ökologischen 174 MJ/ha Winterweizen. Beim ökologischen Landbau fällt noch anteilig der Klee grassamen (Fruchtfolge) mit 105 MJ/ha Winterweizen an.

5.1.3 Düngemittel

Bei den Varianten mit dem Produktionssystem „konventionell“ machen die Düngemittel den größten Energieinput aus. Daher muss ihnen besondere Bedeutung zugemessen werden.

Unter den Pflanzennährstoffen hat Stickstoff eindeutig die größte Bedeutung. Bei zu geringer Versorgung reagieren die meisten Kulturpflanzen mit erheblichen Mindererträgen, andererseits lassen sich die Erträge durch die Stickstoffdüngung wesentlich steigern.

Im Rahmen des Modells werden drei Arten der Stickstoffdüngung im Bezug auf ihren Energiebedarf verglichen: Stickstoffhaltige Mineraldünger (KM), stickstoffhaltige Wirtschaftsdünger (KW) und Stickstofffixierung mittels Leguminosen (ÖKO); Es wird eine Versorgung mit 130 kg N angestrebt.

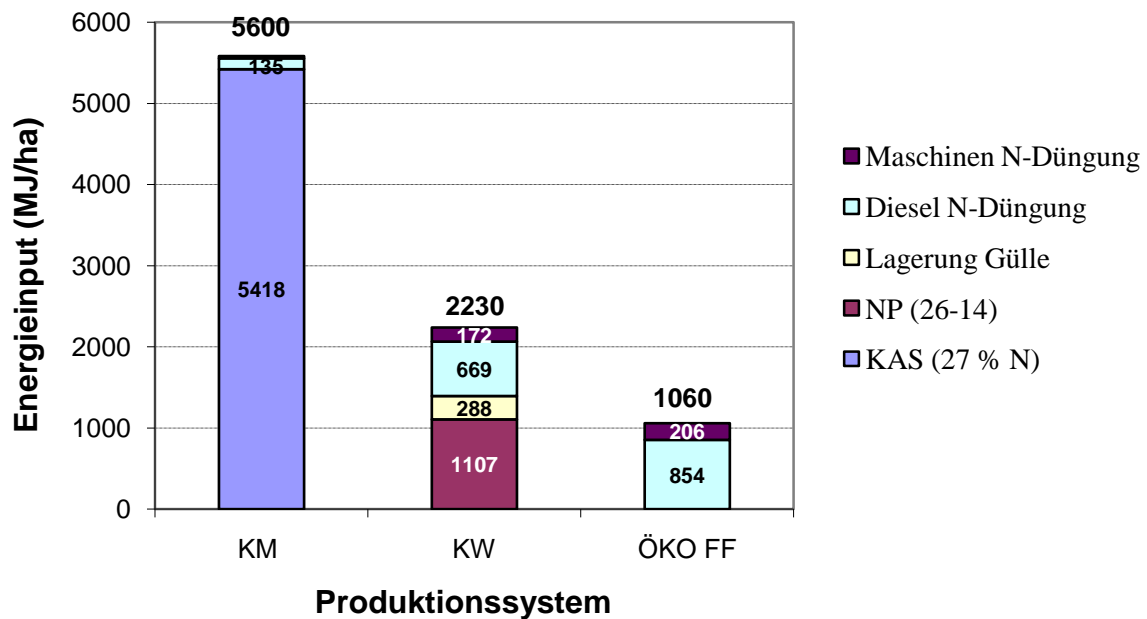


Abbildung 9: Energieaufwand [MJ/ha] für N-Düngung in Abhängigkeit des Produktionssystems

KM	Konventionell mit Mineraldüngereinsatz (Stickstoff über KAS)
KW	Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz (Rindergülle)
ÖKO FF	Ökologisch mit Fruchtfolgebetrachtung (40% Klee gras, gemulcht)
ÖKO	Ökologisch ohne Fruchtfolgebetrachtung

Der Energieinput im Rahmen der Stickstoffversorgung hängt in erster Linie vom eingesetzten Düngemittel ab. Mineralische Düngemittel haben einen hohen Energiebedarf in der Herstellung und machen damit in konventionellen Produktionssystemen den größten Inputfaktor aus. Dies sagt aber noch nichts über die Energieeffizienz aus, da mit dem N-Einsatz auch die Energiebindung im Ernteertrag steigt (vgl. HÜLSBERGEN, 2008).

Im Produktionssystem „KW“ wird ein großer Teil des Mineraldüngers durch Wirtschaftsdünger (Rindergülle) ersetzt. Dadurch kann im Vergleich zu „KM“ der Energieinput im Rahmen der Stickstoffdüngung um über 60 % reduziert werden. Wie man in Abbildung 11 erkennen kann, steigt der Energieinput in Form von Kraftstoff und Maschinen an. Dies kann man auf das vergleichsweise große Volumen der Rindergülle zurückführen, welche ja zu über 90 % aus Wasser besteht. DÖHLER (2008) hat die Düngungsstrategien Rindergülle, Klärschlamm, Kompost und Mineraldünger verglichen. Er kommt zu folgendem Schluss: Da bei Gülle die größten Mineraldüngereinsparungen möglich sind, ist dieses Verfahren aus energetischer Sicht am günstigsten (DÖHLER, 2008). Interessanterweise kommt er weiters zur

Erkenntnis, dass die Düngungsstrategie mit Komposteinsatz auf Grund des energieaufwendigen Kompostierungsverfahrens die Ungünstigste darstellt.

Bei der ökologischen Variante erfolgt die Stickstoffversorgung mittels der Fixierung von Luftstickstoff durch Leguminosen. Bei Berücksichtigung des Aufwands für Pflegearbeiten bei dieser Kultur (Mulchen) ergibt sich ein Energieinput von 1050 MJ/ha Winterweizen.

HÜLSBERGEN stellt anhand eines Dauerfeldversuches den Zusammenhang zwischen Mineral-N-Einsatz und Energieeffizienz dar. Im Versuch wurde WW nach Kartoffeln in einer fünfgliedrigen Getreide-Hackfrucht-Fruchtfolge angebaut. Mit steigendem Mineral-N-Einsatz erhöhte sich der Netto-Energieoutput bis zu einem Maximum, welches bei 185 kg N/ha erzielt wurde.

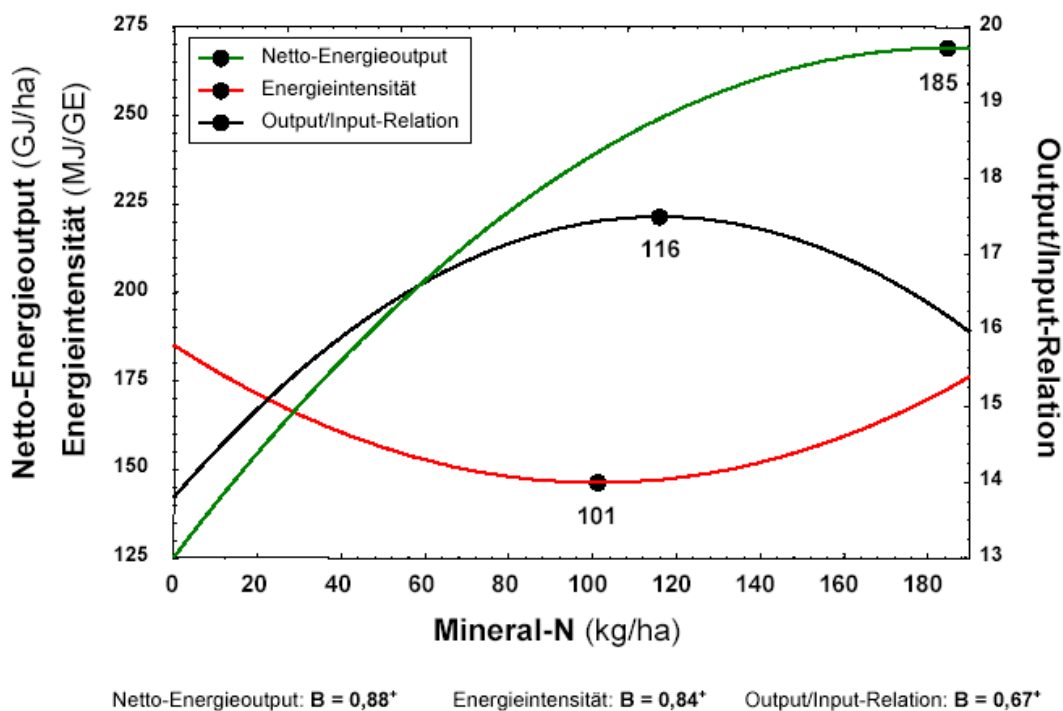


Abbildung 10: Energieeffizienz von WW (Haupt- und Nebenprodukt) in Abhängigkeit vom Mineral-N-Einsatz (nach HÜLSBERGEN et al. 2003)

Beim Zielkriterium Energieintensität (Energieinput je Produkteinheit) führten unter den Versuchsbedingungen 101 kg N/ha zum Minimum (146 MJ/Getreideeinheit); zur Maximierung des Output/Input Verhältnisses von 17,5 waren im Dauerfeldversuch 116 kg N/ha erforderlich.

Die positive Wirkung von Wirtschaftsdüngern auf den Energieaufwand/ha WW ist in Abbildung 11 ersichtlich. Der Einsatz von Gülle im System KW macht dieses zum energieeffizientesten Produktionssystem in dieser Arbeit. Ein wesentlicher Vorteil von Wirtschaftsdüngern ist, dass diese im Rahmen der Energiebilanzierung als Nebenprodukte angesehen werden und daher keine Energie für deren Herstellung eingerechnet wird. Allerdings wurde wie schon im Kapitel „4.4.1 Düngemittel“ erwähnt die Lagerung (9 MJ/m^3) und klarerweise die Aufbringung berücksichtigt.

Laut HÜLSBERGEN (2008) erhöht Wirtschaftsdüngereinsatz die Netto-Energiebindung in Dauerfeldversuchen, welche sich in einem höheren Biomasseertrag im Vergleich zur rein mineralisch gedüngten Flächen äußert.

Die energetische Bewertung von N-Fixierungsmaßnahmen im Rahmen der Fruchtfolge ist abhängig von Annahmen. Logischerweise sind Arbeitsverfahren, die der N-Fixierung dienen (Aussaat von Klee gras, Mulchen von Klee gras) gleichzusetzen mit Düngungsmaßnahmen und daher den Hauptkulturen anteilmäßig anzurechnen. Berücksichtigt wird (siehe Abbildung 11) sowohl der direkte (Dieselkraftstoff) als auch der indirekte (KEA Mulcher und Zugmaschine) Energieinput für diese Maßnahmen im Rahmen der N-Fixierung.

Hier besteht in der Praxis Verbesserungspotential. Das Mulchen des Klee grasses ist energieaufwendig (hoher Treibstoffverbrauch) und durch den geringen Leistungsvorrat eines Mulchers (laut KTBL (2006) 1200 ha für 3 m Gerät – viele bewegliche Teile, hoher Verschleiß) ist der Anteil an indirekter Energie verhältnismäßig hoch (85 MJ/ha gemulchte Fläche für Mulcher + 30 MJ/ha für Schlepper). Außerdem verringert die Mulchauflage die N-Fixierung des Klee grasses.

Eine praxistaugliche Lösung für diese Problematik wäre die Ernte und Vergasung des Klee grasses in einer Biogasanlage. Laut eigenen Berechnungen könnte ein hoher Energiegewinn lukriert werden und in der Folge würde für die Hauptkulturen ein gut dosierbares Düngemittel in Form von Gärsubstrat zur Verfügung stehen. Natürlich muss die Entfernung der Biogasanlage im wirtschaftlich und energetisch sinnvollen Rahmen bleiben. Wenn man diesen Gedanken fortführt, könnte man das anfallende Biogas mittels Gasreinigung zu Biomethan veredeln, und damit in Zukunft landwirtschaftliche Maschinen betreiben, heizen – sogar mineralische Stickstoffdünger herstellen ... - die Landwirtschaft könnte wieder zu einem geschlossenen Energiekreislauf zurückfinden.

Phosphor und Kali spielen im Bezug auf den kumulierten Energieaufwand eine geringere Rolle. Im Rahmen der Modellfestsetzung wurde beschlossen, Phosphor und Kali auch in den ökologischen Varianten auf Entzug zu düngen. Hier muss man zwischen viehlosen und viehhaltenden Betrieben unterscheiden, wobei auf Marktfruchtbetrieben die Viehhaltung eine untergeordnete Rolle einnimmt. Solange Stoffkreisläufe nicht vollständig geschlossen sind, ist ein Entzug von Nährstoffen, besonders auf von Haus aus schlecht versorgten Standorten der Stufe A und B, problematisch. Außerdem ist Phosphor für die Stickstofffixierung mittels Rhizobien wichtig.

Wie bereits im vorigen Kapitel erwähnt erfolgt die Grunddüngung in den ökologischen Varianten mit dem im ökologischen Landbau zugelassenen Patent-PK. Beim Produktionssystem KW erfolgt die Grunddüngung vorrangig über den eingesetzten Wirtschaftsdünger, Kali wird vollständig abgedeckt, während fehlende Anteile an N und P mit mineralischen Düngemitteln ergänzt werden.

Im Modell KM werden die Hauptnährstoffe N, P und K über Mineraldünger auf Entzug nachgedüngt.

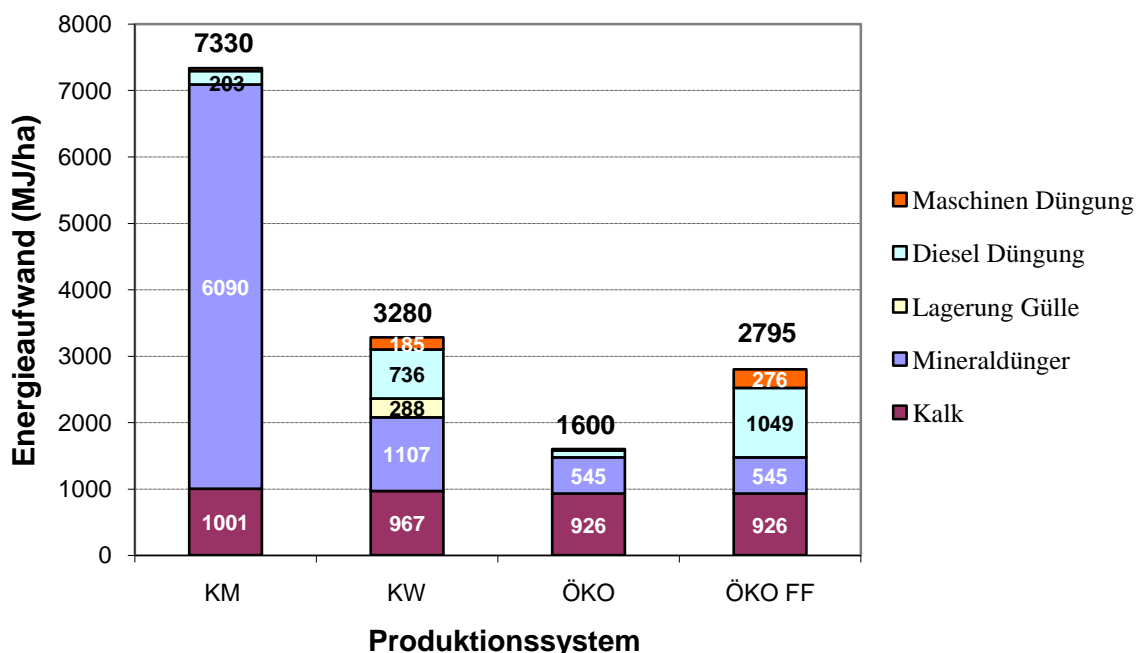


Abbildung 11: Kumulierter Energieaufwand [MJ/ha] der gesamten Düngung in Abhängigkeit vom Produktionssystem

- KM** Konventionell mit Mineraldüngereinsatz (Stickstoff über KAS)
- KW** Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz (Rindergülle)
- ÖKO FF** Ökologisch mit Fruchtfolgebetrachtung (40% Klee gras, gemulcht)
- ÖKO** Ökologisch ohne Fruchtfolgebetrachtung

Wie in Abbildung 11 ersichtlich erstreckt sich der Energieaufwand für die Düngung von 1600 bis 7300 MJ/ha, wobei hier die Art der Stickstoffversorgung sehr großen Einfluss hat. Nicht zu vernachlässigen ist auch die Kalkung, die mit ungefähr 1000 MJ/ha zu Buche schlägt, wobei hier 1000 kg Kohlensaurer Kalk mit 56 % CaO ausgebracht werden.

5.1.4 Pflanzenschutz

Im Vergleich zur Düngung spielt der Energieaufwand im Rahmen des Pflanzenschutzes eine wesentlich geringere Rolle, abhängig vom Bodenbearbeitungssystem wird höchstens soviel Energie zugeführt wie bei der Erhaltungskalkung.

Im Rahmen des Modells werden Pflanzenschutzmitteln nur in den konventionellen Varianten (KM, KW) eingesetzt, in den ökologischen Varianten werden keine chemischen Pflanzenschutzmittel eingesetzt. Angewendet wird, wie bereits in Kapitel 4.3.2 beschrieben, eine Herbizidkombination, ein Fungizid und ein Halmverkürzer. Bei der Variante mit Direktsaat kommt zusätzlich ein Totalherbizid vor der Aussaat zum Einsatz.

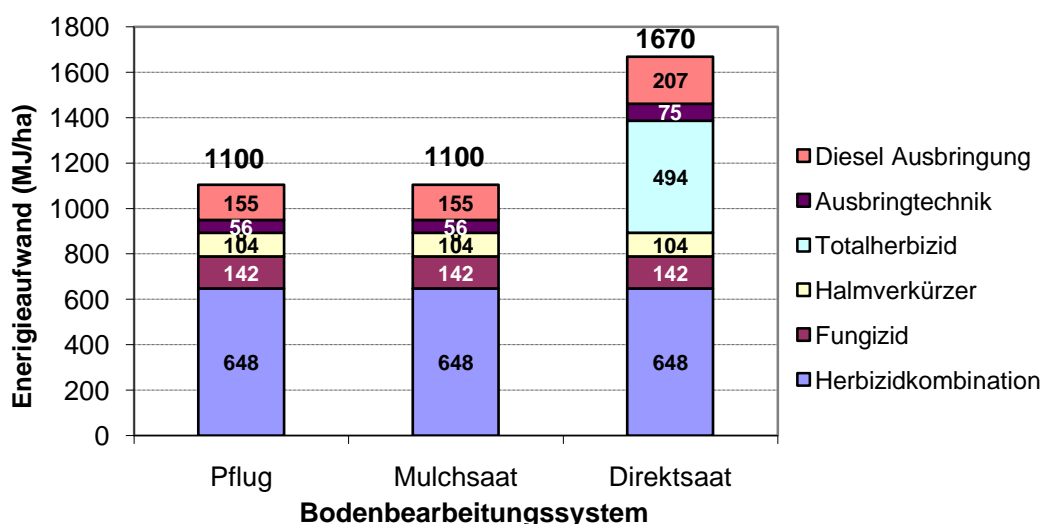


Abbildung 12: Energieaufwand von Pflanzenschutzmaßnahmen [MJ/ha] bei den Produktionssystemen Konventionell mit Mineraldüngereinsatz „KM“ und Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz „KW“

Auffallend ist der hohe Anteil der Herbizide am kumulierten Energieaufwand der gesamten Pflanzenschutzmaßnahmen. So macht die Herstellung der Unkrautbekämpfungsmittel bei Pflug und Mulchsaat im konventionellen System beinahe 60 %, bei Direktsaat sogar beinahe 70 % des Energieaufwandes für den Pflanzenschutz in KM und KW aus. Der direkte Energieaufwand für die Ausbringung (Diesel) macht zwischen 12 und 14 % aus, der Rest entfällt auf das eingesetzte Fungizid (12 bzw. 8 %), den Halmverkürzer (9 % bzw. 6 %) und die indirekte Energie für die Ausbringtechnik (Zugmaschine und Feldspritze).

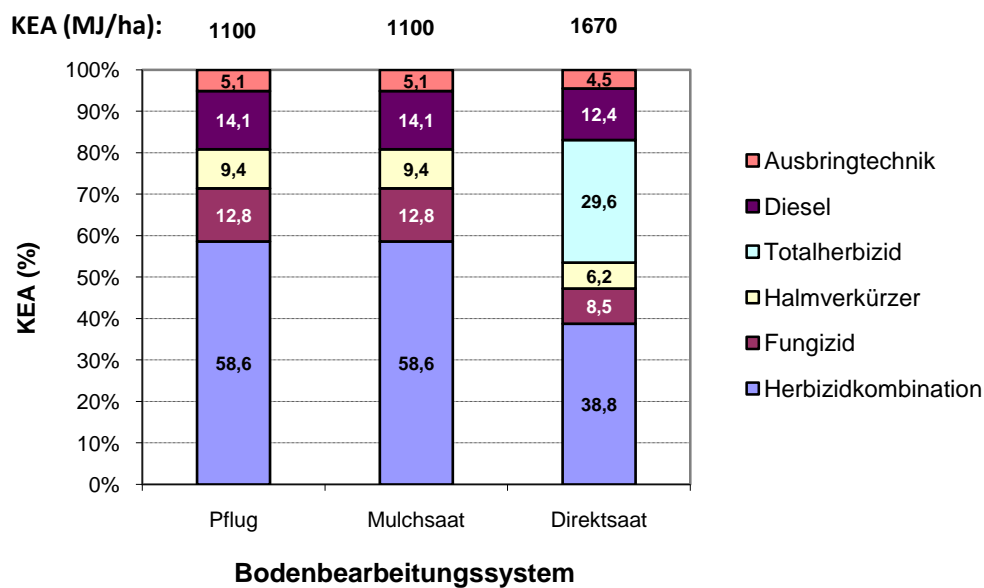


Abbildung 13: Absoluter und relativer Energieaufwand verschiedener Pflanzenschutzmaßnahmen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem

Auch im Ökolandbau werden verschiedene Pflanzenschutzmaßnahmen angewendet. Allerdings kommt es beim Getreidebau kaum zum Einsatz von Pflanzenschutzmittel. Hier spielt die mechanische Unkrautbekämpfung eine wesentlich größere Rolle. Im Rahmen des Modells kommt bei den ökologischen Varianten einmalig der Striegel zum Einsatz. Beim Einsatz auf 200 ha Getreidefläche verursacht ein 6 m Gerät einen indirekten Energieaufwand von 17 MJ/ha, was inklusive Zugmaschine 37 MJ/ha bedeutet. Diese verbraucht pro ha 3,6 l Dieselkraftstoff, also 143 MJ. Er ergibt sich ein kumulierter Energieaufwand von 180 MJ/ha und Striegeleinsatz, der wie in Abbildung 12 ersichtlich 650 MJ bei konventioneller Unkrautbekämpfung (Stomp SC + Axial) gegenübersteht. Allerdings ist unter Praxisbedingungen die Wirkung der

mechanischen Unkrautbekämpfung nur unter idealen Bedingungen mit der der Herbizidanwendung annähernd vergleichbar.

Auch bei Mulchsaat wird in der Praxis häufig ein Totalherbizid eingesetzt. Bei den Modellannahmen hat der Autor allerdings die umfangreiche Stoppelbearbeitung berücksichtigt, die, wenn sie konsequent in der Fruchtfolge angewendet wird, das Unkrautsamenpotential im Boden reduziert. In Ausnahmefällen und bei Problemunkräutern kann es aber trotzdem Sinn machen, gezielt Totalherbizide einzusetzen. KÖLLER und LINKE (2001) meinen dazu, dass bei konsequenter reduzierter Bodenbearbeitung kein höherer Herbizidaufwand zu verzeichnen ist. Ihrer Meinung nach kann es sinnvoll sein, bei erhöhtem Trespensaufkommen die Feldränder mit Pflug oder Grubber zu bearbeiten, oder eben ein Totalherbizid nur am Feldrand einzusetzen.

Auch beim Pflanzenschutz ist also, ähnlich wie bei der Düngung, der Aufwand für die eingesetzten Präparate (bzw. im Fall der Düngung Düngemittel) um einiges höher als für deren Ausbringung (Diesel + indirekte Energie Maschinen). Hierfür gibt es mehrere Gründe. Die Geräte für die Ausbringung weisen ein geringes Eigengewicht und daher einen geringen KEA auf. Außerdem erfordert ihr Betrieb einen verhältnismäßig geringen Kraftaufwand, was sich in einem niedrigen Treibstoffbedarf/ha niederschlägt. Durch die großen Arbeitsbreiten (im Modell 18 m) und relativ hohe Arbeitsgeschwindigkeiten ergeben sich hohe Hektarleistungen und daher wenige Traktorstunden pro Flächeneinheit, was sich wieder in einem niedrigen KEA/ha (indirekte Energie Traktor) niederschlägt.

Im Bereich des Pflanzenschutzes gibt es, wenn man nur den Energieinput betrachtet, energetische Vorteile für den ökologischen Getreidebau. Man darf allerdings nicht vergessen, dass bei Spitzenerträgen für die Ertragssicherung Fungizide und Halmverkürzer notwendig sind, diese aber einen geringen Energieinput zur Folge haben und durch die gesicherten hohen Erträge der Energieinput/Getreideeinheit (= Energieintensität) für den konventionellen Landbau vorteilhafter ist.

5.1.5 Maschinen

Der Anteil der Maschinen am Energieinput in der Getreideproduktion hängt wesentlich von der Mechanisierungsform (Eigenmechanisierung, Gemeinschaftsmaschinen, Lohnunternehmer, ...) und den betrieblichen Voraussetzungen ab, beispielsweise davon, ob die Maschinen zur Betriebsgröße und Flächenstruktur passen. Vereinfachend kann man vorwegnehmen, dass hohe Maschinenkosten oft auch einen hohen Energieinput/Flächeneinheit zur Folge haben, weil die Kosten/ha genauso wie der KEA/ha von der Auslastung der Maschinen abhängen (ähnlicher Berechnungsmodus).

Wie schon im vorigen Kapitel beschrieben, mussten umfangreiche Annahmen getroffen werden, um eine große Anzahl von möglichen Betrieben abzudecken und zu vergleichen. So wurde bei der Modellplanung die Arbeitsbreite für Bodenbearbeitung, Aussaat und Ernte vorrangig auf 3 m festgelegt. In der Folge wurden drei Betriebsgrößen (50, 100, 200 ha) festgelegt, die einen Großteil der österreichischen Marktfruchtbetriebe abdecken sollen. Um nun die Degression des KEA/ha mit steigender Auslastung aufzuzeigen, wurde der Maschinenbestand für alle 3 Betriebsgrößen weitgehend unverändert, nur die Größe und Anzahl der Anhänger für den Getreidetransport und der Mähdrescher wurden angepasst.

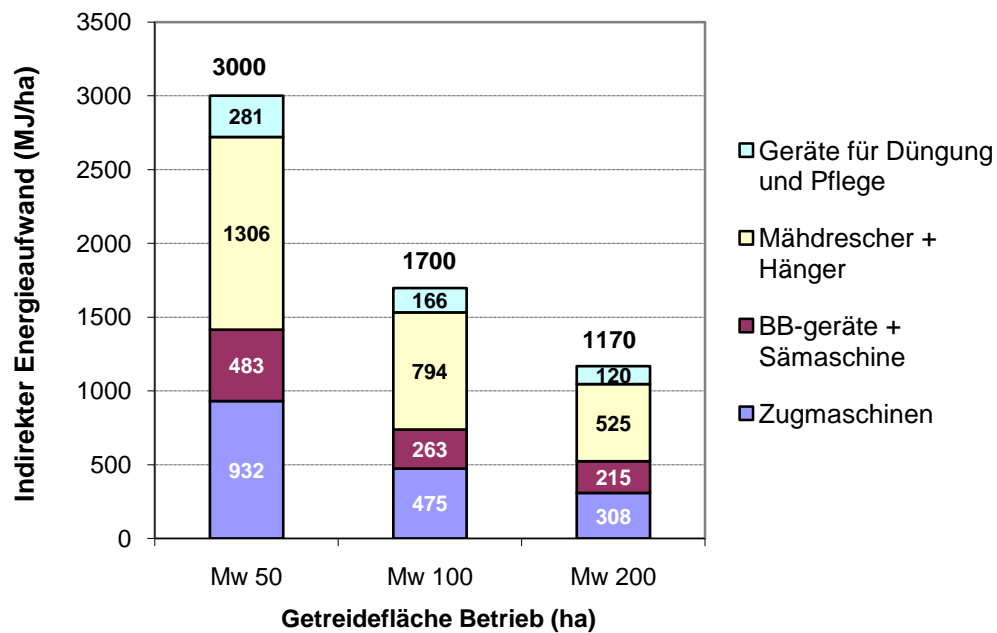


Abbildung 14: Indirekter Energieaufwand des Maschineneinsatzes [MJ/ha] in Abhängigkeit der bearbeiteten Getreidefläche pro Betrieb. Mw - Mittelwert

Allein mittels Auslastung kann man den Energieinput in Form von landwirtschaftlichen Maschinen von 3000 MJ/ha Winterweizen auf unter 1200 MJ/ha senken (Mittelwerte über alle behandelten Bodenbearbeitungs- und Produktionssysteme). Den größten Anteil nimmt hierbei die Ernte ein, was durch das relativ hohe Gewicht und den geringen Leistungsvorrat der Mähdrescher begründet werden kann. So nehmen die an der Ernte beteiligten Maschinen (Mähdrescher + Hänger) beinahe 50 % der über Maschinen zugeführten indirekten Energie ein (1300 MJ/ha bei 50 ha Getreidefläche, 525 MJ/ha bei 200 ha).

Auch die Zugmaschinen nehmen einen bedeutenden Anteil ein. Ihr Anteil sinkt im Mittel von 900 MJ/ha WW bei 50 ha Getreidefläche auf 300 MJ/ha bei 200 ha Einsatzfläche. Bodenbearbeitungsgeräte nehmen etwa 500 bzw. 220 MJ/ha ein, während Pflanzenschutzgeräte nur 300 bzw. 120 MJ/ha beanspruchen.

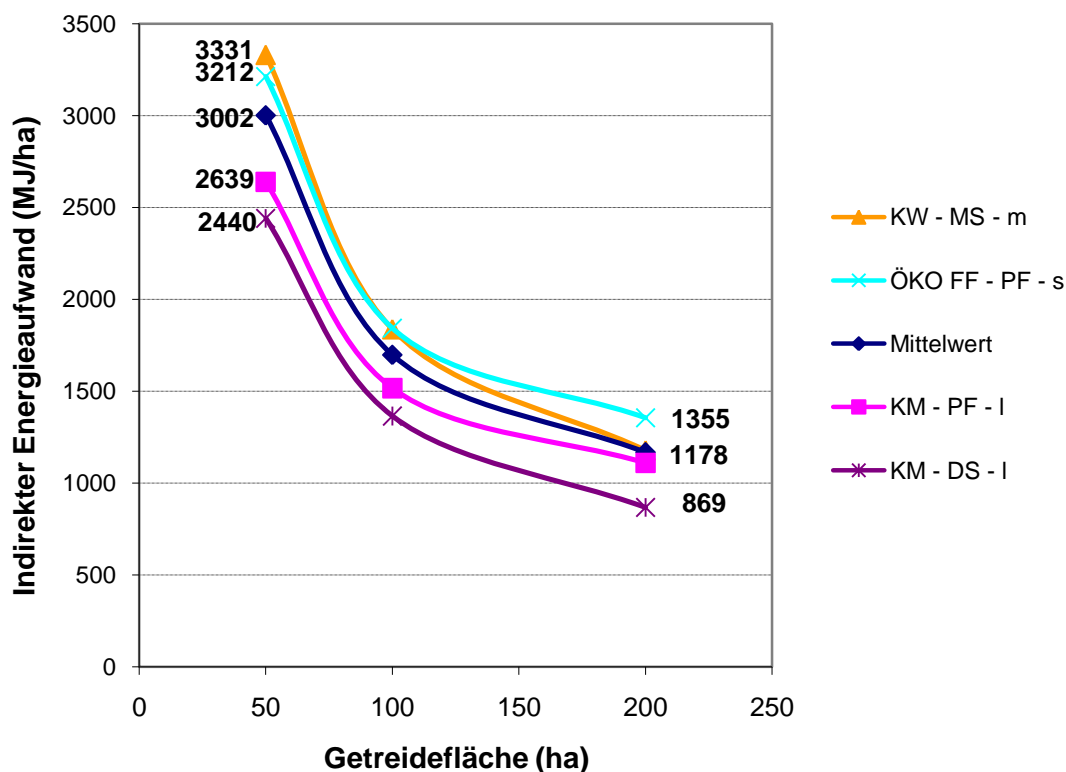


Abbildung 15: Sinkender indirekter Energieaufwand der eingesetzten Maschinen bei steigender Auslastung und verschiedenen Varianten inkl. Mittelwert über alle Varianten (Beschreibung siehe Tabelle)

Kurzform	Produktionssystem	BB	Bodenschwere
KW – MS – m	Konventionell Wirtschaftsdüngereinsatz	Mulchsaat	mittel
ÖKO FF – PF – s	Ökologisch mit Fruchtfolgebetrachtung	Pflugeinsatz	schwer
KM – PF – I	Konventionell Mineraldüngereinsatz	Pflugeinsatz	leicht
KM – DS – I	Konventionell Mineraldüngereinsatz	Direktsaat	leicht
Mittelwert	Mittelwert aller Varianten	PF-MS-DS	I-m-s

In Abbildung 15 ist die Degression des KEA/ha mit steigender Auslastung ersichtlich. Aufgrund der größeren Zugmaschinen steigt der KEA mit der Bodenschwere im Modell an. Beim indirekten Maschineneinsatz sind die Direktsaatvarianten besser, weil weniger Maschinen und damit geringeres Maschinengewicht (Basis für Berechnung des KEA) eingesetzt wird.

200 ha Getreidefläche sind mit dem gegebenen Maschinenbestand bei den meisten Varianten ohne Probleme bewältigbar. Allerdings ist die Zahl der verfügbaren Feldarbeitstage standortabhängig. Problematisch sind Arbeiten, die in einer kurzen Zeitspanne (z.B. Ernte) erfolgen müssen und die, die einen hohen Arbeitszeitbedarf/ha haben (Pflügen). Mit 440 h Pflügen (schwererer Boden) und 340 h

Ergebnisse und Diskussion

Mähdrusch (7 t Kornertrag) wäre bei 200 ha auch bei gut organisierten Betrieben eine Obergrenze erreicht. Daher wurde der Mähdrescher für die Modellbetrieb mit 200 ha Getreidefläche durch ein größeres Modell (125 kW, 4,5 m Schnittbreite) ersetzt, was die Druschstunden auf 220 reduziert, und trotzdem einen geringeren KEA/ha zur Folge hat. Dies ist auf die größere Hektarleistung/Stunde zurückzuführen, welche die Hektarleistung in den 3000 Betriebsstunden stärker erhöht als der Einfluss des Mehrgewichts der größeren Maschine (KEA) ausmacht.

Sehr zeitaufwändig ist auch das Pflügen. Wenn die für die Bodenbearbeitung benötigte Zugmaschine samt Fahrer 440 Stunden für das Pflügen gebunden ist, ist für die Saatbettbereitung (leicht und mittlere Böden) bzw. kombinierte Aussaat (schwerer Boden) wenig Kapazität verfügbar. Weiters sind die Wetterverhältnisse zu Zeit der Weizenaussaat begrenzend (bei feuchter Witterung ist maximal Pflügen möglich). Lösungsansätze wären ein hoher Anteil Sommerungen und eventuell die Investition in eine zweite Zugmaschine, was allerdings neben den betriebswirtschaftlichen Kosten den KEA/ha wesentlich erhöht und in der Folge oft eine Betriebserweiterung nötig macht. In diesem Fall ist einzelbetrieblich die passende Lösung ausfindig zu machen und umzusetzen.

5.1.5.1 Zugmaschinen

Wie schon beschrieben hängt die Leistung und in der Folge das Gewicht der Zugmaschinen im Modell vom Bodenbearbeitungswiderstand ab.

Gerade der Einfluss der Zugmaschinen kann durch Managemententscheidungen deutlich beeinflusst werden. Neben dem energetischen Einfluss spielen hier betriebswirtschaftliche Kosten eine sehr große Rolle. So ist gerade bei kleineren Ackerbaubetrieben ein Trend zu gemeinsamer Nutzung von Zugmaschinen erkennbar. Ein positiver Nebeneffekt ist hierbei der mit der Auslastung von Maschinen sinkende KEA.

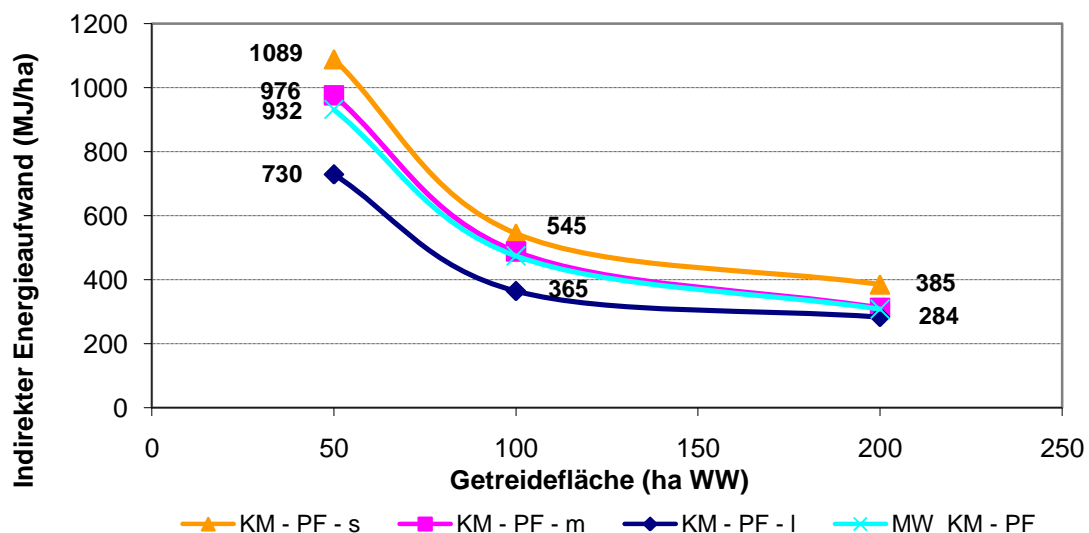


Abbildung 16: Einfluss der Bodenschwere auf den indirekten Energieaufwand von Zugmaschinen (Ermittlung über Maschinengewicht) beim Produktionssystem Konventionell mit Mineraldüngereinsatz „KM“ mit Pflugeinsatz (PF)

Abkürzung	Bodenbearbeitungswiderstand	Eingesetzte Schlepper
l	leicht	45 + 67 kW
m	mittel	67 + 102 kW
s	schwer	67 + 120 kW

Ersichtlich ist der deutlich gesenkte indirekte Energieaufwand bei leistungsschwächeren und somit leichteren Zugmaschinen. In den Varianten mit Bodenschwere „leicht“ werden zwei Zugmaschinen mit 45 und 67 kW eingesetzt, was, wie in Abbildung 16 ersichtlich, den indirekten Energieeinfluss der Zugmaschinen vor allem bei geringen Betriebsgrößen deutlich senkt (bei 50 ha

Einsatzfläche um 250 MJ/ha Getreidefläche im Vergleich zu mittelschwer mit 67 und 102 kW). Weiters kann man erkennen, dass die Kurven ab ca. 100 ha relativ flach abfallen. Dieser Effekt beruht auf dem vergleichsweise hohen Zugmaschineneinsatz beim Pflügen und der Saatbettvorbereitung, was in der Folge bedeutet, dass das Einsparpotential rasch abfällt, am deutlichsten am leichten Standort.

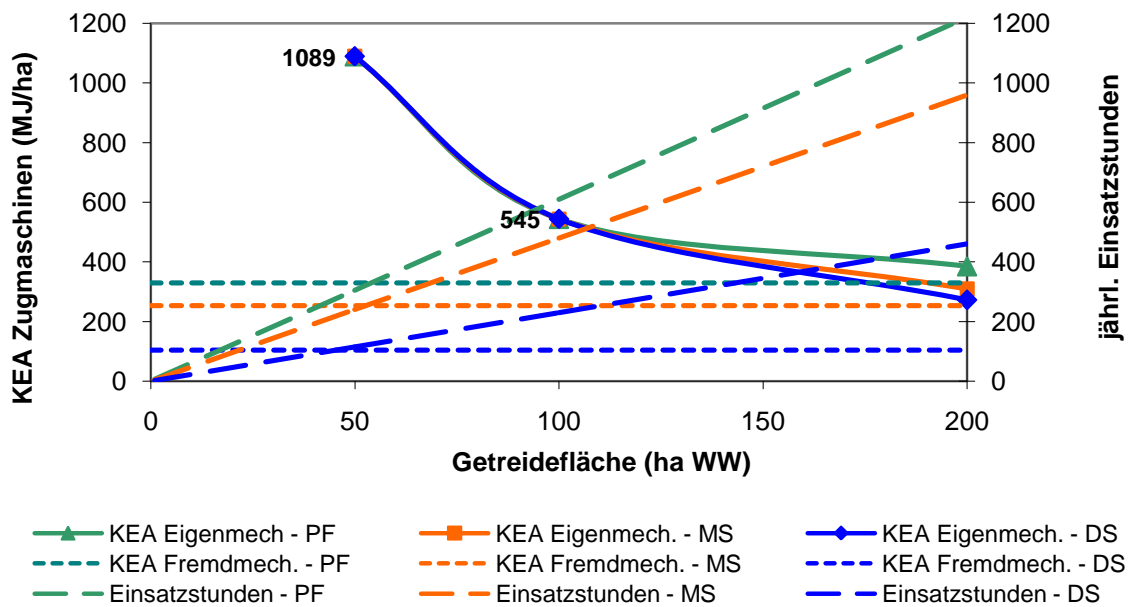


Abbildung 17: Vergleich des KEA der Zugmaschinen bei Eigen- und Fremdmechanisierung mit Ausweisung der jährlichen Einsatzstunden der Zugmaschinen. Produktionssystem "Konventionell mit Mineräldüngereinsatz - (KM)", Bodenbearbeitungswiderstand schwer

PF Pflugeinsatz
 MS Mulchsaat
 DS Direktsaat

Abbildung 17 muss genauer beschrieben werden, weil hier zusätzlich der kumulierte Energieaufwand der von Zugmaschinen (indirekte Energie ohne Diesel) bei Fremdmechanisierung aufgezeigt wird. Untersucht werden die verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme beim Produktionssystem KM mit hohem Bodenbearbeitungswiderstand (schwer). Wieder zeigt sich der sinkende KEA mit steigender Auslastung. Allerdings liegen alle 3 Bodenbearbeitungssysteme bis einer Einsatzfläche von 100 ha wegen zu geringer Auslastung gleichauf. Auf Grund des hohen Zugmaschineneinsatzes in der Pflugvariante bleibt dieser auf dem höchsten Niveau und nähert sich mit steigender Einsatzfläche dem Wert von 310 MJ/ha (Minimum) an (bei 200 ha 365 MJ/ha). Dieses „Minimum“ beruht auf den

Einsatzstunden pro ha multipliziert mit dem KEA/h bei Nutzung bis zum Erschöpfen des Leistungsvorrates (bei Zugmaschinen 10000 h).

$$\text{KEA/h} = (\text{Zugmaschinengewicht [kg]} \times \text{KEA}_{\text{ges}} [\text{MJ/kg}]) / \text{Leistungsvorrat [h]}$$

Diesen Wert könnten auch Kleinbetriebe erreichen, wenn sie die Arbeiten durch Lohnunternehmer oder mit Hilfe von Gemeinschaftsmaschinen durchführen würden. Besonders groß ist die Spanne zwischen Idealwert und tatsächlichen KEA bei der Variante Direktsaat. Für zwei Zugmaschinen in Eigenmechanisierung reicht hier die Feldarbeit bei weitem nicht aus, man müsste also das Modell verändern. Entweder mit einer stärkeren Zugmaschine auch die Pflügetätigkeiten durchführen, oder, was aus der Sicht des Autors die bessere Variante wäre, die Aussaat gemeinschaftlich zu organisieren. Auf Grund der hohen Hektarleistung von Direktsaatmaschinen und der hohen Investitionskosten wäre laut KÖLLER UND LINKE (2001) zielführend, mit einer 3 m breiten Direktsaatmaschine 300 – 400 ha pro Jahr zu bearbeiten. Hierfür ist besonders bei kleinen Strukturen ein gutes Management erforderlich - daneben ist eine leistungsstarke Zugmaschine und ein effizientes Saatgutmanagement (Verfügbarkeit und rasches Befüllen der Sämaschine) notwendig.

EICHHORN et al. (2001) bestätigen diese Erkenntnisse. Bei ihrer vorwiegend ökonomischen Analyse kommen sie zum Schluss, dass diese teure Technik, die aufgrund eingesparter Arbeitsgänge eine sehr große Flächenleistung hat, adäquat ausgenutzt werden sollte, weil sonst Einsparungspotentiale nicht ausgeschöpft werden.

Bei ausreichender Auslastung lässt sich bei der Direktsaatvariante (geringe Anzahl von Traktorstunden) der Energieeinfluss der Zugmaschinen auf 110 MJ/ha reduzieren. Allerdings ist, wie schon erwähnt, bei den Modellannahmen mit 2 Zugmaschinen eine Übermechanisierung vorhanden und die Direktsaat kann ihre Vorteile beim niedrigen Energieaufwand (Indirekte Energie Zugmaschinen) nicht ausnutzen.

5.1.5.2 Maschinen für Bodenbearbeitung und Aussaat

Der energetische Einfluss der Bodenbearbeitungsgeräte ist vergleichsweise gering. Dieser liegt bei 50 ha zwischen 280 und 600 MJ/ha und fällt bei 200 ha Getreidefläche auf 100 bis 260 MJ/ha ab. Der hohe Anteil der Mulch- und Direktsämaschinen liegt an deren hohem Eigengewicht, welches bei Mulchsämaschinen auf Grund der zusätzlichen Bodenbearbeitungseinheit (bei „Lemken Compact Solitär“ eine Kurzscheibenegge) und bei Direktsämaschinen auf Grund des hohen erforderlichen Scharldrucks zustande kommt.

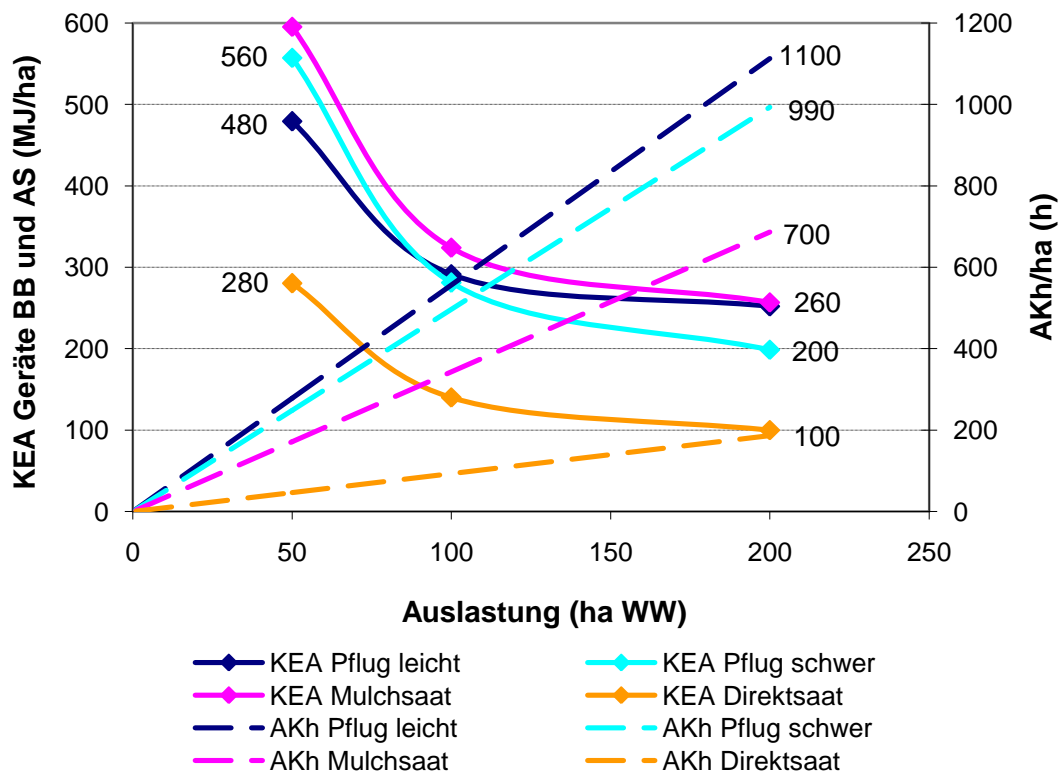


Abbildung 18: Kumulierter Energieaufwand (KEA) der Geräte für Bodenbearbeitung (BB) und Aussaat (AS) bei verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen sowie die Arbeitskraftstunden für BB und AS.

Der energetische Einfluss der Bodenbearbeitungsgeräte ist vergleichsweise gering. Dieser liegt bei 50 ha zwischen 280 und 600 MJ/ha und fällt bei 200 ha Getreidefläche auf 100 bis 260 MJ/ha ab. Der hohe Anteil der Mulch- und Direktsämaschinen liegt an deren hohem Eigengewicht, welches bei Mulchsämaschinen auf Grund der zusätzlichen Bodenbearbeitungseinheit (bei „Lemken Compact Solitär“ eine Kurzscheibenegge) und bei Direktsämaschinen auf Grund des hohen erforderlichen Scharldrucks zustande kommt.

„Lemken Compact Solitär“ eine Kurzscheibenegge) und bei Direktsämaschinen auf Grund des hohen erforderlichen Scharldrucks zustande kommt.

Interessant ist die Tatsache, dass bei den Pflugvarianten jene mit dem Bodenbearbeitungswiderstand „leicht“ einen größeren Energieaufwand bei den Geräten für Bodenbearbeitung und Aussaat hat als die Variante „schwer“. Dies hat zwei Gründe: Zum einen habe ich bei der Modellerstellung bei „leicht“ und „mittel“ zwei Überfahrten mit der Saatbettkombination festgelegt, während bei „schwer“ nur einmal eine Kreiselegge zum Einsatz kommt. Dadurch verdoppelt sich die bearbeitete Fläche der Saatbettkombination im Vergleich zur Kreiselegge. Schwer verständlich ist, dass das KTBL für eine Saatbettkombination oder eine Federzinkenegge mit 4 m ABB nur eine Gesamtnutzungsfläche von 2000 ha annimmt, für eine Kreiselegge mit 3 m ABB allerdings 3000 ha. Dadurch stehen, wenn man die zwei Überfahrten berücksichtigt, bei ähnlichem Gewicht 1000 ha Nutzungsfläche bei der SBK den 3000 ha Nutzungsfläche bei der KE gegenüber. Dies steht im Widerspruch zu Erfahrungen aus der Praxis, wonach eine Saatbettkombination eine höhere Gesamtflächenleistung hat als eine Kreiselegge, die auf Grund ihrer vielen beweglichen Teile als reparaturanfällig gilt. Im Modell wurden die KTBL – Werte verwendet, welche zu diesem interessanten Ergebnis führen.

Bei weitem größer ist der Unterschied bei den AKh im Zuge der Bodenbearbeitung und Aussaat. So fallen bei DS bei 200 ha Getreidefläche nur 100 Arbeitskraftstunden, bei den Pflugvarianten allerdings um die 1000 Stunden/Jahr an. Diese AKh sind zugleich echte Traktorstunden, in der Folge ist die Auslastung der Zugmaschinen in den Pflugvarianten als hoch einzustufen, während bei reiner Direktsaat die Nutzung von Gemeinschaftsmaschinen, Maschinenringen oder Lohnunternehmern bevorzugt werden sollte, weil die Auslastung einfach zu gering wäre. Es sei denn man könnte den Pflegeschlepper auch für die Bodenbearbeitung nutzen, was bei geringem Bodenbearbeitungswiderstand oder großen Pflanzenschutzgeräten durchaus möglich wäre. Dies ist eine Frage des Betriebskonzeptes, welches für jeden Betrieb abhängig von Böden, Mechanisierung und Arbeitskräftebesatz aufgestellt werden muss.

5.1.5.3 Erntemaschinen

Aufgrund ihres geringen Leistungsvorrates (viele bewegliche Teile, hoher Verschleiß) und des relativ hohen Gewichts haben Mähdrescher einen großen Einfluss auf den indirekten Energieeinsatz beim Getreidebau. Beim Mähdrusch gibt es im Vergleich zu anderen Arbeitsverfahren kaum Einsparungspotential.

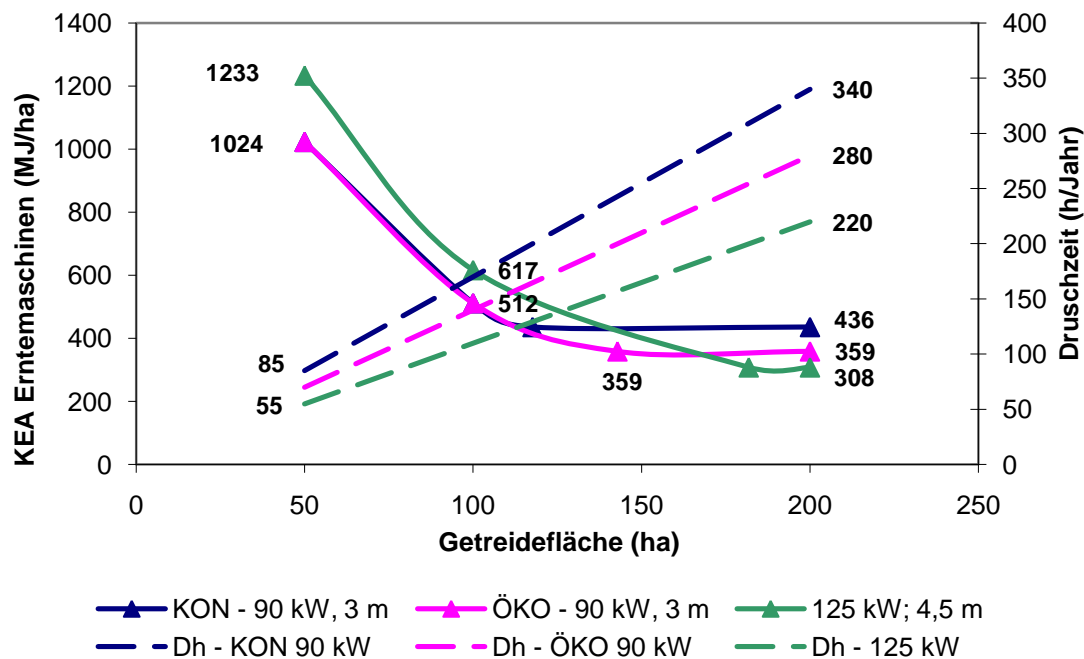


Abbildung 19: Einfluss indirekter Energie (KEA) unterschiedlicher Mähdrescher in Abhängigkeit der Einsatzfläche (ha) und deren Auswirkung auf die Druschstunden/Jahr. "KON" - Konventionell, "ÖKO" - Ökologisch

Abbildung 19 zeigt, dass kleine Maschinen nicht zwangsläufig einen positiven Einfluss auf den KEA/ha haben müssen. So ist im konventionellen Produktionssystem bei gegebenen Annahmen der größere Mähdrescher mit 125 kW und 4,5 m Schnittbreite ab einer Druschfläche von 148 ha als energetisch günstiger zu bewerten. Ganz abgesehen davon, dass bei einem zu kleinen Mähdrescher die benötigten Druschstunden relativ bald die zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage überschreiten und es zu Terminkosten kommt, die in Jahren mit einer unterdurchschnittlichen Anzahl von Druschtagen auch zu Totalausfällen (Auswuchs) führen können. Daher ist die Wahl des Mechanisierungsverfahren (Eigenmechanisierung oder Fremdmechanisierung) und bei Eigenmechanisierung die Wahl des Mähdreschers eine sehr bedeutende. Vor allem bei kleinen Betrieben

ist es ökonomisch, und wie man in der obigen Abbildung sieht, und auch energetisch sinnvoller die Ernte überbetrieblich durchzuführen.

200 ha Getreidefläche sollten mit dem gegebenen Maschinenbestand bei den meisten Varianten ohne Probleme bewältigbar sein. Allerdings ist die Zahl der verfügbaren Feldarbeitstage standortabhängig. Problematisch sind Arbeiten, die in einer kurzen Zeitspanne erfolgen müssen (Ernte) und die, die einen hohen Arbeitszeitbedarf/ha haben (Pflügen). Mit 440 h Pflügen (schwerer Boden) und 340 h Mähdrusch (7 t Kornertrag) wäre bei 200 ha auch bei gut organisierten Betrieben eine Obergrenze erreicht.

Bei durchschnittlich 7 Druschstunden pro Tag (eigene Schätzung) wären 49 Tage für die Ernte von 200 ha Getreide nötig. Der Betriebsleiter müsste durch die Kombination von verschiedenen Getreidearten, unterschiedlichen Sorten und Behandlungen die Abreife so steuern, dass sie sich über ein Monat erstreckt. In Jahren mit gutem Erntewetter wäre dies eventuell möglich, aber in Problemjahren ist das Risiko hoch, dass ein großer Teil der Ernte nur mehr mit schlechter Qualität (niedrige Fallzahlen, Auswuchs, ...) eingebracht werden könnte.

Daher wurde nachträglich entschieden, den Mähdrescher bei 200 ha Getreidefläche größer zu wählen. Es wird nun ein Modell mit 4,5 m Schnittbreite und 135 Kilowatt Motorleistung eingesetzt (Bsp. Claas Medion 310). Dieses benötigt pro ha Getreidefläche nur mehr 1,1 h (bei 2 ha Feldgröße) und kann die 200 ha in der Folge in 220 Stunden bewältigen. Laut vorigen Annahmen (7 Druschstunden pro Tag) sind damit nur mehr 31 Tage für die Ernte notwendig. Mittels Wahl unterschiedlicher Getreidearten, Sorten und Pflanzenschutzmaßnahmen ist es möglich, die Ernte über ein Monat hinzuziehen und trotzdem gute Qualitäten zu erzielen.

Dieser Wechsel des Mähdreschers weist neben der gesunkenen Feldarbeitszeit eine weitere wichtige Verbesserung auf. Ab einer Einsatzfläche von 148 ha sinkt der KEA/ha unter das Niveau der 90 kW-Maschine ab, um schließlich, wie in Abbildung 19 ersichtlich, ab einer Einsatzfläche von 180 ha auf 310 MJ/ha zu konstant zu bleiben. Dieser „Übergang“ entspricht in der Ökonomie der sogenannten Abschreibungsschwelle, ab der man die AFA als variablen Kostenfaktor ausweisen kann. Es kann also, wie in diesem Fall ersichtlich, energetisch sinnvoll sein eine größere Maschine einzusetzen. Getrennt von der energetischen ist die betriebswirtschaftliche Seite zu betrachten.

Ergebnisse und Diskussion

Bei der Vergabe der Ernte an Lohnunternehmer ist zu bedenken, dass die gestiegene Leistungsfähigkeit auf dem Feld auch in der Getreideerfassung und Einlagerung erreicht werden muss, um Standzeiten zu vermeiden. So können solche Änderungen großen Investitionsbedarf zur Folge haben.

5.1.5.4 Geräte für Düngung und Pflanzenschutz

Geräte für Düngung und Pflege umfassen im Modell den Zweiseiben-Düngerstreuer, das Vakuumfass, die Anbau-Feldspritze und neben dem Striegel einen Mulcher.

Tabelle 11: Für Dünge- und Pflanzenschutzmaßnahmen eingesetzte Geräte bei unterschiedlichen Produktionssystemen

Produktionssystem	Düngung	Pflanzenschutz	Pflege
KM	Düngerstreuer	Feldspritze	
KW	Düngerstreuer, Güllefass	Feldspritze	
ÖKO	Düngerstreuer	Striegel	
ÖKO FF	Düngerstreuer	Striegel	Mulcher

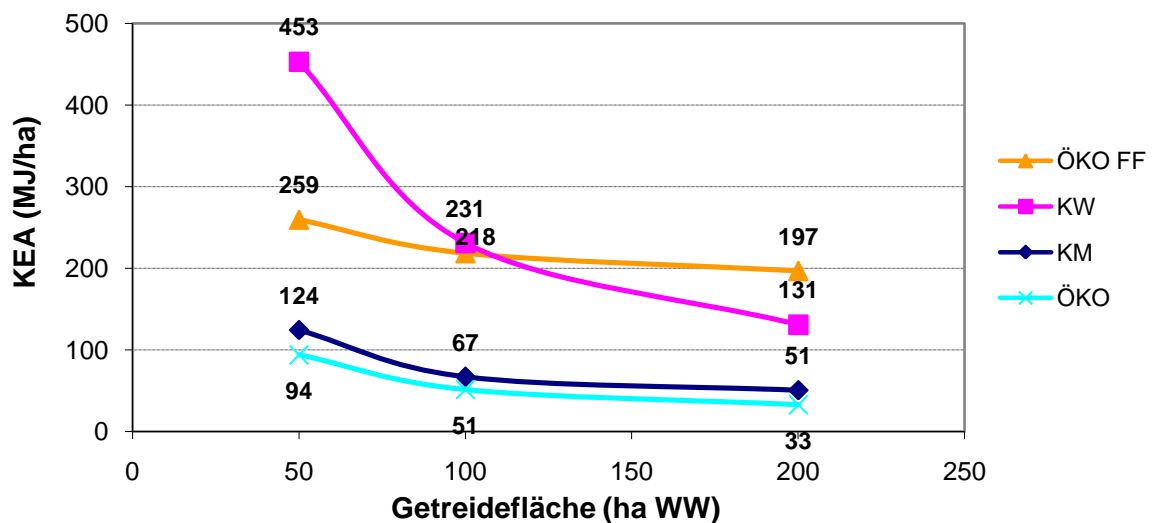


Abbildung 20: Einfluss indirekter Energie (KEA) von Geräten für Düngung und Pflanzenschutz bei unterschiedlichen Produktionssystemen in Abhängigkeit der Getreidefläche/Betrieb

Der Einfluss von Geräten für die Düngung und Pflanzenschutz ist wie in Abbildung 20 ersichtlich in den Systemen „Konventionell mit Mineraldüngereinsatz“ und „Ökologisch ohne Fruchtfolgebetrachtung“ mit 30 bis 120 MJ/ha Getreidefläche als gering einzustufen. Dies ist eine Folge des geringen Gewichts der eingesetzten Maschinen. Bei „Ökologisch mit Fruchtfolgebetrachtung“ ist der Einfluss des Mulchers, der nur einen geringen Leistungsvorrat (bei 3 m Arbeitsbreite 1200 ha)

aufweist, für die Erhöhung auf 200 bis 260 MJ/ha verantwortlich. Dieser geringe Leistungsvorrat sorgt dafür, dass die Maschine mit nur 100 ha Einsatzfläche ihre maximale Auslastung im Rahmen ihrer 12-jährigen Nutzung erreicht. Dies entspricht bei zweimaliger Überfahrt 50 ha und bei dreimaliger Überfahrt 33 ha Klee gras.

Bei „KM“ reichen 170 ha Getreidefläche aus, um Mineraldüngerstreuer und Feldspritze in einer 15-jährigen Nutzung maximal auszunutzen, das bedeutet dass der KEA von 51 MJ/ha auch bei höherem Nutzungsumfang nicht unterschritten werden kann.

Bei „KW“ würde das Güllefass als größter Faktor bei „Düngung und Pflege“ bei 208 ha und 15 Jahren Einsatz die volle Auslastung erreichen, was bedeutet dass die Kurve ab diesem Wert sehr flach ausfallen würde. In der Folge liegt der bei 200 ha erreichte KEA für Düngung und Pflege von 131 MJ schon nahe am Optimum, weil ja das Güllefass bei einer Auslastung über der „Abschreibungsschwelle“ bereits einen Einfluss von 79 MJ/ha hat (bei 200 ha jährliche Einsatzfläche – 32 m³/ha - 83 MJ/ha).

5.2 Gesamtbewertung

Die untersuchten Faktoren und Varianten wurden so gewählt, dass sie kombinierbar sind und praxiskonforme Produktionsbedingungen widerspiegeln.

Einzig die Kombination aus ökologischem Produktionssystem und dem Bodenbearbeitungssystem Direktsaat ist, zumindest unter mitteleuropäischen Bedingungen, nur begrenzt praxistauglich. Daher werden diese Kombinationen bei den Vergleichen der Mittelwerte verschiedener Varianten nicht berücksichtigt, in Ausnahmefällen wird dies ergänzend erwähnt.

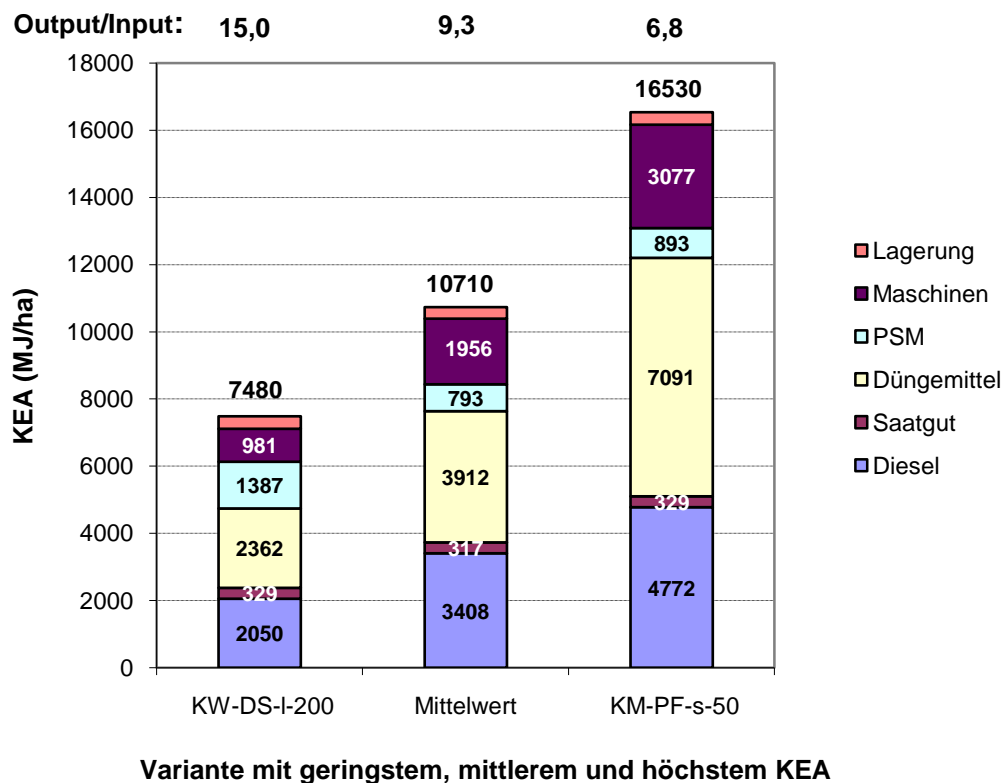


Abbildung 21: Aufgegliederter Kumulierter Energieaufwand (KEA) und Output/Input Verhältnis bei der Variante mit dem geringsten, mittleren (Mittelwert aller Varianten) und höchstem KEA/ha WW

KW-DS-I-200: Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz – Direktsaat – Bodenbearbeitungswiderstand leicht – 200 ha Getreidefläche/Betrieb

KM-PF-s-50: Konventionell mit Mineraldüngereinsatz – Pflugeinsatz – Bodenbearbeitungswiderstand schwer – 50 ha Getreidefläche/Betrieb

Wie man in Abbildung 21 ablesen kann, erstreckt sich der KEA/ha (entspricht Energieinput/ha) Winterweizen von 7500 bis 16500 MJ/ha. Wie in den vorigen Kapiteln beschrieben sind Düngung, Dieselverbrauch und Maschinenauslastung die größten Einflussfaktoren. Auf Grund der Vorteile in diesen drei Bereichen bildet die

Variante „Konventionell Wirtschaftsdünger – Direktsaat – leicht – 200“ die energetisch günstigste Variante. Noch besser würde „ÖKO – DS - I – 200“ abschneiden, allerdings gestaltet sich der Einsatz von Direktsaat ohne weitere BB und Pflanzenschutz in der ökologischen Landwirtschaft als sehr schwierig.

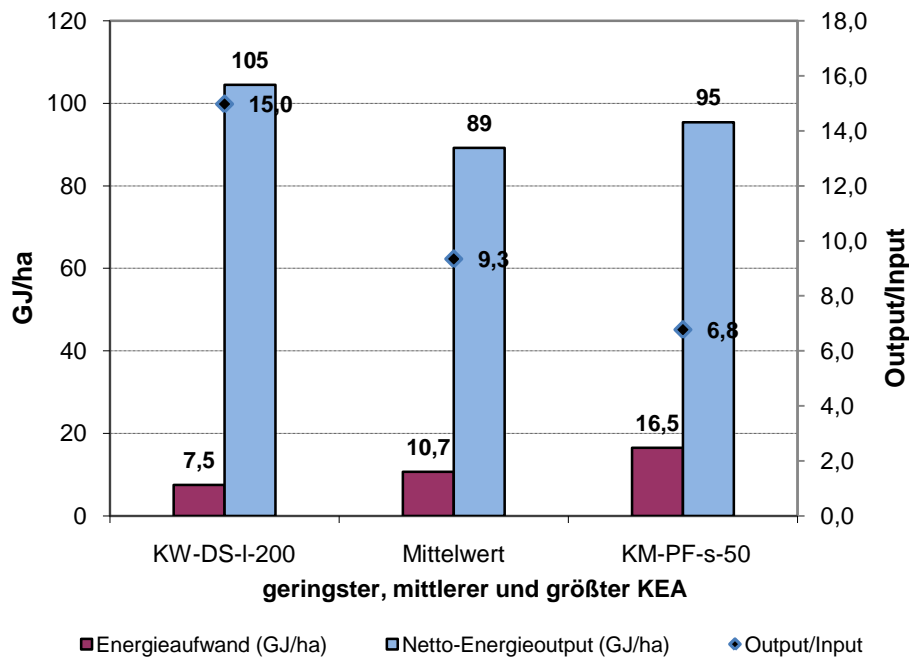


Abbildung 22: Energieinput, Netto-Energieoutput und Output/Input-Verhältnis bei der Variante mit dem geringsten KEA/ha WW, der Variante die den Mittelwert aller Varianten darstellt und der mit dem größten KEA/ha WW

KW-DS-I-200: Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz – Direktsaat – Bodenbearbeitungswiderstand leicht – 200 ha Getreidefläche/Betrieb
KM-PF-s-50: Konventionell mit Mineraldüngereinsatz – Pflugeinsatz – Bodenbearbeitungswiderstand schwer – 50 ha Getreidefläche/Betrieb

5.2.1 Faktor Produktionssystem

Das Produktionssystem hat großen Einfluss auf den kumulierten Energieaufwand. Betrachtet werden wie bereits in den vorigen Kapiteln das konventionelle Produktionssystem (mit Mineral- bzw. Wirtschaftsdüngereinsatz) und das ökologische Produktionssystem (mit bzw. ohne Berücksichtigung der Fruchtfolge). Fruchtfolgeberücksichtigung bedeutet, dass der direkte und indirekte Energieaufwand im Rahmen der Stickstofffixierung mittels Leguminosen berücksichtigt wird, was in diesem Beispiel die Aussaat und das Mulchen des Klee-grases umfasst.

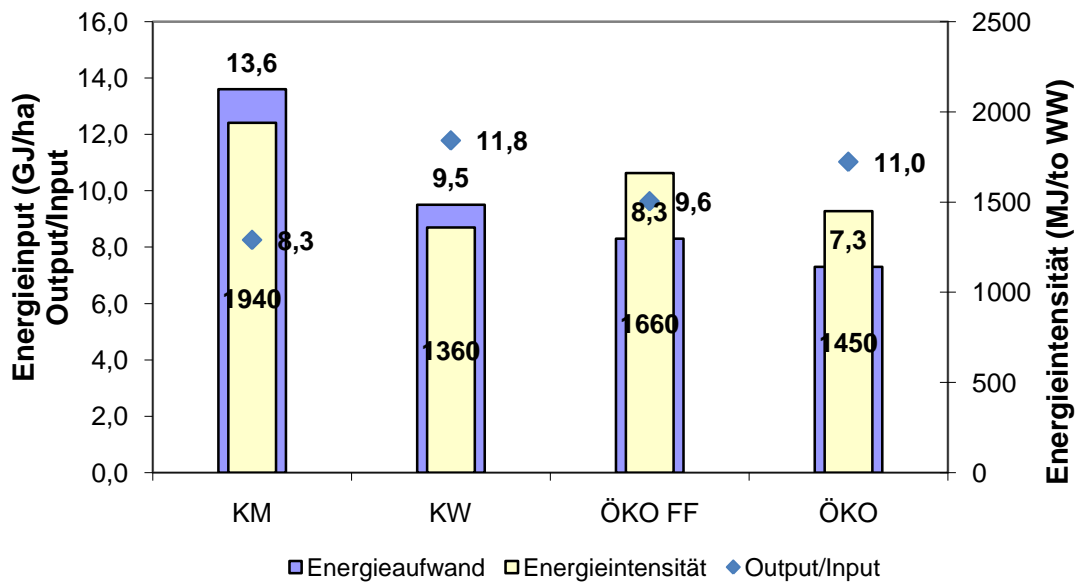


Abbildung 23: Kumulierter Energieaufwand, Output/Input-Verhältnis und Energieintensität der Getreideproduktion bei den betrachteten Produktionssystemen

- KM** Konventionell mit Mineraldüngereinsatz (Stickstoff über KAS)
- KW** Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz (Rindergülle)
- ÖKO FF** Ökologisch mit Fruchtfolgebetrachtung (40% Klee gras, gemulcht)
- ÖKO** Ökologisch ohne Fruchtfolgebetrachtung

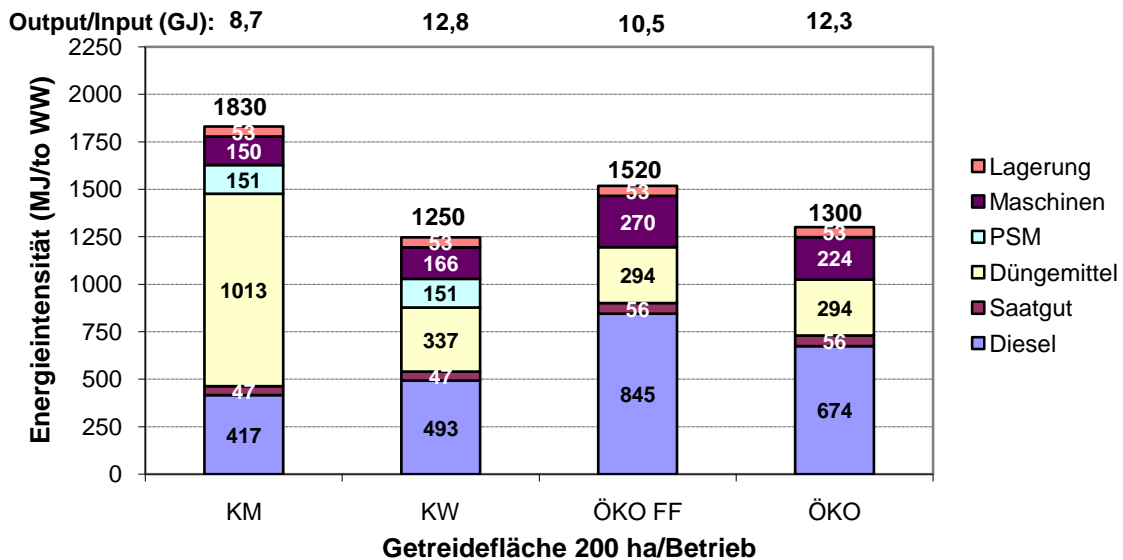


Abbildung 24: Energieintensität und Output/Input bei den verschiedenen Produktionssystemen. Die Getreidefläche wurde pro Betrieb mit 200 ha festgesetzt, alle Bodenbearbeitungssysteme und die Bodenschwere berücksichtigt (Mittelwerte)

- KM** Konventionell mit Mineraldüngereinsatz (Stickstoff über KAS)
- KW** Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz (Rindergülle)
- ÖKO FF** Ökologisch mit Fruchtfolgebetrachtung (40% Klee gras, gemulcht)
- ÖKO** Ökologisch ohne Fruchtfolgebetrachtung

Wie in Abbildung 24 erkennbar ist, erstreckt sich die Energieintensität bei hoher Maschinenauslastung von 1300 bis 1850 MJ/t Winterweizen. Ursache für diesen weiten Bereich ist der hohe Energieaufwand der Mineraldüngerproduktion im Vergleich zur Wirtschaftsdüngerverwendung. Der Einfluss der Maschinen ist aufgrund der hohen Auslastung stark reduziert und nahe am Optimum, weil die Maschinen im Verhältnis zur bearbeiteten Fläche nicht überdimensioniert sind.

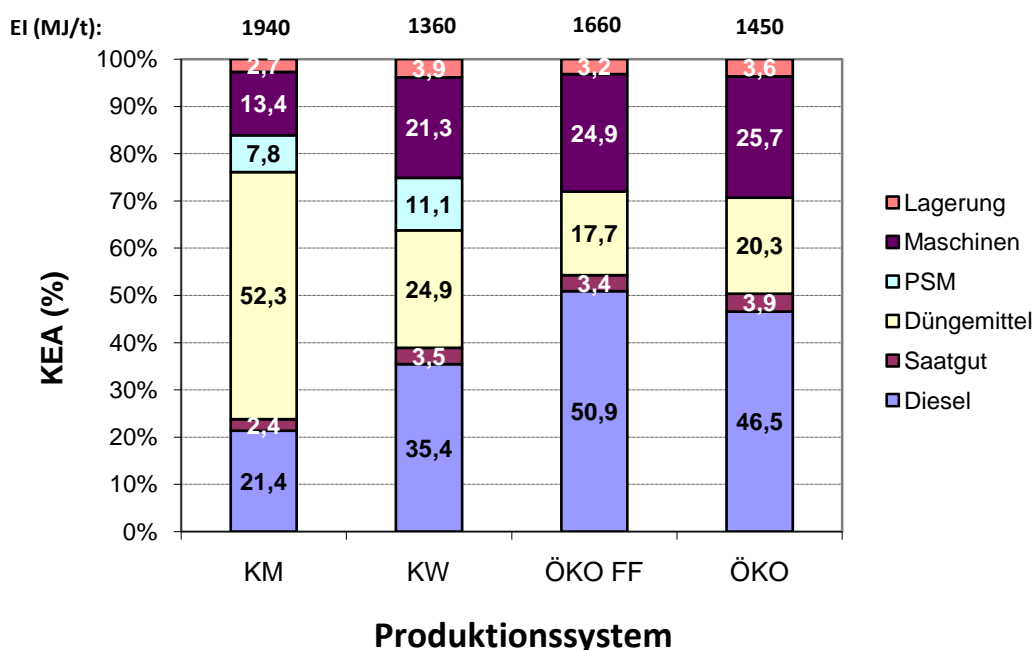


Abbildung 25: Relativer Anteil der verschiedenen Produktionsfaktoren am KEA von WW in Abhängigkeit des Produktionssystems und Energieintensität [MJ/t WW]. EI - Energieintensität

KM Konventionell mit Mineraldüngereinsatz (Stickstoff über KAS)
KW Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz (Rindergülle)
ÖKO FF Ökologisch mit Fruchtfolgebetrachtung (40% Klee gras, gemulcht)
ÖKO Ökologisch ohne Fruchtfolgebetrachtung

Bei „KM“ schlägt der Mineraldüngereinsatz mit über 50 % des Energieaufwands zu Buche. Hauptgrund dafür ist der Einsatz von stickstoffhaltigen Mineraldüngern. Durch Gülleeinsatz kann der Anteil der Düngemittel bei „KW“ auf 25 % des Energieaufwands pro t Getreide reduziert werden. Bei „ÖKO FF“ machen die Düngemittel ungefähr 20 % des Energieaufwandes pro t Getreide aus, wobei hierbei vor allem der Einsatz von kohlen saurem Kalk zu Buche schlägt.

Ein weiterer großer Block ist der Einsatz von fossilen Treibstoffen. So macht dieser bei den ökologischen Varianten mit 51 % („ÖKO FF“) bzw. 49 % („ÖKO“) den größten Input aus, während der Treibstoffeinsatz bei den konventionellen Varianten mit 23 % („KM“) und 35 % („KW“) etwas geringer ausfällt. Gründe hierfür sind, neben dem starken Einfluss der schon beschriebenen Düngung, der größere Aufwand in der Bodenbearbeitung (keine Direktsaat, mechanische Unkrautbekämpfung und der Pflegeaufwand bei der Stickstofffixierung in Form von Mulchen).

Der energetische Aufwand für Saatgut hat mit 2 bis 4 % einen geringen Anteil am Energieinput.

Der Energieinput in Form von Pflanzenschutzmittel hat mit 151 MJ/t Getreide bei den konventionellen Varianten einen Anteil von 8 („KM“) und 11 % („KW“), wobei hier vor allem die Herbizide zu Buche schlagen.

Auch der Maschineneinsatz hat Auswirkungen auf den Kumulierten Energieaufwand. So macht der Maschineneinsatz (KEA für Herstellung, Unterhaltung und Entsorgung der Maschinen) bei „KM“ nur 13 % des Energieinputs aus. Bei der konventionellen Variante mit Wirtschaftsdüngereinsatz („KW“) machen die Maschinen 23 % des Energieaufwands aus, bei den ökologischen Varianten 25 %.

Die Lagerung des Getreides hat mit 3 – 4 % einen geringen Anteil am Energieaufwand.

5.2.2 Faktor Bodenbearbeitungssystem

Die Wahl des Bodenbearbeitungssystems hat großen Einfluss auf den Dieserverbrauch der Getreideproduktion. Bei regelmäßiger wendender Bodenbearbeitung beträgt der Mehrverbrauch gegenüber der reduzierten Bodenbearbeitung mit krumentiefer Lockerung ca. 620 MJ/ha (entspricht 16 Liter Dieselkraftstoff). Gegenüber Direktsaat beträgt der Mehrverbrauch des Pflugeinsatzes inklusive Saatbettbereitung und Stoppelbearbeitung 2250 MJ/ha (56 l Dieselkraftstoff).

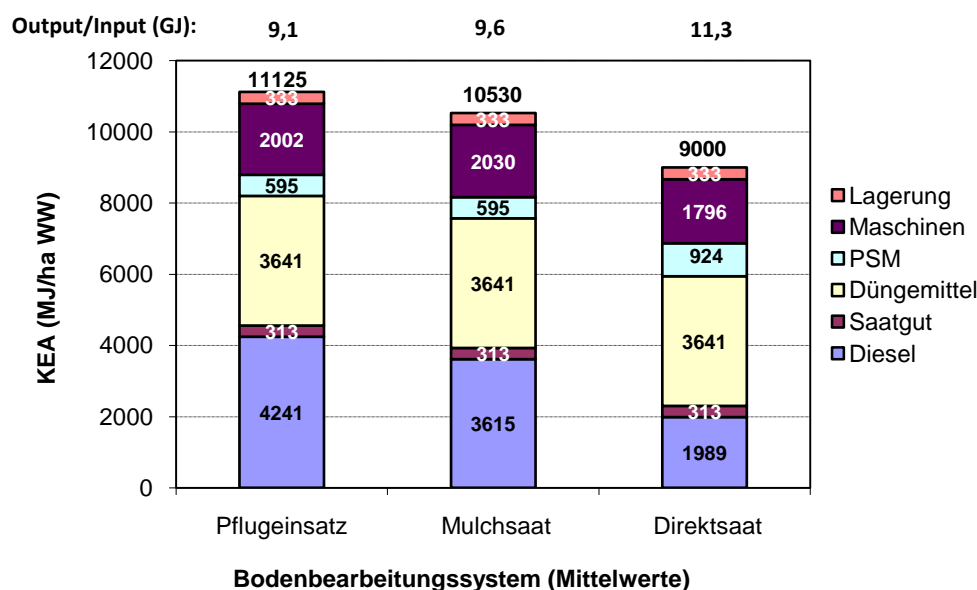


Abbildung 26: Der Einfluss des Bodenbearbeitungssystems auf den KEA (MJ/ha) und den Output/Input bei den konventionellen Varianten „KM“ und „KW“. Bodenbearbeitungswiderstände und Betriebsgrößen fließen in die Bewertung ein (Mittelwerte)

Die Direktsaatvariante weist, wie in Abbildung 26 ersichtlich, einen Mehrverbrauch beim Einsatz indirekter Energie in Form von Pflanzenschutzmittel auf. Dieser kommt durch die Anwendung eines Totalherbizides vor der Aussaat zustande. Vorteile hat die Direktsaatvariante auch beim Energieeinsatz in Form von Maschinen, hier können 200 MJ (entspricht 5 l Dieselkraftstoff) eingespart werden.

Das Output/Input – Verhältnis liegt bei Direktsaat mit 11,3 klar vor der Mulchsaat (9,6) und dem jährlichen Pflugeinsatz (9,1). Bei dieser Betrachtung wird von gleichen Erträgen (7 t) ausgegangen, auf Grund der Verwendung von Mittelwerten beim Bodenbearbeitungswiderstand und der Betriebsgröße treffen diese Werte auf mittelschweren Boden und eine Einsatzfläche des Maschinenbestandes von ca. 100 ha Getreide zu.

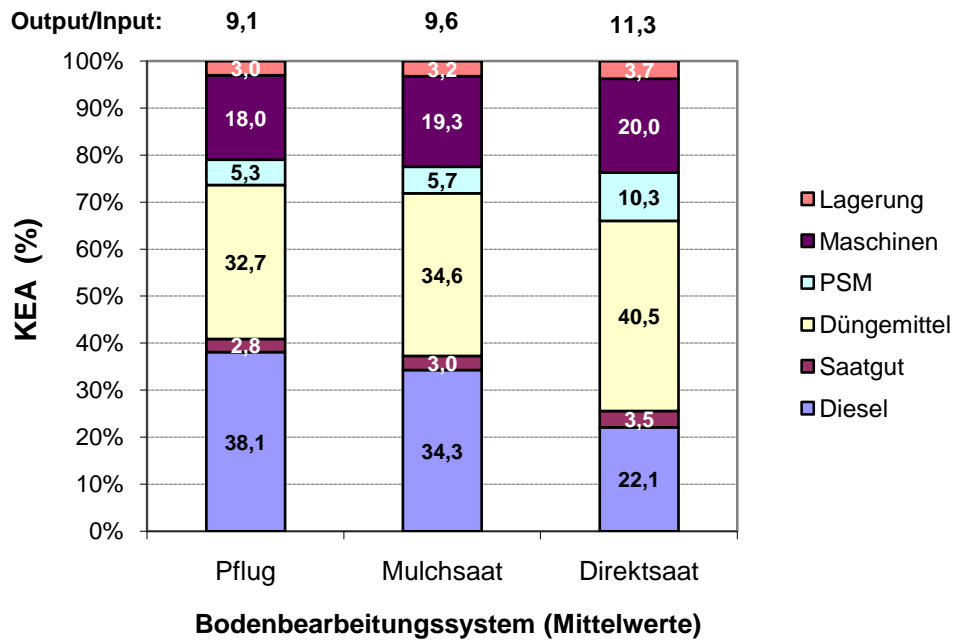


Abbildung 27: Relativer Anteil der einzelnen Betriebsmittel am KEA/ha WW in Abhängigkeit des Bodenbearbeitungssystems

In Abbildung 27 ist ersichtlich, dass durch den sinkenden Dieserverbrauch mit sinkender Bearbeitungsintensität (Mulch- und Direktsaat) der Einfluss der anderen Betriebsmittel am KEA steigt. Vor allem die Düngung bekommt mit 40 % bei Direktsaat sehr hohe Bedeutung.

Auffällig ist auch der geringe Einfluss der Saatgutproduktion und der Getreidelagerung.

5.2.3 Faktor Bodenbearbeitungswiderstand

Der Bodenbearbeitungswiderstand ist als einziger der bewerteten Produktionsparameter unveränderbar. Trotzdem ist das Wissen über die Höhe seines Einflusses wichtig.

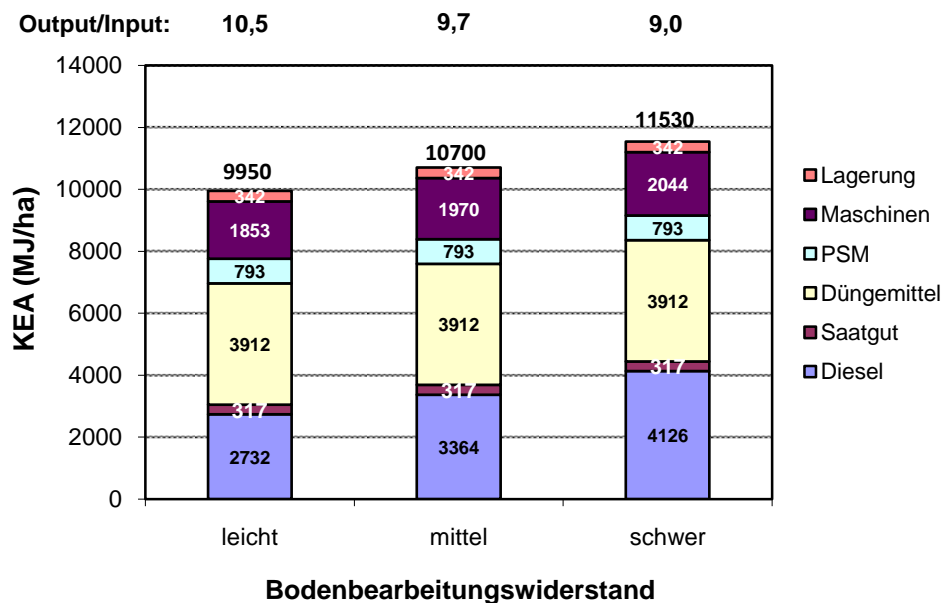


Abbildung 28: Kumulierter Energieaufwand (KEA) und Output/Input - Verhältnis bei den Bodenbearbeitungswiderständen leicht, mittel und schwer. Die untersuchten Produktionssysteme, Bodenbearbeitungssysteme und Betriebsgrößen flossen in die Berechnung ein (Mittelwerte)

Der Einfluss der Bodenschwere sollte nicht unterschätzt werden. Immerhin macht der Unterschied von leicht auf schwer mit 1600 MJ/ha (40 l Diesel) soviel aus wie der durchschnittliche energetische Aufwand für Pflanzenschutzmittel, Lagerung und Saatgut zusammen. Klarerweise hängt der Einfluss des Bodenbearbeitungswiderstandes vom Bodenbearbeitungssystem, bei Direktsaat ist der Einfluss weit geringer als zum Beispiel bei Mulchsaat mit krumentiefer Lockerung oder Pflugeinsatz.

Der energetische Einfluss der Maschinen steigt mit dem Bodenbearbeitungswiderstand, weil der Zugleistungsbedarf ansteigt und leistungsstärkere Schlepper mehr Eigengewicht aufweisen, was einen höheren KEA zur Folge hat.

5.2.4 Faktor Betriebsgröße

Die bearbeitete Getreidefläche wirkt sich über den indirekten Energieeinsatz der eingesetzten Maschinen (Auslastung) auf die Energiebilanz der Getreideproduktion aus. Die mit der Betriebsgröße steigende Feldentfernung hat einen erhöhten Dieselbedarf zur Folge, der aber bei den im Modell angenommenen kurzen Entfernungen nur eine geringe Rolle spielt.

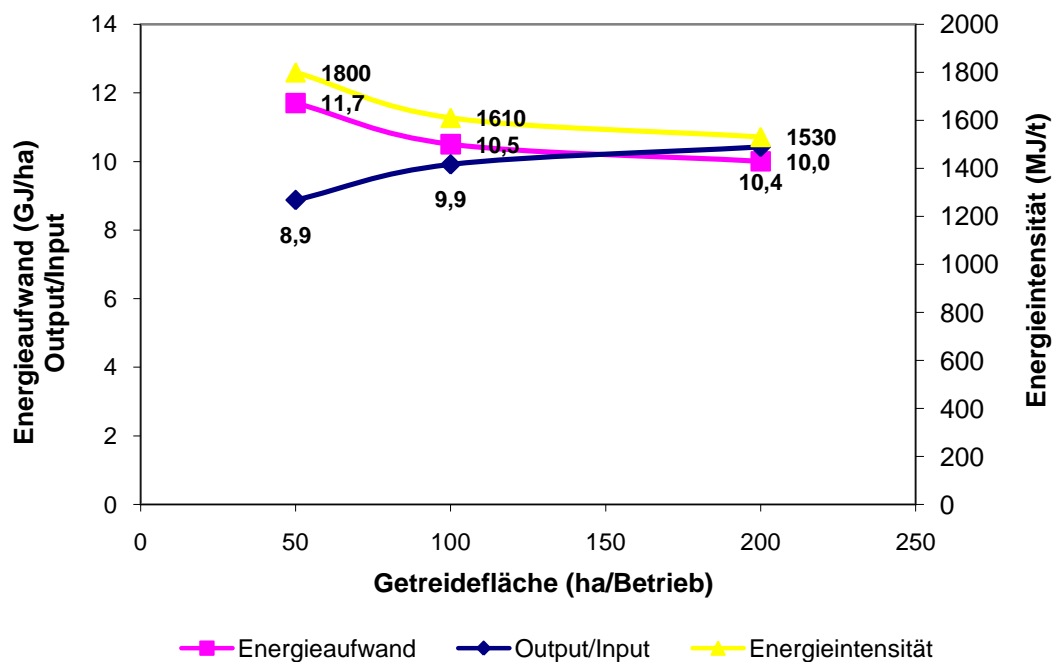


Abbildung 29: Einfluss der Getreidefläche pro Betrieb auf den kumulierten Energieaufwand, Output/Input Verhältnis und die Energieintensität beim untersuchten Maschinenbestand (Schlepper 67 - 120 kW, bei Bodenbearbeitung vorwiegend 3 m Arbeitsbreite)

In Abbildung 29 wurde der Energieaufwand, das Output/Input Verhältnis und die Energieintensität in Abhängigkeit von der Getreidefläche, auf welcher der Maschinenbestand eingesetzt wird, dargestellt. Man kann gut erkennen, dass ab einer Einsatzfläche von ca. 150 ha mit dem gegebenen Maschinenpark kaum noch Einsparpotential vorhanden ist. Viele Maschinen erreichen bereits eine Auslastung über der „energetischen“ Abschreibungsschwelle, was bedeutet, dass eine Ersatzinvestition schon vor Erreichen der maximalen Nutzungsdauer nötig wird, wodurch der Kumulierte Energieaufwand dieser Maschine pro ha Einsatzfläche konstant bleibt und nicht mehr mit steigender Auslastung sinkt.

Ergebnisse und Diskussion

Bei Erreichen von Kapazitätsgrenzen (zum Beispiel verfügbare Feldarbeitstage) ist eine größere Dimensionierung der Maschinen notwendig. Diese benötigt allerdings wiederum eine höhere Auslastung, um eine hohe Energieeffizienz zu erreichen.

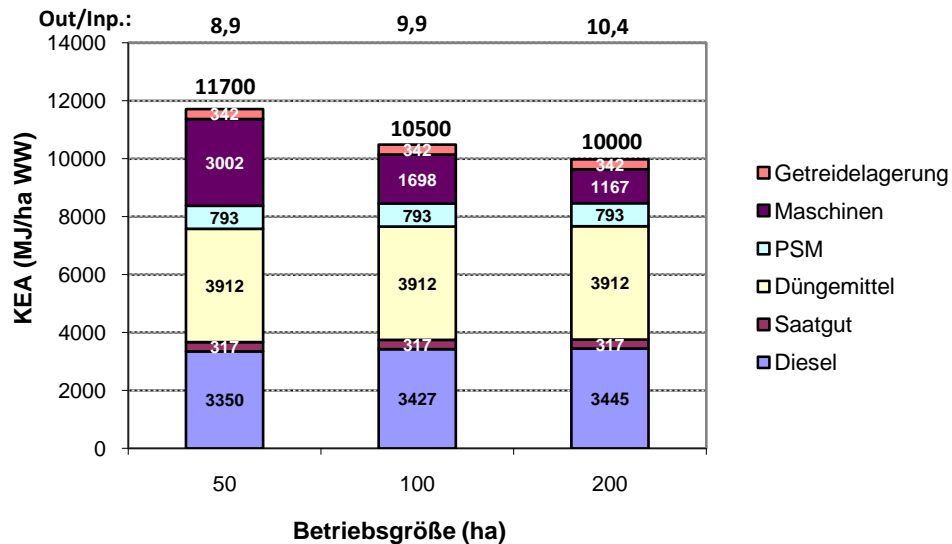


Abbildung 30: KEA in MJ/ha WW in Abhängigkeit von der bearbeiteten Getreidefläche. Mittelwerte (Bodenbearbeitungssysteme, Produktionssysteme und Bodenbearbeitungswiderstände flossen ein)

In Abbildung 30 ist ersichtlich, dass über Auslastung des Maschinenbestandes durchschnittlich 1850 MJ/ha einzusparen sind. Dies entspricht umgerechnet 47 l Dieselkraftstoff. Der Anteil der Maschinen am KEA sinkt von 25,6 % bei 50 ha Getreidefläche über 16,2 % bei 100 ha auf 11,7 % bei 200 ha Getreidefläche pro Betrieb. Neben positiven Auswirkungen auf den KEA hat höhere Auslastung auch betriebswirtschaftliche Vorteile. Kleinere Betriebe können diese Vorteile mittels Gemeinschaftsmaschinen (Voraussetzung genügend Einsatzfläche) oder Fremdmechanisierung nutzen.

Die größte Einsparung durch Auslastung der Maschinen ist bei den Varianten Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz und Mulchsaat möglich. Der Sprung von 50 auf 200 ha macht hier bis zu 2200 MJ/ha WW Einsparung aus.

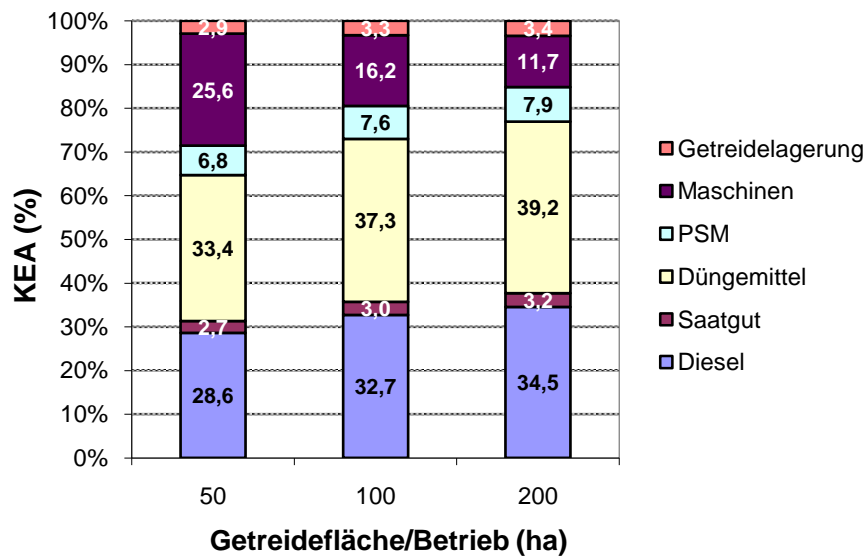


Abbildung 31: Relative Anteile der Betriebsmittel am KEA in Abhängigkeit der Getreidefläche/Betrieb

Es ist durch angepasste Mechanisierung möglich, den indirekten Energieeinsatz durch Maschinen auf beinahe 10 % des kumulierten Energieaufwands der Getreideproduktion zu senken. Dies erfordert allerdings in kleinstrukturierten Regionen ein Denken über die Betriebsgrenzen hinaus. In den meisten Fällen hat überbetriebliche Mechanisierung klarerweise auch positiven Einfluss auf die Kosten.

6. Schlussfolgerungen

6.1 Schlussfolgerungen für die Praxis

Bei der Erstellung des Modells wurde eine praxistaugliche Formulierung der Parameter berücksichtigt. So sind die gewählten Düngungsarten praxistauglich, der Maschineneinsatz in dieser Form durchaus üblich.

Beim Dieserverbrauch zeigt sich die große Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem und vom Bodenbearbeitungswiderstand. So hat beispielsweise der Pflugeinsatz auf leichten Standorten einen weit geringeren Mehrverbrauch im Vergleich zur Direktsaat als auf schweren Standorten. Berücksichtigt man auch die Möglichkeit der natürlichen Lockerung von Tonböden im Vergleich zu Sandböden, so ist die Direktsaat vor allem auf schweren Böden vorteilhaft. Bei Direktsaat ist allerdings eine hohe Auslastung der Sämaschine sicherzustellen, und Übermechanisierung bei den Zugmaschinen ist sowohl aus energetischen als auch ökonomischen Gründen zu vermeiden.

Wirtschaftsdüngereinsatz ist energetisch vorteilhaft. So sollte zumindest ein Teil der Mineraldünger durch Wirtschaftsdünger ersetzt werden. In Zeiten hoher Düngerpreise macht dies auch ökonomisch Sinn. Bei der Lagerung und Ausbringung müssen die Grundlagen der sachgerechten Düngung berücksichtigt werden um gasförmige Stickstoffverluste möglichst gering zu halten. Generell sollte bei der Düngung der Grundsatz „Soviel als nötig und so wenig als möglich“ eingehalten werden.

Der Maschineneinsatz stellt große Anforderungen an die Betriebsführung. Generell senkt eine hohe Auslastung der Maschinen den indirekten Energieeinsatz der Rohstoffproduktion. Maschinengemeinschaften und überbetrieblicher Maschineneinsatz sind daher neben ihrer ökonomischen Vorzüglichkeit auch energetisch sehr sinnvoll. Es gibt aber auch Ausnahmen. Wie man speziell im Kapitel 5.1.5.3 (Erntemaschinen) erkennen kann, ist manchmal der Einsatz einer größeren Maschine energetisch besser.

Schlussfolgerungen

Pflanzenschutzmitteleinsatz ist in der konventionellen Landwirtschaft eine wichtige Grundlage der Ertragssicherung geworden. Überraschend ist der hohe Primärenergieeinsatz bei der Herstellung von Herbiziden. So ist der Diesel- und Technikeinsatz beim Pflanzenschutz energetisch zu vernachlässigen, der Herbizideinsatz allerdings verhältnismäßig energieaufwendig. Mechanische Unkrautbekämpfung wäre aus dieser Sicht auch bei konventioneller Bewirtschaftung überlegenswert.

Eine Überfahrt mit einem Totalherbizid verursacht im Modell einen Energieeinsatz von 570 MJ/ha. Dies entspricht 14 l Dieselkraftstoff. In der Folge ist der Pflugeinsatz statt Grubber + Totalherbizid auf vielen Standorten energetisch sinnvoll, wobei bei dieser Einschätzung ökonomische und bodenbiologische Faktoren (Erosionsrisiko) unberücksichtigt bleiben.

6.2 Schlussfolgerungen für die Wissenschaft

Die Produktion von Winterweizen ist bei allen Varianten energetisch klar positiv, im schlechtesten Falle wird ein Output/Input Faktor von 6 erreicht. Diese Erkenntnisse, welche sich auch mit den Erkenntnissen von Kollegen decken, sollten mit Hilfe von wissenschaftlichen Arbeiten in die Öffentlichkeit getragen werden.

Auch die Erkenntnis, dass sich der ökologische Landbau bei Berücksichtigung aller Faktoren energetisch zwischen den konventionellen Varianten mit Mineraldüngung und Wirtschaftsdüngernutzung einordnet, sollte bei anderen Kulturen nachgeprüft werden und dann der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

Energieaufwände im Rahmen der N – Fixierung im Ökolandbau müssen berücksichtigt werden, energetische Nutzung von Aufwüchsen im Rahmen der N – Fixierung forciert und energetisch positiv beurteilt werden.

Es stellt sich die berechtigte Frage, ob das erstellte Modell die Fragestellung ausreichend beantwortet. Auf Grund der ohnehin schon großen Variantenvielfalt (81 betrachtete Varianten) wären aber weitere Annahmen wie zum Beispiel unterschiedliche Ertragsniveaus sehr umfangreich. Eine weitere interessante Variante wäre eine Mulchsaatvariante mit nur einer flachen Bearbeitung, welche sich

Schlussfolgerungen

zwischen den im Modell definierten Mulchsaatvarianten und den Direktsaatvarianten ansiedeln würde.

7. Weiterführende Arbeiten

Bei der Berechnung des kumulierten Energieaufwands der Getreideproduktion zeigte sich der hohe Energieaufwand für das Mulchen von Kulturen zur Bodenverbesserung im Ökolandbau. Neben einer Futternutzung, welche in traditionellen Ackerbaugebieten nur schwer möglich ist, wäre eine Nutzung in Biogasanlagen überlegenswert. Um diese Nutzung im Rahmen der Energiebilanzierung abgelten zu können, wären Untersuchungen des KEA für den Bau und den Betrieb von Biogasanlagen nötig. In diesem Punkt herrscht Forschungsbedarf.

Im Modell war das Produktionssystem „Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz“ den anderen Produktionssystemen überlegen. Schlussfolgernd sollte in weiterführenden Arbeiten die Verwendung von Getreide als Futtermittel berücksichtigt werden, welches durch die Verwendung von Wirtschaftsdüngern eine deutlich bessere Energiebilanz als mit nur mineralischen Düngemitteln versorgtes Getreide aufweist. Außerdem sollte Rohstoffanfall (N – P – K) pro t gefüttertes Getreide analysiert werden und eruiert, wie hoch die mineralische Ergänzungsdüngung bei Einsatz der Gülle aus der Tierhaltung sein müsste. Vermutlich würde dieses Schließen von Stoffkreisläufen positive energetische Effekte auf tierische Produkte haben.

Die Arbeit liefert eine Basis für weiterführende Analysen in der tierischen Veredelung. Die Energieeffizienz der Fleisch- und Milcherzeugung durch den zusätzlichen Einsatz von Kraftfutter (Getreide) sind weitere Fragestellungen, die betrachtet werden sollten.

Diese Arbeit hat nur den kumulierten Energieaufwand berücksichtigt, Emissionen im Rahmen der Getreideproduktion und der Produktion der Betriebsmittel blieben gänzlich unbewertet. Hier sollten weiterführende Arbeiten Ansetzen. Im Zuge der Bewertung von Stickoxiden darf die N – Fixierung nicht übersehen werden, weil die Verrottung von Aufwüchsen genauso Lachgas freisetzt wie andere Arten der Stickstoffversorgung.

8. Zusammenfassung

Um eine zusammenfassende Aussage treffen zu können, gilt es noch einmal die Zielsetzung der Arbeit zu überdenken. Mit einem Modell sollten die verschiedenen Einflussfaktoren und Produktionsbedingungen der mitteleuropäischen Getreideproduktion auf ihre Energieeffizienz hin untersucht werden.

Beachtete Einflussfaktoren im Modell

Faktor			
Produktionssystem	Konventionell Mineraldünger (KM)	Konventionell Wirt- schaftsdünger (KW)	Ökologisch (ÖKO)
Bodenbearbeitung	Pflugeinsatz (PF)	Mulchsaat (MS)	Direktsaat (DS)
Bodenschwere	leicht (l)	mittel (m)	schwer (s)
Betriebsgröße	50 ha	100 ha	200 ha

Im Rahmen der Diplomarbeit zeigte sich, dass sich der kumulierte Energieaufwand der Weizenproduktion bei den betrachteten Produktionsbedingungen zwischen 7500 und 16500 MJ/ha erstreckt. Das Output/Input-Verhältnis bewegte sich zwischen 6,5 und 15,0 und unterstreicht die positive Energiebilanz der Getreideproduktion, die unter allen untersuchten Bedingungen klar positiv ausfällt. Eine energetische Nutzung von Getreide kann daher bei energieeffizienten Umwandlungsprozessen sinnvoll sein.

Allein durch den Wechsel des Bodenbearbeitungssystems von Pflugeinsatz auf Direktsaat können durchschnittlich 2250 MJ/ha eingespart werden.

Auch der Bodenbearbeitungswiderstand spielt, wobei dieser unveränderbar ist, eine oft unterschätzte Rolle. Der Unterschied zwischen BBW mittelschwer und schwer macht im Mittel über alle Varianten mit 1600 MJ/ha immerhin 40 l Dieselkraftstoff aus. Vergleicht man nur die Pflugvarianten, so macht der Unterschied mit 1900 MJ/ha sogar 48 l Diesel aus. Mit diesen 48 l Diesel kann man beim Modell Konventionell mit Mineraldüngereinsatz und Direktsaat bei allen Bodenbearbeitungswiderständen und Betriebsgrößen den gesamten Treibstoffverbrauch (Aussaat, Pflege und Ernte) abdecken.

Auch die Auslastung der Maschinen darf nicht vernachlässigt werden. Hier sind auch, wie in Kapitel 5.2.4 beschrieben, durchschnittlich 1850 MJ beim Sprung von 50 auf 200 ha einzusparen.

Zusammenfassung

Bei Betrachtung der Einzelkategorien sind vor allem die Düngung und der Dieserverbrauch erwähnenswert.

Der Diesereinsatz ist im ökologischen Produktionssystem der größte Einflussfaktor. Er macht nahezu 50 % des kumulierten Energieeinsatzes aus. Der Einfluss der Bodenschwere auf den Dieserverbrauch sollte nicht unterschätzt werden, so macht bei BBW leicht der Diesereinsatz durchschnittlich 27 %, bei schwer hingegen 35% der eingesetzten kumulierten Energie aus.

Die Art der Düngung ist primär eine Frage des Produktionssystems, wobei auch die Nutzung des Agrarrohstoffes mit einem eventuellen Anfall von Wirtschaftsdüngern berücksichtigt werden muss. Größter Inputfaktor ist der mineralische Stickstoffdünger, welcher, wenn möglich, durch Wirtschaftsdünger und Anbau von Leguminosen in der Fruchtfolge reduziert werden sollte. So macht die Düngung beim Produktsystem Konventionell mit Mineraldüngereinsatz (Stickstoffdüngung mittels KAS) über 52% des KEA aus, während sich dieser Anteil bei Wirtschaftsdüngereinsatz auf 25 % reduzieren lässt. Bei der Düngung darf die Kalkung nicht vergessen werden, welche bei allen Varianten im Modell 1000 MJ/ha ausmacht.

Generell gilt es, Übermechanisierung zu vermeiden, weil dadurch der indirekte Energieaufwand pro Flächeneinheit ansteigt. Es zeigt sich allerdings speziell beim Mähdrescher (siehe Abbildung 19), dass zu kleine Maschinen auf Grund ihres begrenzten Leistungsvorrats schlechter abschneiden können als nächst größere Modelle, die für die benötigte Arbeit weniger Zeit brauchen und dadurch eine höhere Kampagnenleistung haben.

Die Möglichkeiten der Energie und Arbeitszeiterparung bei den Varianten mit Bodenbearbeitungssystem „Direktsaat“ wurden bei der Modellerstellung unterschätzt. Bei konsequenter Direktsaat bei Ackerbaubetrieben der untersuchten Größenordnung bis 200 ha Ackerfläche muss die Anzahl der Zugmaschinen auf eine pro Betrieb reduziert werden, weil für zwei weder die energetische noch die ökonomische Auslastungsschwelle bei üblicher Nutzungsdauer erreicht werden kann. Außerdem sollte die erforderliche Direktsaatmaschine laut KÖLLER und LINKE (2001) auf mindestens 300 ha Getreidefläche pro Jahr eingesetzt werden.

Neben dem Energieeinsatz pro Flächeneinheit ist die Energieeffizienz (MJ/t Korn) eine übergeordnete Kennzahl für die Bewertung von Produktionssystemen, die die

Zusammenfassung

Produktion agrarischer Rohstoffe als Hauptziel haben. Im Mittel über alle betrachteten Varianten liegt das Produktionssystem „Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz“ mit 1360 MJ/t WW vor „Ökologisch mit Fruchtfolgebetrachtung“ (1660 MJ/t) und Konventionell mit Mineraldüngereinsatz (1940 MJ/t WW). Das konventionelle Produktionssystem kann also bei Wirtschaftsdüngereinsatz (Betriebe mit Tierhaltung, Biogasanlagen) energetisch effizienter als das ökologische sein.

9. Literatur

ARMAN (2003): Die Ökobilanz zur Abschätzung von Umweltwirkungen in der Pflanzenproduktion – dargestellt anhand von Praxisversuchen zur konservierenden Bodenbearbeitung und von unterschiedlich intensiv wirtschaftenden konventionellen Betrieben. Dissertation an der Universität Hohenheim: 244-248

ART (2009): Dauerbeobachtungsfläche „Oberacker“: Vergleichsökobilanz bei Direktsaat und Pflug – „Vorteile für System Direktsaat“. In: LOP Landwirtschaft ohne Pflug, 8/2009

BMLFUW (2006): Richtlinien für die sachgerechte Düngung – Anleitung für die Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. 6. Auflage, Wien: 10

BRENTROP, F; KÜSTERS, J. (2008): Energiebilanz der Erzeugung und Verwendung von mineralischen Düngemitteln – Stand der Perspektiven. In: Energieeffiziente Landwirtschaft. KTBL-Schrift 463, Darmstadt: 56-59

BOCKISCH, F. J.; AHLGRIMM, H. J.; BÖHME, H.; BRAMM, A.; DÄMMGEN, U.; FLACHOWSKY, G.; HEINEMEYER, O; HÖPPNER, F.; MURPHY, D. P. L.; ROGASIK, J.; RÖVER, M.; SOHLER, S. (2000): Bewertung von Verfahren der ökologischen und konventionellen landwirtschaftlichen Produktion im Hinblick auf den Energieeinsatz und bestimmte Schadgasemissionen. Landbauforschung Volkerode – Wissenschaftliche Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). Sonderheft 211: 29-41

BÖTTINGER, S. (2008): Entwicklung der Energieeffizienz bei Landmaschinen. In: Energieeffiziente Landwirtschaft. KTBL-Schrift 463, Darmstadt: 32-35

DÖHLER, H. (2008): Energiebilanzen und Energieeffizienz von organischer und mineralischer Düngung im Ackerbau. Energieeffiziente Landwirtschaft. KTBL-Schrift 463, Darmstadt: 77

Literatur

DOW AGRO (2008): Gladio Produktinformation 2008.

http://www.dowagro.com/PublishedLiterature/dh_00e8/0901b803800e8c90.pdf?filepath=de/pdfs/noreg/011-02117.pdf&fromPage=GetDoc (Zugriff 1.2009)

GREEF, J. M.; HANSEN, F.; PASDA, G.; DIEPENBROCK, W. (1993): Die Strahlungs-, Energie- und Kohlendioxidbindung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen – Ergebnisse und Modellrechnungen. Ber. Ldw. 71, 554-566

GREEN, M.B. (1987): Energy in Pesticide Manufacture, Distribution and Use. In: Z.R. Hessel (Hrsg) *Energy in Plant Nutrition and Pest Control*. Vol. 2 of Energy in World Agriculture Series. Amsterdam (Elsevier): 165-177

HÜLSBERGEN, K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung landwirtschaftlicher Systeme. Aachen: Shaker Verlag

JENSSEN, T. K.; KONGSHAUG, G. (2003): Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertiliser production. IFS Proceedings No: 509, York, UK

KÖLLER, K.; LINKE, C. (2001): Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug. Frankfurt am Main, DLG-Verlags-GmbH: 73-79

KTBL (2006): Betriebsplanung Landwirtschaft 2006/07. Darmstadt

RAMHARTER, R. (1999): Energiebilanzierung ausgewählter Feldfrüchte des biologischen und konventionellen Landbaus im pannonischen Klimaraum. BOKU-Dissertation

SALING, P.; KÖLSCH, D. (2008): Ökobilanzierung: Energieverbräuche und CO₂-Emissionen von Pflanzenschutzmitteln. In: *Energieeffiziente Landwirtschaft*. KTBL-Schrift 463, Darmstadt: 65-70

SCHOLZ, V. (1997): Methodik zur Ermittlung des Energieaufwandes pflanzenbaulicher Produkte am Beispiel von Biofestbrennstoffen. *Agrartechnische Forschung* 3 (1997) H. 1. 11-18

Literatur

VERSUCHSREFERAT STEIERMARK (2007a): Wachstumsregulatoren- und Düngungsversuche Kalsdorf bei Ilz (FS Hatzendorf) - dreijährige Ergebnisse www.versuchsreferat.at (Zugriff 6.2008 und 1.2009)

VERSUCHSREFERAT STEIERMARK (2007b): Winterweizen - Düngungs- und Sortenversuch im biolog. Landbau (FS Alt Grottenhof) – dreijährige Ergebnisse www.versuchsreferat.at (Zugriff 6.2008 und 1.2009)

10. Anhang

Inhaltsverzeichnis Anhang

Eingesetzte Maschinen (Leistungsvorrat) I

Die im Modell eingesetzten Maschinen werden vorgestellt. Je nach Produktions- und Bodenbearbeitungssystem kam ein Teil dieser Maschinen zum Einsatz. Die genaue Aufteilung ist in Kapitel 5 (Ergebnisse und Diskussion) unter Betriebsmittel – Maschinen nachlesbar.

Eingesetzte Maschinen (Kumulierter Energieaufwand) II

Der Energieaufwand für Herstellung, Unterhaltung (ohne Treibstoffe) und Entsorgung der eingesetzten Maschinen wird aufgeführt. KEA Gesamtmaschine umfasst jene Energie, die im Rahmen der Nutzungsdauer für die jeweilige Maschine (ohne Treibstoffe) aufgewendet werden muss. KEA/h bzw. KEA/ha bedeutet eine Aufteilung dieser Energiesumme auf die im Modell unterstellte Gesamt-Nutzungsdauer in Stunden oder Hektar bearbeitete Fläche, wobei bei Maschinen mit Verbrennungsmotor generell von einem Leistungsvorrat in Stunden ausgegangen wird.

Dieserverbrauch bei den untersuchten Varianten (I – II) III

Zu den betrachteten Produktionssystemen wird der Dieserverbrauch in Litern und MJ (1 l Diesel umfasst 39,8 MJ) aufgeschlüsselt in die Unterkategorien „Grundbodenbearbeitung + Aussaat“, „Düngung + Pflege“, „Ernte“ und „Stoppelbearbeitung“ angegeben.

Indirekter Energieeinsatz durch Maschineneinsatz (I – IV) IV

Der Energieeinsatz (ohne Treibstoffe) in Form von Maschinen (KEA) wird bei den einzelnen Produktionssystemen aufgezeigt. Es erfolgt die in der Arbeit übliche Unterscheidung zwischen 50, 100 und 200 ha Getreidefläche pro Betrieb. Die eingesetzten Maschinen werden in die Gruppen „Zugmaschinen“, „Bodenbearbeitungsgeräte + Sämaschine“, „Mähdrescher und Anhänger“ und „Geräte für Düngung und Pflege“ unterteilt.

Energiebilanzierung Winterweizenproduktion (Mittelwerte I – II)

IX

In diesen beiden Tabellen werden die Ergebnisse der Energiebilanzierung der Winterweizenproduktion dargestellt. „Mittelwerte“ bedeutet, dass alle Varianten, welche die entsprechende Kategorie umfassen, gemittelt wurden. Dadurch wird das Ergebnis aussagekräftiger und abgesichert. Der Energieinput wird in die Bereiche „Diesel“, „Saatgut“, „Düngemittel“, „Indirekter Energieaufwand Maschinen“ und „Getreidelagerung“ unterteilt. Wichtige Kennzahlen für die Bewertung der energetischen Effizienz sind die Energieintensität [MJ/t WW], das Output/Input-Verhältnis und der Netto- Energieoutput, welcher in Megajoule angegeben wird.

Energiebilanzierung Winterweizenproduktion

XI

Die Ergebnisse aller Varianten werden dargestellt. Unterschieden wird nach Produktionssystem und Betriebsgröße (Bearbeitete Getreidefläche). Folgende Abkürzungen werden verwendet:

PF	Pflugeinsatz	l	Bodenschwere leicht
MS	Mulchsaat	m	Bodenschwere mittel
DS	Direktsaat	s	Bodenschwere schwer

Eingesetzte Maschinen (Leistungsvorrat)

Maschine	Eigenschaften				Gewicht	Leistungsvorrat				
	Bezeichnung	Größe	Besitz	Abkürzung		Typ	kg	h	ha	a (KTBL)
Schlepper 1	120 kW	Eigenmech.	S1	JD 6830 Pr	6300	10000			12	18
Schlepper 2	102 kW	Eigenmech.	S2	JD 6530 Pr	5200	10000			12	18
Schlepper 3	67 kW	Eigenmech.	S3	Steyr 9095 MT	4300	10000			12	18
Schlepper 4	45 kW	Eigenmech.	S4	Steyr 360 Kompakt	2800	10000			12	18
Pflug	4 scharig, 1,40 m	Eigenmech.	PF	Lemken, VariOpal 8	1375		2000		14	21
Grubber	3 m	Eigenmech.	GR	Amazone, Cenius Special	1900		3000		14	21
Kurzscheibenegge	3 m	Eigenmech.	KSE	Amazone, Catros 3001	1700		3000		14	21
Kreiselegge	3 m	Eigenmech.	KE	Amazone, KE 303 170	1450		3000		8	12
Saatbettkombination	4 m	Eigenmech.	SBK	Lemken, System Korund 400 L	1340		2000		14	21
Scheibensämaschine	3 m	Eigenmech.	SSM	Reform Semo S3	560		2250		14	21
Mulchsämaschine	3 m	Eigenmech.	MSM	Lemken Kompakt Solitär	3590		2100		10	15
Direktsämaschine	3 m	Eigenmech.	DSM	JD 750 A	2900		2100		10	15
Striegel	6 m	Eigenmech.	ST	Hatzenbichler Federzahnegge	710		3000		12	18
Düngerstreuer	900 l - 1700 l	Eigenmech.	DS	Amazone, ZAM 900, erweiterbar	300		2000 t		10	15
Feldspritze	1350 l, 18m	Eigenmech.	FS	Amazone, UF 1201	925		6000		10	15
Güllefass	10 m ³	Eigenmech.	GF	Vakutech VA 10500	3500		100000 m ³		10	15
Kipper	12 t NL	Eigenmech.	K1	Brantner 2 Achs, 18050/1	4200		50000 t		15	22,5
Kipper	18 t NL	Eigenmech.	K2	Brantner 3 Achs, 24060/2	5500		63000 t		15	22,5
Mähdrescher 1	3 m, 92 kW	Eigenmech.	MD 1	Claas, Dominator 130	8300	3000			10	15
Mähdrescher 2	4,5 m, 135 kW	Eigenmech.	MD 2	Claas, Medion 310	10000	3000			10	15
Mulcher	3 m	Eigenmech.	MU	Kuhn, BK 280	1100		1200		8	12
Kalkstreuer	8 m ³	Leihmaschine	KS	Hufgard, HGS 10000 classic	2800		22500 t		10	15

Eingesetzte Maschinen (Kumulierter Energieaufwand)

Maschine Bezeichnung	Eigenschaften Größe	Leistungsvorrat				KEA/kg [MJ]				KEA Maschine [MJ]	
		h	ha	a (KTBL)	a + 50%	KEA H	KEA U	KEA E	KEA ges	Gesamtmaschine	KEA/h bzw ha
Schlepper 1	120 kW	10000		12	18	65	27	0,5	92,5	582750	58,3
Schlepper 2	102 kW	10000		12	18	65	27	0,5	92,5	481000	48,1
Schlepper 3	67 kW	10000		12	18	65	27	0,5	92,5	397750	39,8
Schlepper 4	45 kW	10000		12	18	65	27	0,5	92,5	259000	25,9
Pflug	4 scharig, 1,40 m		2000	14	21	48	24	0,5	72,5	99688	49,8
Grubber	3 m		3000	14	21	48	24	0,5	72,5	137750	45,9
Kurzscheibenegge	3 m		3000	14	21	48	24	0,5	72,5	123250	41,1
Kreiselegge	3 m		3000	8	12	48	24	0,5	72,5	105125	35,0
Saatbettkombination	4 m		2000	14	21	48	24	0,5	72,5	97150	48,6
Scheibensämaschine	3 m		2250	14	21	48	24	0,5	72,5	40600	18,0
Mulchsämaschine	3 m		2100	10	15	48	24	0,5	72,5	260275	123,9
Direktsämaschine	3 m		2100	10	15	48	24	0,5	72,5	210250	100,1
Striegel	6 m		3000	12	18	48	24	0,5	72,5	51475	17,2
Düngerstreuer	900 l - 1700 l		2000 t	10	15	55	15	0,5	70,5	21150	
Feldspritze	1350 l, 18m		6000	10	15	55	15	0,5	70,5	65213	10,9
Güllefass	10 m ³		100000 m ³	10	15	55	15	0,5	70,5	246750	
Kipper	12 t NL		50000 t	15	22,5	50	25	0,5	75,5	317100	
Kipper	18 t NL		63000 t	15	22,5	50	25	0,5	75,5	415250	
Mähdrescher 1	3 m, 92 kW	3000		10	15	70	22	0,5	92,5	767750	255,9
Mähdrescher 2	4,5 m, 135 kW	3000		10	15	70	22	0,5	92,5	925000	308,3
Mulcher	3 m		1200	8	12	55	22	0,5	77,5	85250	71,0
Kalkstreuer	8 m ³		22500 t	10	15	55	15	0,5	70,5	197400	

Dieserverbrauch bei den untersuchten Varianten (I)

Konventionell mit Mineraldüngereinsatz

	Einheit	PF - I	MS - I	DS - I	PF - m	MS - m	DS - m	PF - s	MS - s	DS - s
Energieintensität Diesel	MJ/t WW	413	346	210	544	439	229	682	581	241
Verbrauch Diesel gesamt	l/ha	72,6	60,8	36,9	95,7	77,2	40,2	119,9	102,1	42,3
KEA Diesel	MJ/ha	2889	2420	1469	3809	3073	1600	4772	4064	1684
GBB + Aussaat	l/ha	29,8	18	5,3	45	26,5	8,3	59,2	41,4	10,4
	MJ/ha	1186	716	211	1791	1055	330	2356	1648	414
Pflege + Düngung	l/ha	7,5	7,5	8,6	7,8	7,8	8,9	7,8	7,8	8,9
	MJ/ha	299	299	342	310	310	354	310	310	354
Ernte	l/ha	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	MJ/ha	915	915	915	915	915	915	915	915	915
Stoppelparbeitung	l/ha	12,3	12,3	0	19,9	19,9	0	29,9	29,9	0
	MJ/ha	490	490	0	792	792	0	1190	1190	0

Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz

	Einheit	PF - I	MS - I	DS - I	PF - m	MS - m	DS - m	PF - s	MS - s	DS - s
Energieintensität Diesel	MJ/t WW	470	404	267	600	495	285	738	637	297
Verbrauch Diesel gesamt	l/ha	82,7	71	47	105,6	87,1	50,1	129,8	112	52,2
KEA Diesel	MJ/ha	3291	2826	1871	4203	3467	1994	5166	4458	2078
GBB + Aussaat	l/ha	29,8	18,1	5,3	45	26,5	8,3	59,2	41,4	10,4
	MJ/ha	1186	720	211	1791	1055	330	2356	1648	414
Pflege + Düngung	l/ha	17,6	17,6	18,7	17,7	17,7	18,8	17,7	17,7	18,8
	MJ/ha	700	700	744	704	704	748	704	704	748
Ernte	l/ha	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	MJ/ha	915	915	915	915	915	915	915	915	915
Stoppelparbeitung	l/ha	12,3	12,3	0	19,9	19,9	0	29,9	29,9	0
	MJ/ha	490	490	0	792	792	0	1190	1190	0

Dieserverbrauch bei den untersuchten Varianten (II)

Ökologisch mit Fruchtfolgebetrachtung

	Einheit	PF - I	MS - I	DS - I	PF - m	MS - m	DS - m	PF - s	MS - s	DS - s
Energieintensität Diesel	MJ/t WW	708	620	420	900	760	457	1098	970	485
Verbrauch Diesel gesamt	l/ha	89,0	77,8	52,7	113,0	95,5	57,4	138,0	121,8	60,9
KEA Diesel	MJ/ha	3541	3098	2099	4499	3801	2285	5491	4848	2424
GBB + Aussaat	l/ha	29,8	18,1	5,3	45	26,5	8,3	59,2	41,4	10,4
	MJ/ha	1186	720	211	1791	1055	330	2356	1648	414
Pflege + Düngung (FF - mit Mulchen)	l/ha	28,1	28,6	28,6	29,5	30,5	30,5	30,3	31,9	31,9
	MJ/ha	1117	1140	1140	1175	1214	1214	1205	1270	1270
Ernte	l/ha	19,9	19,9	19,9	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
	MJ/ha	792	792	792	788	788	788	788	788	788
Stoppelbearbeitung	l/ha	12,3	12,3	0	19,9	19,9	0	29,9	29,9	0
	MJ/ha	490	490	0	792	792	0	1190	1190	0

Ökologisch ohne Fruchtfolgebetrachtung

	Einheit	PF - I	MS - I	DS - I	PF - m	MS - m	DS - m	PF - s	MS - s	DS - s
Energieintensität Diesel	MJ/t WW	546	457	258	738	599	296	937	808	323
Verbrauch Diesel gesamt	l/ha	68,6	57,5	32,4	92,8	75,2	37,1	117,7	101,5	40,6
KEA Diesel	MJ/ha	2730	2287	1288	3692	2994	1478	4684	4041	1617
GBB + Aussaat	l/ha	29,8	18,1	5,3	45	26,5	8,3	59,2	41,4	10,4
	MJ/ha	1186	720	211	1791	1055	330	2356	1648	414
Pflege + Düngung (ohne Mulchen)	l/ha	6,6	7,2	7,2	8,1	9,0	9,0	8,8	10,4	10,4
	MJ/ha	263	285	285	321	360	360	350	415	415
Ernte	l/ha	19,9	19,9	19,9	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
	MJ/ha	792	792	792	788	788	788	788	788	788
Stoppelbearbeitung	l/ha	12,3	12,3	0	19,9	19,9	0	29,9	29,9	0
	MJ/ha	490	490	0	792	792	0	1190	1190	0

Indirekter Energieeinsatz durch Maschineneinsatz (I)

Konventionell mit Mineraldüngereinsatz

50 ha Getreidefläche		PF - I	MS - I	DS - I	PF - m	MS - m	DS - m	PF - s	MS - s	DS - s
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/ha	2639	2755	2440	2886	3002	2687	3077	3115	2800
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/t WW	377	394	349	412	429	384	440	445	400
Zugmaschinen	MJ/ha	730	730	730	976	976	976	1089	1089	1089
Bodenbearbeitungsgeräte + Sämaschine	MJ/ha	479	596	280	479	596	280	557	596	280
Mähdrescher + Anhänger	MJ/ha	1306	1306	1306	1306	1306	1306	1306	1306	1306
Geräte für Düngung und Pflege	MJ/ha	124	124	124	124	124	124	124	124	124
100 ha Getreidefläche										
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/ha	1517	1549	1366	1639	1673	1489	1686	1729	1545
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/t WW	217	221	195	234	239	213	241	247	221
Zugmaschinen	MJ/ha	365	365	365	488	488	488	545	545	545
Bodenbearbeitungsgeräte + Sämaschine	MJ/ha	292	324	140	291	324	140	281	324	140
Mähdrescher + Anhänger	MJ/ha	794	794	794	794	794	794	794	794	794
Geräte für Düngung und Pflege	MJ/ha	67	67	67	67	67	67	67	67	67
200 ha Getreidefläche										
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/ha	1111	1071	869	1140	1097	930	1159	1141	959
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/t WW	159	153	124	163	157	133	166	163	137
Zugmaschinen	MJ/ha	284	239	182	313	265	244	385	309	272
Bodenbearbeitungsgeräte + Sämaschine	MJ/ha	252	257	100	252	257	100	199	257	100
Mähdrescher + Anhänger	MJ/ha	525	525	525	525	525	525	525	525	525
Geräte für Düngung und Pflege	MJ/ha	51	51	62	51	51	62	51	51	62

Indirekter Energieeinsatz durch Maschineneinsatz (II)

Konventionell mit Wirtschaftsdüngereinsatz

50 ha Getreidefläche		PF - I	MS - I	DS - I	PF - m	MS - m	DS - m	PF - s	MS - s	DS - s
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/ha	2968	3084	2769	3214	3331	3015	3405	3444	3128
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/t WW	424	441	396	459	476	431	486	492	447
Zugmaschinen	MJ/ha	730	730	730	976	976	976	1089	1089	1089
Bodenbearbeitungsgeräte + Sämaschine	MJ/ha	479	596	280	479	596	280	557	596	280
Mähdrescher + Anhänger	MJ/ha	1306	1306	1306	1306	1306	1306	1306	1306	1306
Geräte für Düngung und Pflege	MJ/ha	453	453	453	453	453	453	453	453	453
100 ha Getreidefläche										
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/ha	1745	1735	1530	1803	1837	1653	1850	1893	1710
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/t WW	249	248	219	258	262	236	264	270	244
Zugmaschinen	MJ/ha	430	386	365	488	488	488	545	545	545
Bodenbearbeitungsgeräte + Sämaschine	MJ/ha	291	324	140	291	324	140	281	324	140
Mähdrescher + Anhänger	MJ/ha	794	794	794	794	794	794	794	794	794
Geräte für Düngung und Pflege	MJ/ha	231	231	231	231	231	231	231	231	231
200 ha Getreidefläche										
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/ha	1268	1227	981	1253	1178	1019	1240	1222	1047
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/t WW	181	175	140	179	168	146	177	175	150
Zugmaschinen	MJ/ha	360	314	215	345	265	253	386	309	281
Bodenbearbeitungsgeräte + Sämaschine	MJ/ha	252	257	100	252	257	100	199	257	100
Mähdrescher + Anhänger	MJ/ha	525	525	525	525	525	525	525	525	525
Geräte für Düngung und Pflege	MJ/ha	131	131	142	131	131	142	131	131	142

Indirekter Energieeinsatz durch Maschineneinsatz (III)

Ökologisch mit Fruchtfolgebetrachtung

50 ha Getreidefläche		PF - I	MS - I	DS - I	PF - m	MS - m	DS - m	PF - s	MS - s	DS - s
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/ha	2774	2890	2575	3021	3137	2822	3212	3250	2935
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/t WW	555	578	515	604	627	564	642	650	587
Zugmaschinen	MJ/ha	730	730	730	976	976	976	1089	1089	1089
Bodenbearbeitungsgeräte + Sämaschine	MJ/ha	479	596	280	479	596	280	557	596	280
Mähdrescher + Anhänger	MJ/ha	1306	1306	1306	1306	1306	1306	1306	1306	1306
Geräte für Düngung und Pflege	MJ/ha	259	259	259	259	259	259	259	259	259
100 ha Getreidefläche										
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/ha	1750	1730	1517	1796	1810	1640	1843	1867	1697
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/t WW	350	346	303	359	362	328	369	373	339
Zugmaschinen	MJ/ha	443	407	365	488	488	488	545	545	545
Bodenbearbeitungsgeräte + Sämaschine	MJ/ha	295	310	140	295	310	140	286	310	140
Mähdrescher + Anhänger	MJ/ha	794	794	794	794	794	794	794	794	794
Geräte für Düngung und Pflege	MJ/ha	218	218	218	218	218	218	218	218	218
200 ha Getreidefläche										
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/ha	1348	1352	1083	1359	1323	1131	1355	1369	1159
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/t WW	270	270	217	272	265	226	271	274	232
Zugmaschinen	MJ/ha	369	337	229	380	308	277	429	354	305
Bodenbearbeitungsgeräte + Sämaschine	MJ/ha	258	294	133	258	294	133	205	294	133
Mähdrescher + Anhänger	MJ/ha	525	525	525	525	525	525	525	525	525
Geräte für Düngung und Pflege	MJ/ha	197	197	197	197	197	197	197	197	197

Indirekter Energieeinsatz durch Maschineneinsatz (IV)

Ökologisch ohne Fruchtfolgebetrachtung

50 ha Getreidefläche		PF - I	MS - I	DS - I	PF - m	MS - m	DS - m	PF - s	MS - s	DS - s
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/ha	2609	2725	2410	2855	2971	2656	3046	3085	2769
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/t WW	522	545	482	571	594	531	609	617	554
Zugmaschinen	MJ/ha	730	730	730	976	976	976	1089	1089	1089
Bodenbearbeitungsgeräte + Sämaschine	MJ/ha	479	596	280	479	596	280	557	596	280
Mähdrescher + Anhänger	MJ/ha	1306	1306	1306	1306	1306	1306	1306	1306	1306
Geräte für Düngung und Pflege	MJ/ha	94	94	94	94	94	94	94	94	94
100 ha Getreidefläche										
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/ha	1472	1451	1350	1628	1643	1473	1675	1700	1530
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/t WW	294	290	270	326	329	295	335	340	306
Zugmaschinen	MJ/ha	332	296	365	488	488	488	545	545	545
Bodenbearbeitungsgeräte + Sämaschine	MJ/ha	295	310	140	295	310	140	286	310	140
Mähdrescher + Anhänger	MJ/ha	794	794	794	794	794	794	794	794	794
Geräte für Düngung und Pflege	MJ/ha	51	51	51	51	51	51	51	51	51
200 ha Getreidefläche										
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/ha	1073	1077	874	1140	1114	923	1147	1161	951
Indirekter Energieaufwand Maschinen	MJ/t WW	215	215	175	228	223	185	229	232	190
Zugmaschinen	MJ/ha	257	226	184	324	263	232	385	310	260
Bodenbearbeitungsgeräte + Sämaschine	MJ/ha	258	294	133	258	294	133	205	294	133
Mähdrescher + Anhänger	MJ/ha	525	525	525	525	525	525	525	525	525
Geräte für Düngung und Pflege	MJ/ha	33	33	33	33	33	33	33	33	33

Energiebilanzierung Winterweizenproduktion

Mittelwerte

Variante	Einheit	Mittelwert über alle Varianten		Mittelwert Produktionssystem				Mittelwert Bodenbearbeitungssystem		
		mit OKO DS	ohne OKO DS	KM	KW	OKO FF	OKO ohne FF	Mw PF	Mw MS	Mw DS
Diesel	MJ/ha	3.281	3.408	2.900	3.367	4.230	3.375	4.241	3.615	1.989
Diesel	MJ/t	537	547	414	481	846	675	670	571	314
Verbrauch Diesel gesamt	l	82	85,6	73	85	106	78	107	91	50
Saatgut	MJ/ha	313	317	329	329	280	280	313	313	313
Saatgut	MJ/t	49	51	47	47	56	56	49	49	49
Düngemittel	MJ	3.641	3.912	7.091	2.362	1.471	1.471	3.641	3.641	3.641
Düngemittel	MJ/t	575	626	1.013	337	294	294	575	575	575
PSM	MJ/ha	705	793	1.057	1.057	0	0	595	595	924
PSM	MJ/t	111	127	151	151	0	0	94	94	146
Indirekter EA Maschinen	MJ/ha	1.943	1.956	1.817	2.020	2.066	1.865	2.002	2.030	1.796
Indirekter EA Maschinen	MJ/t	307	313	260	289	413	373	316	321	284
Getreidelagerung	MJ/ha	333	342	368	368	263	263	333	333	333
Getreidelagerung	MJ/t	53	55	53	53	53	53	53	53	53
Summe	MJ/ha	10216	10714	13562	9504	8309	7254	11125	10527	8996
Korntrag Winterweizen	t/ha	6,3	6,2	7,0	7,0	5,0	5,0	6,3	6,3	6,3
Energieintensität	MJ/t WW	1613	1712	1937	1358	1662	1451	1757	1663	1421
Output/Input		9,9	9,3	8,3	11,8	9,6	11,0	9,1	9,6	11,3
Netto-Energieoutput/ha	MJ/ha	91.100	89.200	98.400	102.500	71.700	72726	90.200	90.700	92.300

Energiebilanzierung Winterweizenproduktion

Mittelwerte (II)

Variante	Einheit	MW Bodenbearbeitungswiderstand			MW Getreidefläche/Betrieb			MW Produktionssystem 200 ha Getreide		
		leicht	mittel	schwer	50	100	200	KM 200	KW 200	ÖKO FF 200
Diesel	MJ/ha	2.732	3.364	4.126	3.350	3.427	3.445	2.916	3.453	4.226
Diesel	MJ/t	420	518	635	515	527	530	417	493	845
Verbrauch Diesel gesamt	l	69	85	104	84	86	87	73	87	106
Saatgut	MJ/ha	317	317	317	317	317	317	329	329	280
Saatgut	MJ/t	49	49	49	49	49	49	47	47	56
Düngemittel	MJ	3.912	3.912	3.912	3.912	3.912	3.912	7.091	2.362	1.471
Düngemittel	MJ/t	602	602	602	602	602	602	1.013	337	294
PSM	MJ/ha	793	793	793	793	793	793	1.057	1.057	0
PSM	MJ/t	122	122	122	122	122	122	151	151	0
Indirekter EA Maschinen	MJ/ha	1.853	1.970	2.044	3.002	1.698	1.167	1.053	1.159	1.351
Indirekter EA Maschinen	MJ/t	285	303	314	462	261	180	150	166	270
Getreidelagerung	MJ/ha	342	342	342	342	342	342	368	368	263
Getreidelagerung	MJ/t	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Summe	MJ/ha	9949	10699	11534	11716	10489	9976	12815	8729	7591
Korntrag Winterweizen	t/ha	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	7,0	7,0	5,0
Energieintensität	MJ/t WW	1531	1646	1774	1802	1614	1535	1831	1247	1518
Output/Input		10,5	9,7	9,0	8,9	9,9	10,4	8,7	12,8	10,5
Netto-Energieoutput/ha	MJ/ha	94.000	93.300	92.400	92.300	93.500	94.000	99.200	103.200	72.400

Energiebilanzierung Winterweizenproduktion (KM 50)

Konventionell Mineraldüngereinsatz

50 ha Getreidefläche

Variante	Einheit	1 PF - I 50	2 MS - I 50	3 DS - I 50	4 PF - m 50	5 MS - m 50	6 DS - m 50	7 PF - s 50	8 MS - s 50	9 DS - s 50
Getreidefläche pro Betrieb										
Diesel	MJ/ha	2.889	2.420	1.469	3.809	3.073	1.600	4.772	4.064	1.684
Diesel	MJ/t	413	346	210	544	439	229	682	581	241
Verbrauch Diesel gesamt	l	72,6	60,8	36,9	95,7	77,2	40,2	119,9	102,1	42,3
Saatgut	MJ/ha	329	329	329	329	329	329	329	329	329
Saatgut	MJ/t	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Düngemittel	MJ	7.091	7.091	7.091	7.091	7.091	7.091	7.091	7.091	7.091
Düngemittel	MJ/t	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013
PSM	MJ/ha	893	893	1.387	893	893	1.387	893	893	1.387
PSM	MJ/t	128	128	198	128	128	198	128	128	198
Indirekter EA Maschinen	MJ/ha	2.639	2.755	2.440	2.886	3.002	2.687	3.077	3.115	2.800
Indirekter EA Maschinen	MJ/t	377	394	349	412	429	384	440	445	400
Getreidelagerung	MJ/ha	368	368	368	368	368	368	368	368	368
Getreidelagerung	MJ/t	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Summe	MJ/ha	14.209	13.856	13.083	15.375	14.755	13.461	16.529	15.859	13.658
Kornertrag Winterweizen	t/ha	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Energieintensität	MJ/t WW	2.030	1.979	1.869	2.196	2.108	1.923	2.361	2.266	1.951
Output/Input		7,9	8,1	8,6	7,3	7,6	8,3	6,8	7,1	8,2
Netto-Energieoutput/ha	MJ/ha	97.800	98.100	98.900	96.600	97.200	98.500	95.400	96.100	98.300

Energiebilanzierung Winterweizenproduktion (KW 50)

Konventionell Wirtschaftsdüngereinsatz

50 ha Getreidefläche

Variante	Einheit	10 PF - I 50	11 MS - I 50	12 DS - I 50	13 PF - m 50	14 MS - m 50	15 DS - m 50	16 PF - s 50	17 MS - s 50	18 DS - s 50
Getreidefläche pro Betrieb										
Diesel	MJ/ha	3.291	2.826	1.871	4.203	3.467	1.994	5.166	4.458	2.078
Diesel	MJ/t	470	404	267	600	495	285	738	637	297
Verbrauch Diesel gesamt	l	82,7	71,0	47,0	105,6	87,1	50,1	129,8	112,0	52,2
Saatgut	MJ/ha	329	329	329	329	329	329	329	329	329
Saatgut	MJ/t	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Düngemittel	MJ	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362
Düngemittel	MJ/t	337	337	337	337	337	337	337	337	337
PSM	MJ/ha	893	893	1.387	893	893	1.387	893	893	1.387
PSM	MJ/t	128	128	198	128	128	198	128	128	198
Indirekter EA Maschinen	MJ/ha	2.968	3.084	2.769	3.214	3.331	3.015	3.405	3.444	3.128
Indirekter EA Maschinen	MJ/t	424	441	396	459	476	431	486	492	447
Getreidelagerung	MJ/ha	368	368	368	368	368	368	368	368	368
Getreidelagerung	MJ/t	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Summe	MJ/ha	10.211	9.862	9.085	11.369	10.749	9.455	12.523	11.853	9.652
Kornertrag Winterweizen	t/ha	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Energieintensität	MJ/t WW	1.459	1.409	1.298	1.624	1.536	1.351	1.789	1.693	1.379
Output/Input		11,0	11,4	12,3	9,8	10,4	11,8	8,9	9,4	11,6
Netto-Energieoutput/ha	MJ/ha	101.800	102.100	102.900	100.600	101.200	102.500	99.400	100.100	102.300

Energiebilanzierung Winterweizenproduktion (ÖKO FF 50)

Ökologisch mit Fruchtfolgebetrachtung

50 ha Getreidefläche

Variante	Einheit	19 PF - I 50	20 MS - I 50	21 DS - I 50	22 PF - m 50	23 MS - m 50	24 DS - m 50	25 PF - s 50	26 MS - s 50	27 DS - s 50
Getreidefläche pro Betrieb										
Diesel	MJ/ha	3.541	3.098	2.099	4.499	3.801	2.285	5.491	4.848	2.424
Diesel	MJ/t	708	620	420	900	760	457	1.098	970	485
Verbrauch Diesel gesamt	l	89,0	77,8	52,7	113,0	95,5	57,4	138,0	121,8	60,9
Saatgut	MJ/ha	280	280	280	280	280	280	280	280	280
Saatgut	MJ/t	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Düngemittel	MJ	1.471	1.471	1.471	1.471	1.471	1.471	1.471	1.471	1.471
Düngemittel	MJ/t	294	294	294	294	294	294	294	294	294
PSM	MJ/ha	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PSM	MJ/t	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indirekter EA Maschinen	MJ/ha	2.774	2.890	2.575	3.021	3.137	2.822	3.212	3.250	2.935
Indirekter EA Maschinen	MJ/t	555	578	515	604	627	564	642	650	587
Getreidelagerung	MJ/ha	263	263	263	263	263	263	263	263	263
Getreidelagerung	MJ/t	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Summe	MJ/ha	8.329	8.002	6.688	9.533	8.952	7.120	10.717	10.111	7.372
Kornertrag Winterweizen	t/ha	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Energieintensität	MJ/t WW	1.666	1.600	1.338	1.907	1.790	1.424	2.143	2.022	1.474
Output/Input		9,6	10,0	12,0	8,4	8,9	11,2	7,5	7,9	10,8
Netto-Energieoutput/ha	MJ/ha	71.700	72.000	73.300	70.400	71.000	72.900	69.300	69.900	72.600

Energiebilanzierung Winterweizenproduktion (KM 100)

Konventionell mit Mineraldüngereinsatz

100 ha Getreidefläche

Variante	Einheit	28 PF - l 100	29 MS - l 100	30 DS - l 100	31 PF - m 100	32 MS - m 100	33 DS - m 100	34 PF - s 100	35 MS - s 100	36 DS - s 100
Getreidefläche pro Betrieb										
Diesel	MJ/ha	2.949	2.476	1.516	3.873	3.128	1.648	4.828	4.119	1.731
Diesel	MJ/t	421	354	217	553	447	235	690	588	247
Verbrauch Diesel gesamt	l	74,1	62,2	38,1	97,3	78,6	41,4	121,3	103,5	43,5
Saatgut	MJ/ha	329	329	329	329	329	329	329	329	329
Saatgut	MJ/t	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Düngemittel	MJ	7.091	7.091	7.091	7.091	7.091	7.091	7.091	7.091	7.091
Düngemittel	MJ/t	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013
PSM	MJ/ha	893	893	1.387	893	893	1.387	893	893	1.387
PSM	MJ/t	128	128	198	128	128	198	128	128	198
Indirekter EA Maschinen	MJ/ha	1.517	1.549	1.366	1.639	1.673	1.489	1.686	1.729	1.545
Indirekter EA Maschinen	MJ/t	217	221	195	234	239	213	241	247	221
Getreidelagerung	MJ/ha	368	368	368	368	368	368	368	368	368
Getreidelagerung	MJ/t	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Summe	MJ/ha	13.147	12.705	12.056	14.192	13.482	12.311	15.195	14.529	12.451
Kornertrag Winterweizen	t/ha	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Energieintensität	MJ/t WW	1.878	1.815	1.722	2.027	1.926	1.759	2.171	2.076	1.779
Output/Input		8,5	8,8	9,3	7,9	8,3	9,1	7,4	7,7	9,0
Netto-Energieoutput/ha	MJ/ha	98.800	99.300	99.900	97.800	98.500	99.700	96.800	97.400	99.500

Energiebilanzierung Winterweizenproduktion (KW 100)

Konventionell Wirtschaftsdüngereinsatz

100 ha Getreidefläche

Variante	Einheit	37 PF - I 100	38 MS - I 100	39 DS - I 100	40 PF - m 100	41 MS - m 100	42 DS - m 100	43 PF - s 100	44 MS - s 100	45 DS - s 100
Getreidefläche pro Betrieb										
Diesel	MJ/ha	3.423	2.953	1.990	4.338	3.594	2.113	5.293	4.585	2.197
Diesel	MJ/t	489	422	284	620	513	302	756	655	314
Verbrauch Diesel gesamt	l	86,0	74,2	50,0	109,0	90,3	53,1	133,0	115,2	55,2
Saatgut	MJ/ha	329	329	329	329	329	329	329	329	329
Saatgut	MJ/t	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Düngemittel	MJ	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362
Düngemittel	MJ/t	337	337	337	337	337	337	337	337	337
PSM	MJ/ha	893	893	1.387	893	893	1.387	893	893	1.387
PSM	MJ/t	128	128	198	128	128	198	128	128	198
Indirekter EA Maschinen	MJ/ha	1.745	1.735	1.530	1.803	1.837	1.653	1.850	1.893	1.710
Indirekter EA Maschinen	MJ/t	249	248	219	258	262	236	264	270	244
Getreidelagerung	MJ/ha	368	368	368	368	368	368	368	368	368
Getreidelagerung	MJ/t	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Summe	MJ/ha	9.120	8.640	7.965	10.094	9.383	8.212	11.096	10.430	8.352
Kornertrag Winterweizen	t/ha	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Energieintensität	MJ/t WW	1.303	1.234	1.138	1.442	1.340	1.173	1.585	1.490	1.193
Output/Input		12,3	13,0	14,1	11,1	11,9	13,6	10,1	10,7	13,4
Netto-Energieoutput/ha	MJ/ha	102.900	103.300	104.000	101.900	102.600	103.800	100.900	101.500	103.600

Energiebilanzierung Winterweizenproduktion (ÖKO FF 100)

Ökologisch Fruchtfolgebetrachtung

100 ha Getreidefläche

Variante	Einheit	46 PF - I 100	47 MS - I 100	48 DS - I 100	49 PF - m 100	50 MS - m 100	51 DS - m 100	52 PF - s 100	53 MS - s 100	54 DS - s 100
Getreidefläche pro Betrieb										
Diesel	MJ/ha	3.578	3.131	2.120	4.544	3.834	2.306	5.528	4.885	2.449
Diesel	MJ/t	716	626	424	909	767	461	1.106	977	490
Verbrauch Diesel gesamt	l	89,9	78,7	53,3	114,2	96,3	57,9	138,9	122,7	61,5
Saatgut	MJ/ha	280	280	280	280	280	280	280	280	280
Saatgut	MJ/t	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Düngemittel	MJ	1.471	1.471	1.471	1.471	1.471	1.471	1.471	1.471	1.471
Düngemittel	MJ/t	294	294	294	294	294	294	294	294	294
PSM	MJ/ha	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PSM	MJ/t	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indirekter EA Maschinen	MJ/ha	1.750	1.730	1.517	1.796	1.810	1.640	1.843	1.867	1.697
Indirekter EA Maschinen	MJ/t	350	346	303	359	362	328	369	373	339
Getreidelagerung	MJ/ha	263	263	263	263	263	263	263	263	263
Getreidelagerung	MJ/t	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Summe	MJ/ha	7.342	6.874	5.651	8.353	7.658	5.960	9.385	8.766	6.160
Kornertrag Winterweizen	t/ha	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Energieintensität	MJ/t WW	1.468	1.375	1.130	1.671	1.532	1.192	1.877	1.753	1.232
Output/Input		10,9	11,6	14,2	9,6	10,4	13,4	8,5	9,1	13,0
Netto-Energieoutput/ha	MJ/ha	72.600	73.100	74.300	71.600	72.300	74.000	70.600	71.200	73.800

Energiebilanzierung Winterweizenproduktion (KM 200)

Konventionell Mineraldüngereinsatz

200 ha Getreidefläche

Variante	Einheit	55 PF - l 200	56 MS - l 200	57 DS - l 200	58 PF - m 200	59 MS - m 200	60 DS - m 200	61 PF - s 200	62 MS - s 200	63 DS - s 200
Getreidefläche pro Betrieb										
Diesel	MJ/ha	2.949	2.476	1.508	3.877	3.128	1.640	4.828	4.119	1.723
Diesel	MJ/t	421	354	215	554	447	234	690	588	246
Verbrauch Diesel gesamt	l	74,1	62,2	37,9	97,4	78,6	41,2	121,3	103,5	43,3
Saatgut	MJ/ha	329	329	329	329	329	329	329	329	329
Saatgut	MJ/t	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Düngemittel	MJ	7.091	7.091	7.091	7.091	7.091	7.091	7.091	7.091	7.091
Düngemittel	MJ/t	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013
PSM	MJ/ha	893	893	1.387	893	893	1.387	893	893	1.387
PSM	MJ/t	128	128	198	128	128	198	128	128	198
Indirekter EA Maschinen	MJ/ha	1.111	1.071	869	1.140	1.097	930	1.159	1.141	959
Indirekter EA Maschinen	MJ/t	159	153	124	163	157	133	166	163	137
Getreidelagerung	MJ/ha	368	368	368	368	368	368	368	368	368
Getreidelagerung	MJ/t	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Summe	MJ/ha	12.740	12.227	11.552	13.697	12.906	11.745	14.668	13.941	11.856
Kornertrag Winterweizen	t/ha	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Energieintensität	MJ/t WW	1.820	1.747	1.650	1.957	1.844	1.678	2.095	1.992	1.694
Output/Input		8,8	9,2	9,7	8,2	8,7	9,5	7,6	8,0	9,4
Netto-Energieoutput/ha	MJ/ha	99.200	99.700	100.400	98.300	99.100	100.200	97.300	98.000	100.100

Energiebilanzierung Winterweizenproduktion (KW 200)

Konventionell Wirtschaftsdüngereinsatz

200 ha Getreidefläche

Variante	Einheit	64 PF - I 200	65 MS - I 200	66 DS - I 200	67 PF - m 200	68 MS - m 200	69 DS - m 200	70 PF - s 200	71 MS - s 200	72 DS - s 200
Getreidefläche pro Betrieb										
Diesel	MJ/ha	3.490	3.021	2.050	4.410	3.662	2.173	5.361	4.653	2.257
Diesel	MJ/t	499	432	293	630	523	310	766	665	322
Verbrauch Diesel gesamt	l	87,7	75,9	51,5	110,8	92,0	54,6	134,7	116,9	56,7
Saatgut	MJ/ha	329	329	329	329	329	329	329	329	329
Saatgut	MJ/t	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Düngemittel	MJ	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362
Düngemittel	MJ/t	337	337	337	337	337	337	337	337	337
PSM	MJ/ha	893	893	1.387	893	893	1.387	893	893	1.387
PSM	MJ/t	128	128	198	128	128	198	128	128	198
Indirekter EA Maschinen	MJ/ha	1.268	1.227	981	1.253	1.178	1.019	1.240	1.222	1.047
Indirekter EA Maschinen	MJ/t	181	175	140	179	168	146	177	175	150
Getreidelagerung	MJ/ha	368	368	368	368	368	368	368	368	368
Getreidelagerung	MJ/t	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Summe	MJ/ha	8.710	8.199	7.477	9.614	8.791	7.638	10.553	9.826	7.750
Kornertrag Winterweizen	t/ha	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Energieintensität	MJ/t WW	1.244	1.171	1.068	1.373	1.256	1.091	1.508	1.404	1.107
Output/Input		12,9	13,7	15,0	11,6	12,7	14,7	10,6	11,4	14,4
Netto-Energieoutput/ha	MJ/ha	103.300	103.800	104.500	102.400	103.200	104.300	101.400	102.100	104.200

Energiebilanzierung Winterweizenproduktion (ÖKO FF 200)

Ökologisch Fruchtfolgebetrachtung

200 ha Getreidefläche

Variante	Einheit	73 PF - I 200	74 MS - I 200	75 DS - I 200	76 PF - m 200	77 MS - m 200	78 DS - m 200	79 PF - s 200	80 MS - s 200	81 DS - s 200
Getreidefläche pro Betrieb										
Diesel	MJ/ha	3.553	3.106	2.083	4.523	3.813	2.273	5.503	4.860	2.412
Diesel	MJ/t	711	621	417	905	763	455	1.101	972	482
Verbrauch Diesel gesamt	l	89,3	78,0	52,3	113,6	95,8	57,1	138,3	122,1	60,6
Saatgut	MJ/ha	280	280	280	280	280	280	280	280	280
Saatgut	MJ/t	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Düngemittel	MJ	1.471	1.471	1.471	1.471	1.471	1.471	1.471	1.471	1.471
Düngemittel	MJ/t	294	294	294	294	294	294	294	294	294
PSM	MJ/ha	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PSM	MJ/t	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indirekter EA Maschinen	MJ/ha	1.348	1.352	1.083	1.359	1.323	1.131	1.355	1.369	1.159
Indirekter EA Maschinen	MJ/t	270	270	217	272	265	226	271	274	232
Getreidelagerung	MJ/ha	263	263	263	263	263	263	263	263	263
Getreidelagerung	MJ/t	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Summe	MJ/ha	6.915	6.471	5.180	7.895	7.149	5.417	8.872	8.242	5.585
Kornertrag Winterweizen	t/ha	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Energieintensität	MJ/t WW	1.383	1.294	1.036	1.579	1.430	1.083	1.774	1.648	1.117
Output/Input		11,6	12,4	15,4	10,1	11,2	14,8	9,0	9,7	14,3
Netto-Energieoutput/ha	MJ/ha	73.100	73.500	74.800	72.100	72.800	74.600	71.100	71.700	74.400