

Spritsparen mit Traktoren

Trainerhandbuch „Traktoren“

Eine gemeinsame Initiative
des Lebensministeriums und der FJ-BLT Wieselburg

Version 1.0 (20.03.09)



INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	5
1.1	Einflussfaktoren auf den Kraftstoffverbrauch	6
1.2	Anteil des Kraftstoffes am Gesamtenergieverbrauch verschiedener Kulturen	7
1.3	Entwicklung des Arbeitskräfte- und Traktoreinsatzes in der österreichischen Landwirtschaft	8
1.4	Kraftstoffverbrauch einzelner Kulturen	9
1.5	Kraftstoffverbrauch einzelner Betriebe	10
1.6	Entwicklung der Flächennutzung in Österreich	11
1.7	Dieserverbrauch in der österreichischen Land- und Forstwirtschaft	12
1.8	Anteil der Kraftstoffkosten an den Traktorkosten	13
1.9	Energiefluss beim Traktor	14
1.10	Kraftstoffverbrauch verschiedener landwirtschaftlicher Arbeiten	15
2	MÖGLICHKEITEN SPRIT ZU SPAREN	18
2.1	Erfassung des „Ist-Zustandes“	18
2.2	Einfluss der Betriebsstruktur	19
2.2.1	Schlaggröße	19
2.2.2	Schlagform	20
2.2.3	Entfernung der Schläge	21
2.3	Spezielle Maßnahmen bei der Bodenbearbeitung	22
2.3.1	Verringerung energieaufwändiger Bodenbearbeitungsverfahren	22
2.3.2	Anzahl der Arbeitsgänge verringern – Arbeitsgänge kombinieren	23
2.3.3	Bodenverdichtungen vermeiden	24
2.3.4	Verbesserung der Bodenstruktur – Biologische Bodenlockerung	25
2.3.5	Optimale Bearbeitungstiefe	26
2.3.6	Bearbeitungsintensität anpassen	27
2.3.7	Optimale Abstimmung von Arbeitsbreite, Fahrgeschwindigkeit und Motorleistung	28
2.3.8	Optimale Geräteeinstellung	29
2.3.9	Wartung der Geräte	30
2.4	Spezielle Maßnahmen bei der Futterernte	32
2.4.1	Anzahl der Arbeitsgänge verringern – Arbeitsgänge kombinieren	32
2.4.2	Zerkleinerungsintensität anpassen	33

2.4.3	Wartung der Geräte.....	34
2.4.4	Optimale Abstimmung von Arbeitsbreite, Fahrgeschwindigkeit und Motorleistung	36
2.5	Wahl der Transportfahrzeuge.....	38
2.5.1	Einfluss der Größe des Transportfahrzeuges.....	38
2.5.2	Vergleich Traktor – LKW	39
2.5.3	Allgemeine Überlegungen zum Thema Transport	40
2.6	Traktoreinsatz optimieren	41
2.6.1	Motor Kennwerte.....	41
2.6.1.1	Motorleistung	42
2.6.1.2	Drehmoment und Drehmomentanstieg	42
2.6.1.3	Drehmoment- und Leistungsverlauf	43
2.6.1.4	Spezifischer Kraftstoffverbrauch	43
2.6.2	Motorauswahl	45
2.6.3	Motorauslastung.....	46
2.6.3.1	Motoren mit Überleistung und Konstantleistungsbereich	47
2.6.3.2	Vergleich von Traktoren unterschiedlicher Leistungsklassen	48
2.6.3.3	Handgas benutzen.....	50
2.6.3.4	Getriebe	50
2.6.3.5	Zapfwelle	52
2.6.3.6	Hydraulik.....	53
2.6.3.7	Fahrwerk, Reifendruck.....	54
2.6.3.8	Steigungswiderstand.....	59
2.6.3.9	Ballastierung	60
2.6.3.10	Wartung	61
2.7	Faktor Mensch	64
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	65
	LITERATURVERZEICHNIS	67

Vorwort

Klimaschutz im Verkehr hat für das Lebensministerium hohe Priorität: alle Bereiche sind gefordert, ihren Beitrag zur Erreichung der Kyoto-Ziele (-13 % bis 2012 im Vergleich zum Basisjahr 1990) leisten. Der Verkehrssektor und damit auch der Off-Road Bereich, der mobilen Maschinen und Geräte in Industrie, Land- und Forstwirtschaft stehen vor großen Herausforderungen, da die CO₂-Emissionen insgesamt sehr stark zugenommen haben und eine große Abhängigkeit von fossilen Energieträgern besteht.

Im Rahmen der Sprintspar-Initiative von klima:aktiv mobil, dem Aktionsprogramm des Lebensministeriums zu Klimaschutz im Verkehrssektor, wird eine spritsparende Fahrweise forciert und Trainingsprogramme zum Spritsparen mit PKW, LKW und Bussen erarbeitet und in die Praxis erfolgreich umgesetzt. Denn durch eine energieeffiziente Bedienung der Fahrzeuge lassen sich nachhaltig gut 5-15 % Sprit einsparen - bei Wettbewerben liegen die Einsparungen noch deutlich höher.

klima:aktiv mobil möchte nun auch Landwirtinnen und Landwirte durch eine spritsparende Fahrweise und spritsparende Arbeitsgänge verstärkt für den Klimaschutz motivieren. Dazu wurde in Kooperation mit FJ BLT Wieselburg und der Landwirtschaftsschule Schlierbach ein Folder mit den wichtigsten Tipps für einen energieeffizienten Umgang und Betrieb mit Traktoren erarbeitet.

Das mit den genannten Fachstellen erarbeitete Trainingshandbuch "Spritsparen mit Traktoren" soll für die Schulung im Rahmen der klima:aktiv mobil Sprintspar-initiative zur Anwendung kommen. Das Programm-Management von klima:aktiv mobil wird im Auftrag des Lebensministeriums von der Österreichischen Energieagentur wahrgenommen.

Durch die Vielfalt an Möglichkeiten des Traktoreinsatzes und die unterschiedlichsten Einflussfaktoren bei den Arbeiten, kann das mögliche Kraftstoffeinsparungspotential unterschiedlich hoch sein. Jede Arbeit erfordert vom Fahrer viele wohl durchdachte Maßnahmen und Einstellungen am Traktor und am Arbeitsgerät, um überhaupt eine spürbare Kraftstoffeinsparung zu erreichen. Er hat bei seinen Fahrten nie einen routinemäßig gleichen Arbeitsablauf wie z.B. ein Linienbuschauffeur. Bedingt durch die vielen Möglichkeiten bei der Arbeit mit dem Traktor Kraftstoff zu sparen, liegt es alleine im Geschick des Traktorfahrers diese Einsparungsmöglichkeiten auszunutzen. Fahrer die über diese Möglichkeiten gut informiert und geschult sind und auch bereit sind sie umzusetzen, haben sicherlich eine wesentlich höhere Einsparung zu verzeichnen als uninformierte und unmotivierte Fahrer.

Das Ziel dieser Zusammenfassung ist es, Einsparungspotentiale im landw. Betrieb aufzuzeigen, die ohne großen technischen Aufwand realistisch umsetzbar sind und den Fahrer zu motivieren diese Möglichkeiten auch in die Praxis umzusetzen.

1 Einleitung

Maßnahmen zum Klimaschutz im Verkehrsbereich haben eine hohe Priorität: denn Treibstoffverbrauch und CO₂-Emissionen haben seit 1990 (dem Basisjahr der internationalen Verpflichtungen) sehr stark zugenommen haben, und es besteht eine große Abhängigkeit von fossilen Energieträgern.

Zur Erreichung der Kyoto-Ziele müssen die Treibhausgasemissionen insgesamt um 13 % bis 2012 im Vergleich zu 1990 reduziert werden. Der Verkehrssektor und damit auch der Off-Road Bereich, der mobilen Maschinen und Geräte in Industrie, Land- und Forstwirtschaft stehen vor großen Herausforderungen, insbesondere die Emissionen und den Treibstoffverbrauch zu senken.

Die CO₂-Emissionen des Off-Road Sektors liegen bei rd. 1,9 Millionen Tonnen und damit bei einem Anteil von rd. 8 % der gesamten Emissionen des Verkehrs; Land- und Forstwirtschaft haben einen Anteil von rd. 4 %; (zum Vergleich dieser Anteil entspricht rd. 1/4 der CO₂-Emissionen des LKW-Verkehrs in Österreich).

Der Verbrauch von Dieselmotorkraftstoff in der Landwirtschaft ist seit 1990 mit knapp 250.000 Tonnen jährlich etwa gleichbleibend.

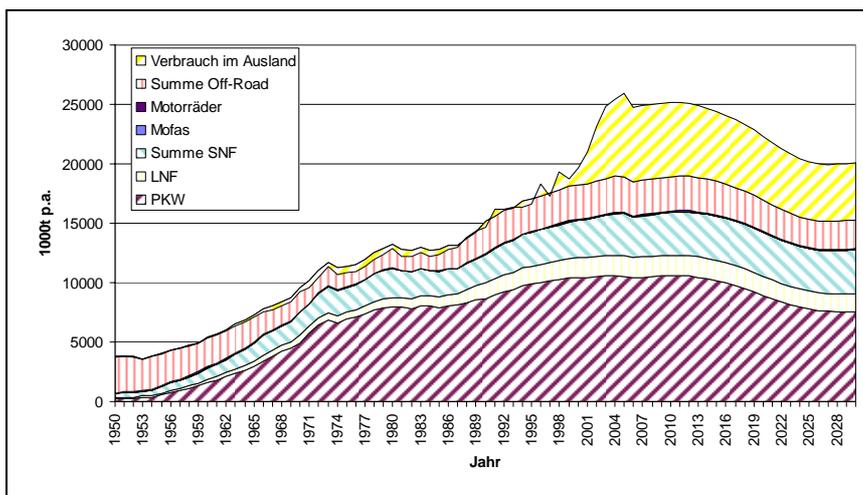


Abbildung 1: Entwicklung der CO₂-Emissionen des Verkehrs in Österreich und Ausblick bis 2030

1.1 Einflussfaktoren auf den Kraftstoffverbrauch

Der Kraftstoffverbrauch hängt von zahlreichen Faktoren ab. Die wichtigsten sind in Abbildung 1 zusammengefasst. In den folgenden Ausführungen wird auf die einzelnen näher eingegangen.

Einflussfaktoren auf den Kraftstoffverbrauch

- Kultur
- Fläche
- Betriebsstruktur
- Eingesetzte Verfahren
- Eingesetzte Geräte
- Traktor – Motor
- Fahrweise



Folie 3 Sprintspar-Initiative www.klimaaktiv.at

BLT
WIESELBURG

Abbildung 2: Einflussfaktoren auf den Kraftstoffverbrauch

1.2 Anteil des Kraftstoffes am Gesamtenergieverbrauch verschiedener Kulturen

Der Kraftstoffverbrauch macht nur rund ein Drittel des Gesamtenergiebedarfes im Ackerbau aus wie eine in der Schweiz durchgeführte Analyse zeigt (siehe Abbildung 3). Neben dem Kraftstoff macht der indirekte Energieeinsatz für die Herstellung der Maschinen bzw. die Gebäude für das Einstellen der Maschinen und Mineraldüngereinsatz den Großteil des Energieeinsatzes im Ackerbau aus.

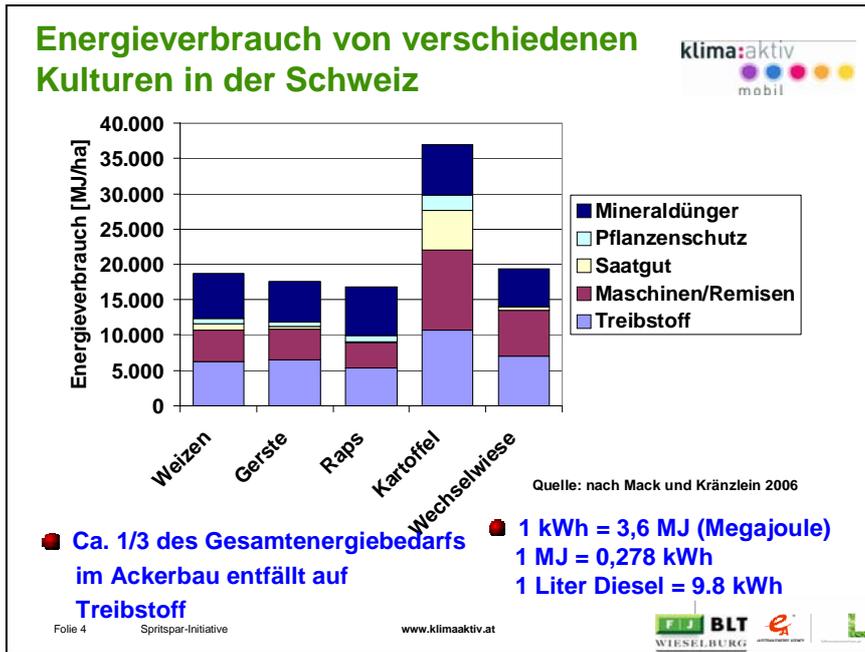


Abbildung 3: Zusammensetzung des Energieverbrauches landwirtschaftlicher Kulturen

1.3 Entwicklung des Arbeitskräfte- und Traktoreneinsatzes in der österreichischen Landwirtschaft

Der Arbeitskräftebesatz in der Landwirtschaft ist seit 1995 kontinuierlich gefallen. Gleichzeitig ist die installierte Traktorleistung gestiegen. Die Abnahme des Arbeitskräftebesatzes war mit rund einem Drittel deutlich größer als die Zunahme der installierten Traktorleistung mit rund 18 %. Die Kulturfäche umfasst die land- und forstwirtschaftlich genutzte Fläche.

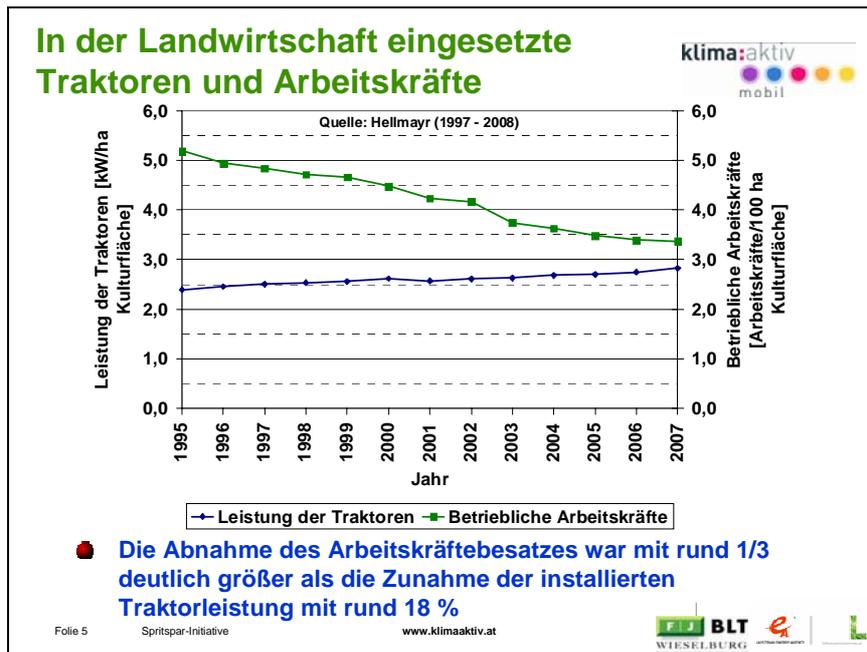


Abbildung 4: Installierte Traktorleistung und eingesetzte Arbeitskräfte

1.4 Kraftstoffverbrauch einzelner Kulturen

Die einzelnen landwirtschaftlichen Kulturen unterscheiden sich bezüglich des Kraftstoffverbrauches deutlich von einander (siehe Abbildung 5). Bei Getreide hat die Art der Bodenbearbeitung einen wesentlichen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch. Zuckerrübe und Kartoffel weisen im Vergleich zu Getreide vor allem bei der Ernte einen höheren Kraftstoffverbrauch auf. Beim Grünland spielt die Anzahl der Schnitte eine wesentliche Rolle. Die im Vergleich zu den anderen Kulturen große Anzahl von Arbeitsgängen verursacht bei Obst- und Weinbau den höheren Kraftstoffverbrauch.

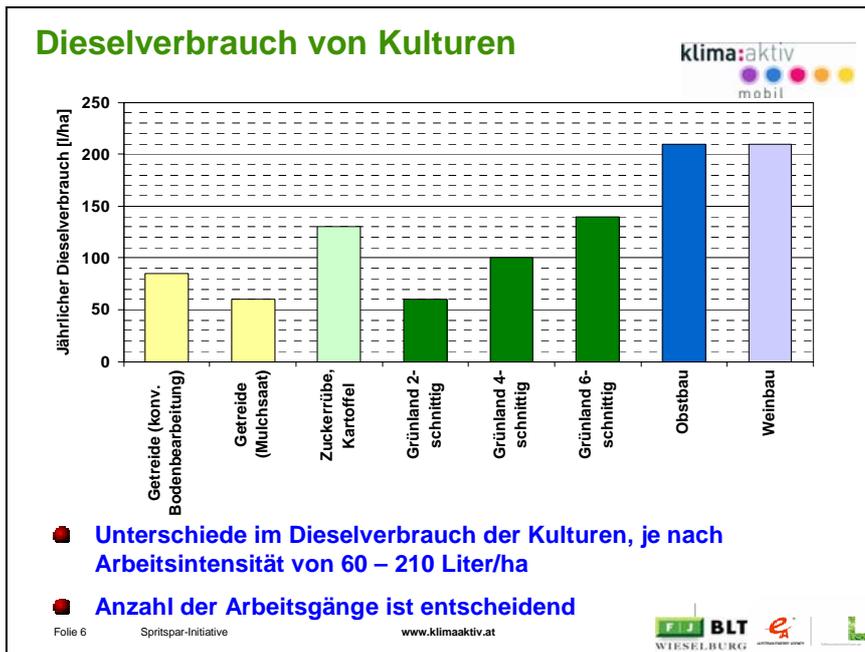


Abbildung 5: Jährlicher Kraftstoffverbrauch einzelner Kulturen

1.5 Kraftstoffverbrauch einzelner Betriebe

Neben den Kulturen hat vor allem die Betriebsgröße einen wesentlichen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch eines Betriebes (siehe Abbildung 6).

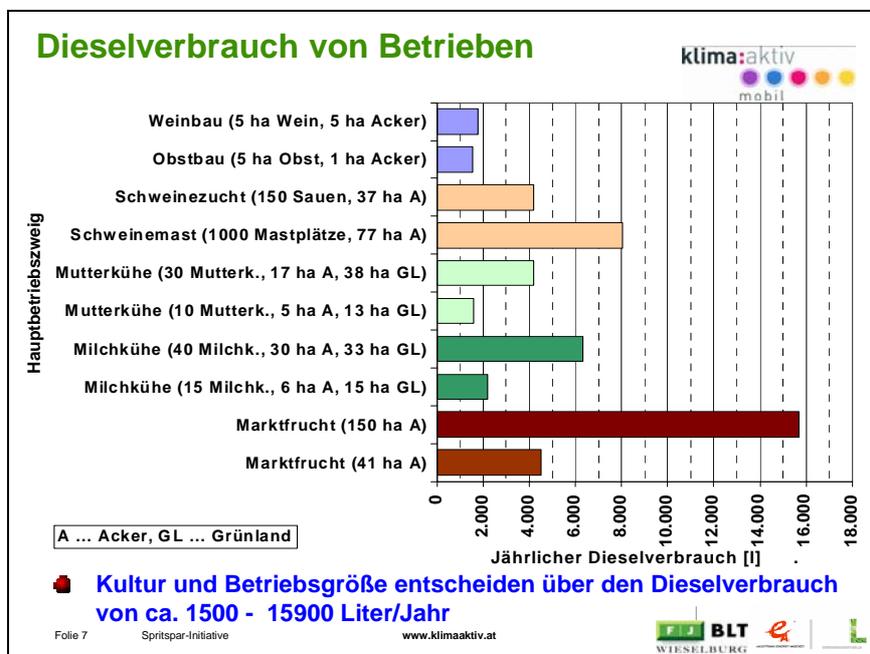


Abbildung 6: Jährlicher Dieserverbrauch einzelner Betriebe

1.6 Entwicklung der Flächennutzung in Österreich

Um auf den Gesamtdieselvebrauch der Landwirtschaft schließen zu können, ist es entscheidend welche Flächen bewirtschaftet werden. Die Kulturfläche ist zwischen 1990 und 2005 um rund 3 % gesunken. Gleichzeitig ist die im Vergleich zur landwirtschaftlichen Fläche wenig Diesel benötigende Forstfläche um 2 % gestiegen und die landwirtschaftliche Fläche um 7 % gesunken. Innerhalb der landwirtschaftlichen Fläche ist der Anteil der dieselintensiven Dauerkulturen und Hackfrüchte gefallen. Gleichzeitig ist der Bracheanteil gewachsen. Gefallen ist auch der dieselextensive Bereich des extensiven Dauergrünlandes.

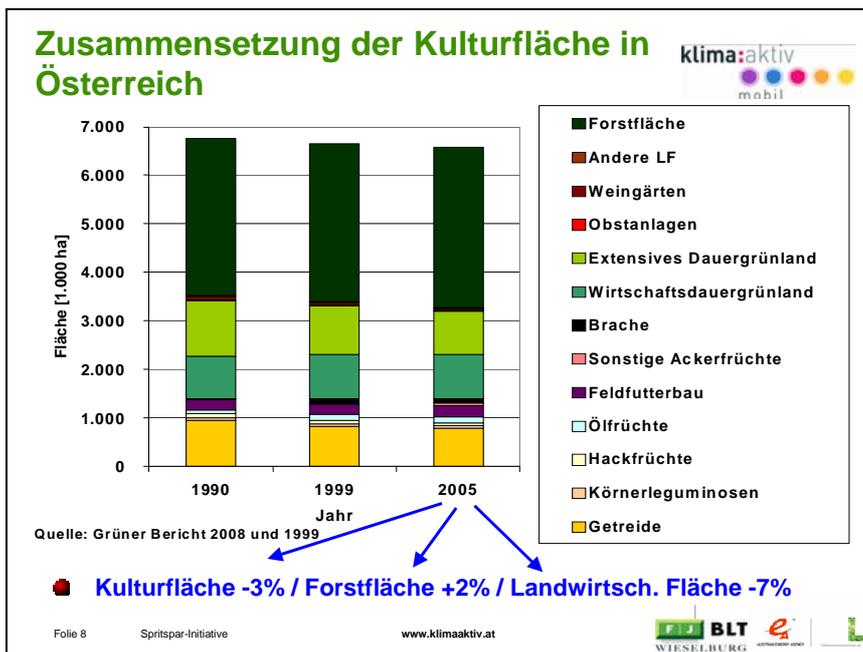


Abbildung 7: Zusammensetzung der Kulturfläche in Österreich

1.7 Dieserverbrauch in der österreichischen Land- und Forstwirtschaft

Auf Grund der Flächenentwicklung und Weiterentwicklung von Verfahren ist der Dieserverbrauch der Land- und Forstwirtschaft in etwa gleichgeblieben. (Abbildung 8). Er betrug 2006 rund. 237.000 t. Dies entsprach rund 4 % des Gesamtdieserverbrauchs. Der Anteil des Dieserverbrauchs in der Land- und Forstwirtschaft, ist gemessen am Gesamtdieserverbrauch in Österreich von 1990 bis 2006 fallend, da der Verbrauch der LKW stark gestiegen ist.

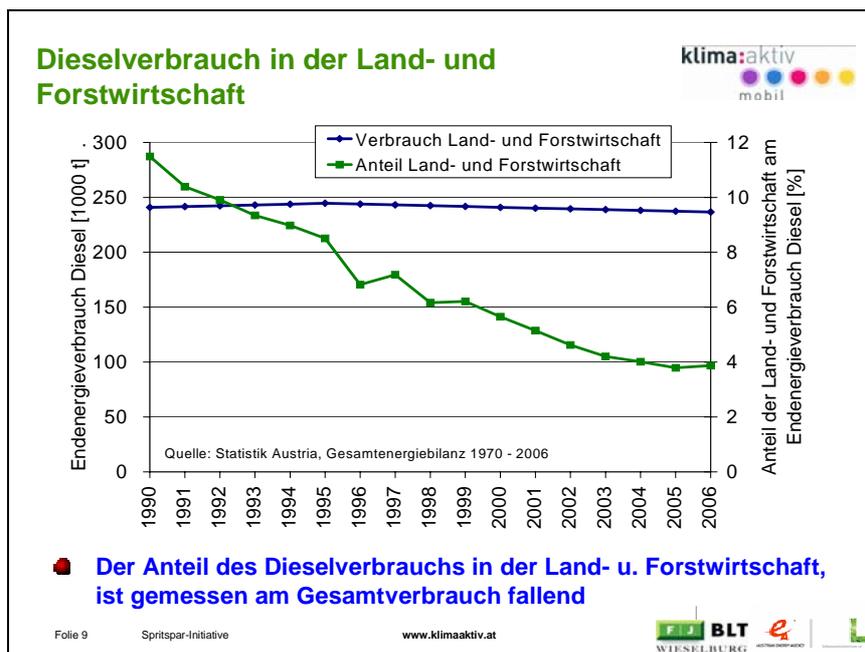


Abbildung 8: Dieserverbrauch in der österreichischen Land- und Forstwirtschaft

Neben der Flächengröße und der Kultur haben auch andere Faktoren wie Betriebsorganisation, eingesetzte Produktionsverfahren und Maschinen, Wirkungsgrad, Einstellung und Wartung der Maschinen einen wesentlichen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch. Auf die Optimierung dieser Faktoren wird im Folgenden eingegangen.

1.8 Anteil der Kraftstoffkosten an den Traktorkosten

Die Kosten für Diesel machen bei einem Dieselpreis von 0,90 €/l (exkl. MwSt.) mehr als ein Drittel der Traktorkosten (siehe Abbildung 9). Bei einem Dieselpreis von über einem Euro steigt der Anteil der Dieselposten auf über 40 % an.

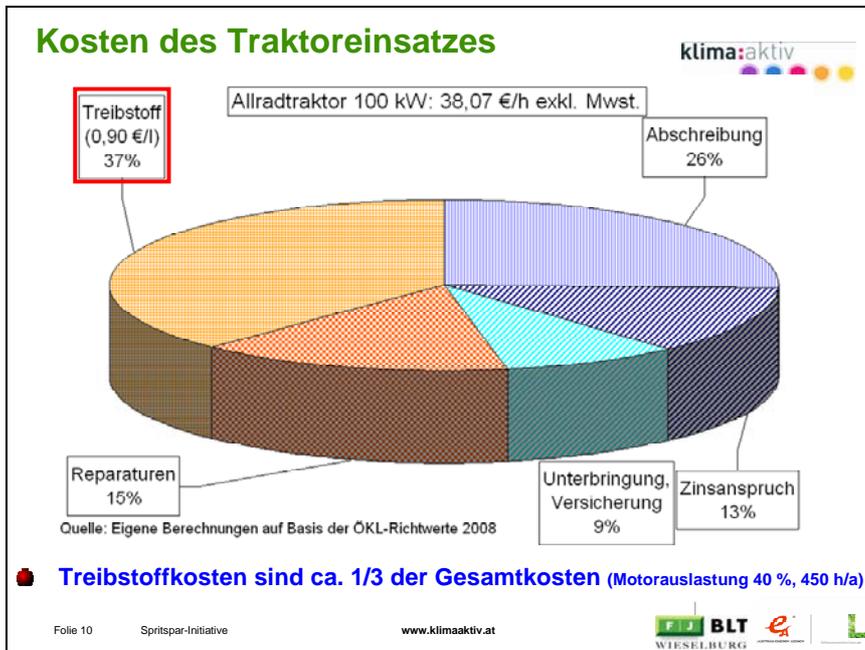


Abbildung 9: Zusammensetzung der Kosten eines Allradtraktors

1.9 Energiefluss beim Traktor

Je nach Arbeitserledigung werden vom Traktor Zugleistung, Drehleistung (Zapfwelle) und hydraulische Leistung bereitgestellt. Die Wirkungsgrade können dabei sehr unterschiedlich sein. So kann z. B. beim Pflügen, bei einem Dieselverbrauch von 25 Liter/ha nur ca. 5 Liter/ha (20 %) in effektive Zugleistung umgesetzt werden (Abbildung 10). Der größere Teil der eingesetzten Energie geht in Form von Motorkühlung und Abgase verloren. Bei der Zugleistungsübertragung können bei schlechten Traktionsverhältnisse enorme Laufwerkverluste über den Schlupf und Rollwiderstand auftreten. Bei Zapfwellenbetrieb liegt der Wirkungsgrad bei rund 25 %.

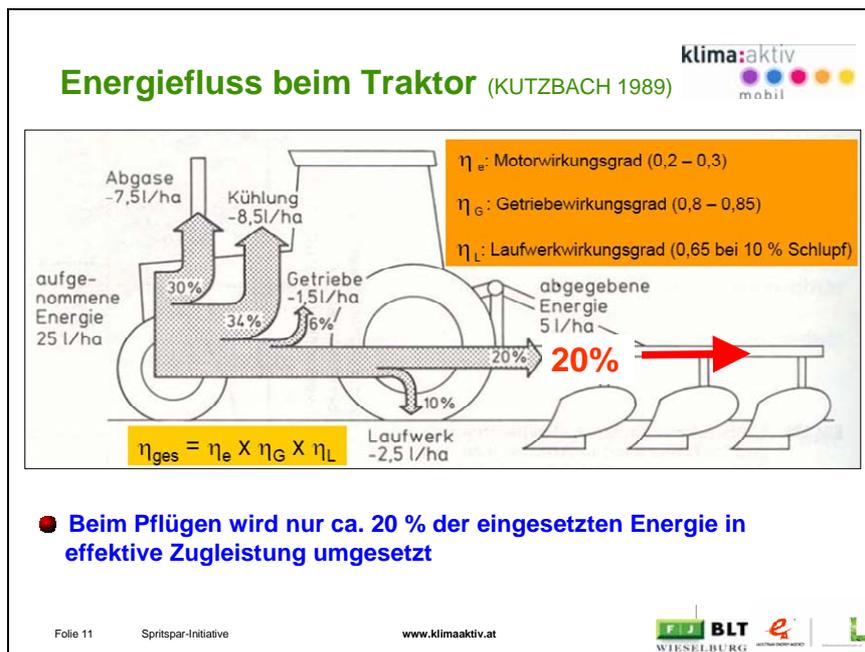


Abbildung 10: Energiefluss beim Traktor [KUTZBACH 1989]

1.10 Kraftstoffverbrauch verschiedener landwirtschaftlicher Arbeiten

Auf Grund des unterschiedlichen Leistungsbedarfes schwankt der Kraftstoffverbrauch bei den verschiedenen Arbeiten erheblich. Tabelle 1 und Abbildung 11 zeigen die Ergebnisse von Erhebungen auf 540 Betrieben in Deutschland. Bei der gleichen Arbeit schwankt der Kraftstoffverbrauch wegen der Einflüsse von Bodenart, Bodenzustand, Bodenfeuchte, Arbeitsgeschwindigkeit, Arbeitsintensität, Erntemenge, Maschinentyp, Maschineneinstellung, Maschinenwartung, Schlaggröße, Schlagform, Feld-Hof-Entfernung und Fahrer erheblich. Abweichungen von über $\pm 50\%$ vom Mittelwert sind möglich. Dies zeigt, dass einzelne Betriebe über ein enormes Einsparungspotential besitzen.

Tabelle 1: Kraftstoffverbrauch verschiedener landwirtschaftlicher Arbeiten (Auswertung von 540 Betrieben) [HoLZ 2006]

Arbeiten	Kraftstoffverbrauch		Bemerkungen
	Mittelwert	Spanne	
Stoppelbearbeitung Grubber	9,1 l/ha	5,0 - 18,0 l/ha	3,0 bis 6,0 m
Scheibenegge	10,0 l/ha	7,2 - 12,0 l/ha	3,0 bis 6,0 m
Spatenrollegge	6,0 l/ha		6,0 m
Tiefenlockerung	19,8 l/ha	18,3 - 21,3 l/ha	35 bis 38 cm tief
Pflügen	21,8 l/ha	15,0 - 30,0 l/ha	18 bis 30 cm tief
Fräsen	15,9 l/ha	bis 20,0 l/ha	2,3 bis 3,0 m
Kreiselegge solo	12,7 l/ha	8,0 - 22,0 l/ha	3,0 m
Mulchen	12,9 l/ha	10,0 - 17,6 l/ha	2,3 bis 3,0 m
Kreiselegge + Drillmaschine	14,2 l/ha	10,0 - 20,0 l/ha	3,0 bis 4,0 m
Universaldrille	10,8 l/ha	8,0 - 18,0 l/ha	3,0 bis 4,0 m
Mineraldüngung	2,2 l/ha	1,1 - 3,0 l/ha	12 bis 24 m
Pflanzenschutz	2,0 l/ha	0,75 - 3,4 l/ha	12 bis 24 m
Mähdrescher Getreide	19,6 l/ha	15,0 - 25,0 l/ha	5 und 6 Schüttler (110 bis 275 PS)
Mähdrescher Raps	22,0 l/ha	17,0 - 30,0 l/ha	
Getreidetransport		4,0 - 5,0 l/ha	12 bis 18 t

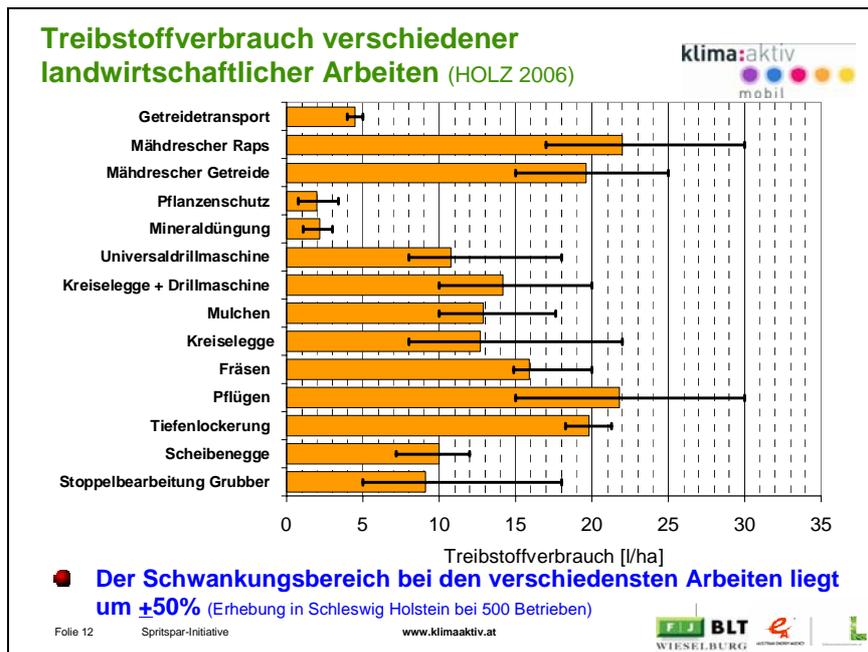


Abbildung 11: Kraftstoffverbrauch verschiedener landwirtschaftlicher Arbeiten [HOLZ 2006]

In Tabelle 2 sind vom ÖKL ermittelte Richtwerte für den Dieselverbrauch wichtiger landwirtschaftlicher Arbeiten zusammengefasst. Diese können ebenfalls als Benchmarks dienen.

Für den Transport von Schüttgütern kann mit einem mittleren Kraftstoffverbrauch von ca. 0,09 l pro Tonne und Kilometer Feld-Hof-Entfernung gerechnet werden (ÖKL 2008).

Tabelle 2: Kraftstoffverbrauch verschiedener landwirtschaftlicher Arbeiten [ÖKL 2008]

Arbeitsgang/Maschine	Verbrauch	Arbeitsgang/Maschine	Verbrauch
Bodenbearbeitung		Rotationsmäher Anbau	5 l/ha
Pflügen leichter Boden	15 l/ha	Rotationsmäher mit Mähauflbereiter	6 l/ha
Pflügen mittlerer Boden	23 l/ha	Selbstfahrmäher mit Mähauflbereiter	6 l/ha
Pflügen schwerer Boden	40 l/ha	Kreiselzettwender	3 l/ha
Untergrundlockerer	21 l/ha	Kreiselschwader	4 l/ha
Stoppelgrubber	9 l/ha	Ladewagen für Bergung von Belüftungsheu	7 l/ha
Tiefgrubber	15 l/ha	Ladewagen für Bergung von Anwelkgut	9 l/ha
Federzinkenegge (Feingrubber)	7 l/ha	Exakt-Feldhäcksler	12 l/ha
Egge mit Saatbeetkombination	6 l/ha	Pressen von Anwelkgut (Silorundballen)	0,70 l/Ballen
Scheibenegge	7 l/ha	Ballen wickeln	0,40 l/Ballen
Kreiselegge	10 l/ha	Futterernte - Silomais	
Fräsen	12 l/ha	Exakt-Feldhäcksler	34 l/ha
Aussaat, Pflanzung		Mähdrusch	
Einzelkornsaat Rüben	5 l/ha	Getreide, Sonnenbl., Raps, Ackerbohnen	22 l/ha
Mulch - Einzelkornsaat - Mais	11 l/ha	Erbesen	27 l/ha
Drillsaat	5 l/ha	Körnermais	25 l/ha
Komb. Kreiselegge + Sämaschine	15 l/ha	Pressen von Dürrgut (Stroh/Heu)	

Komb. Fräse + Sämaschine		Hochdruckpresse (13 kg/Ballen)	0,02 l/Ballen
Komb. Zinkenrotor + Sämaschine		Rundballen (250 kg/Ballen)	0,5 l/Ballen
Direktsaat	9 l/ha	Quaderballen (200 kg Ballen)	0,4 l/Ballen
Kartoffel legen, halbautomatisch	20 l/ha	Kartoffelsammelroder	52 l/ha
Kartoffel legen, vollautomatisch	15 l/ha	Kartoffelsammelroder - Selbstfahrer	51 l/ha
Handelsdüngerausbringung		Kartoffelrodelader	32 l/ha
Anbauschleuderstreuer	1,5 l/ha	Kartoffelrodelader - Selbstfahrer	39 l/ha
Anbaupneumatikstreuer	2,5 l/ha	Zuckerrübenroder	49 l/ha
Kalkausbringung	2,5 l/ha	Zuckerrübenroder Selbstfahrer	53 l/ha
Chemischer Pflanzenschutz		Obstbau	
Feldspritze	2 l/ha	Mulchen - Schlegelmulcher	10 l/ha
Mechanischer Pflanzenschutz		Winterschnitt - Schlegelmulcher	26 l/ha
Striegeln	3,5 l/ha	Pflanzenschutz - Sattelspritze	7 l/ha
Maishacken mit Hacksterngerät	4 l/ha	Mineraldüngung - Düngerstreuer	7,5 l/ha
Maishacken mit Hackmaschine	5 l/ha	Weinbau	
Hacken und Striegeln	5,5 l/ha	Fräsen von Fahrgassen	11 l/ha
Hacken von Rüben	5 l/ha	Laubschneiden	8 l/ha
Häufeln von Kartoffeln	5 l/ha	Mulchen - Schlegelmulcher	12 l/ha
Abflammen	4 l/ha	Pflanzenschutz - Sattelspritze	5 l/ha
Pflege		Anhäufeln, Anpflügen der Rebreihen	20 l/ha
Abschleppen	4 l/ha	Stockraum räumen	18 l/ha
Walzen	3,5 l/ha	Untergrundlockern (Rotorpflug)	20 l/ha
Wirtschaftsdüngerausbringung		Ernten mit Traubenvollernter	20 l/ha
Stallmist streuen	14 l/ha	Grubbern	11 l/ha
Arbeitsgang/Maschine	Verbrauch	Arbeitsgang/Maschine	Verbrauch
Vakuumtankwagen	6 l/ha	Mähen - Scheibenmähwerk	20 l/ha
Pumpfass - Schleppschlauch	7 l/ha	Begrünung einsäen	3 l/ha
Futterernte - Grünland		Rebholz häckseln	7 l/ha
Balkenmäher Anbau	3 l/ha	Walzen	4 l/ha

2 Möglichkeiten Sprit zu sparen

2.1 Erfassung des „Ist-Zustandes“

Auf Grund der Schwankungsbreite beim Kraftstoffverbrauch (siehe Abbildung 11) kann es für den Landwirt sehr lohnend sein, seinen Kraftstoffverbrauch zu erheben und das Optimierungspotential ausfindig zu machen.

Zur Erfassung des „Ist-Zustandes“ sind flächen- und arbeitsgangbezogene Aufzeichnungen und Auswertungen des Kraftstoffverbrauches erforderlich, die elektronisch oder handschriftlich bei jeder Arbeit erfolgen sollten. Sie bieten einen Überblick über die Betriebsabläufe und deren Kraftstoffverbrauch, um darauf die Einsparungsmaßnahmen aufzubauen. Abbildung 12 zeigt ein entsprechendes Formular.

Erfassung des Ist-Zustandes



Beispiel eines Aufzeichnungsformulars:

Datum	Uhrzeit		Zeit [h]	Schlag / Arbeitsgang / verwendetes Gerät / Einsatzbedingungen / Arbeitstiefe /	Fläche [ha]	Dieselverbrauch		
	von	bis				[l]	[l/h]	[l/ha]
20.08.09	10.00	14.30	4.5	Auwiese / Mähen / Front- Heckkombination / 1. Schnitt / 6 cm	13.5	54	12	4

Aufzeichnungen über den Verbrauch stellen die Basis für
Einsparungen dar - Optimierungspotential finden!

Folie 14 Spiritspar-Initiative www.klimaaktiv.at



Abbildung 12: Aufzeichnungsformular für die Praxis

2.2 Einfluss der Betriebsstruktur

2.2.1 Schlaggröße

Je größer die Schläge, umso geringer sind der Anteil der Wendezeiten und der Aufwand für Überstellungsfahrten zwischen den Feldern. Dadurch sinkt der Kraftstoffverbrauch.

In Abbildung 13 sind die Auswirkungen der Schlaggröße an Hand eines Modellbetriebes mit 20 ha Silomais (im Lohn geerntet), 10 ha Raps, 60 ha Wintergetreide und 10 ha Brache dargestellt. Die größten Einsparungen werden durch den Anstieg der Schlaggröße von 1 ha auf 2 bzw. 5 ha erzielt. Die Einsparung im Beispielsbetrieb beträgt 9 bzw. 15 %. Besonders positiv wirkt sich die Zunahme der Schlaggröße bei Arbeiten mit einem geringen Leistungsbedarf (z. B. Pflanzenschutz) aus. Steigt die Schlaggröße von ein auf zwei Hektar so sinkt der Kraftstoffbedarf auf 77 %. Bei Arbeiten mit hohem Leistungsbedarf (z. B. Pflügen) sinkt er nur auf 94 %.

Die klassische Möglichkeit zur Vergrößerung der Schlaggrößen ist die behördlich durchgeführte Flurbereinigung. Daneben gibt es aber auch noch die Möglichkeiten des freiwilligen Flächentausches, der Zapachtung benachbarter Flächen und der Gewannebewirtschaftung (virtuelle Flurbereinigung).

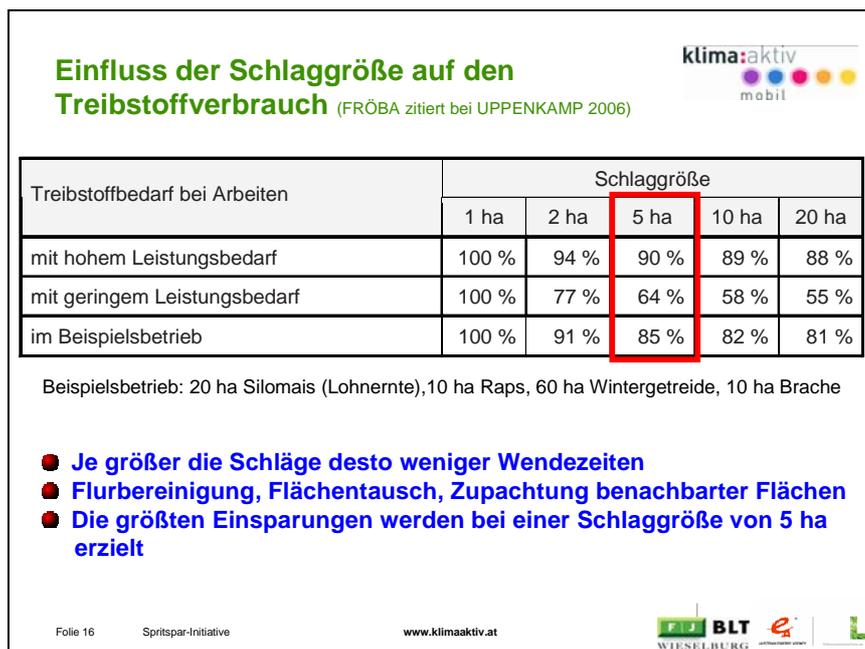


Abbildung 13: Einfluss der Schlaggröße auf den Kraftstoffverbrauch [FRÖBA zitiert bei UPPENKAMP 2006]

2.2.2 Schlagform

Die Effekte der Schlagform sind in Abbildung 14 dargestellt. Die optimale Schlagform ist das Rechteck. Je größer und regelmäßiger geformt Schläge sind, umso weniger Wendezeiten fallen an. Mit zunehmender Schlaggröße nimmt der Effekt der Schlagform ab.

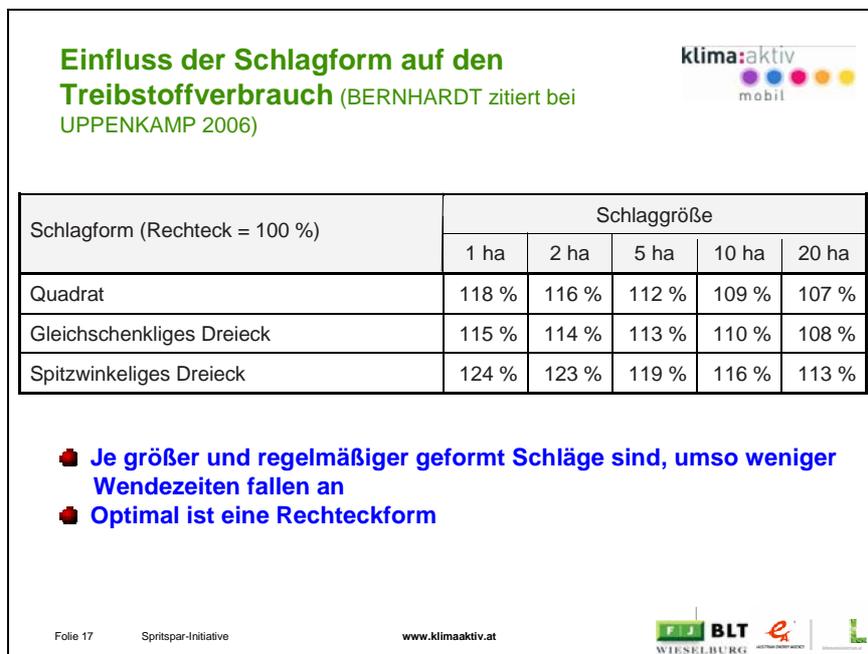


Abbildung 14: Einfluss der Schlagform auf den Kraftstoffverbrauch [BERNHARDT zitiert bei UPPENKAMP 2006]

2.2.3 Entfernung der Schläge

Je größer die Entfernungen zwischen den Schlägen und zwischen Hof und Schlägen sind, umso höher ist der Kraftstoffverbrauch für Transportfahrten.

Für den Transport von Schüttgütern kann mit einem mittleren Kraftstoffverbrauch von 0,09 l pro Tonne und Kilometer gerechnet werden (ÖKL 2008). Dementsprechend fällt bei einer zu transportierenden Masse von 10 t und einer Entfernung zwischen dem Ausgangspunkt und dem Endpunkt des Transportes von 5 km ein Dieselverbrauch von rund 4,5 l an (siehe Abbildung 15). Dieser Wert enthält auch den Kraftstoffverbrauch für die leere Rückfahrt der 5 km.

Einfluss der Transportentfernung klima:aktiv mobil

- **Für den Transport von Schüttgütern kann mit einem mittleren Treibstoffverbrauch von ca. 0,09 l pro Tonne und Kilometer gerechnet werden (ÖKL 2008).**
- **Große Feldentfernungen fressen Treibstoff**
- **Kleine Transportentfernungen Vermindern den Kraftstoffverbrauch**

Beispiel:

10 t - 5 km Entfernung = ca. 4,5 Liter
 10 t - 10 km Entfernung = ca. 9 Liter
 20 t - 5 km Entfernung = ca. 9 Liter
 20 t - 10 km Entfernung = ca. 18 Liter



Folie 18
Spiritspar-Initiative
www.klimaaktiv.at



Abbildung 15: Dieselverbrauch beim Transport von Schüttgütern

Veränderung von Schlaggröße, Schlagform und Entfernung der Schläge sind mittel- bis langfristige Maßnahmen. Neben der klassischen Flurbereinigung stehen Maßnahmen wie Pachtung von benachbarten Flächen, freiwilliger Flächentausch und virtuelle Flurbereinigung (Gewannebewirtschaftung) zur Verfügung.

2.3 Spezielle Maßnahmen bei der Bodenbearbeitung

2.3.1 Verringerung energieaufwändiger Bodenbearbeitungsverfahren

Durch den Einsatz von Mulch- und Direktsaat kann der Kraftstoffverbrauch erheblich verringert werden. In Abbildung 16 verringert sich der Kraftstoffverbrauch für Stoppel-, Grund-, Sekundärbodenbearbeitung und Saat um 39 %, wenn von der konventionellen Bodenbearbeitung mit Pflug auf Mulchsaat mit Lockerung umgestellt wird. Wird auf die Lockerung verzichtet sind weitere 20 % Einsparung möglich. Die Direktsaat liegt bei 11 % des Kraftstoffverbrauches der Pflugvariante. Um Mulch- und Direktsaat erfolgreich einzusetzen, müssen bestimmte Grundsätze beachtet werden (ROSNER ET AL 2007). Besonderes Augenmerk ist auf Maßnahmen gegen Fusariosen zu legen.

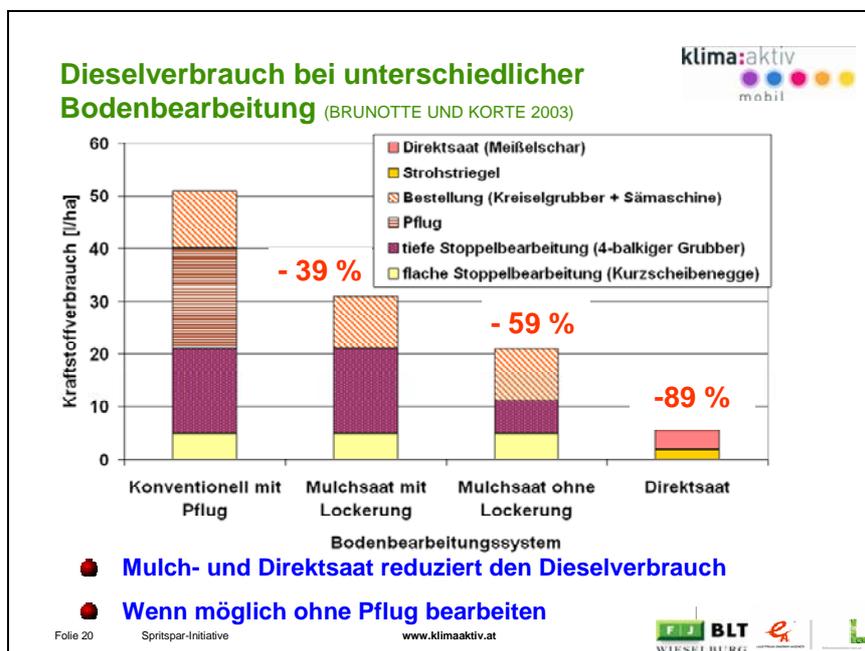


Abbildung 16: Kraftstoffverbrauch bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung [BRUNOTTE und KORTE 2003]

2.3.2 Anzahl der Arbeitsgänge verringern – Arbeitsgänge kombinieren

Nicht nötige Arbeitsgänge müssen vermieden werden. Beispielsweise kostet eine unnötige Überfahrt mit der Saatbettkombination 5 – 9 l Diesel/ha [KTBL 2006]. Weitere Richtwerte für den Kraftstoffverbrauch einzelner Arbeiten sind in Tabelle 2 (Seite 17) zu finden.

Bei der Auswahl entsprechender Verfahren lassen sich Arbeitsgänge kombinieren. Dadurch kann bei optimalen Rahmenbedingungen Kraftstoff gespart werden. Wenn beispielsweise bei der Getreidebestellung vom getrennten Verfahren mit zweimaliger Überfahrt mit der Saatbettkombination auf den kombinierten Anbau mit Kreiselegge umgestellt wird, kann rund 20 % Kraftstoff eingespart werden (siehe Abbildung 17). Bei Grünlandernte kommt es durch die Verwendung eines Mähwerkes mit Aufbereiten anstatt eines Mähwerkes und eines Kreiselzeters zu einer Reduktion des Kraftstoffverbrauches von rund 24 %.

Durch die Kombination von Arbeitsgängen wird die Anzahl der Überfahrten vermindert. Gleichzeitig steigt allerdings Leistungsbedarf der Geräte und das Gewicht der Geräte.

Arbeitsgang		Arbeitsweise	Mechanisierung	Treibstoffverbrauch [l/ha]
Bestellung Getreide	Getrennt	Saatbettkombination (5 m, 67 kW, 2 Überfahrten), Sämaschine (3 m, 45 kW)		14,8
	Kombiniert	Kreiselegge mit Sämaschine (3 m, 67 kW)		11,6
				- 20 %
Anwelksilagebereitung	Getrennt	Mähwerk (2,8 m, 54 kW) und Kreiselzetter (5,5 m, 45 kW, eine Überfahrt)		7,8
	Kombiniert	Mähwerk mit Aufbereiter (2,8 m, 67 kW)		5,9
				- 24 %



Unnötige Arbeitsgänge vermeiden und Kombination von Arbeitsgängen (KTBL 2006, eigene Berechnungen)

-  **Unnötige Arbeitsgänge vermeiden**
-  **Arbeitsgänge kombinieren**
-  **Eine Überfahrt mit der Saatbeetkombination kostet 5-9 Liter Diesel/ha**

Folie 21 Sprintspar-Initiative www.klimaaktiv.at   

Abbildung 17: Kraftstoffersparnis durch Kombination von Arbeitsgängen [KTBL 2006, eigene Berechnungen]

2.3.3 Bodenverdichtungen vermeiden

Bodenverdichtungen erhöhen den Leistungsbedarf und damit den Kraftstoffverbrauch. Die Abbildung 18 zeigt beispielhaft die Auswirkungen von Bodenverdichtungen beim Pflügen. Der Schlupf nimmt von 3,6 % auf 5,4 % zu. Die Fahrgeschwindigkeit sinkt von 6,8 auf 6,4 km/h. Der Kraftstoffverbrauch steigt von durchschnittlich 13,2 l/h auf 15,3 l/ha an.

Neben der eingesetzten Technik (Radlast, Kontaktflächendruck) ist die Tragfähigkeit des Bodens und dessen Feuchtigkeit für die Entstehung von Verdichtungen entscheidend.

Die Vermeidung von Bodenverdichtungen und Spurrillen sind Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz von Mulch- und Direktsaatverfahren.

Auswirkung von Bodenverdichtungen beim Pflügen [MOITZI 2006] klima:aktiv mobil

	Boden unverdichtet	Boden verdichtet
Fahrgeschwindigkeit [km/h]	6,8	6,4
Schlupf [%]	3,6	5,4
Kraftstoffverbrauch [l/h]	15,3	16,7
Kraftstoffverbrauch [l/ha]	13,2	15,3
		+ 16 %

Anmerkung: 4-Scharwendepflug – 1,70 m Arbeitsbreite, 20 cm Arbeitstiefe, Herbstackerung nach Körnermais, Bodenart: sandiger Lehm bei 14 % Feuchte)

- **Das Vermeiden von Bodenverdichtungen ist die Voraussetzung für einen gesunden Boden**
- **Bodenverdichtungen erhöhen den Leistungs- und Treibstoffbedarf**

Folie 22 Spiritspar-Initiative www.klimaaktiv.at



Abbildung 18: Auswirkungen von Bodenverdichtungen beim Pflügen [MOITZI 2006]

2.3.4 Verbesserung der Bodenstruktur – Biologische Bodenlockerung

Eine Verbesserung der Bodenstruktur verringert den Zugkraftbedarf bei der Bodenbearbeitung und damit den Kraftstoffbedarf. Beispielsweise haben Untersuchungen in Kanada nachgewiesen, dass eine mehrjährige organische Düngung den Zugkraftbedarf beim Pflügen um bis zu 38 % verringert (McLAUGHLIN ET AL. 2002 zitiert bei MOITZI 2006). Der kraftstoffsparende Effekt wurde auf den verringerten spezifischen Bodenwiderstand zurückgeführt.

Das Bodenleben bewirkt eine Bodenlockerung und die Lebendverbauung der Bodenbestandteile. Letzteres ist eine Voraussetzung für den Aufbau einer stabilen Krümelstruktur. Das Bodenleben benötigt eine entsprechende Sauerstoffversorgung und organische Substanz. Das Bodenleben betreibt biologische Bodenlockerung und verringert dadurch den Kraftstoffverbrauch.

Für die Tragfähigkeit und Bearbeitbarkeit des Bodens ist neben anderen Faktoren der Wassergehalt wesentlich. Daher spielt die Wahl des Bearbeitungszeitpunktes und damit die Betriebsorganisation eine bedeutende Rolle.

Beispielsweise kann durch die Bodenbearbeitung bei optimalem Feuchtigkeitsgehalt des Bodens das Verdichtungsrisiko, die Bearbeitungsintensität, die Anzahl der Überfahrten bzw. der Zugkraftbedarf minimiert werden.

Bodenbearbeitung



Verbesserung der Bodenstruktur

Zugkraft- und Kraftstoffbedarf sinken

Beispiel: Mehrjährige organische Düngung → verringert
Zugkraftbedarf beim Pflügen um bis zu 38 % (McLAUGHLIN ET AL. 2002)

Bodenleben fördern → biologische Bodenlockerung

Optimaler Bearbeitungszeitpunkt minimiert →

- Verdichtungsrisiko
- Bearbeitungsintensität
- Anzahl der Überfahrten
- Zugkraftbedarf

Mehr Bodenleben und bessere Bodenstruktur verringern den Treibstoffverbrauch

Optimalen Bearbeitungszeitpunkt wählen

Folie 23 Sprintspar-Initiative www.klimaaktiv.at





Abbildung 19: Verbesserung der Bodenstruktur

2.3.5 Optimale Bearbeitungstiefe

Bei der Bodenbearbeitung müssen pro ha und pro cm Arbeitstiefe rund 150 t Boden bewegt werden. Dadurch steigt der Kraftstoffverbrauch mit zunehmender Arbeitstiefe an. Beim Pflügen liegt dieser Anstieg je nach Bodenverhältnissen zwischen 0,5 und 1,4 l/cm Arbeitstiefe und Hektar. (KALK UND HÜLSBERGEN 1999). Beim Grubbern liegt der Anstieg in einem ähnlichen Bereich (siehe Abbildung 20). Es gilt daher, keinesfalls tiefer bearbeiten als es der Boden und die Kultur erfordert. Durch eine angepasste Arbeitstiefe kann bei wechselndem Boden und gleichbleibendem Ertrag Kraftstoff gespart werden. Auf einem Betrieb bzw. einer Fläche mit starker Heterogenität des Bodens kann bis über 50 % des Kraftstoffes eingespart werden, wenn sandige Böden tiefer und lehmige bzw. tonige Böden flacher bearbeitet werden (SOMMER UND VOßHENRICH 2004).

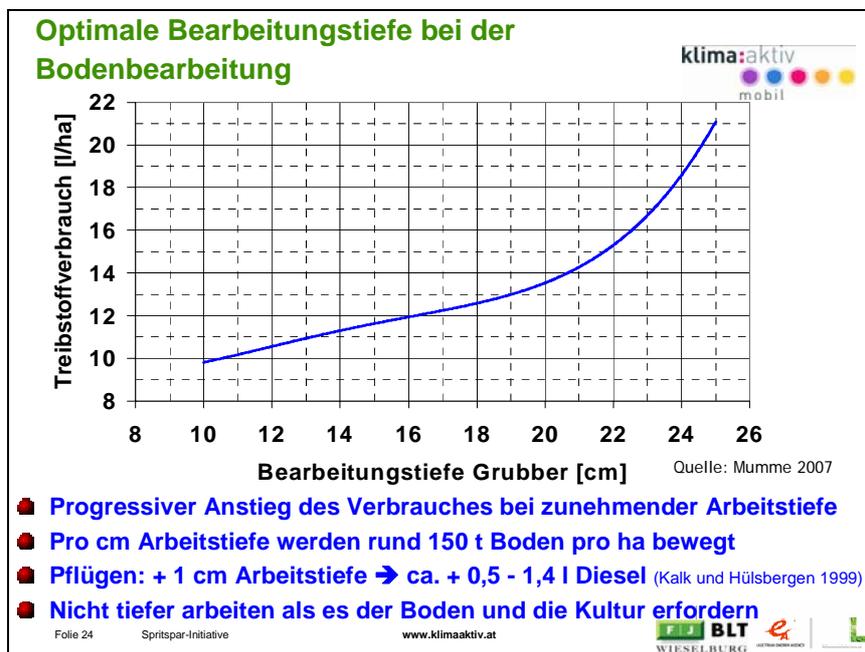


Abbildung 20: Einfluss der Arbeitstiefe auf den Kraftstoffverbrauch [MUMME 2007, KALK und HÜLSBERGEN 1999]

2.3.6 Bearbeitungsintensität anpassen

Unterschiedliche Böden und Kulturen erlauben eine unterschiedliche Bearbeitungsintensität bei der Saatbettbereitung. Bei zapfwellenbetriebenen Bodenbearbeitungsgeräten kann die Bearbeitungsintensität über die Zapfwelldrehzahl, die Fahrgeschwindigkeit bzw. durch ein Schaltgetriebe am Gerät eingestellt werden. Abbildung 21 zeigt, dass der Leistungsbedarf und damit der Kraftstoffverbrauch um rund ein Drittel in Abhängigkeit von der Bearbeitungsintensität schwanken. Eine optimale Bearbeitungsintensität bewirkt daher entsprechende Kraftstoffersparnis. Zu intensive Bearbeitung erhöht beispielsweise auf schluffreichen Böden das Risiko von Verschlämmungen.

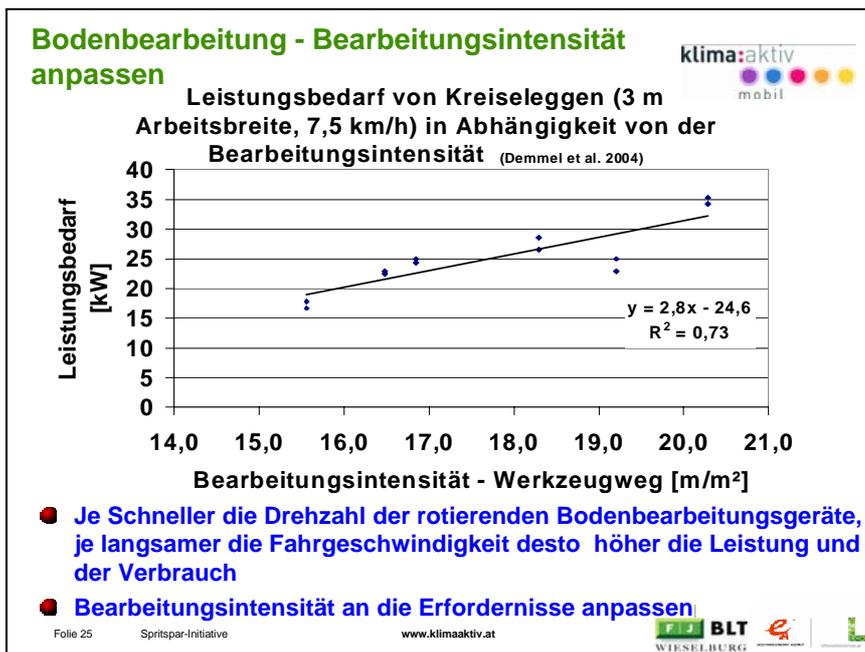


Abbildung 21: Leistungsbedarf von drei Kreiseleggen (3 m Arbeitsbreite, 7,5 km/h Arbeitsgeschwindigkeit) in Abhängigkeit von der Bearbeitungsintensität¹ [DEMMELE ET. AL. 2004]

¹ Der Werkzeugweg [m/m²] entspricht dem Weg, den die Zinken der Kreiselegge pro m² bearbeiteter Fläche im Boden zurücklegen. Er hängt wesentlich von Kreiseldurchmesser und Kreiseldrehzahl sowie der Fahrgeschwindigkeit ab. Je größer er ist, umso intensiver wird der Boden bearbeitet.

2.3.7 Optimale Abstimmung von Arbeitsbreite, Fahrgeschwindigkeit und Motorleistung

Je größer die Arbeitsbreite, desto kürzer ist die Wegstrecke die zurückgelegt werden muss, um eine bestimmte Fläche zu bearbeiten. Dies führt zu einer höheren Flächenleistung und zu einem geringeren Kraftstoffverbrauch. Größere Arbeitsbreiten haben allerdings den Nachteil, dass die Maschinen schwerer werden.

Eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit zur Leistungssteigerung bewirkt durchwegs einen Anstieg des Leistungs- bzw. Zugkraftbedarfes und damit auch des Kraftstoffbedarfes.

Beispielsweise steigt der Zugkraftbedarf beim Pflügen mit dem Quadrat der Fahrgeschwindigkeit (Mortzi 2006). Zur Leistungssteigerung soll deshalb die Arbeitsbreite und nicht die Fahrgeschwindigkeit erhöht werden.

Optimale Abstimmung von Arbeitsbreite, Fahrgeschwindigkeit und Motorleistung 

Größere Arbeitsbreite

- kürzere Wegstrecke auf der Fläche und weniger Wendezeiten
- höhere Flächenleistung und geringerer Treibstoffverbrauch.

Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit zur Erhöhung der Flächenleistung → Anstieg des Leistungs- bzw. Zugkraftbedarfes und des Treibstoffbedarfes

- **Arbeitsbreite auf die Leistung des Traktors abstimmen**
- **Möglichst große Arbeitsbreite wählen**
- **Zur Steigerung der Arbeitsleistung, die Arbeitsbreite und nicht die Fahrgeschwindigkeit erhöhen**

Folie 26 Sprintspar-Initiative www.klimaaktiv.at 

Abbildung 22: Optimale Abstimmung von Arbeitsbreite, Fahrgeschwindigkeit und Motorleistung

2.3.8 Optimale Geräteeinstellung

Bei zahlreichen Geräten wird durch deren Einstellung der Leistungsbedarf und damit den Kraftstoffverbrauch wesentlich beeinflusst. Beispielsweise verursachen falsche Einstellungen beim Pflügen (Zugpunkt und Sturz) ein Mehr an Zugkraftbedarf von rund 10 bis 30 %. Ein stark verstellter Zugpunkt kann einen Anstieg des Zugkraftbedarfes von 19 % bewirken. Kommt noch eine deutlich falsche Neigung (Sturz) dazu, erhöht sich der Zugkraftbedarf im Vergleich zur optimalen Einstellung um 33 % (HÖNER 2004).

Geräteeinstellung – Pflug (Höner 2004)

Falscher Zugpunkt:
bis +20 % Dieselverbrauch

Falscher Zugpunkt und falscher Sturz:
bis +33 % Dieselverbrauch



Richtige Geräteeinstellung bei jeder Arbeit vornehmen

Folie 27 Spiritspar-Initiative www.klimaaktiv.at klima:aktiv mobil F J BLT WIESELBURG e L

Abbildung 23: Auswirkungen der falschen Pflugeinstellung auf den Dieselverbrauch (HÖNER 2004)

2.3.9 Wartung der Geräte

Optimal gewartete Geräte tragen zum Kraftstoffsparen bei.

Bei Bodenbearbeitungsgeräten wird häufig versucht die Nutzungsdauer von Verschleißteilen durch Aufschweißen von Alteisenteilen an Schar, Anlage oder Streichblech zu verlängern. Dadurch kommt es im Bereich der Schweißnähte zum Ankleben von Erde und in der Folge zu einem Anstieg des Zugkraft- und Kraftstoffbedarfes (siehe Abbildung 24 und Abbildung 25). Rost an den Arbeitswerkzeugen führt ebenfalls zum Ankleben von Erde. Daher sollen nach der Bodenbearbeitung entsprechende Rostschutzmaßnahmen durchgeführt werden.



Abbildung 24: Dieserverbrauch eines Vierscharpfluges bei ausgebesserten Verschleißteilen im Vergleich zu einem unveränderten Originalpflugkörper [WEIß 2003]

Wartung der Geräte

Dieserverbrauch eines Vierscharpfluges
(Weiß 2003)

Referenz	Doppelter Anlagekeil aufgeschweißt	Anlage mit Stahlplatte verstärkt
100 % (20,2 l/ha)	135 %	141 %



- Verschleißteile nicht unsachgemäß reparieren, sondern auswechseln**
- Aufgeschweißte Teile erhöhen den Treibstoffverbrauch**

Folie 29 Sprintspar-Initiative www.klimaaktiv.at 

Abbildung 25: Dieserverbrauch eines Vierscharpfluges bei ausgebesserten Verschleißteilen im Vergleich zu einem unveränderten Originalpflugkörper [WEIß 2003]

2.4 Spezielle Maßnahmen bei der Futterernte

2.4.1 Anzahl der Arbeitsgänge verringern – Arbeitsgänge kombinieren

Bei der Auswahl entsprechender Verfahren lassen sich Arbeitsgänge kombinieren. Dadurch kann bei optimalen Rahmenbedingungen Kraftstoff gespart werden. Beispielsweise kann bei der Anwekksilagebereitung, wenn vom Mähen mit anschließendem Zetten auf Mähen mit Aufbereiter und gleichzeitigem Verzicht auf einen Zettvorgang umgestellt wird, mehr als 20 % Kraftstoff eingespart werden (siehe Abbildung 17).

Durch die Kombination von Arbeitsgängen wird die Anzahl der Überfahrten vermindert. Gleichzeitig steigt allerdings Leistungsbedarf der Geräte und das Gewicht der Geräte.

Nicht nötige Arbeitsgänge müssen vermieden werden. Richtwerte für den Kraftstoffverbrauch einzelner Arbeiten sind in Tabelle 2 (Seite 17) zu finden.

-  **Nicht nötige Arbeitsgänge vermeiden**
-  **Kombination von Arbeitsgängen erspart Kraftstoff**

2.4.2 Zerkleinerungsintensität anpassen

Bei Erntemaschinen, wie Häcksler, Ladewagen oder Rundballenpressen, steigt der Kraftstoffbedarf mit abnehmender Schnittlänge. Beispielsweise erhöht sich bei einer Rundballenpresse der spezifische Energiebedarf beim Pressen von Anwelksilage² um 35 %, wenn das Schneidwerk mit 25 Messern eingesetzt wird (siehe Abbildung 26). Der Einsatz des Schneidwerkes kostet zwar Energie, erleichtert aber das Auflösen des Ballens im Stall.

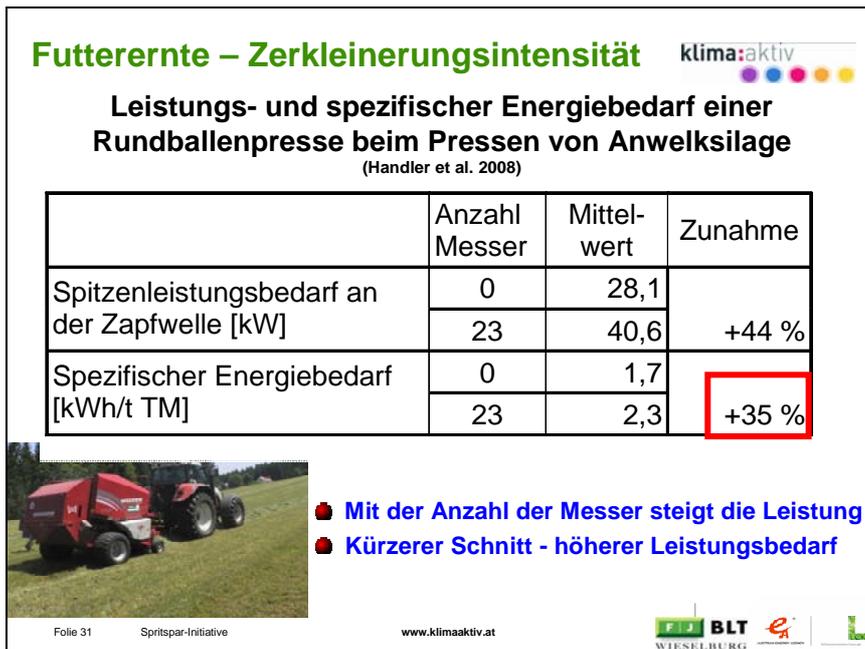


Abbildung 26: Energiebedarf einer Rundballenpresse in Abhängigkeit von der Anzahl der eingesetzten Messer beim Pressen von Anwelksilage [HANDLER ET AL. 2008]

Wird die Häcksellänge beim Häckseln von Silomais von 13 auf 10 mm verringert, kommt es zu einem Anstieg des Kraftstoffverbrauches von bis zu 13 % (siehe Abbildung 27). Deshalb sollte nicht kürzer gehäckselt werden als unbedingt notwendig.

² Anwelksilage Dauergrünland 4. Schnitt, 38,8 % TM, mittlerer Massenstrom in die Presse 14,5 t TM/h, mittlere Schwadmasse 2,0 kg TM/m

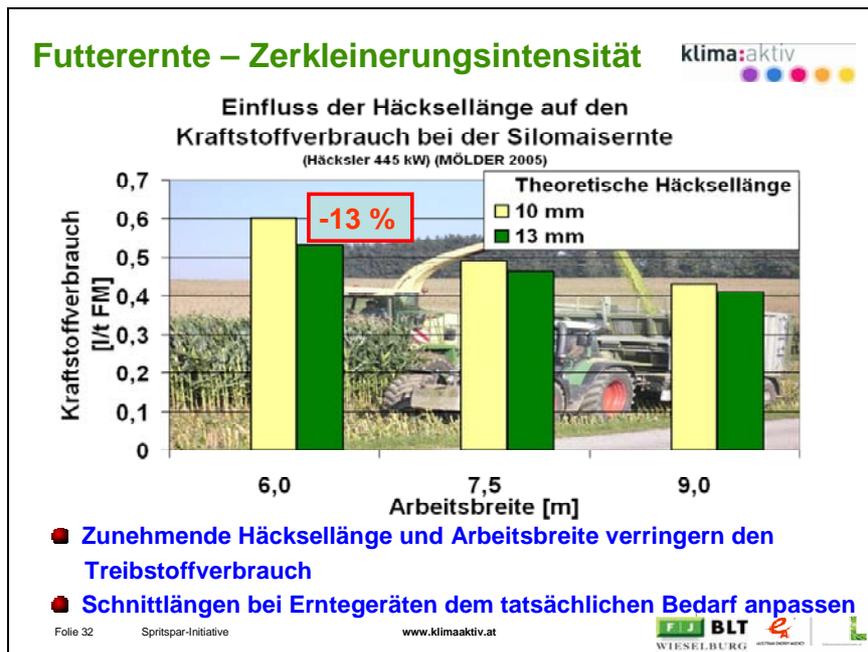


Abbildung 27: Einfluss der Häcksellänge auf den Kraftstoffverbrauch bei der Silomaisernte [MÖLDER 2005]

2.4.3 Wartung der Geräte

Optimal gewartete Geräte tragen zum Kraftstoffsparen bei.

Bei Schneidvorgängen spielt die Schärfe der Schneide eine bedeutende Rolle. In Abbildung 28 und Abbildung 29 sind die Auswirkungen von stumpfen Klingen bzw. Messern dargestellt. Die Differenz von rund 3 kW in Abbildung 28 zwischen scharfen und stumpfen Messern macht im Kraftstoffverbrauch pro Stunde 1 l aus. Die Ergebnisse bei der Rundballenpresse (Abbildung 29) können auch auf Ladewägen übertragen werden (SAUTER UND DÜRR 2005).

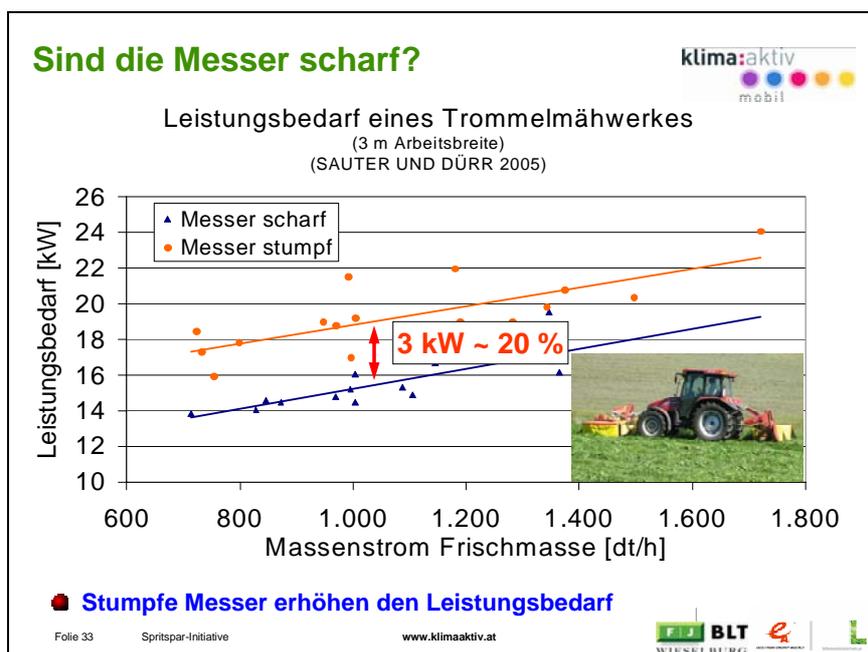


Abbildung 28: Leistungsbedarf des Trommelmähwerts bei 3 m Arbeitsbreite in Abhängigkeit vom Massenstrom (Frischsubstanz) bei unterschiedlich scharfen Klingen, gemessen an der Traktorzapfwelle [SAUTER und DÜRR 2005]

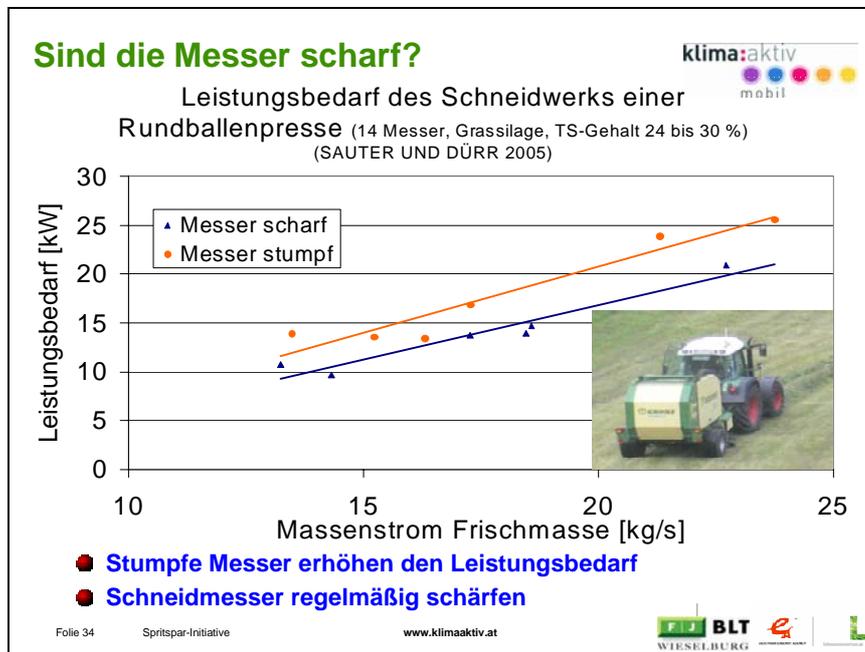


Abbildung 29: Leistungsbedarf des Rotorschneidwerks einer Rundballenpresse mit verschieden scharfen Messern (Grassilage, TS-Gehalt 24 bis 30 %) [SAUTER und DÜRR 2005]

2.4.4 Optimale Abstimmung von Arbeitsbreite, Fahrgeschwindigkeit und Motorleistung

Je größer die Arbeitsbreite, desto kürzer ist die Wegstrecke, die zurückgelegt werden muss, um eine bestimmte Fläche zu bearbeiten. Dies führt zu einer höheren Flächenleistung und zu einem geringeren Kraftstoffverbrauch. Abbildung 30 illustriert diesen Zusammenhang am Beispiel eines Feldhäckslers, bei dem durch Erhöhung der Arbeitsbreite bei Silomaisernte je nach Häcksellänge zwischen 30 und 40 % Kraftstoff eingespart wurde.

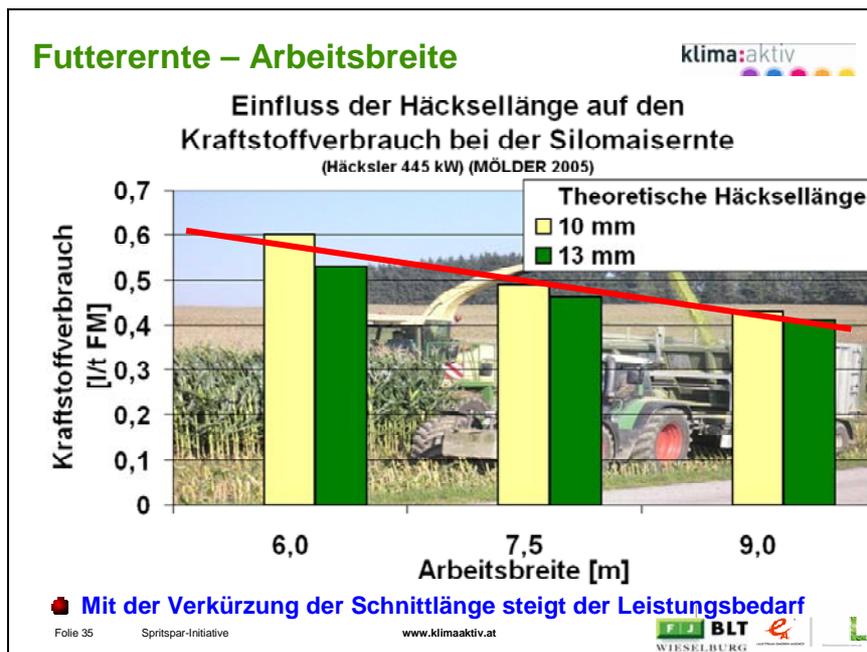


Abbildung 30: Einfluss der Arbeitsbreite auf den Kraftstoffverbrauch beim Häckseln von Silomais (Häcksler 445 kW) [MÖLDER 2005]

Eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit zur Leistungssteigerung bewirkt durchwegs einen Anstieg des Leistungs- bzw. Zugkraftbedarfes und damit auch des Kraftstoffbedarfes. Beim Laden mit dem Ladewagen steigt der Zugleistungsbedarf und damit der Kraftstoffbedarf, wenn versucht wird, einen zu schwachen Schwad durch Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit zu kompensieren (siehe Abbildung 31). Zu schwachen Schwaden entstehen bei zu geringer Arbeitsbreite des Schwaders und geringen Erträgen.

Zur Leistungssteigerung sollte deshalb die Arbeitsbreite bzw. Schwadstärke und nicht die Fahrgeschwindigkeit erhöht werden.

Höhere Arbeitsbreiten verringern zwar die Anzahl der Überfahrten, erhöhen aber in der Regel das Gewicht der Maschinen.

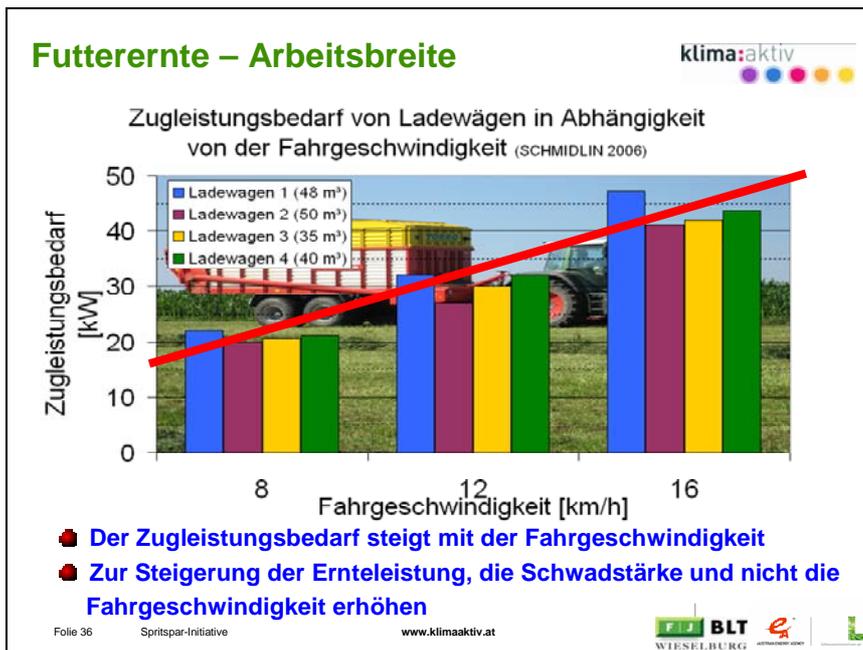


Abbildung 31: Zugleistungsbedarf von Ladewägen in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit [SCHMIDLIN 2006]

Arbeitsbreite auf die Leistung des Motors abstimmen.

2.5 Wahl der Transportfahrzeuge

2.5.1 Einfluss der Größe des Transportfahrzeuges

Mit zunehmender Betriebsgröße nimmt die Bedeutung der Transporte zu. Im Allgemeinen gilt, je größer die Transportfahrzeuge, umso geringer der Kraftstoffverbrauch pro transportierter Einheit. Die Unterschiede nehmen mit wachsender Transportentfernung zu. (siehe Abbildung 32). Die hohen Gewichte großer Transportfahrzeuge verursachen Probleme hinsichtlich Bodenverdichtungen. Deshalb muss ein Befahren der Felder mit schweren Transportfahrzeugen vermieden werden. Arbeiten am Feld sollten mit relativ leichten und mit entsprechender Bereifung ausgestatteten Maschinen erledigt werden. Die Trennung von Feldarbeit und Transport erfordert mit Ausnahme beim Mähdrusch einen zusätzlichen Überladevorgang, der sich vor allem bei großen Transportentfernungen rechnet. Bei Trennung von Feldarbeit und Transport sollten die Transportfahrzeuge mit Reifen ausgestattet werden, die eine relativ kleine Aufstandsfläche und einen hohen Innendruck aufweisen. Dadurch werden der Verschleiß und der Rollwiderstand minimiert. Letzteres hilft Kraftstoff sparen.

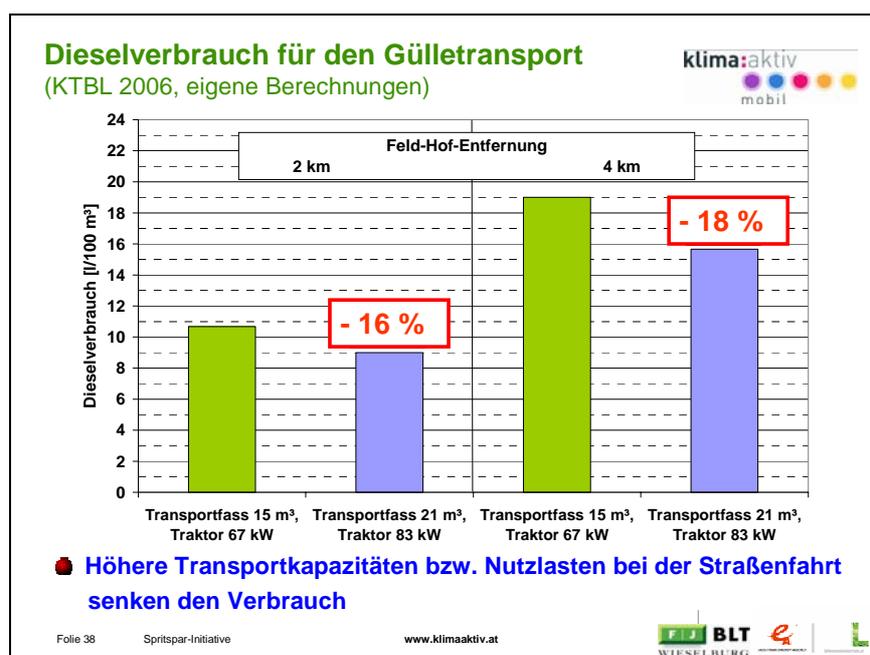


Abbildung 32: Kraftstoffverbrauch für den Gülletransport bei mehrphasigen Systemen [KTBL 2006, eigene Berechnungen]

2.5.2 Vergleich Traktor – LKW

Vergleiche zwischen LKW und Traktor mit Anhänger haben gezeigt, dass der LKW in der Regel bezogen auf den gefahrenen Kilometer und die transportierte Masse weniger Kraftstoff benötigt als der Traktor mit Anhänger. Das Beispiel eines Vergleiches ist in Abbildung 33 zusammengefasst. Der LKW erfordert ebenfalls eine Trennung von Feldarbeit und Transport, da auf Grund seiner Bereifung und des hohen Reifenluftdrucks ein Befahren des Feldes problematisch ist.

Vergleich Traktor – LKW beim Gülletransport



Rahmenbedingungen: - Asphaltierte Straßen - Gelände eben bis hügelig	Dieselverbrauch*	
	[l/100 km]	[l/100 km.t**]
Traktoren (120 – 199 kW) mit Tankanhänger (18 m³)	46 - 63	2,6 – 3,5
LKW (315 kW) mit 21 m³	41 - 47	2,0 – 2,2

*) Mittelwert aus voller Hinfahrt und leerer Rückfahrt
**) Treibstoffverbrauch pro 100 km und t Nutzlast,

Quelle: Eigene Erhebungen




● **Große Unterschiede bei unterschiedlichen Traktoren und Fahrern**
● **Der LKW benötigt weniger Treibstoff als der Traktor mit Anhänger, erfordert allerdings eine Trennung von Feldarbeit und Transport**

Folie 39 Sprintspar-Initiative www.klimaaktiv.at





Abbildung 33: Vergleich Kraftstoffverbrauch eines LKW mit jenem eines Traktors mit Anhänger

2.5.3 Allgemeine Überlegungen zum Thema Transport

Transport

- **Unnötige Fahrten vermeiden!!!!**
- **Betriebswachstum** → Transportentfernungen steigen
- **Größere Transportfahrzeuge**
 - höhere Masse (weniger Treibstoffverbrauch pro transportierter Einheit) → Bodenbelastung steigt
- **Trennung von Feldarbeit und Transport**
- **Geringer Reifendruck und Transportgewicht am Feld**
- **Hoher Reifendruck und Transportgewicht auf der Straße**



Folie 40 Sprintspar-Initiative www.klimaaktiv.at

F J BLT
WIESELBURG

Abbildung 34: Transport und Kraftstoffverbrauch

2.6 Traktoreinsatz optimieren

2.6.1 Motorkennwerte

Um Traktormotoren vergleichen zu können, benutzt man hauptsächlich drei Kenngrößen:

- Leistung
- Drehmoment
- Spezifischer Kraftstoffverbrauch

Trägt man alle drei Kennlinien in ein Diagramm ein, so erhält man ein sogenanntes Leistungsdiagramm (Abbildung 35).

2.6.1.1 Motorleistung³

Unter der Leistung eines Motors versteht man seine innerhalb einer bestimmten Zeit abgegebene mechanische Arbeit. Sie ist das Produkt aus Drehmoment und Drehzahl. Die meist angegebene Nennleistung ist die Leistung bei der Nenndrehzahl. Sie muss nicht die maximale Leistung sein.

2.6.1.2 Drehmoment und Drehmomentanstieg

Ein hohes Drehmoment im niedrigen Drehzahlbereich ist eine wichtige Kenngröße zum sparsamen Überwinden der Fahr- und der Zugwiderstände.

Mit steigender Belastung des Motors fällt die Drehzahl ab. Während des Abfalls der Drehzahl kommt es zum Anstieg des Drehmoments bis zu seinem Maximalwert. Das Verhältnis von maximalem Drehmoment zum Drehmoment bei Nenndrehzahl bezeichnet man als Drehmomentanstieg oder Drehmomenterhöhung (siehe Abbildung 35 (nächste Seite): Zusammenhänge von Drehmoment – Leistung – absoluter Verbrauch – spezifischer Verbrauch und Drehzahl. Das maximale Drehmoment liegt bei ca. 60 % der Nenndrehzahl. Der Drehmomentanstieg beträgt bei modernen Motoren ca. 25 %.

³ Exkurs Angaben Motorleistung und Kraftstoffverbrauch

Die Leistungs- und Kraftstoffverbrauchsangaben können sich auf verschiedene Normen und Richtlinien beziehen und sind daher nur begrenzt vergleichbar. Die Tabelle gibt einen Überblick über die wichtigsten Normen und Richtlinien (LAMPPEL 2006) und der bei der Messung berücksichtigten Ausstattung des Motors. Der OECD Code 2 liefert die für die Praxis aussagekräftigsten Werte, da an der Zapfwelle inklusive der mitlaufenden Nebenaggregate gemessen wird. Er liefert im Vergleich zu den anderen Normen und Richtlinien die niedrigsten Leistungswerte (z. B. ca. 90 % von DIN 70020). Die höchsten Leistungswerte liefert SAE J1995, da nur der „nackte“ Motor ohne Kühlung, Auspuff, Luftfilter, usw. gemessen wird (z. B. ca. 112 % von DIN 70020). Für den Kraftstoffverbrauch bedeutet dies, dass die Werte umso niedriger sind, je weniger Nebenaggregate angeschlossen sind und je höher die gemessene Leistung ist.

Messnorm o. EG-Richtlinie	DIN 70020 (zurückgezogen)	SAE J1995	ISO TR 14396	97/68/EWG bis 2005/13/EG	ECE R24	OECD Code 2
Leistungsabnahme	Schwungscheibe	Schwungscheibe	Schwungscheibe	Schwungscheibe	Schwungscheibe	Zapfwelle
Lüfter	ja**	nein	nein	nein	ja*	ja
Kühlwasserpumpe	ja	nein	ja	ja	ja	ja
Wasserkühler	ja	nein	nein	ja	ja	ja
Turbolader	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Ladefilterkühler	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Luftfilter	ja	nein	ja	ja	ja	ja
Auspuff	ja	nein	ja	ja	ja	ja
Einspritzpumpe	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Zusatzaggregate***	nein	nein	nein	nein	nein	ja
Relation Leistungsangaben****	100 %	ca. 112%	ca. 108%	ca. 108%	ca. 105%	ca. 90%

*) Viskolüfter mit maximalem Schlupf

***) Lüfter läuft voll mit

****) Hydraulik, Klimaanlage, usw.

*****) Quelle LANDIS (2005)

Je größer der Drehmomentanstieg, desto steiler der Anstieg der Zugkraft, wenn die Drehzahl bei steigender Belastung abfällt. Eine konstante Fahrgeschwindigkeit mit steigender Belastung (z. B. Bergauffahrt) stellt sich bei großem Drehmomentanstieg eher ein als bei Motoren mit geringerem Drehmomentanstieg. Trotz gleicher Nennleistung ist ein Motor mit größerem Drehmomentanstieg effektiver.

2.6.1.3 Drehmoment- und Leistungsverlauf

Mit zunehmender Drehzahl steigt die Leistung. Nach Überwindung der inneren Reibungsverluste und der größeren Wärmeverluste bei niedrigen Drehzahlen erreicht der Motor bei optimaler Füllung (Gas-Luftgemisch) der Zylinder sein maximales Drehmoment. Bei weiter zunehmender Drehzahl sinkt das Drehmoment infolge der steigenden Strömungswiderstände und der kurzen Ventilöffnungszeiten (siehe Abbildung 35).

2.6.1.4 Spezifischer Kraftstoffverbrauch

Der spezifische Kraftstoffverbrauch wird in g/kWh angegeben. Er ist ein Maß für den Wirkungsgrad des Motors.

Er muss mit der abgenommenen Leistung (kW) multipliziert und durch die Kraftstoffdichte (g/l) dividiert werden, um den erzielten Verbrauch (l/h) zu errechnen.

Sehr günstige minimale spezifische Kraftstoffverbräuche liegen knapp unter 200 g/kWh. Sehr häufig liegen sie bei 215 – 220 g/kWh.

Auf Grund der strenger werden Abgasvorschriften ist der spezifische Kraftstoffverbrauch in den letzten Jahren tendenziell gestiegen.

Der günstigste spezifische Verbrauch liegt im Bereich von rund 60 % der Nenndrehzahl.

Die im Motor-Leistungsdiagramm dargestellte Vollastverbrauchskurve gibt nur Auskunft über den Verbrauch bei Vollast, also bei durchgetretenem Gaspedal. Sie ist deshalb nur bedingt als Indikator für den Verbrauch geeignet (Bergauffahren, Beschleunigen, sehr hohe Belastung bei Zapfwellenarbeiten).

In Prospekten werden häufig die Nennleistung bzw. die maximale Leistung und der minimale spezifische Kraftstoffverbrauch angegeben.

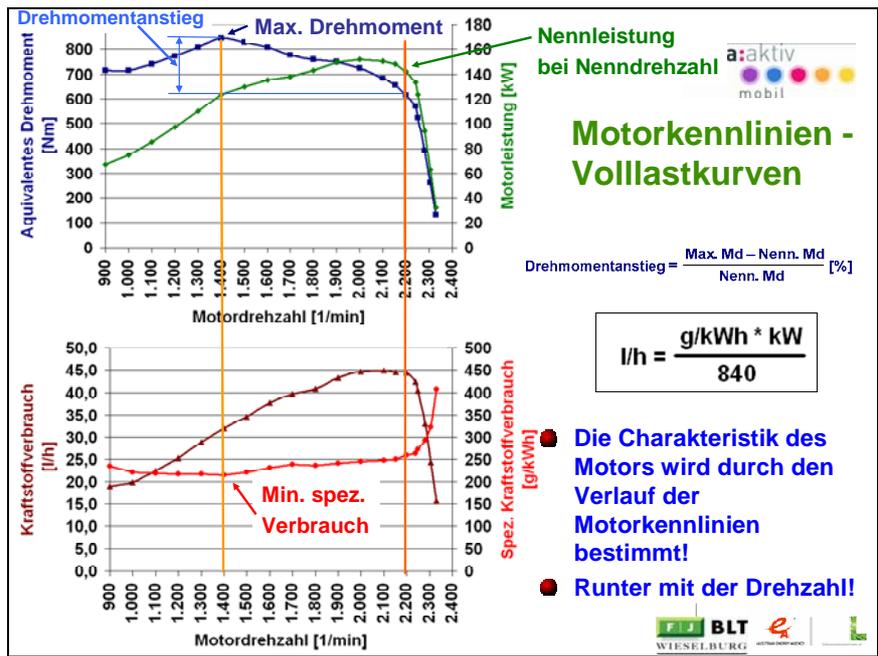


Abbildung 35: Zusammenhänge von Drehmoment – Leistung – absoluter Verbrauch – spezifischer Verbrauch und Drehzahl

2.6.2 Motorauswahl

Die Angaben zum Kraftstoffverbrauch in den Prospekten beziehen sich in der Regel nur auf Bestwerte in den Kennlinien, die nur für einen bestimmten Betriebspunkt des Motors gelten. Für die Kennlinienerstellung eines Motors gibt es verschiedene Messmethoden, deren Messergebnisse untereinander nicht vergleichbar sind (siehe Seite 42). Zusätzlich ist bei Angaben in den Prospekten die Messmethode häufig nicht angeführt.

Die Prospekte zeigen hauptsächlich die Leistungsangaben des Motors nach DIN. Die DIN-Leistung beinhaltet die Leistung des Motors nur mit den für den Motor notwendigen Nebenaggregaten (Lüfter, Lichtmaschine usw.) an der Kurbelwelle. Die dabei ermittelten Verbrauchswerte sind somit weniger aussagekräftig als Verbrauchsmessungen, die auf Leistungsmessungen an der Zapfwelle oder bei der Zugarbeit in mehreren Betriebspunkten des Motors beruhen. Die Getriebeverluste des Antriebsstranges zur Zapfwelle bzw. zu den Rädern werden dabei berücksichtigt. Darauf basierende Vergleiche von Traktoren sind aber schwer zu bekommen. Firmenunabhängige Leistungs- und Verbrauchsdaten für Vergleichszwecke liefern die OECD-Prüfberichte.

Abbildung 36 zeigt ebenfalls die geringe Aussagekraft üblicher Prospektangaben. Die beiden Traktoren erscheinen bei Angabe der Nennleistung und des optimalen spezifischen Kraftstoffverbrauches annähernd gleichwertig. Traktor I hat allerdings beim Betrieb mit der Normdrehzahl der 540-iger Zapfwelle 9 % mehr Leistung und 11 % weniger spezifischen Verbrauch als Traktor II. Zusätzlich weist Traktor I im gesamten Konstantleistungsbereich eine deutlich höhere Leistung als Traktor II auf. Diese Mehrleistung verursacht keinen nennenswert höheren Kraftstoffverbrauch, da der spezifische Verbrauch in diesem wichtigen Drehzahlbereich um rund 11% geringer ist. Dieser Unterschied wird nur bei Kenntnis der Motorkennlinien sichtbar.

Die alleinige Angabe der Nennleistung und des minimalen spezifischen Kraftstoffverbrauches ist für die Beurteilung des Motors zu wenig.

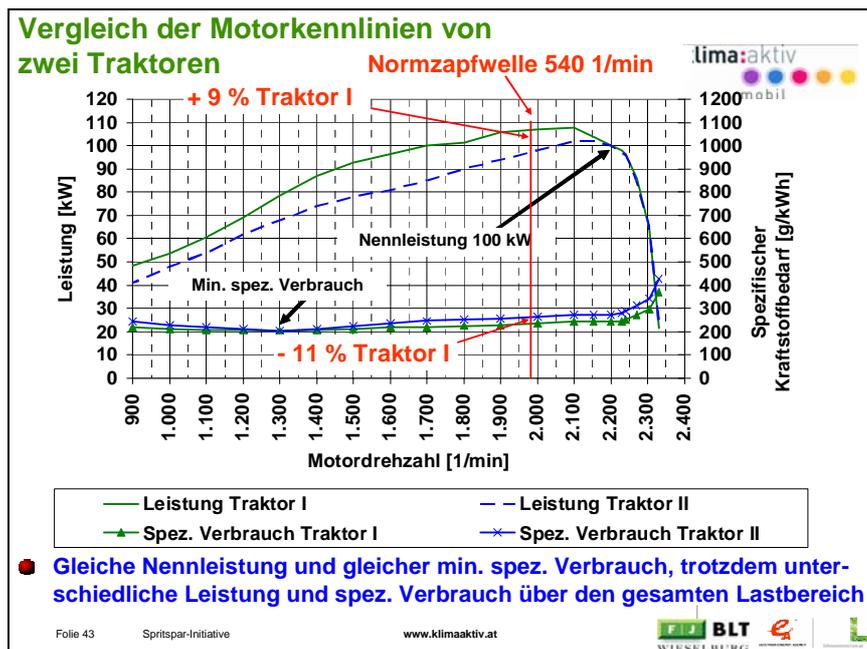


Abbildung 36: Vergleich der Motorkennlinien von zwei Traktoren mit gleicher Nennleistung

2.6.3 Motorauslastung

Die Volllastkurve eines Motors ist für die Praxis nur bedingt aussagekräftig. Sie zeigt die Verbrauchswerte des Motors bei voller Auslastung (100%) über den gesamten Drehzahlbereich. In der Praxis bewegt sich die Auslastung des Traktormotors im Bereich von ca. 10 - 80%.

Im Gegensatz zu Leistungsdiagrammen mit Volllastkurven (siehe Abbildung 35 und Abbildung 36) zeigt das Muscheldiagramm in Abbildung 37 den Zusammenhang zwischen Leistung, Drehmoment und Kraftstoffverbrauch bei verschiedenen Auslastungen des Motors. Allerdings werden diese Muscheldiagramme von den Traktorherstellern in der Regel nicht veröffentlicht. Aus dem Muscheldiagramm ist klar ersichtlich, dass das Fahren bei gleicher Leistung mit niedriger Drehzahl Kraftstoff spart. Beispielsweise ergibt sich ein spezifischer Kraftstoffverbrauch von 260 g/kWh, wenn bei rund 92 % der Nenn Drehzahl eine Leistung von 60 % der Nennleistung abgenommen wird (roter Kreis). Schafft es der Fahrer durch entsprechende Gangwahl bei Schaltgetrieben oder das Motor-Getriebe-management bei stufenlosen Getrieben dem Motor die gleiche Leistung rund 64 % der Nenn Drehzahl abzunehmen, so sinkt der spezifische Kraftstoffverbrauch auf 230 g/kWh (grüner Kreis). Dadurch wird eine Kraftstoffeinsparung von 12 % erreicht. Die sinkende Drehzahl wird durch das steigende Drehmoment ausgeglichen.

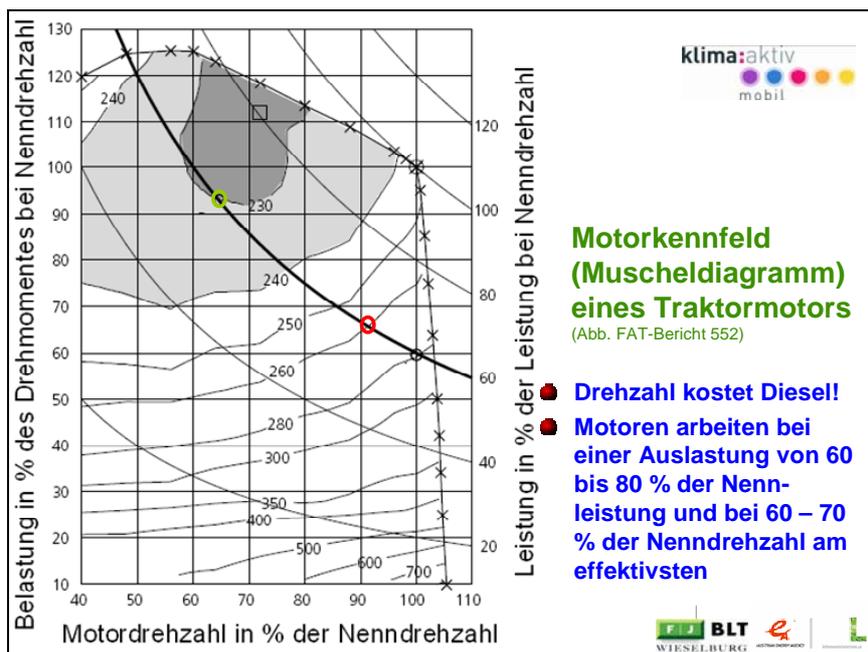


Abbildung 37: Muschediagramm aufgenommen am Motorprüfstand

Im Allgemeinen gilt, je höher die Drehzahl und je weniger Leistung man abrufen, desto höher ist der spezifische Verbrauch sowie dass die Motoren bei einer Auslastung von 60 bis 80 % der Nennleistung und bei 60 – 70 % der Nenn Drehzahl am effektivsten arbeiten.

Abbildung 38 zeigt am Beispiel eines 100-kW-Traktors, dass bei einer bestimmten Auslastung der Kraftstoffverbrauch im Bereich von 1300 bis 1700 U/min am geringsten ist. Ein guter Fahrer versucht immer den Traktor in diesem günstigsten Verbrauchsbereich zu fahren.

Kraftstoffverbrauch (l/h) eines 100 kW Traktors im Teillastbereich bei unterschiedlichen Drehzahlen im Vergleich zum Fahren mit Vollgas

[Uppenkamp 2006]

Abgeforderte Leistung (kW)	Drehzahl (U/min)						Vollgas
	1100	1300	1500	1700	1900	2100	
20	6,2	6,1	6,4	7,0	8,0	9,5	10,5
40	11,2	11,0	11,2	11,8	12,8	14,2	15,0
60	16,4	16,0	16,1	16,7	17,6	19,0	19,5
80		21,1	21,1	21,6	22,5	23,8	24,0
100				26,5	27,4	28,6	

- Im Bereich von 1300 bis 1700 U/min ist der Treibstoffverbrauch am geringsten
- Ein guter Fahrer versucht in diesem Bereich zu fahren

Folie 45

Sprintspar-Initiative

www.klimaaktiv.at

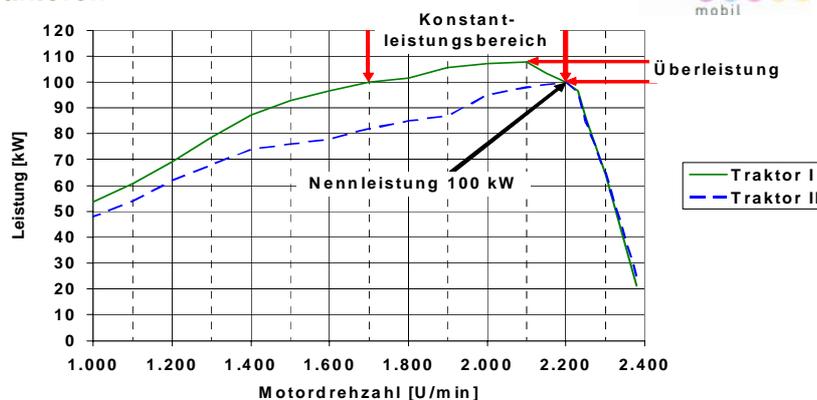


Abbildung 38: Kraftstoffverbrauch (l/h) eines 100 kW Traktors im Teillastbereich bei unterschiedlichen Drehzahlen im Vergleich zum Fahren mit Vollgas [UPPENKAMP 2006]

2.6.3.1 Motoren mit Überleistung und Konstantleistungsbereich

Durch den Einsatz von Turboladern und elektronisch gesteuerten Einspritzpumpen weisen moderne Motoren einen Konstantleistungsbereich von in der Regel über 20% auf. In diesem Drehzahlbereich steht die Nennleistung oder mehr (Überleistung) zur Verfügung (siehe Abbildung 39). Ein Traktor mit Überleistung erreicht auch mit niedrigen Motordrehzahlen die Nennleistung, dadurch kann häufiger in einem Bereich mit niedrigem Kraftstoffverbrauch gefahren werden. Dies gilt insbesondere für Transportarbeiten und für Zapfwellenarbeiten, wenn der Traktor mit entsprechenden stufenlosen Getrieben, Spargängen und Sparzapfwellen ausgerüstet ist (UPPENKAMP 2006).

Vergleich der Motorkennlinien von zwei Traktoren



- Moderne Traktoren mit Überleistung erreichen auch bei niedriger Motordrehzahl die Nennleistung → kraftstoffsparendes Fahren wird erleichtert
- Konstantleistungsbereich erleichtert kraftstoffsparendes Fahren

Folie 46

Sprintspar-Initiative

www.klimaaktiv.at



Abbildung 39: Volllastkurve eines Motors mit und ohne Konstantleistung bei gleicher Nennleistung

2.6.3.2 Vergleich von Traktoren unterschiedlicher Leistungsklassen

Im Rahmen eines Flottentests mit Pflanzenöltraktoren an der FJ-BLT-Wieselburg wurden bei 38 Traktoren (im Dieselbetrieb), die Zapfwellenleistung und der Verbrauch nach dem 8-Punkteprüfzyklus gemäß ISO 8178 gemessen. Bei diesem Test wird nicht nur bei Volllast, sondern auch im Teillastbereich gemessen. Um aus diesen Messdaten praxisrelevante Aussagen treffen zu können, wurden die Traktoren in Leistungsklassen (58-80 kW u. 120-140 kW) zusammengefasst und bei 10%, 50% und 75% Leistung bei Nenndrehzahl und bei 50% und 75% Leistung bei verminderter Drehzahl die Verbrauchswerte ausgewertet.

Wird bei einer Leistungsabgabe des Motors von 75%, die Drehzahl von der Nenndrehzahl (ca. 2300 U/min) auf eine reduzierte Drehzahl (ca. 1500 U/min) herabgesetzt, so verringert sich der spez. Kraftstoffverbrauch um durchschnittlich 15 - 19 %. Bei einer Leistungsabnahme von 50% verringert sich der spez. Kraftstoffverbrauch bei der Reduktion von Nenndrehzahl auf reduzierte Drehzahl (1400 - 1500 U/min) um durchschnittlich 20 - 25%.

Wird ein Traktor nur im Teillastbereich bei ca. 10% der Nennleistung betrieben (entspricht in der Praxis der Leerfahrt), so steigt der spezifische Kraftstoffverbrauch dramatisch an. Unnötige Leerfahrten im Teillastbereich sollten daher vermieden werden.

Benötigt ein kleiner Traktor für eine bestimmte Leistung mehr Kraftstoff als ein großer Traktor?

Die Abbildung 40 (nächste Seite) zeigt den spezifischen Kraftstoffverbrauch von Traktoren kleinerer Leistung (58 - 80 kW) im Vergleich zu Traktoren großer Leistung (120 - 140 kW), bei einer Leistungsabnahme von 40 - 60 kW an der Zapfwelle. Der spezifische Verbrauch war bei beiden Leistungsklassen mit reduzierter Motordrehzahl annähernd gleich. Bei Nenndrehzahl ist jedoch der Verbrauch bei den kleineren Traktoren höher. Werden die Traktoren mit nur 10% ihrer Leistung betrieben, sind die Verbrauchswerte beider Leistungsklassen nahezu identisch. Diese Messungen beziehen sich jedoch nur auf den Zapfwellenbetrieb. Der spezifische Verbrauch bei der Straßenfahrt wird mit den großen Traktoren, durch die höheren Eigengewichte und den größeren Reifen (höherer Rollwiderstand) höher sein, als mit den kleineren Traktoren.

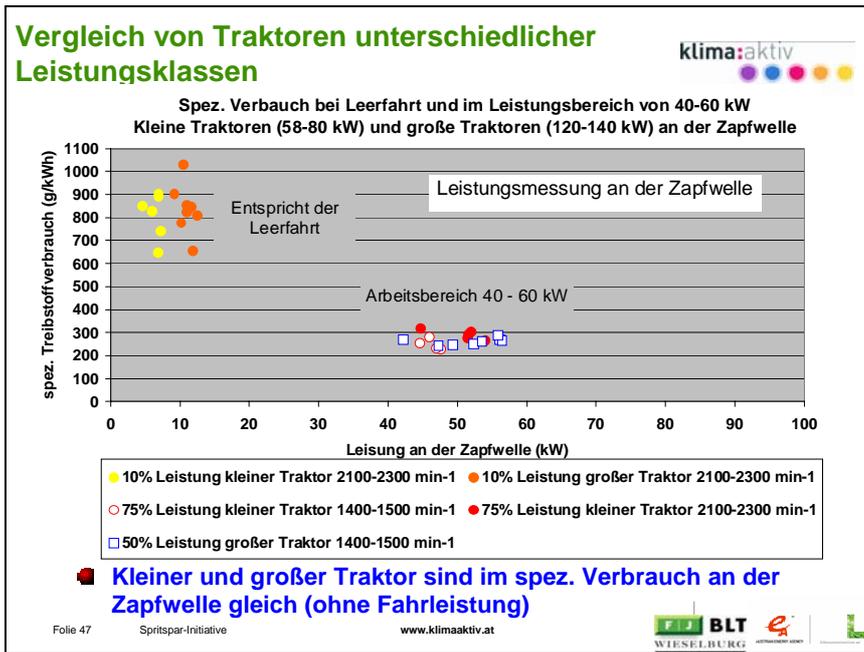


Abbildung 40: Verbrauchswerte kleiner Traktoren (58 – 80 kW) und großer Traktoren (120 – 140 kW) bei einer Leistungsabgabe an der Zapfwelle von 40 bis 60 kW

Unnötige Leerfahrten im Teillastbereich sollten vermieden werden.

2.6.3.3 Handgas benutzen

Bei langen Fahrten über das Feld, wo Drehzahl oder und Geschwindigkeit konstant zu halten sind, ist das Fahren mit Handgas von Vorteil. Damit werden Drehzahlschwankungen vermieden, die unnötig Kraftstoff kosten. Bei modernen Traktoren mit „elektronischem Handgas“ können mehrere Drehzahlen eingestellt und per Knopfdruck abgerufen werden [UPPENKAMP 2006].

Handgas hilft Kraftstoffsparen

2.6.3.4 Getriebe

Um den Motor im verbrauchsoptimalen Bereich betreiben zu können, muss das Getriebe eine entsprechende Abstimmung zwischen Motorleistung, Motordrehzahl und Fahrgeschwindigkeit ermöglichen. Voraussetzung dafür ist eine feine Getriebeabstufung.

Lastschaltgetriebe und Stufenlosgetriebe ermöglichen Geschwindigkeitsänderungen ohne Unterbrechung des Kraftflusses und ohne anzuhalten. Sie bieten beispielsweise auf Schlägen mit sehr uneinheitliche Böden oder Steigungen die Möglichkeit, bei der Bodenbearbeitung die Geschwindigkeit des Traktors (Leistung des Motors) während der Fahrt den gegebenen Verhältnisse anzupassen. Zeit und Kraftstoff werden gespart. Die Geschwindigkeitsänderung durch Gangwechsel bei Schaltgetrieben erfordert ein Anhalten des Traktors. Um dies zu vermeiden wird in der Praxis oftmals der niedrigere Gang eingelegt, der ein Durchfahren ohne Schalten erlaubt. Dabei wird der Traktor auf Abschnitten mit leichtem Boden oder ohne Steigung nicht voll ausgelastet bzw. mit zu hoher Drehzahl betrieben. Lastschaltgetriebe haben einen großen Vorteil gegenüber den Schaltgetrieben, dass jeder Gang bis zu drei oder viermal gesplittet (unterteilt) und unter Last hinauf oder herunter geschaltet werden kann.

Traktor – Getriebe I



- Abstimmung von Motorleistung, Motordrehzahl und Fahrgeschwindigkeit → **optimaler Betriebspunkt des Motors**
- **Schaltgetriebe**
 - Optimale Abstufung erforderlich
 - Lastschaltgetriebe ermöglichen Abstimmung von Motorleistung, Motordrehzahl und Fahrgeschwindigkeit auch unter Last (z. B. Bodenbearbeitung, Transport)
- **Stufenlose Getriebe**
 - Integriertes Motor-Getriebe-Management
 - Sprintsparmodus

Folie 48 Sprintspar-Initiative www.klimaaktiv.at



Abbildung 41: Traktor - Getriebe

Die beste Anpassung an wechselnde Lastverhältnisse wird mit stufenlosen Getrieben erreicht. Die stufenlose Einstellung der Fahrgeschwindigkeit mit dem Fahrhebel ermöglicht eine gute Anpassung der Fahrgeschwindigkeit an die Erfordernisse der Arbeit. Somit kann der Motor immer im verbrauchsoptimalen Lastbereich betrieben werden. Manche Stufenlosgetriebe haben die Möglichkeit bei der Straßenfahrt, bei maximaler Fahrgeschwindigkeit die Motordrehzahl zu reduzieren und damit den Kraftstoffverbrauch deutlich zu senken. Durch ein integriertes Motor- und Getriebemanagement ist es möglich den Motor bei jeder Arbeit immer im Konstantleistungsbereich zu halten und damit Sprit zu sparen und den Fahrer zu entlasten. Lastschaltgetriebe oder Stufenlosgetriebe gehören heute bei leistungsstarken Traktoren bereits zur Standardausstattung.

Abbildung 42 zeigt das Kraftstoffeinsparungspotential beim Fahren mit verringerter Motordrehzahl (80 % der Nenndrehzahl) und durch eine Motor-Getriebesteuerung mit automatischer Drehzahlanpassung in Relation zum Fahren mit Vollgas [UPPENKAMP 2006]. Es zeigt sich, dass bei geringer Auslastung das höchste Einsparungspotential besteht und die Unterschiede zwischen Fahren mit 80 % der Nenndrehzahl und Fahren mit Motor-Getriebemanagement mit steigender Auslastung abnehmen.

Traktor – Getriebe II

- Optimal sind Getriebe mit verschiedenen Schaltstrategien, die den Motor immer im Konstantleistungsbereich halten.
- Grundsätzlich gilt, dass die Einspareffekte umso größer sind, je höher der Anteil des Teillastbetriebes ist.

Dieseleinsparungspotential beim Fahren mit verringerter Motordrehzahl und durch eine Motor-Getriebesteuerung mit automatischer Drehzahlanpassung im Vergleich zum Fahren mit Vollgas [Uppenkamp 2006]

	Motorauslastung			
	20 %	40 %	60 %	80 %
80 % der Nenndrehzahl	31,4 %	15,7 %	11,2 %	7,7 %
Motor-Getriebe-Steuerung	45,5 %	24,3 %	14,5 %	8,1 %

- 🔴 **Feine Getriebeabstufung hilft Treibstoff sparen**
- 🔴 **Mit Lastschaltgetriebe oder Stufenlosgetriebe kann der Motor immer im optimalen Betriebspunkt gefahren werden (optimal Teillastbereich)**
- 🔴 **Stufenlosgetriebe mit verminderter Motordrehzahl und max. Fahrgeschwindigkeit bei Straßenfahrt spart Treibstoff**



Folie 49 Sprintspar-Initiative
www.klimaaktiv.at





Abbildung 42: Traktor - Getriebe

2.6.3.5 Zapfwelle

Zapfwellengetriebene Geräte werden nicht selten nur im Teillastbereich des Traktors eingesetzt. Moderne Traktoren verfügen bereits über Sparzapfwellen, die bei einer Motordrehzahl von 1.500 bis 1.600 U/min, die Normdrehzahl (540 oder 1000 U/min) an der Zapfwelle bereitstellen. Dadurch wird der Traktor bei Teillast im Bereich des minimalen spezifischen Kraftstoffverbrauchs betrieben. Auch ohne Sparzapfwelle können Geräten mit einer Normdrehzahl von 540 U/min im Teillastbereich unter Umständen mit der 1.000er-Zapfwelle im verbrauchsoptimalen Bereich gefahren werden.

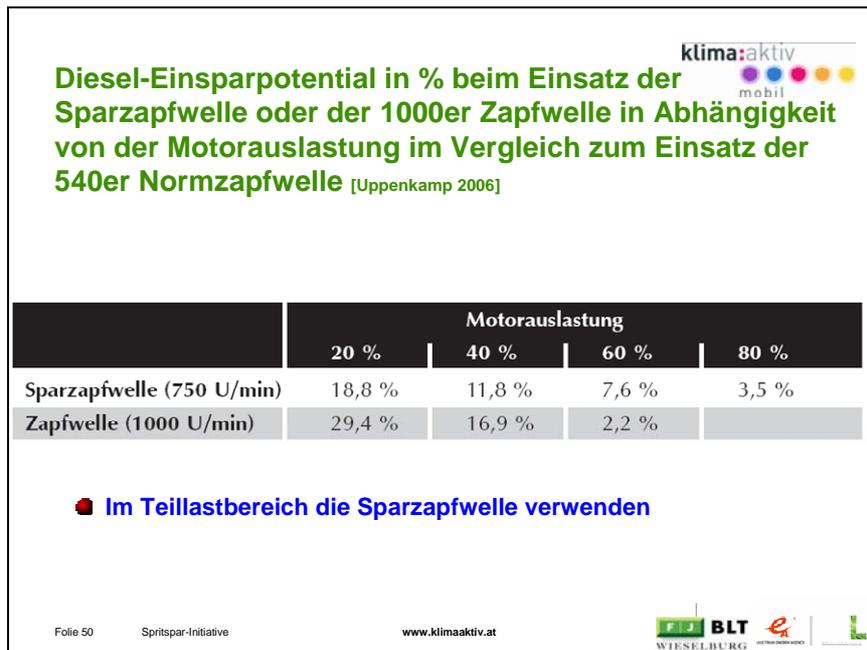


Abbildung 43: Kraftstoff-Einsparpotential in % beim Einsatz der Sparzapfwelle oder der 1000er Zapfwelle in Abhängigkeit von der Motorauslastung im Vergleich zum Einsatz der 540er Normzapfwelle [UPPENKAMP 2006]

2.6.3.6 Hydraulik

Immer größer werdende Anbaugeräte erfordern zunehmend auch eine höhere Traktorleistung und damit steigt auch die verfügbare hydraulische Leistung. Die höhere hydraulische Leistung wird durch einen größeren Volumenstrom erreicht. Bei den bisher üblichen Konstantstrom-Hydrauliksystemen strömt auch im Leerlauf des Hydrauliksystems der volle Volumenstrom der Pumpe durch die Leitungen. Der damit verbundene Leistungsverlust im Hydrauliksystem steigt bei Volumenströmen von mehr als 100 l/min deutlich an. Deshalb werden in Traktoren der mittleren und hohen Leistungsklasse Load-Sensing-Hydrauliksysteme eingesetzt. Sie verfügen über eine Verstellpumpe, die in Abhängigkeit von der erforderlichen Hydraulikleistung ihren Volumenstrom variiert. Dadurch kann der Leistungsverlust um 3 bis 4 kW reduziert werden.

Traktor - Hydraulik



- Load-Sensing-Hydrauliksysteme passen Volumenstrom dem Bedarf an
- Leistungsbedarf im Vergleich zu Konstantstrom-Hydrauliksystemen um 3 bis 4 kW kleiner

 **Load-Sensing-Systeme verringern den Verbrauch**

Folie 51 Sprintspar-Initiative www.klimaaktiv.at



Abbildung 44: Hydrauliksystem und Kraftstoff sparen

2.6.3.7 Fahrwerk, Reifendruck

Das Fahrwerk stellt die Verbindung zwischen Traktor und Boden her. Für die Wirtschaftlichkeit bei der Arbeit ist es von entscheidender Bedeutung. Gefordert wird ein hoher Wirkungsgrad über hohe Belastungs- und Geschwindigkeitsbereiche bei gleichzeitig hohem Fahrkomfort. Der Zugwirkungsgrad bzw. Rollwiderstand wird in entscheidendem Maße vom Reifendruck beeinflusst.

Der **Rollwiderstand** entsteht durch die Rollbewegung eines Fahrzeugs. Er wirkt der Antriebskraft entgegen und setzt sich zusammen aus:

- Rollreibung zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche
- Verformung des Reifens (walken)
- Reibung im Radlager

Der Rollwiderstand hängt ab von:

- Geschwindigkeit
- Fahrzeuggewicht
- Reifenbauart
- Reifenprofil
- Reifendruck
- Spureinstellung
- Zustand des Bodens bzw. Straßenoberfläche

Radialreifen für Traktoren verfügen im Vergleich zu Diagonalreifen über weichere Flanken. Dadurch ist die Aufstandsfläche der Reifen länger, wodurch der Bodendruck und der Schlupf vermindert werden. Letzteres hilft Kraftstoff sparen. Aus den selben Gründen sollten die verwendeten Reifen möglichst groß und breit sein.

Bei Straßenfahrten soll der Reifendruck hoch sein, um den Rollwiderstand zu minimieren. Im Gegensatz dazu soll der Reifendruck bei Arbeiten am Feld möglichst gering sein. Dadurch wird durch die Vergrößerung der Aufstandsfläche der Bodendruck und der Schlupf vermindert. Welcher Reifendruck bei einer bestimmten Radlast (Reifentragfähigkeit) erforderlich ist, hängt von der Fahrgeschwindigkeit ab und ist entsprechenden Diagrammen bzw. Tabellen in den Reifenkatalogen zu entnehmen. Abbildung 45 zeigt, dass bei einer erforderlichen Tragfähigkeit von 3.600 kg (Radlast) bei einer Fahrgeschwindigkeit von maximal 10 km/h und einer Arbeit ohne großen Zugkraftbedarf (z. B. Arbeit mit Kreiselegge) ein Reifendruck von rund 0,63 bar erforderlich ist. Bei schwerer Zugarbeit, wie beispielsweise beim Pflügen, muss der Reifendruck auch bei einer maximalen Fahrgeschwindigkeit von 10 km/h auf 1,05 bar erhöht werden, da ansonsten die Gefahr besteht, dass der Reifen auf der Felge zu wandern beginnt. Für Straßenfahrten mit maximal 40 km/h muss der Reifendruck auf mindestens 1,65 bar erhöht werden.

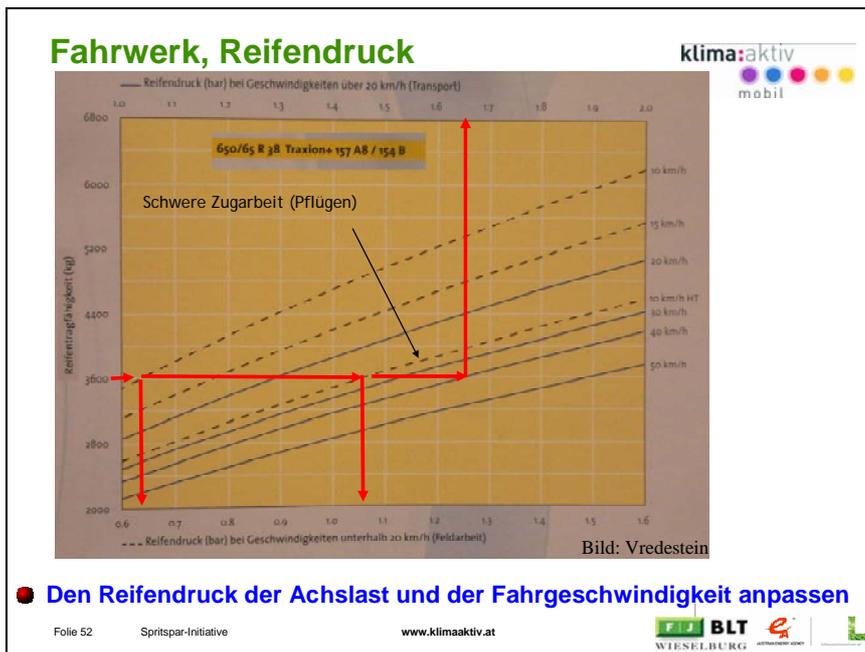


Abbildung 45: Reifendruckdiagramm [FA. VREDESTEIN]

Traktoren sollten mit den größtmöglichen Radialreifen ausgestattet werden.

Welche Auswirkungen eine Verringerung des Reifendruckes auf den Kraftstoffverbrauch bzw. Zugkraftbedarf hat, zeigen beispielsweise Messungen an der Fachhochschule Südwestfalen in Soest [Volk 2006]. Durch eine Verringerung des Reifendruckes von 1,6 bar auf 1,0 bar sank der Schlupf beim Grubbern von 18 % auf 10 % und beim Pflügen von 25 % auf 15 %. Dadurch können etwa 9 % Kraftstoff beim Grubbern und 12 % beim Pflügen eingespart werden (siehe Abbildung 46). Geringere Reifendrücke bewirken auch eine geringere Spurtiefe des Traktors am Acker, dadurch kann bei nachfolgenden Bodenbearbeitungsgeräten, wie beispielsweise Saatbettkombinationen oder Kreiseleggen, die Arbeitstiefe und damit der Kraftstoffverbrauch vermindert werden.



Abbildung 46: Kraftstoffeinsparung mit geändertem Reifendruck

Abbildung 47 zeigt die Auswirkung des Reifendruckes eines Güllefasses auf den Zugkraftbedarf und die Spurtiefe. Eine Absenkung des Reifendruckes von 4 bar, wie er für die Straßenfahrt erforderlich ist, auf 1 bar, wie er bei der Fahrt auf dem Acker auf Grund der geringen Geschwindigkeit möglich ist, bewirkt eine Verringerung der Spurtiefe um 47 %. Dies verringert den Zugkraftbedarf um 19 %. Neben der Senkung des Zugkraftbedarfes und damit des Kraftstoffverbrauches bewirkt die geringere Spurtiefe auch bei einer eventuell nachfolgenden Sekundärbodenbearbeitung die erforderliche Arbeitstiefe. Dadurch kann zusätzlich Kraftstoff eingespart werden.

Eine geringere Spurtiefe verringert auch Bodenverdichtungen. Dadurch ergeben sich vor allem Kraftstoffeinsparungen bei der Primärbodenbearbeitung.

Bandlaufwerke können bei trockenen Bodenverhältnissen große Zugkräfte Kraftstoff sparend mit geringem Schlupf übertragen. Die große Auflagefläche verringert die Spurtiefe und damit den Aufwand für die nachfolgende Bodenbearbeitung.

Reifendruck – Anhänger

Möglichst geringer Reifendruck am Acker →

- Geringerer Bodendruck
- Zugkraftbedarf sinkt

Reifendruck	Zugleistung
4,0 bar	→ 135 kW
1,0 bar	→ 110 kW
	→ - 19 %

Quelle: Volk 2004

- 47 %

8 cm, 110 kW

15 cm, 135 kW

Spurtiefe bei 1 bar: 8 cm Spurtiefe bei 4 bar: 15 cm

Die Senkung des Reifendruckes am Acker vermindert die Zugkraft und senkt die Spurtiefe

Folie 54 Sprintspar-Initiative
www.klimaaktiv.at

Abbildung 47: Auswirkung des Reifendruckes auf die Bodenverdichtung und den Zugkraftbedarf eines Güllefasses [VOLK 2004]

Beim Fahren auf der Straße sollte der Reifendruck möglichst hoch sein, um den Rollwiderstand zu minimieren. Dies gilt sowohl für den Traktor als auch für schwere Transportfahrzeuge. Wenn der Reifendruck für die Straßenfahrt vom minimal erforderlichen auf den laut Reifentabelle maximal zulässigen Wert erhöht wird, kann mit einer Kraftstoffeinsparung von etwa 15 % gerechnet werden [UPPENKAMP 2006] (siehe Abbildung 48).

Reifendruck - Straßenfahrt

Möglichst hoher Reifendruck auf der Straße →

- Höhere Tragkraft der Reifen
- Geringerer Rollwiderstand
- Geringerer Dieserverbrauch

Beispiel:
Reifendruck auf maximal zulässigen Wert erhöhen → Diesersparnis von 15% gegenüber minimalen erforderlichen Wert (lt. Reifentabelle) (Uppenkamp 2006)



Hoher Reifendruck auf der Straße → geringer Rollwiderstand und Treibstoffverbrauch

Folie 55 Sprintspar-Initiative www.klimaaktiv.at 

Abbildung 48: Kraftstoffersparnis von bis zu 15% beim richtigen Reifendruck auf der Straße

Um den Reifendruck bei der Arbeit am Feld bzw. bei der Fahrt auf der Straße anpassen zu können, werden Reifendruckregelanlagen eingesetzt. Den positiven Effekten, wie Bodenschonung und Kraftstoffersparnis stehen als Nachteile die Kosten und der Zeitbedarf für das Anpassen des Reifendruckes gegenüber.

Manuell betätigte Reifendruckregler sind ab rund 150 € erhältlich. Dabei werden Schnellkuppler anstelle der Ventileinsätze in die Ventile geschraubt und der Luftdruck im Reifen kann im Stand für Acker und Straße verändert werden (siehe Abbildung 49). Automatische Anlagen, die die Änderung des Reifendruckes während der Fahrt ermöglichen, verfügen über Luftleitungen über die Kotflügel, ein Bedienterminal mit Regelung in der Traktorkabine und einen zusätzlichen Kompressor. Die Kosten liegen für vier Räder bei 4.000 bis 6.000 € (exkl. MwSt.). Die zusätzlichen Kosten für eine Tandemachse liegen zwischen 1.100 und 1.700 € (exkl. MwSt.).

Reifendruck - Reifendruckregler



Ermöglicht die Anpassung des Reifendruckes

- Ausrüstung zur manuellen Anpassung des Reifendruckes




Quelle: Team Reifenregler, FH Südwestfalen

- Automatische Anlage zur Anpassung des Reifendruckes




■ Reifendruckregelanlagen ermöglichen die Anpassung des Reifendruckes von Traktor und Anhänger an die Gegebenheiten

Folie 56 Sprintspar-Initiative
www.klimaaktiv.at



Abbildung 49: Reifendruck-Regelanlagen

2.6.3.8 Steigungswiderstand

Der Steigungswiderstand entsteht beim Bergauffahren durch die Schwerkraft, die überwunden werden muss. Er hängt vom Grad der Steigung und dem Gesamtgewicht des Fahrzeugs ab.

Steigungswiderstand



Steigungswiderstand hängt ab:

- **Steigung**
- **Gesamtgewicht des Fahrzeuges**

Fahren bei Steigungen:

- **Rechtzeitig einen der Steigung angepassten Gang einlegen**
- **Den Motor lange ziehen lassen (ausnützen des Drehmomentbandes)**
- **Während der Steigung möglichst wenig schalten**
- **Unmittelbar nach der Steigung wieder hoch schalten**
- **Vor Erreichen einer Talsohle Gas geben**
- **Talschub ausnutzen bei darauffolgender Steigung**

 **Feinfühliges Fahren spart Treibstoff**

Folie 57 Sprintspar-Initiative www.klimaaktiv.at



Abbildung 50: Fahren bei Steigungen

2.6.3.9 Ballastierung

Der Traktor sollte so leicht wie möglich und so schwer wie nötig sein. Hohe Leergewichte haben den Nachteil, dass beispielsweise bei Zapfwellenarbeiten und leichten Zugarbeiten unnötig viel Masse bewegt werden muss. Bei leichten Traktoren kann die für Zugarbeiten erforderliche Radlast zur Minimierung des Schlupfes durch Zusatzgewichte an die tatsächlichen Erfordernisse angepasst werden. Wenn 1 t Ballast zuviel bewegt werden muss, erhöht sich der Kraftstoffverbrauch um etwa 1 l/h [UPPENKAMP 2006]. Schnell und bequem an- und abbaubare Zusatzgewichte sind fest angebauten Radgewichten und der Wasserfüllung der Reifen vorzuziehen. Auch aus Gründen der Bodenschonung sollte nur wenn notwendig mit Ballastierungsgewichten gefahren werden (siehe Abbildung 51).

Beispielsweise wird bei schweren Heckanbaugeräten für die Bodenbearbeitung der Frontballast nur auf der Straße und am Vorgewende benötigt. Frontpacker haben in diesem Zusammenhang den Vorteil, dass das Ballastgewicht während der Arbeit auf dem Feld sinnvoll zur Bodenbearbeitung genutzt werden kann. Dadurch wird „toter Ballast“ vermieden.

Ballastierung des Traktors



- Traktor soll so leicht wie möglich und so schwer wie nötig sein.
- Ballast bei schwerer Zugarbeit montieren, sonst erhöhter Schlupf.
- Ballast bei leichter Zugarbeit und Zapfwellenarbeit demontieren.
- 1 t Ballast erhöht Dieselverbrauch um 1 l/h (Uppenkamp 2006).
- Unnötiger Ballast → unnötige Bodenbelastung.
- Ballast muss rasch demontierbar sein!
- Toten Ballast vermeiden!
- Leerfahrt mit Ballast vermeiden!

- **Den Traktor nur auf das notwendige Gewicht ballastieren**
- **Leerfahrten mit Ballast und toten Ballast vermeiden**
- **Zusatzgewichte müssen sich schnell und bequem an- und abbauen lassen**



Abbildung 51: Ballastierung des Traktors

2.6.3.10 Wartung

Nur durch eine sorgfältige Wartung kann sicher gestellt werden, dass der Wirkungsgrad der Energieumsetzung aus dem Kraftstoff möglichst hoch ist. Die Wartungsfreundlichkeit eines Traktors sollte auch in die Kaufentscheidung mit einbezogen werden.

Wartungsmängel können sowohl zu einem zu geringen als auch zu einem zu hohen Luftanteil im Verbrennungsraum führen.

Die Auswirkungen verschiedener Wartungsmaßnahmen sind in Abbildung 52 zusammengefasst.

Eine optimale Schmierung des Motors und der Getriebe vermindert die Reibungsverluste. Öle müssen in regelmäßigen Abständen kontrolliert und gewechselt werden.

klima:aktiv
mobil 

Wartung des Traktors

Wartung ist Voraussetzung für optimale Umsetzung Energie im Treibstoff in Bewegungsenergie

Wartungsmängel → zu geringer Luftanteil im Gemisch → erkennbar durch Schwarzauchbildung und Leistungsverlust

Ursachen können sein:

- o Verschmutzter Luftfilter
- o Undichte Ladeluftleitungen
- o Zu hohe Einspritzmenge
- o Falsches Ventilspiel

Folie 59 Sprintspar-Initiative www.klimaaktiv.at



Abbildung 52: Wartungsmaßnahmen und deren Wirkung

Wartung des Traktors



Wartungsmängel → zu hoher Luftanteil im Gemisch → Verschlechterung des Wirkungsgrades

Ursachen können sein:

- o Verschmutzter Kraftstofffilter
- o Zu niedrige Einspritzmenge
- o Defekte Förderpumpe
- o Undichte Kraftstoffleitungen
- o Fehler in der Motorsteuerung

 **Durch eine sorgfältige Wartung bleibt die Motorleistung des Traktors erhalten**

 **Die Energie im Treibstoff wird effizient umgesetzt**

Folie 60 Sprintspar-Initiative
www.klimaaktiv.at



Abbildung 53: Wartungsmaßnahmen und deren Wirkung

Wartung des Traktors



- **Folgende Wartungsarbeiten müssen durchgeführt werden:**
 - o Luftfilter reinigen
 - o Verschmutzte Kraftstofffilter erneuern
 - o Undichte Kraftstoffleitungen reparieren
 - o Ventilspiel überprüfen
 - o Einspritzdüsen und Einspritzpumpe überprüfen
- **Optimale Schmierung des Motors und der Getriebe → Reibungsverluste sinken. Öle müssen in regelmäßigen Abständen kontrolliert und gewechselt werden!**

 **Einsparungseffekt durch Wartung 5 – 10 %**

Folie 61 Sprintspar-Initiative
www.klimaaktiv.at



Abbildung 54: Wartungsmaßnahmen und deren Wirkung

Selbstreinigende Systeme reduzieren den Wartungsaufwand erheblich. Dazu zählen Vorabscheider oder Kühlerventilatoren mit verstellbaren Flügeln (zur Strömungsumkehr), die zur Reinigung des Kühlers die Strömungsrichtung umkehren können. Axiallaufräder sind mit einem Wendemechanismus ausgestattet, der die Flügel entweder mechanisch über Knopfdruck automatisch (thermisch selbsttätig) wendet, damit den Luftstrom in die Gegenrichtung umlenkt und den Schmutz aus dem Kühler bläst.

Wartung des Traktors

klima:aktiv
mobil

- **Beim Kauf auf Wartungsfreundlichkeit achten!
(Zugänglichkeit der Kühler, Ventilator mit verstellbaren Flügeln – Umkehr der Lüftungsrichtung)**

Umschaltventilator zur Kühlerreinigung (Saugen - Umschalten - Blasen) [„Cleanfix“ Fa. Hägele GmbH]

- **Luftströmungsumkehr durch Schwenken der Flügel (Schmutz wird aus dem Kühler geblasen)**
- **Automatische Regelung der Leistungsaufnahme durch Verstellen der Flügel (in Abhängigkeit der Temperatur)**

Folie 62 Sprintspar-Initiative www.klimaaktiv.at

Abbildung 55: Wartungsmaßnahmen und deren Wirkung

2.7 Faktor Mensch

Es gibt eine Unzahl an Empfehlungen, Möglichkeiten und Tipps Kraftstoff bei der Traktorarbeit zu sparen. Das Ziel ist es den Maschinenhalter und Fahrer möglichst umfassend darüber zu informieren. Die Umsetzung dieser Möglichkeiten liegt jedoch alleine beim Fahrer. Sie sollten bei jeder Tätigkeit mit dem Traktor an die möglichen Kraftstoffsparmaßnahmen denken. Nur so kann in Summe über das ganze Jahr ein großer Einsparungseffekt erzielt werden.

Faktor Mensch

- **Fahrweise**
 - Vorausschauend fahren – „rollen lassen“
 - Unnötige Beschleunigungs- und Bremsvorgänge vermeiden

**Die Umsetzung dieser treibstoffsparenden Maßnahmen liegt
größtenteils im Geschick des Fahrers!**



Folie 64 Sprintspar-Initiative www.klimaaktiv.at F J BLT WIESELBURG e L

Abbildung 56: Die Umsetzung der Sparmaßnahmen liegt beim Fahrer

Die Höhe der Einsparung hängt letztendlich vom Maschinenhalter und vom Fahrer ab!

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der CO ₂ -Emissionen des Verkehrs in Österreich und Ausblick bis 2030.....	5
Abbildung 2: Einflussfaktoren auf den Kraftstoffverbrauch.....	6
Abbildung 3: Zusammensetzung des Energieverbrauches landwirtschaftlicher Kulturen.....	7
Abbildung 4: Installierte Traktorleistung und eingesetzte Arbeitskräfte.....	8
Abbildung 5: Jährlicher Kraftstoffverbrauch einzelner Kulturen.....	9
Abbildung 6: Jährlicher Dieserverbrauch einzelner Betriebe.....	10
Abbildung 7: Zusammensetzung der Kulturfäche in Österreich.....	11
Abbildung 8: Dieserverbrauch in der österreichischen Land- und Forstwirtschaft.....	12
Abbildung 9: Zusammensetzung der Kosten eines Allradtraktors.....	13
Abbildung 10: Energiefluss beim Traktor [KUTZBACH 1989].....	14
Abbildung 11: Kraftstoffverbrauch verschiedener landwirtschaftlicher Arbeiten [HOLZ 2006].....	16
Abbildung 12: Aufzeichnungsformular für die Praxis.....	18
Abbildung 13: Einfluss der Schlaggröße auf den Kraftstoffverbrauch [FRÖBA zitiert bei UPPENKAMP 2006].....	19
Abbildung 14: Einfluss der Schlagform auf den Kraftstoffverbrauch [BERNHARDT zitiert bei UPPENKAMP 2006].....	20
Abbildung 15: Dieserverbrauch beim Transport von Schüttgütern.....	21
Abbildung 16: Kraftstoffverbrauch bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung [BRUNOTTE und KORTE 2003].....	22
Abbildung 17: Kraftstoffersparnis durch Kombination von Arbeitsgängen [KTBL 2006, eigene Berechnungen].....	23
Abbildung 18: Auswirkungen von Bodenverdichtungen beim Pflügen [MOITZI 2006].....	24
Abbildung 19: Verbesserung der Bodenstruktur.....	25
Abbildung 20: Einfluss der Arbeitstiefe auf den Kraftstoffverbrauch [MUMME 2007, KALK und HÜLSBERGEN 1999].....	26
Abbildung 21: Leistungsbedarf von drei Kreiseleggen (3 m Arbeitsbreite, 7,5 km/h Arbeitsgeschwindigkeit) in Abhängigkeit von der Bearbeitungsintensität [DEMME ET. AL. 2004].....	27
Abbildung 22: Optimale Abstimmung von Arbeitsbreite, Fahrgeschwindigkeit und Motorleistung.....	28
Abbildung 23: Auswirkungen der falschen Pflugeinstellung auf den Dieserverbrauch [HÖNER 2004].....	29
Abbildung 24: Dieserverbrauch eines Vierscharpfluges bei ausgebesserten Verschleißteilen im Vergleich zu einem unveränderten Originalpflugkörper [WEIß 2003].....	30
Abbildung 25: Dieserverbrauch eines Vierscharpfluges bei ausgebesserten Verschleißteilen im Vergleich zu einem unveränderten Originalpflugkörper [WEIß 2003].....	31
Abbildung 26: Energiebedarf einer Rundballenpresse in Abhängigkeit von der Anzahl der eingesetzten Messer beim Pressen von Anwelksilage [HANDLER ET AL. 2008].....	33
Abbildung 27: Einfluss der Häcksellänge auf den Kraftstoffverbrauch bei der Silomaisernte [MÖLDER 2005].....	34

Abbildung 28: Leistungsbedarf des Trommelmäherwerks bei 3 m Arbeitsbreite in Abhängigkeit vom Massenstrom (Frischsubstanz) bei unterschiedlich scharfen Klingen, gemessen an der Traktorzapfwelle [SAUTER und DÜRR 2005]	35
Abbildung 29: Leistungsbedarf des Rotorschneidwerks einer Rundballenpresse mit verschieden scharfen Messern (Grassilage, TS-Gehalt 24 bis 30 %) [SAUTER und DÜRR 2005].....	35
Abbildung 30: Einfluss der Arbeitsbreite auf den Kraftstoffverbrauch beim Häckseln von Silomais (Häcksler 445 kW) [MÖLDER 2005]	36
Abbildung 31: Zugleistungsbedarf von Ladewagen in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit [SCHMIDLIN 2006]	37
Abbildung 32: Kraftstoffverbrauch für den Gülletransport bei mehrphasigen Systemen [KTBL 2006, eigene Berechnungen].....	38
Abbildung 33: Vergleich Kraftstoffverbrauch eines LKW mit jenem eines Traktors mit Anhänger ..	39
Abbildung 34: Transport und Kraftstoffverbrauch	40
Abbildung 35: Zusammenhänge von Drehmoment – Leistung – absoluter Verbrauch – spezifischer Verbrauch und Drehzahl	44
Abbildung 36: Vergleich der Motorkennlinien von zwei Traktoren mit gleicher Nennleistung	45
Abbildung 37: Muscheldiagramm aufgenommen am Motorprüfstand.....	46
Abbildung 38: Kraftstoffverbrauch (l/h) eines 100 kW Traktors im Teillastbereich bei unterschiedlichen Drehzahlen im Vergleich zum Fahren mit Vollgas [UPPENKAMP 2006].....	47
Abbildung 39: Volllastkurve eines Motors mit und ohne Konstantleistung bei gleicher Nennleistung	47
Abbildung 40: Verbrauchswerte kleiner Traktoren (58 – 80 kW) und großer Traktoren (120 – 140 kW) bei einer Leistungsabgabe an der Zapfwelle von 40 bis 60 kW	49
Abbildung 41: Traktor - Getriebe	50
Abbildung 42: Traktor - Getriebe	51
Abbildung 43: Kraftstoff-Einsparpotential in % beim Einsatz der Sparzapfwelle oder der 1000er Zapfwelle in Abhängigkeit von der Motorauslastung im Vergleich zum Einsatz der 540er Normzapfwelle [UPPENKAMP 2006]	52
Abbildung 44: Hydrauliksystem und Kraftstoff sparen	53
Abbildung 45: Reifendruckdiagramm [FA. VREDESTEIN]	55
Abbildung 46: Kraftstoffeinsparung mit geändertem Reifendruck	56
Abbildung 47: Auswirkung des Reifendruckes auf die Bodenverdichtung und den Zugkraftbedarf eines Güllefassens [VOLK 2004]	56
Abbildung 48: Kraftstoffersparnis von bis zu 15% beim richtigen Reifendruck auf der Straße.....	57
Abbildung 49: Reifendruck-Regelanlagen	58
Abbildung 50: Fahren bei Steigungen	59
Abbildung 51: Ballastierung des Traktors.....	60
Abbildung 52: Wartungsmaßnahmen und deren Wirkung	61
Abbildung 53: Wartungsmaßnahmen und deren Wirkung	62
Abbildung 54: Wartungsmaßnahmen und deren Wirkung	62
Abbildung 55: Wartungsmaßnahmen und deren Wirkung	63
Abbildung 56: Die Umsetzung der Sparmaßnahmen liegt beim Fahrer.....	64

Literaturverzeichnis

- BMLFUW (2000): Grüner Bericht 1999. 1010 Wien, 2000.
- BMLFUW (2008): Grüner Bericht 2008. 1010 Wien, 2008.
- BRUNOTTE, J. und KORTE K. (2003): Bewertung von Systemen der Bodenbearbeitung in Fruchtfolgen mit Körnererbsen und Körnerleguminosen. Jahresbericht der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) 2003, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, ISSN 0171-5801.
- DEMMELE, M., KIRCHMEIER, H. und GEISCHNER, R. (2004): Untersuchung des Leistungsbedarfes und der Zerkleinerungswirkung von Kreiseleggen mit unterschiedlichen Kreiseldurchmessern. Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik, Vöttinger Str. 36, 85354 Freising.
- HANDLER, F., NADLINGER, M., BLUMAUER, E., PAAR, J. und PÖLLINGER A. (2008): Rundballenpressen mit variabler Presskammer – Leistungsbedarf, Ballendichte und Bröckelverluste. Schriftenreihe der ART, Nr. 7, Landtechnik im Alpenraum, CH-8356 Tänikon, Mai 2008.
- HELLMAYR, M. (1997 – 2008): Buchführungsergebnisse 1996 – 2007. LBG Wirtschaftstreuhand, 1030 Wien, 1997 bis 2008.
- HOLZ, W. (2006): Möglichkeiten zur Kraftstoffeinsparung in der Landwirtschaft. Sonderdruck aus der Kartei für Rationalisierung 2.1.2.1, RKL, 24768 Rendsburg, Juli 2006.
- HÖNER, G. (2004): Besser Pflügen und 30 % Kraftstoff sparen. Top Agrar, Heft 10, 2004.
- KTBL (2006): Betriebsplanung Landwirtschaft 2006/07. KTBL, Bartningstr. 49, 64289 Darmstadt, ISBN-13: 978-3-939371-07-6.
- KALK, W.-D. und HÜLSBERGEN, K.-J. (1999): Dieselmotoreinsatz in der Pflanzenproduktion. Landtechnik 54(6), 332-333.
- KUTZBACH H-D. (1989): Lehrbuch Agrartechnik Band 1: Allgemeine Grundlagen – Ackerschlepper – Fördertechnik; Verlag Paul Parey 1989.
- LAMPEL, H. (2006): Was sagen die Leistungsdaten eines Traktormotors aus? Landwirtschaftliches Tagebuch 2007, Helgu Verlag, 2006.
- LANDIS, M. (2005): Leistungsangaben bei Traktoren. Referat bei der Firmentagung 2005, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, CH-8356 Ettenhausen.
- MACK, G. und KRÄNZLEIN T. (2006): Der Energieverbrauch der Schweizer Landwirtschaft im internationalen Vergleich. Vortragsunterlagen zur Informationstagung Agrarökonomie am 14. September 2006, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, CH-8356 Ettenhausen.
- MCLAUGHLIN, N.B., GREGORICH E.G., DWYER L.M. and Ma B.L. (2002): Effect of organic and inorganic soil nitrogen amendments on mouldboard plow draft. Soil & Tillage Research, Volume 64, Number 3, March 2002, pp. 211-219, zitiert bei Moitzi 2006.
- MOITZI, G. (2005): Kraftstoffeinsatz in der Pflanzenproduktion. Institut für Landtechnik Department für Nachhaltige Agrarsysteme Universität für Bodenkultur, Wien Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien.
- MOITZI, G. (2006): Möglichkeiten zur Kraftstoffeinsparung - Richtiger Einsatz von Maschinen und Geräten im Ackerbau. Ländlicher Raum - Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Jahrgang 2006.

- MÖLDER, R. (2005): Was bringen größere Häcksellängen beim Silieren von Mais? Profi, Heft 3/2005, Landwirtschaftsverlag GmbH, 48048 Münster.
- MUMME, M. (2007): Kraftstoffverbrauch und Schlagkraft bei verschiedenen Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren. DLG-Testzentrum Groß-Umstadt, Manuskript zum Vortrag, Strickhof Ackerbautag 15.08.2007.
- ÖKL (2008): ÖKL-Richtwerte für die Maschinenselbstkosten 2008. Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung, Gußhausstr. 6, 1040 Wien.
- ROSNER, J., ZWATZ, E. und KLICK, A. (2007): Aspekte der Minimalbodenbearbeitung. Tagungsband ALVA – Jahrestagung 2007, Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel- Veterinär- und Agrarwesen, ISSN 1606-612X.
- SAUTER, J. und DÜRR L. (2005): Einfluss der Messerschärfe auf den Leistungsbedarf von Mähwerken und Ballenpressen. FAT-Bericht 625, Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8356 Ettenhausen, 2005.
- SCHMIDLIN, S. (2006): Vier Ladewagen im Vergleich. Sonderdruck Landfreund, 12/2006.
- SOMMER, C. und VOßHENRICH, H.-H. (2004): Bodenbearbeitung und Bestellung. Kapitel 4.5 in Precision Agriculture – Ergebnisse des Verbundprojektes pre agro, KTBL, Bartningstr. 49, 64289 Darmstadt.
- STATISTIK AUSTRIA (2007): Gesamtenergiebilanz 1970 – 2006 – Bereich Diesel. Statistik Austria, 1110 Wien.
- UPPENKAMP, N. (2006): DLG-Merkblatt 339, Dieseleinsparung in der Landwirtschaft. Herausgegeben von der DLG e.V., Testzentrum Technik und Betriebsmittel, Ausschuss für Technik in der Pflanzlichen Produktion. DLG e.V. (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft), Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt am Main.
- WEIß, J. (2003): Zugkraftbedarf bei verschiedenen Pflugscharen und gängigen Abwandlungen an Verschleißteilen. RKL-Schrift, Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft, Am Kamp 13, 24768 Rendsburg, April 2003.
- VOLK, L. (2004): Bodenschonung mit Reifenregler - Technik und Wirtschaftlichkeit. Fachhochschule Südwestfalen, Agrarwirtschaft Soest, Vortrag bei der DLG Wintertagung 2004, Berlin, 14. 1. 2004.
- VOLK, L. (2006): FH Südwestfalen Soest, zitiert bei Uppenkamp (2006), Reifenwahl – was bringen neue Reifenkonzepte, Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe, Münster.