

## Kraftstoffeinsatz in der Pflanzenproduktion

Dr. Gerhard Moitzi  
Institut für Landtechnik  
Department für Nachhaltige Agrarsysteme  
Universität für Bodenkultur, Wien  
Peter-Jordan-Straße 82  
1190 Wien

e-mail: gerhard.moitzi@boku.ac.at

Mit der Motorisierung in der europäischen Landwirtschaft (im Zeitalter der Industriellen Revolution) wurde die menschliche und tierische Arbeitskraft zunehmend durch die „Traktorarbeit“ ersetzt. Der tägliche Energieumsatz (Kraftstoffverbrauch) konnte enorm gesteigert werden, woraus auch die hohen Flächenleistungen realisiert wurden. Jedoch verlangt ein motorischer Verbrennungsvorgang einen energiedichten Kraftstoff (Diesel), deren Energiekonzentration um das Zweifache höher ist als im Futter für Zugtiere (34 MJ/l Diesel vs. 17 MJ/l TM).



**Menschliche Arbeit**  
Umsatz von Nahrungsenergie  
10 – 15 MJ/Tag

### Energieträger

Nahrungsmittel



**Tierische Arbeit**  
Umsatz von Futterenergie  
160 MJ/Tag

Futtermittel



**„Traktorarbeit“**  
Umsatz von „Dieselenergie“  
(25 l/h \* 35,3 MJ/l \* 8 h = 7060 MJ/Tag)

„fossilierte“ Biomasse  
„aktuelle“ Biomasse

Abb.1: Energietransformationssysteme in der Landwirtschaft

### Kraftstoffverbrauch in Österreich

Der Dieselverbrauch in der österreichischen Land- und Forstwirtschaft beträgt ca. 450.000 t und entspricht 8 % des Gesamtdieselverbrauchs. Im Sektor Landwirtschaft ist der Verbrauch in den letzten 10 Jahren von ca. 248.732 t ziemlich konstant geblieben (Umweltbundesamt, Wien). Bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche betrug der mittlere Dieselverbrauch im Jahr 2003 91 l/ha.

## Mobilisierung von verfahrenstechnischen Reserven

Aufgrund der hohen Kraftstoffpreise kommt dem effizienten Energieeinsatz in der Landwirtschaft eine zunehmende Bedeutung zu. Mehr als 1/3 der Gesamtkosten einer Traktorstunde sind auf die variablen Kraftstoffkosten zurückzuführen. Kostenführerschaft in der Pflanzenproduktion kann durch weitere Reduktion von Arbeits- und Maschinenkosten erreicht werden. Als Mobilisierungsreserven können z. B. genannt werden:

- ⇒ Kraftstoffsparender Fahrstil
- ⇒ Angepasste Mechanisierung (leistungsbedarfgerechter Maschineneinsatz)
- ⇒ Verringerung von Bodenbewegungen: Verzicht auf Arbeitsgänge bzw. der Bodenbearbeitungsintensität; Verringerung der Arbeitstiefe
- ⇒ Verbesserung der Traktion (Schlupfminimierung)

## Faktoren des Kraftstoffverbrauchs im Pflanzenbau

Je nach Arbeitserledigung werden vom Traktor Zugleistung, Drehleistung (Zapfwelle) und hydraulische Leistung bereitgestellt, die unterschiedliche Wirkungsgrade aufweisen. Bei der Zugleistungsübertragung können bei schlechten Traktionsverhältnissen enorme Laufwerkverluste über den Schlupf und Rollwiderstand verloren gehen. So kann z. B. beim Pflügen bei einem Dieselverbrauch von 25 Liter/ha nur ca. 5 Liter/ha in effektive Zugleistung umgesetzt werden (Gesamtwirkungsgrad: 20 %). Laufwerkverluste können zum überwiegenden Teil bei der Nutzung der Zapfwellenleistung ausgeschaltet. Durchschnittlich können 91 % der Motorleistung als Zapfwellenleistung genutzt werden.

In der Abb. 2 sind die Faktoren des Kraftstoffverbrauchs im Pflanzenbau dargestellt, wobei die verfahrensimmanenten Faktoren hohe Minderungspotenziale darstellen.

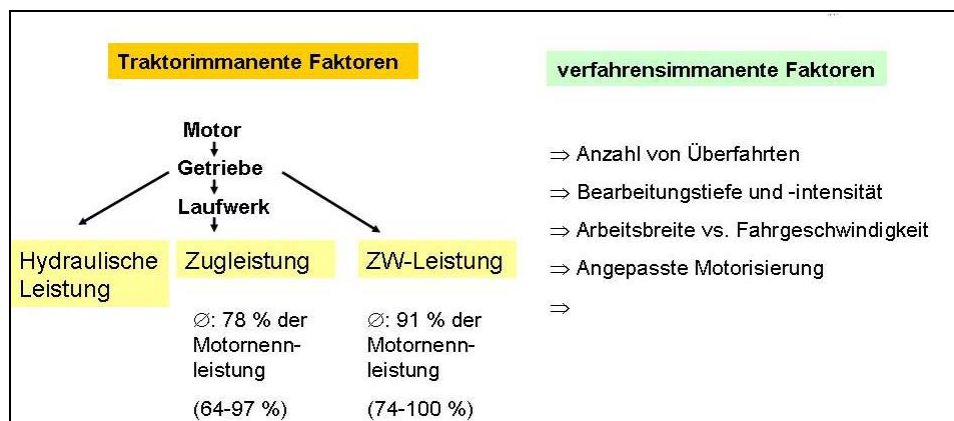


Abb. 2: Faktoren des Kraftstoffverbrauchs im Pflanzenbau.

## Mittlerer Kraftstoffverbrauch – angepasste Motorisierung

Der mittlere Kraftstoffverbrauch [l/ha] ist das Produkt aus dem mittleren stündlichen Kraftstoffverbrauch [l/h] und dem Arbeitszeitaufwand [h/ha] für einen Feldarbeitsgang. Während der mittlere stündliche Kraftstoffverbrauch durch die Fahrstrategie (Wahl des Motorbetriebspunktes) minimiert wird, bestimmen die Arbeitsbreite, Fahrgeschwindigkeit und der Nutzungskoeffizient den Arbeitszeitaufwand (reziproke Wert der Flächenleistung). Dabei zeigen

Untersuchungen, dass bei Konstanthaltung der Flächenleistung eine Erhöhung der Arbeitsbreite kraftstoffsparender ist, als die Steigerung der Fahrgeschwindigkeit.

In einer angepassten Motorisierung, bei der der Motor für eine bestimmte Tätigkeit möglichst lange im optimalen Bereich von ca. 70 % der Drehzahl und Leistung arbeiten soll, liegen hohe Einsparungspotenziale. Wird für einen bestimmten Arbeitsgang ein zu großer Traktor gewählt, arbeitet der Motor in einem ungünstigen Betriebspunkt, was hohen Verbrauch mit sich bringt.

### **Kraftstoffverbrauch im Weinbau, Grünland und Ackerbau**

Im **Weinbau** und in der **Grünlandbewirtschaftung** bestimmen hauptsächlich die Anzahl der Arbeitsgänge den gesamten Kraftstoffverbrauch pro Hektar. Kalkulationen zeigen, dass im konventionellen Weinbau bei 25 Einzelfahrten über 250 l/ha verbraucht werden. Die zahlreichen Arbeitsgänge (bis 15) von zahlreichen Pflanzenschutzmaßnahmen sind dafür der Grund. In der Grünlandbewirtschaftung wird durch das Konservierungsverfahren bzw. durch die Nutzungsfrequenz der Verbrauch bestimmt. So sind bei der intensiven Grünlandnutzung (5 Schnitte) für die Silagebereitung bis zu 26 Arbeitsgänge notwendig, die zu einem Gesamtverbrauch von 160 Liter/ha führen können. Einsparungsmöglichkeiten liegen im Weinbau und im Grünland vorwiegend in der Wahl des optimalen Motorbetriebspunktes durch eine angepasste Zapfwellendrehzahl.

Die determinierenden Faktoren im **Ackerbau** sind einerseits die Anzahl der Arbeitsgänge und andererseits die Bearbeitungstiefe bzw. -intensität des Bodens. Im vergangenen Jahrzehnt lag der Schwerpunkt im Verzicht von Arbeitsgängen und in der Minderung der Bearbeitungsintensität (Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung). Heute wird im Durchschnitt deutlich weniger Bodenvolumen bewegt als in den 70er Jahren. Mit der Bearbeitungstiefe hat der Landwirt eine wirksame Variable, die er für das Kraftstoffsparen nützen kann. Pro 1 cm Arbeitstiefe müssen ca. 100 m<sup>3</sup> /ha bzw. 150 t/ha Boden bewegt werden. Je nach Bodenart nimmt beim Pflügen der Kraftstoffverbrauch zwischen 0,5 und 1,5 l/ha zu. Die singuläre Betrachtung des Kraftstoffverbrauchs in der Bodenbearbeitung darf jedoch die Arbeitsqualität nicht vernachlässigen.



**Universität für Bodenkultur Wien**  
Department für Nachhaltige  
Agrarsysteme

# „Kraftstoffeinsatz in der Pflanzenproduktion“

Vortrag im Rahmen des ÖKL - Kolloquiums 2005

24. November 2005

Moitzi Gerhard

# Inhaltsübersicht



Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Nachhaltige  
Agrarsysteme

- **Historik - Energieeinsatz**
- **Kraftstoffverbrauch in der österreichischen Landwirtschaft**
- **Energieflussbild - Traktor**
- **Faktoren des Kraftstoffverbrauchs in der Außenwirtschaft**
- **Kraftstoffverbrauch:**
  - Weinbau
  - Grünland
  - Ackerkulturen
- **Alternative Grundbodenbearbeitung**
- **Schlussfolgerungen und Ausblick**

# Landwirtschaft – ein System der Energietransformation



## Menschliche Arbeit

Umsatz von Nahrungsenergie

10 – 15 MJ/Tag

## Energieträger

Nahrungsmittel



## Tierische Arbeit

Umsatz von Futterenergie

160 MJ/Tag

Futtermittel



## „Traktorarbeit“

Umsatz von „Dieselenergie“

(25 l/h \* 35,3 MJ/l \* 8 h = 7060 MJ/Tag)

„fossilierte“ Biomasse

„aktuelle“ Biomasse

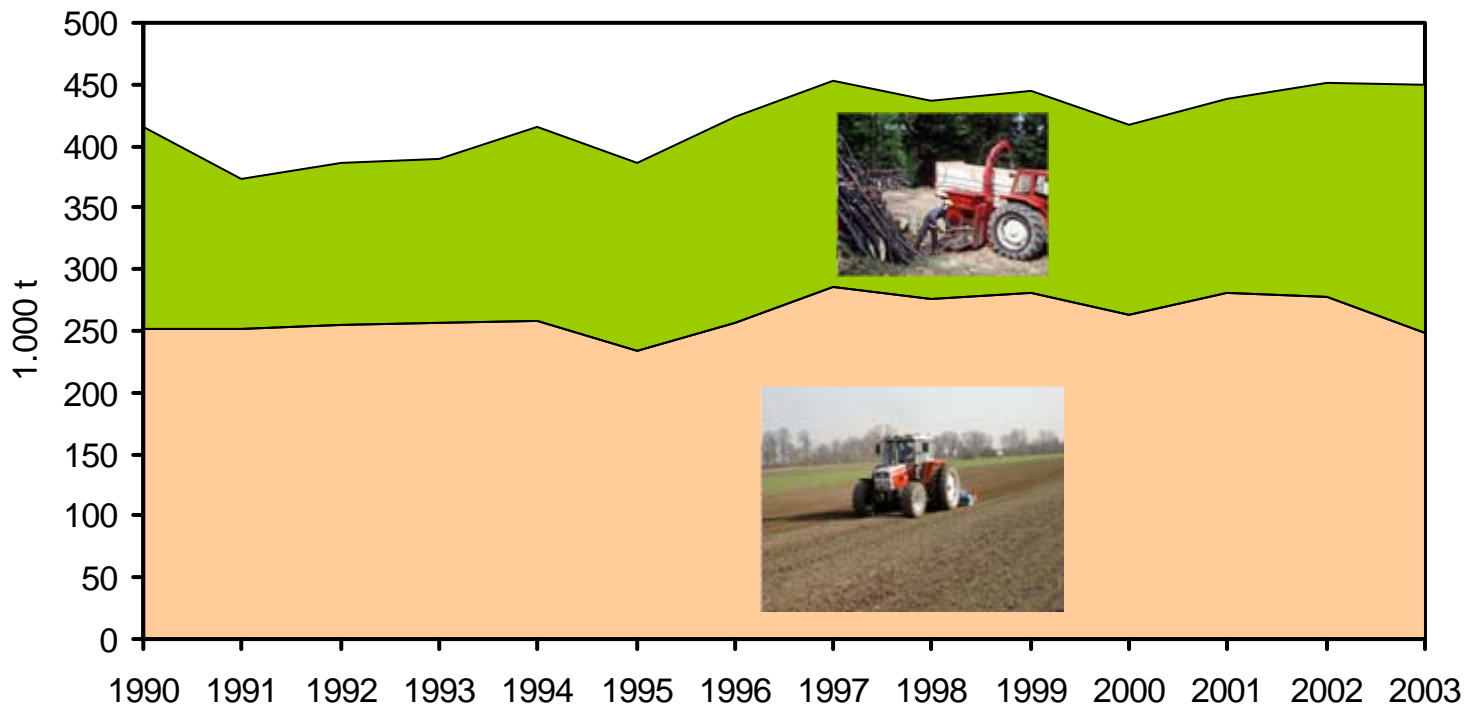
# Dieserverbrauch in der österreichischen Land- und Forstwirtschaft



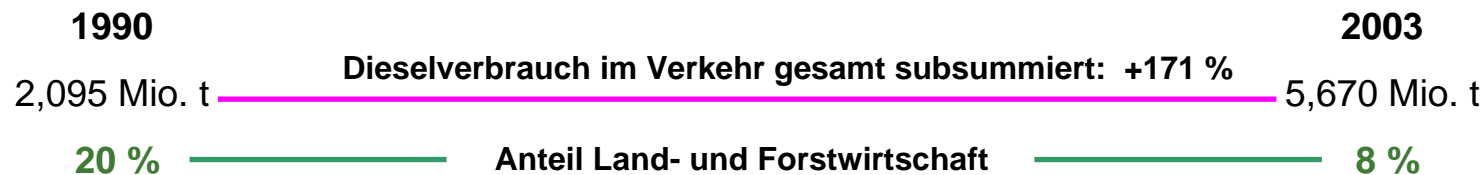
Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Nachhaltige  
Agrarsysteme

Datenquelle: Datenbank zur Österreichischen Luftschadstoffinventur  
2004, Umweltbundesamt Wien

- Forstwirtschaft
- Landwirtschaft



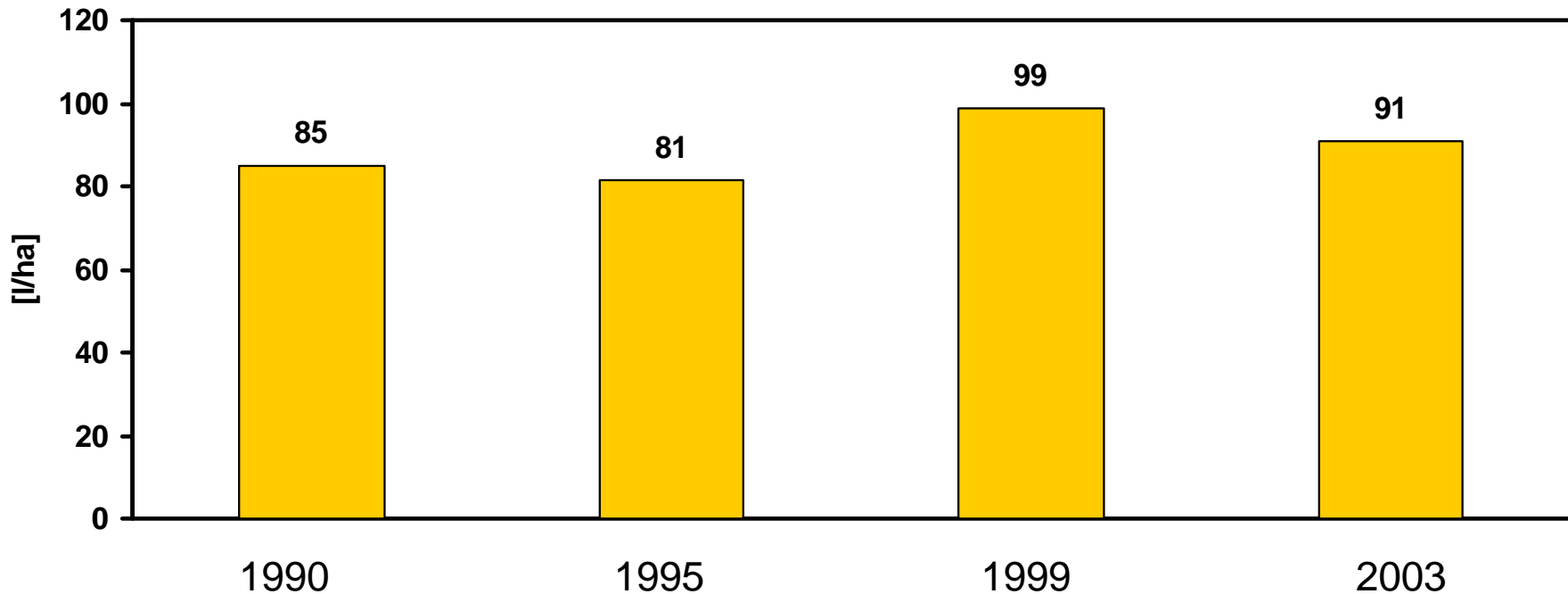
|     | Veränderung<br>1990 - 2003 |
|-----|----------------------------|
| PKW | + 304 %                    |
| LNF | + 86 %                     |
| SNF | + 310 %                    |
| FW  | + 22 %                     |
| LW  | - 1 %                      |



# Mittlerer Dieserverbrauch pro ha LN



Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Nachhaltige  
Agrarsysteme



Datenquelle: Grüner Bericht 2005 (BMLFUW), Datenbank zur österreichischen Luftschadstoffinventur 2004 (UBA)



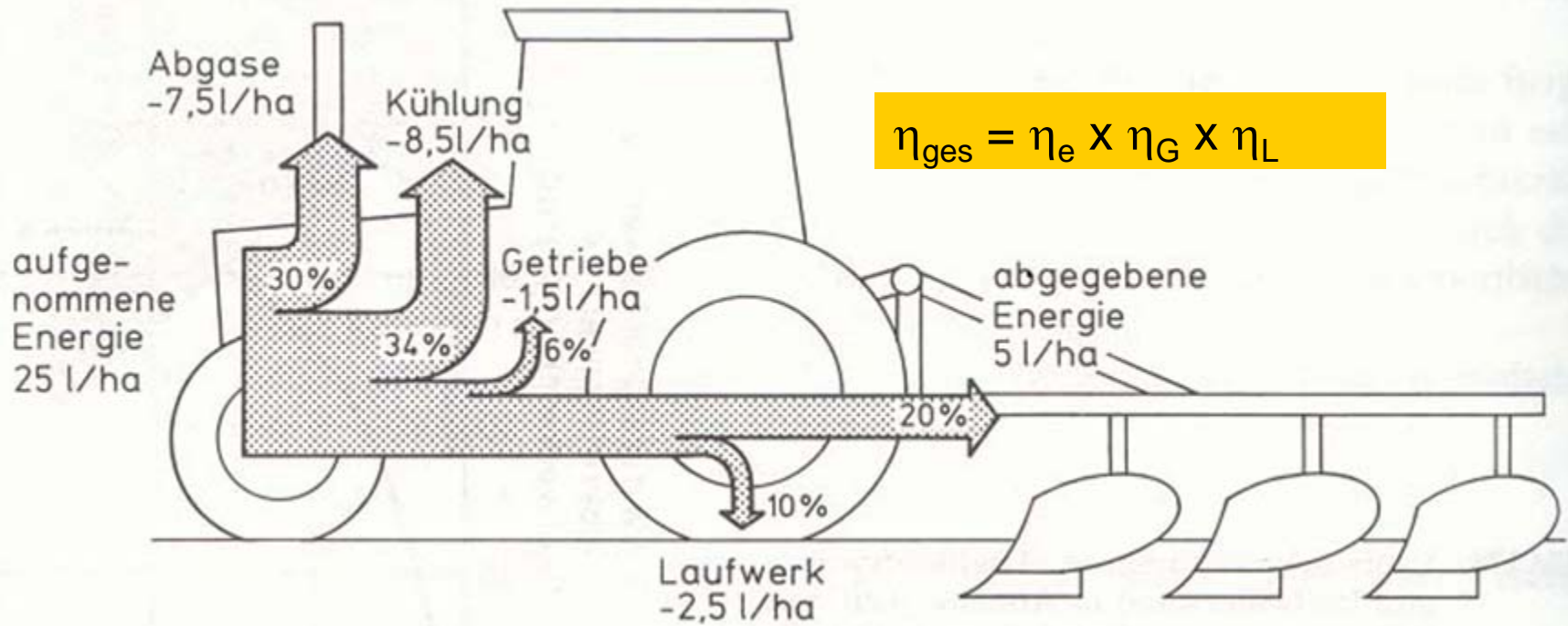
# Kraftstoffverbrauch

## - eine nutzbare Kostenvariable



- Kraftstoffkosten betragen mehr als **1/3 der Traktorkosten**
- Kostenführerschaft durch **Reduktion der Arbeits- und Maschinenkosten**
- **Mobilisierung von verfahrenstechnischen Reserven:**
  - ⇒ Kraftstoffsparender Fahrstil
  - ⇒ Angepasste Mechanisierung (leistungsbedarfgerechter Maschineneinsatz)
  - ⇒ Verringerung von Bodenbewegungen: Verzicht auf Arbeitsgänge bzw. der Bodenbearbeitungsintensität; Verringerung der Arbeitstiefe
  - ⇒ Verbesserung der Traktion

# Energieflussbild beim Traktor



$\eta_e$ : Motorwirkungsgrad (0,2 – 0,3)

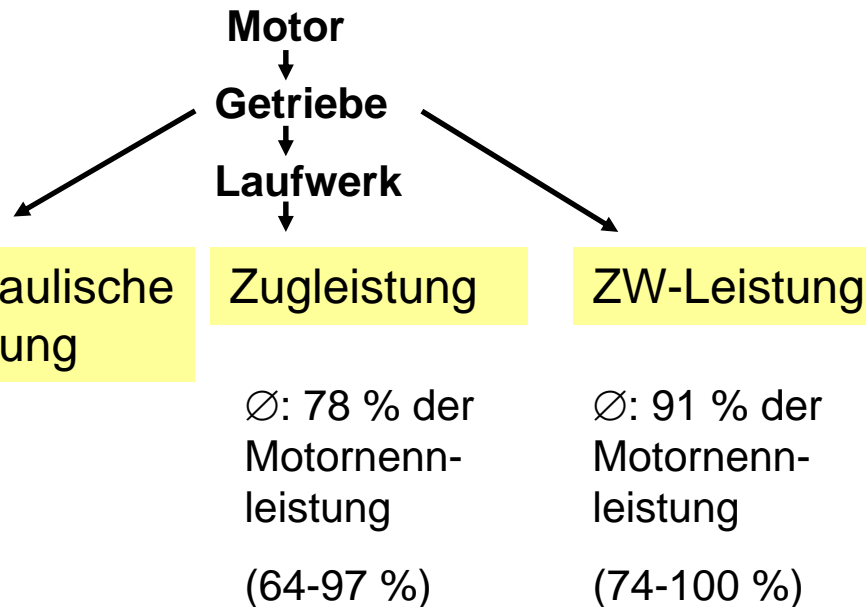
$\eta_G$ : Getriebewirkungsgrad (0,8 – 0,85)

$\eta_L$ : Laufwerkwirkungsgrad (0,65 bei 10 % Schlupf)

Quelle: Kutzbach; Grundlagen der Landtechnik 1989

# Faktoren des Kraftstoffverbrauchs in der Außenwirtschaft

## Traktorimmanente Faktoren



## verfahrensimmanente Faktoren

- ⇒ Anzahl von Überfahrten
- ⇒ Bearbeitungstiefe und -intensität
- ⇒ Arbeitsbreite vs. Fahrgeschwindigkeit
- ⇒ Angepasste Motorisierung
- ⇒ ...

# Angepasste Motorisierung



Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Nachhaltige  
Agrarsysteme

Mittlerer Kraftstoffverbrauch [l/ha] für einen Feldarbeitsgang:

mittlerer Kraftstoffverbrauch [l/h]

x

Arbeitszeitaufwand [h/ha]



- Nennleistung
- Motorauslastung
- spez. Kraftstoffverbrauch

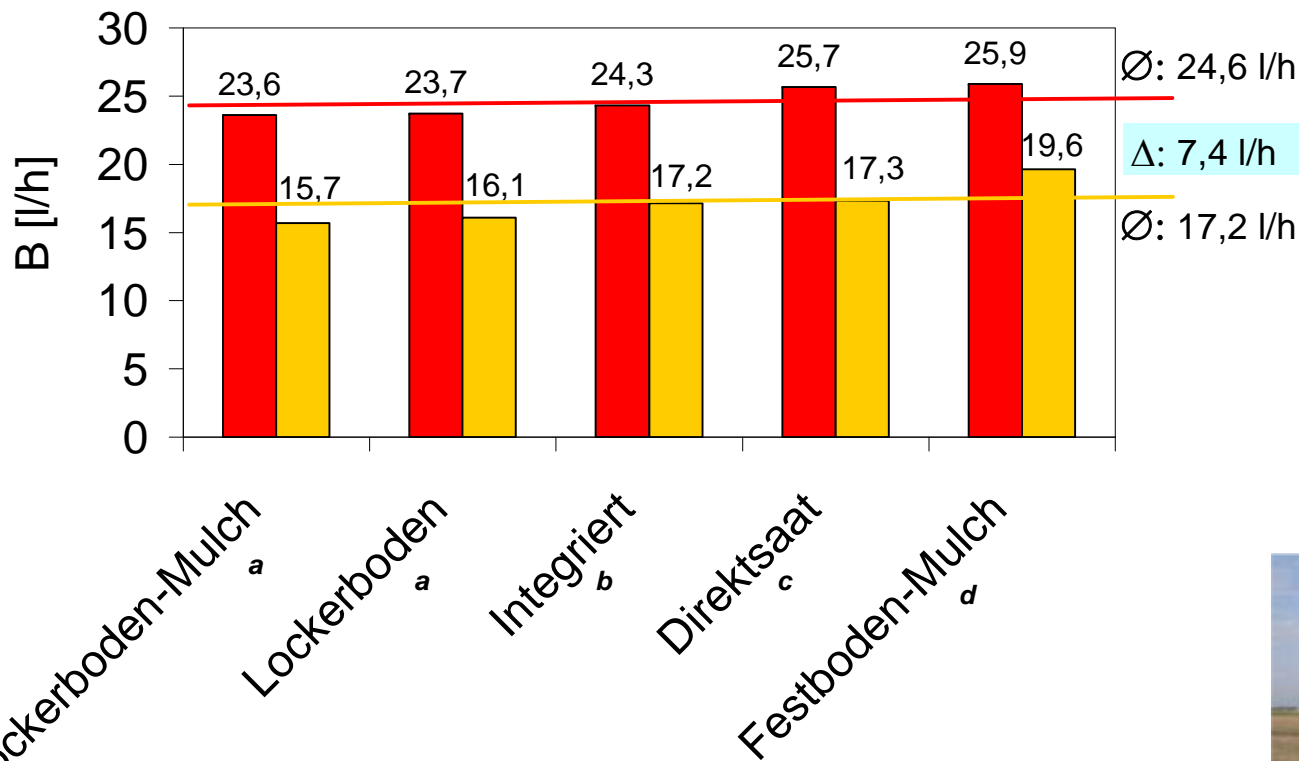


- Arbeitsbreite
- Fahrgeschwindigkeit
- Nutzungskoeffizient

# Fahrstrategie – mittlerer Kraftstoffverbrauch



Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Nachhaltige  
Agrarsysteme



2 Versuchsfahrten: 1. Gang, 4. Lastschaltstufe,  
 $v_F = 4,7 \text{ km/h}$ ;  $n_M = 2.300 \text{ Upm}$

2 Versuchsfahrten: 2. Gang, 1. Lastschaltstufe,  
 $v_F = 4,5 \text{ km/h}$ ;  $n_M = 1.700 \text{ Upm}$

(Unterschiedliche Kleinbuchstaben zeigen einen signifikanten Unterschied im Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit des Bodenbearbeitungssystems; Student-Newmann-Keuls-Test,  $\alpha = 0,05$ )

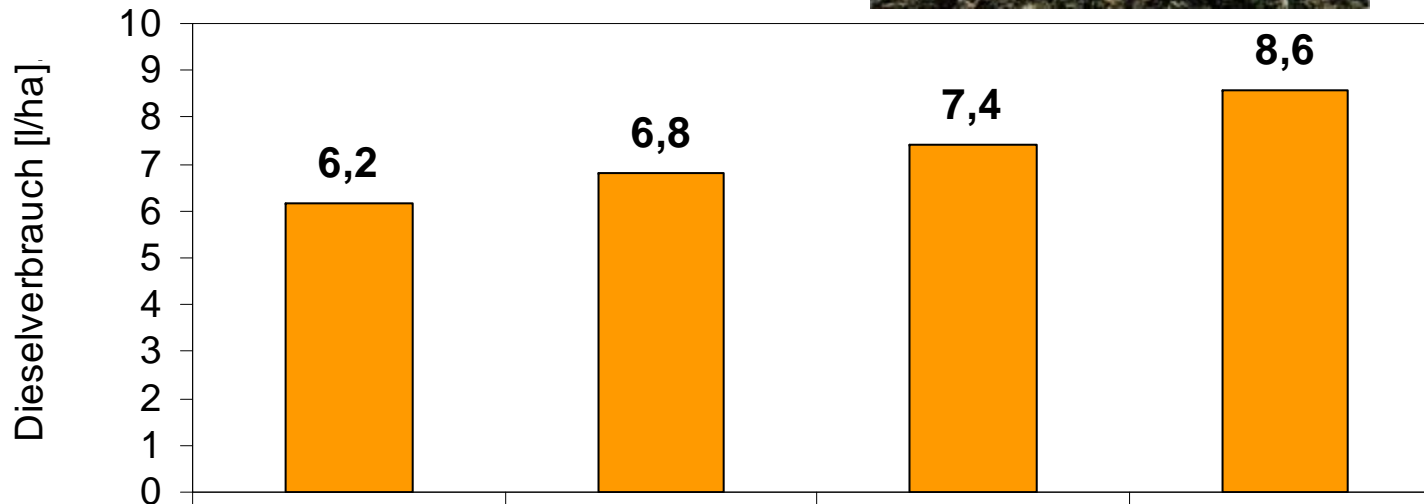
Quelle: BOKU-Landtechnik, 2005

# Arbeitsbreite vs. Arbeitsgeschwindigkeit

## Scheibenegge



Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Nachhaltige  
Agrarsysteme



Allradtraktor: 101,5 kW

Bodentyp: Ton

|                                 |     |     |      |      |
|---------------------------------|-----|-----|------|------|
| Arbeitsbreite [cm]              | 650 | 550 | 500  | 400  |
| Arbeitsgeschwindigkeit [km/h]   | 8,5 | 9,5 | 10,0 | 11,0 |
| Technische Flächenleistung [ha] | 5,5 | 5,2 | 5,0  | 4,4  |

Datenquelle:

Filipovic et al. Energy efficiency in conventional tillage of clay soil.

EE&AE 2004



# Kraftstoffverbrauch im Weinbau und in der Grünlandbewirtschaftung

**bestimmender Einflussfaktor:**  
**⇒ Anzahl der Arbeitsgänge**

# Mittlerer Kraftstoffverbrauch im Weinbau



Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Nachhaltige  
Agrarsysteme



## Annahmen:

mittlere Geländeneigung,  
20 % Wendeflächenanteil

Traktor: 55 kW;

spezifischer Kraftstoffverbrauch: 0,3 l/kWh

|                                   | Standard-<br>verbrauch*) | % Motorauslastung | Anzahl der<br>Überfahrten | Summe      |
|-----------------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|------------|
| <b>Weinbau</b>                    | [l/ha]                   |                   |                           |            |
| Fräsen - Fahrgasse                | 11                       | 39                | 1                         | 11         |
| Laubschneiden                     | 8                        | 21                | 1                         | 8          |
| Mulchen (Schlegelmulcher)         | 12                       | 40                | 3                         | 36         |
| Pflanzenschutz (Sattelspritze)    | 5                        | 30                | 12                        | 60         |
| Anhäufeln, Anpflügen d. Rebzeilen | 20                       | 35                | 1                         | 20         |
| Stockraum räumen                  | 18                       | 31                | 5                         | 90         |
| Untergrundlockern (Rotorpflug)    | 20                       | 53                | 1                         | 20         |
| Traubenvollernter                 | 20                       | 30                | 1                         | 20         |
| <b>Summe</b>                      |                          |                   | <b>25</b>                 | <b>265</b> |

\*) ÖKL-Richtwerte für die Maschinenselbstkosten 2005.



# Mittlerer Kraftstoffverbrauch bei der Silagebereitung

Ohne Transport

5 Schnitte;

Aktivitätsdaten von einem Grünlandbetrieb  
in Knittelfeld



Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Nachhaltige  
Agrarsysteme

|   | Standardverbrauch*) | Anzahl der Überfahrten | Summe      |
|---|---------------------|------------------------|------------|
| <b>Pflege; Düngung</b>                        | [l/ha]              |                        |            |
| Abschleppen                                   | 4                   | 2                      | 8          |
| Stallmiststreuen                              | 14                  | 1                      | 14         |
| Frontladerarbeit                              |                     |                        | 6          |
| Ausbringung Jauche, Vakuumtankwagen           | 6                   | 3                      | 18         |
| <b>Schnittnutzung für die Silagebereitung</b> |                     |                        |            |
| Rotationsmäher                                | 5                   | 5                      | 25         |
| Kreiselzettwender                             | 3                   | 5                      | 15         |
| Kreiselschwader                               | 4                   | 5                      | 20         |
| Bergung Ladewagen                             | 9                   | 5                      | 45         |
| Walzarbeit                                    |                     |                        | 10         |
| <b>Summe</b>                                  |                     | <b>26</b>              | <b>161</b> |

\*) ÖKL-Richtwerte für die Maschinenselbstkosten 2005.



# Kraftstoffverbrauch bei der Bewirtschaftung von Ackerkulturen

**bestimmender Einflussfaktor:**

**⇒ Bearbeitungstiefe bzw. -intensität des Bodens**



# Kraftstoffverbrauch beim Pflügen

## Arbeitstiefe



Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Nachhaltige  
Agrarsysteme

$$\text{Dieselverbrauch} = a + b \cdot L$$

|              | Boden    | Arbeitstiefe<br>L [cm] | Gültigkeitsbereich<br>Arbeitsbreite [m] | Konstante<br>a | Regressions-<br>Koeffizient b |
|--------------|----------|------------------------|---|----------------|-------------------------------|
| Saatfurche   | S bis IS | 18 – 27                | 1,75 – 2,8                              | 6,1            | <b>0,46</b>                   |
| Saatfurche   | sL bis L | 18 – 27                | 1,4 – 2,8                               | 10,2           | <b>0,60</b>                   |
| Saatfurche   | L bis IT | 18 – 27                | 1,1 – 2,5                               | 10,8           | <b>0,92</b>                   |
| Saatfurche   | T        | 18 – 27                | 1,1 – 2,5                               | 13,0           | <b>0,92</b>                   |
| Herbstfurche | S bis IS | 23 – 35                | 1,4 – 2,8                               | -5,4           | <b>0,92</b>                   |
| Herbstfurche | sL bis L | 23 – 35                | 1,1 – 2,5                               | -10,3          | <b>1,42</b>                   |
| Herbstfurche | T        | 25 - 35                | 1,2                                     | 41 (29)        | <b>1,5 (1,2)</b>              |

Zusammengestellt von Moitzi: aus W-D. Kalk et al. (Landtechnik 6/99) und Filipovic et al. (EE&AE 2004)

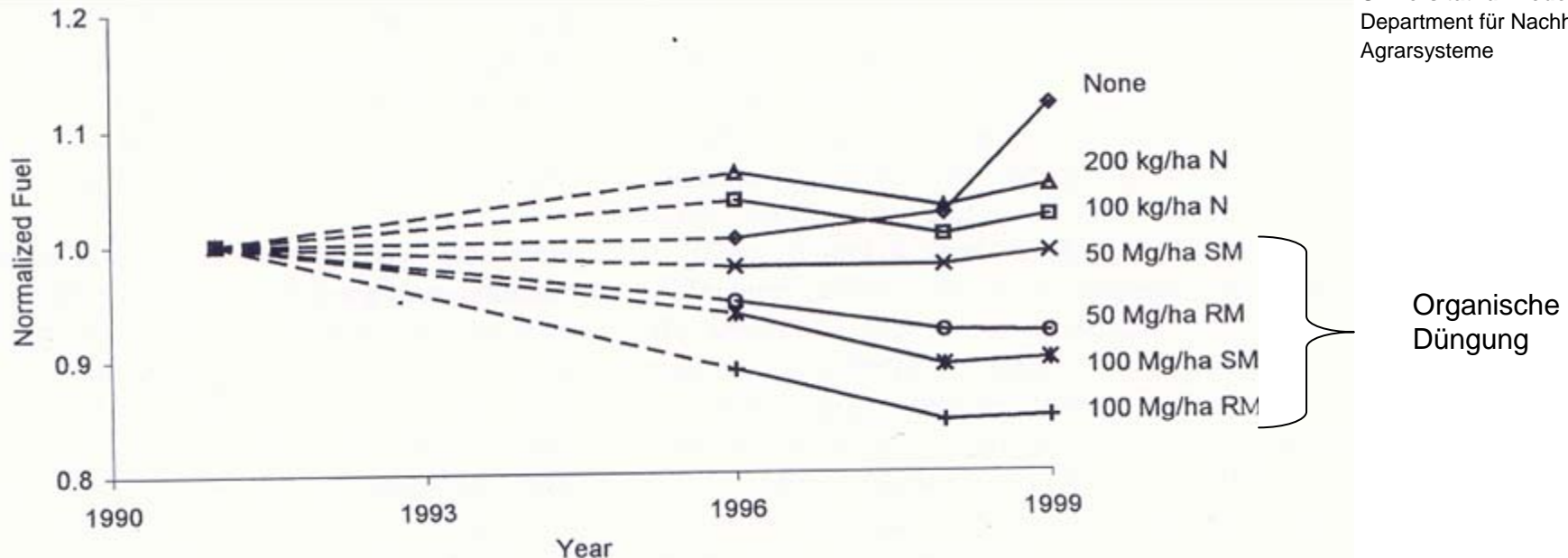
Pro cm Arbeitstiefe nimmt der Dieselverbrauch zwischen 0,46 und 1,5 l zu.

# Einfluss der Düngung auf den Kraftstoffverbrauch beim Pflügen

Quelle: McLaughlin et al. Effect of organic and inorganic soil nitrogen amendments on mouldboard plow draft; Soil & Tillage Research, 2002



Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Nachhaltige  
Agrarsysteme

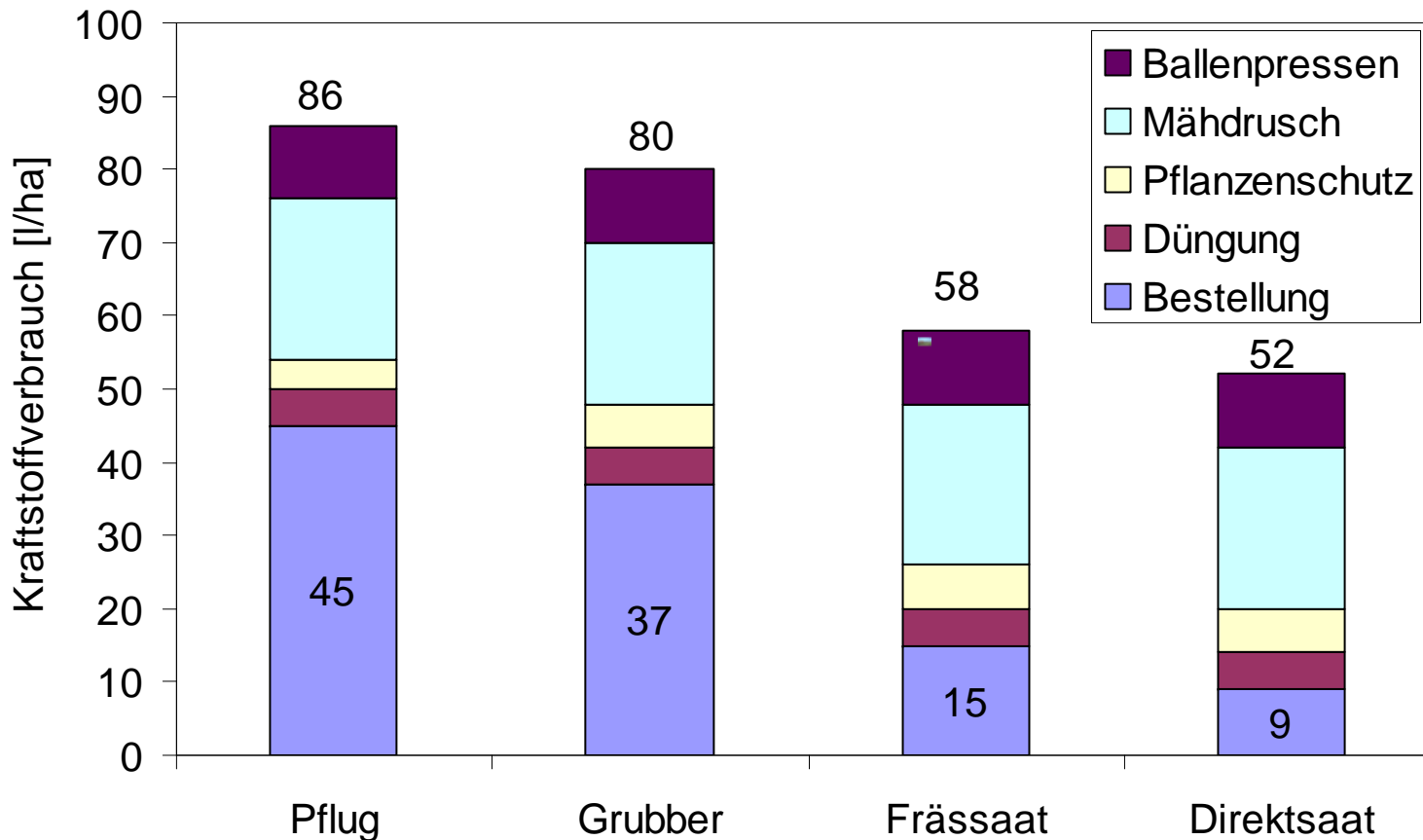


Organische Düngung reduziert den Zugkraftbedarf (- 38 %) und somit auch den Kraftstoffverbrauch - Bodenwiderstand verringert sich durch den Aufbau der organischen Substanz im Boden

# Mittlerer Kraftstoffverbrauch im Getreidebau bei unterschiedlichen Bestellverfahren



Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Nachhaltige  
Agrarsysteme



ÖKL-Richtwerte für die Maschinenselbstkosten 2005.



# Alternative Grundbodenbearbeitung

➤ **Zweischichtenpflug**

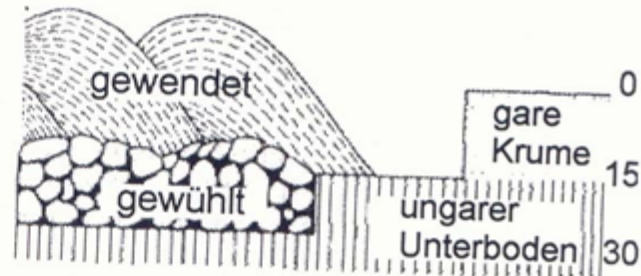
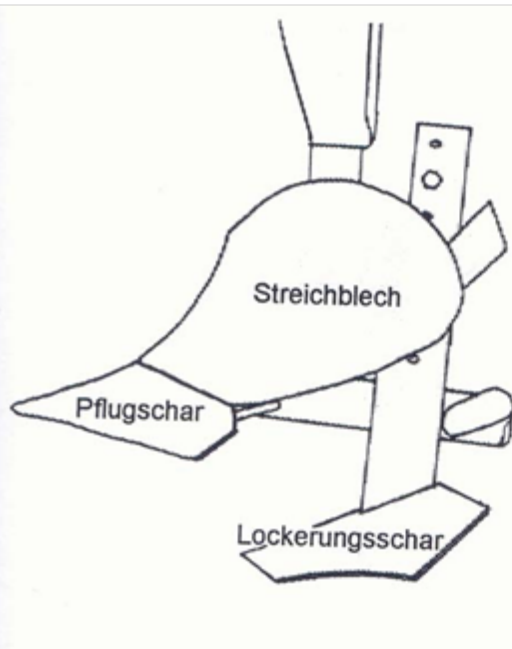
➤ **Schälplflug**

➤ **Fronttiefengrubber**

# Zweischichtenpflug



Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Nachhaltige  
Agrarsysteme



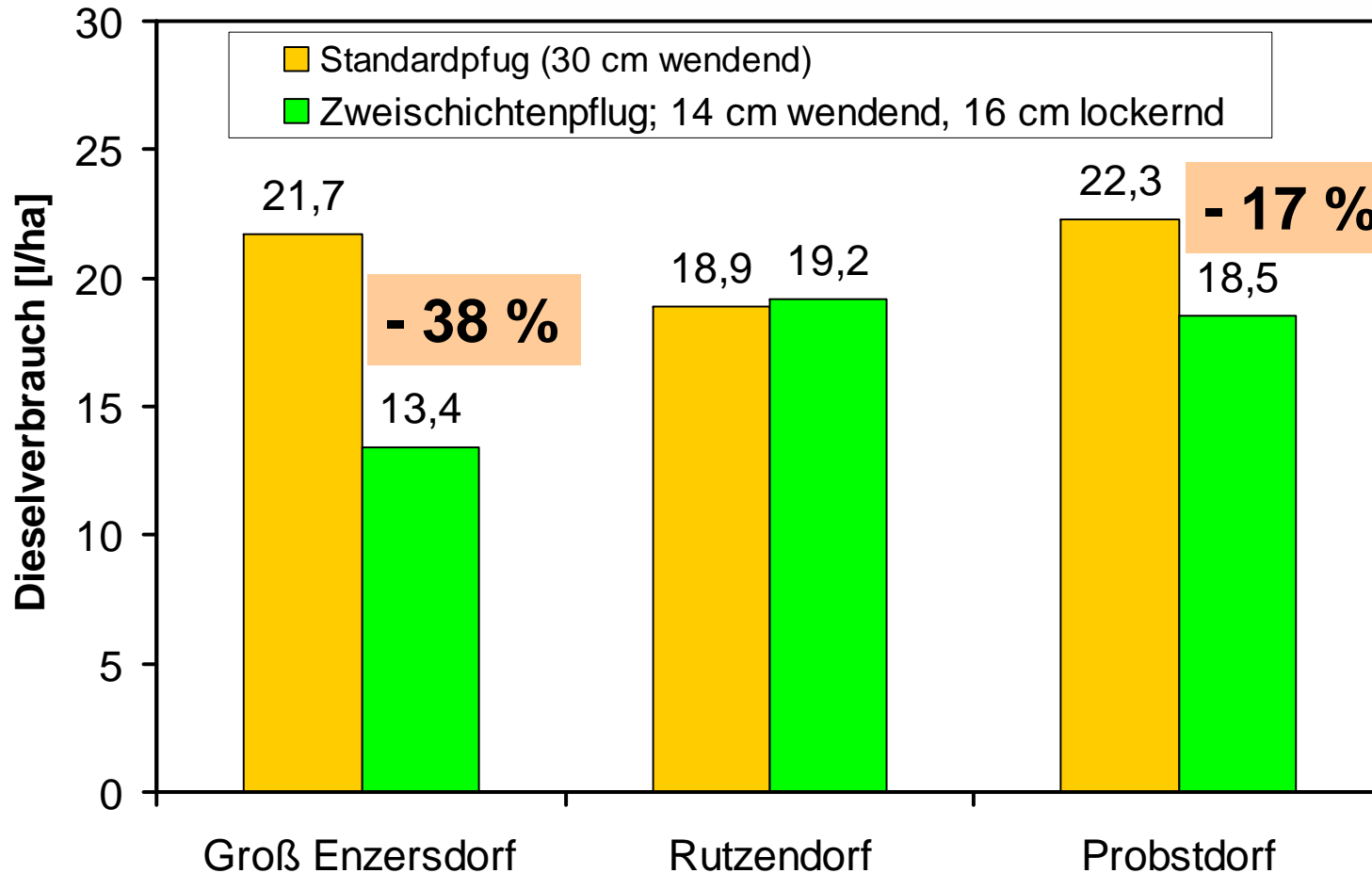


# Zweischichtenpflug

## Vergleichsuntersuchung



Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Nachhaltige  
Agrarsysteme



Quelle: Besenhofer; Vergleich des Energiebedarfs zwischen konventionellem Pflug und Zweischichtenpflug, BOKU-Diplomarbeit, 1999

# Schälpflug

## Besonderheiten:

- Gerätekonzept zur flach wendenden Bodenbearbeitung
- Zylindrische Form des Streichbleches
- kurze Bauform (8 Schare können je nach Schnittbreite bis 3 m Breite erreichen)
- Kombination mit Packer (einebnen, rückverfestigen, krümeln)



Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Nachhaltige  
Agrarsysteme

## Schwenkschälpflug

„Glimmer“ (Lemken)



## Wendeschälpflug

„Ecomat“ (Kverneland)



## Technische Daten:

Hubkraftbedarf: 6.300 kN  
Arbeitstiefe: 8 – 18 cm (25)\*  
Arbeitsgeschwindigkeit: 8 – 12 km/h  
Leistungsbedarf: ab 110 kW  
Gewicht: 2.200 kg  
theor. Flächenleistung: 2,5 – 3 ha/h  
\*Mit Untergrundlockerer „Eco-Schar“

# Bestellsystem mit Fronttiefergrubber (Fi. EIMI)

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| Anzahl der Zinken              | 6     |
| Anzahl der Scheibenseche       | 8     |
| Zinkenabstand [cm]             | 50    |
| Techn. Arbeitsbreite [cm]      | 256   |
| Effektive Arbeitsbreite [cm]   | 300   |
| Durchgangshöhe [cm]            | 90    |
| Gewicht ohne Scheibensech [kg] | 1.300 |
| Gewicht mit Scheibensech [kg]  | 1.460 |



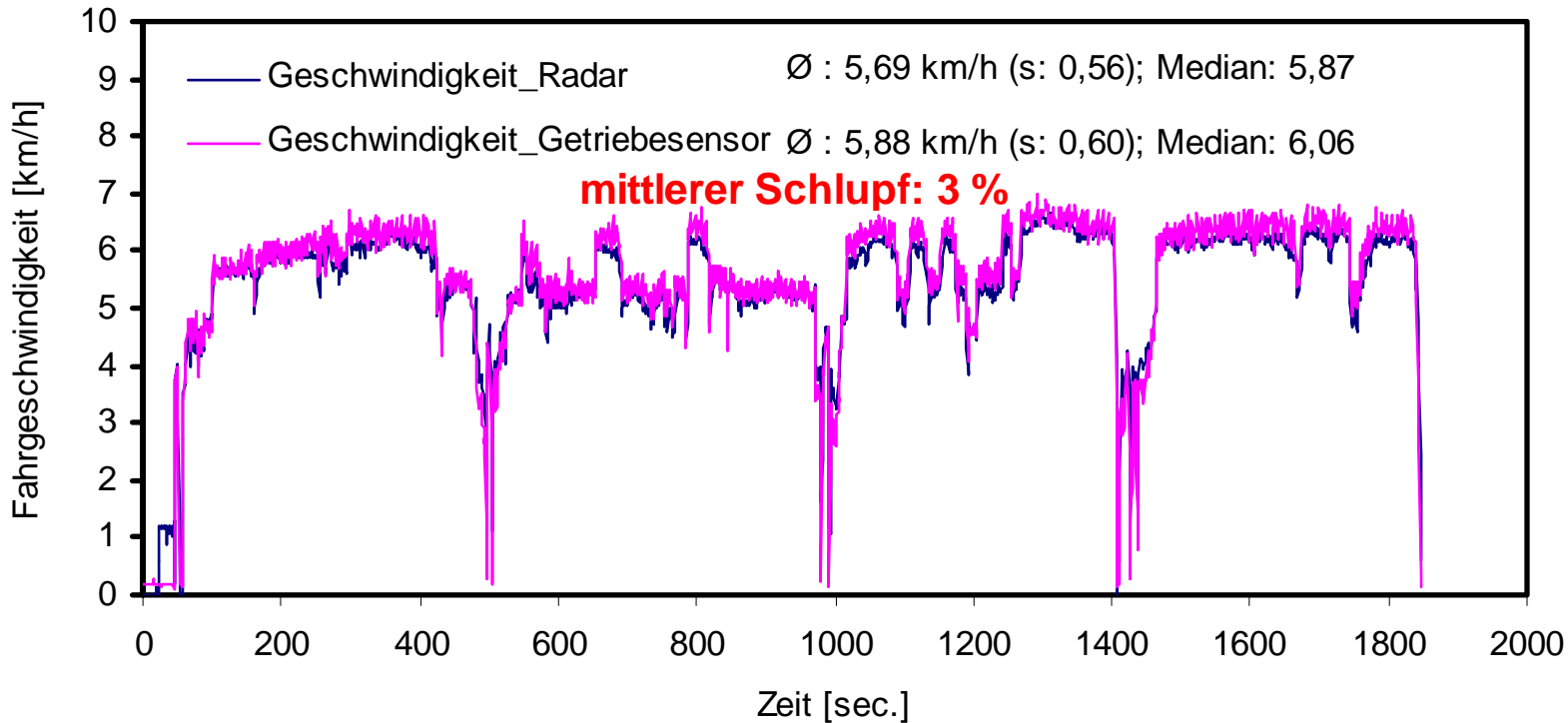
Quelle: BOKU-Landtechnik, 2005



# Bestellsystem mit Fronttiefergrubber

Mittlerer Dieselaufwand: 14,5 l/ha

Mittlere Flächenleistung: 1,7 ha/h

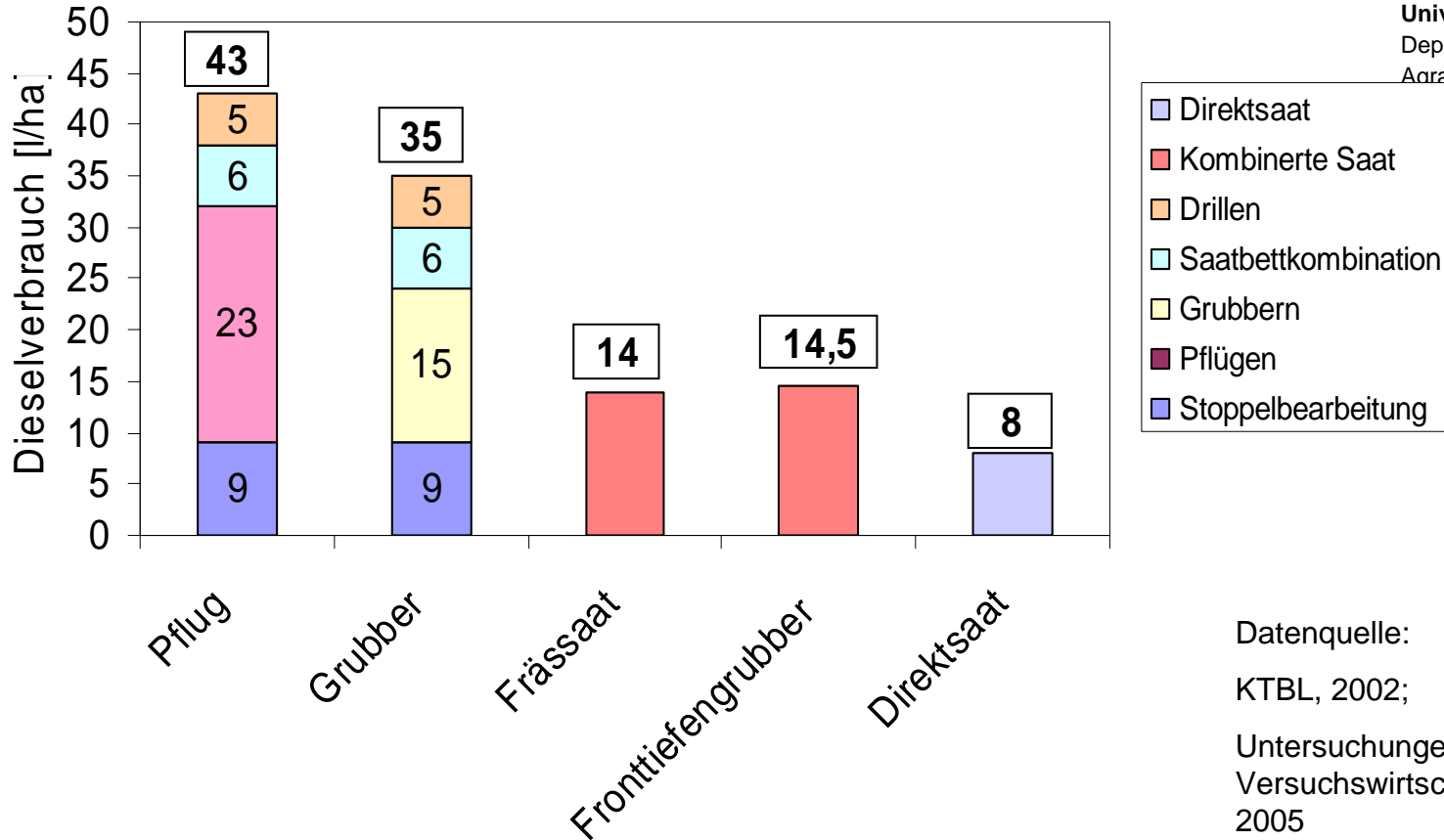


Quelle: BOKU-Landtechnik, 2005

# Kraftstoffaufwand bei der Bestellung unter Variation der Grundbodenbearbeitung



Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Nachhaltige  
Anbausysteme



Datenquelle:

KTBL, 2002;

Untersuchungen an der  
Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf,  
2005

# Schlussfolgerungen und Ausblick



- Kraftstoffeinsatz im Pflanzenbau – eine nutzbare Kostenvariable
- Dokumentation des Kraftstoffverbrauchs (⇒ „Dieselfresser“)
- Mobilisierung von verfahrenstechnischen Reserven:
  - Ackerbau > Grünland, bzw. Obst- und Weinbau
- Einsparungen im Kraftstoffverbrauch müssen im Kontext zum Biomasseertrag gesehen werden (⇒ „Kraftstoffeffizienz“)
- Pflanzenkraftstoffe als Alternative zum fossilen Diesel

Nutzung der „aktuellen“ Biomasse anstatt der „fossilierten“ Biomasse

**„Kraftstoffautarkie im landwirtschaftlichen Betrieb als Zukunftsvision“**



Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Nachhaltige  
Agrarsysteme

# Herzlichen Dank für die Aufmerksamkeit

Moitzi Gerhard

Institut für Landtechnik

Peter Jordanstraße 82, A-1190 Wien  
Tel.: +43 1 47654-3503, Fax: +43 1 47654-3527  
gerhard.moitzi@boku.ac.at, [www.boku.ac.at](http://www.boku.ac.at)