

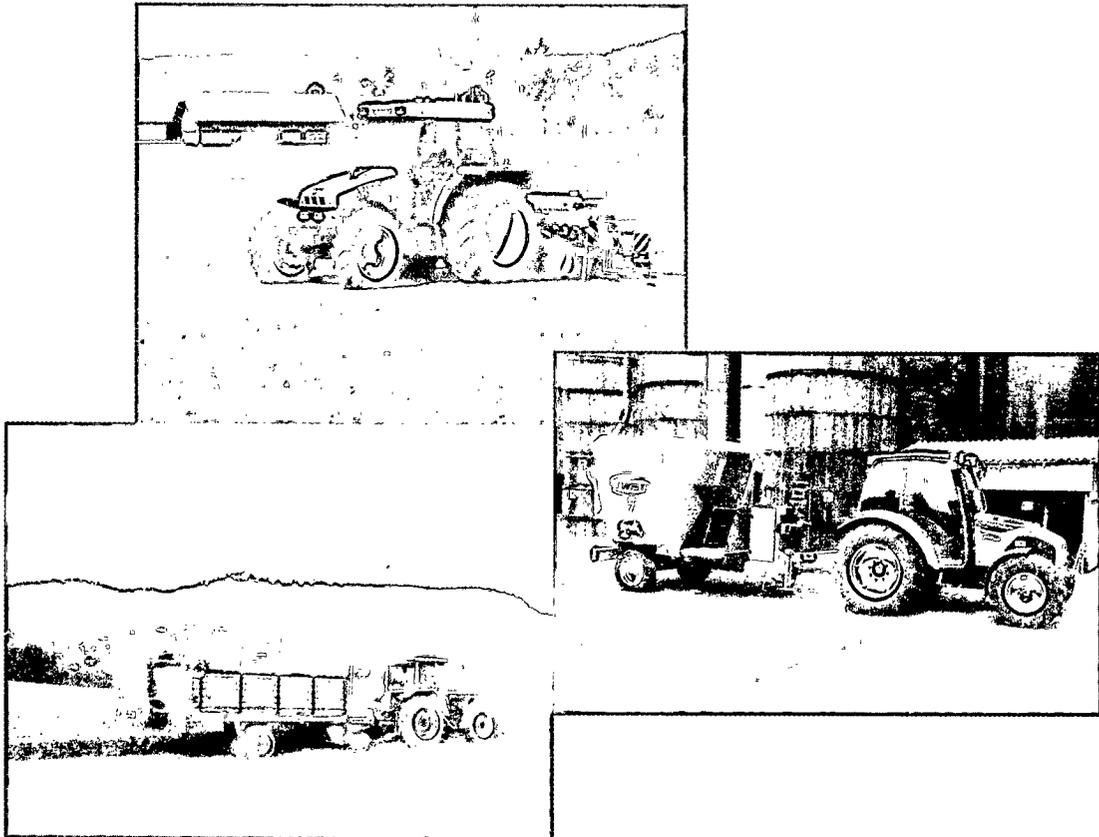


FAT-Schriftenreihe Nr. 65

Treibstoffverbrauch und Emissionen von Traktoren bei landwirtschaftlichen Arbeiten

Ausführliche Darstellung der Methoden, Messungen und Ergebnisse

Manfred Rinaldi, Stefan Erzinger und Ruedi Stark



 agroscope
FAT TÄNIKON

Vorwort

Der Treibstoffverbrauch in der Landwirtschaft ist ein Kostenfaktor und wurde lange Zeit nur unter diesem Gesichtspunkt betrachtet. Da allerdings diese Kosten im Vergleich zu den gesamten Sachkosten eines Landwirtschaftsbetriebes gering sind, stand - und steht immer noch - der Treibstoffverbrauch im heutigen Problemkatalog der Landwirtschaft nicht im Vordergrund.

Der Verbrauch fossiler Energieträger als Treibstoff ist jedoch ein nicht unbedeutender Teil der gesamten Energieproblematik in den entwickelten Ländern. Unbestrittenermassen ist der Energieverbrauch zu hoch und der allergrösste Teil der Energie stammt heute und auch noch bis in fernere Zukunft aus nichterneuerbaren fossilen Quellen, die früher oder später erschöpft sein werden. Es ist deshalb für unsere Gesellschaft ein Gebot der Zeit, neben der intensiven Suche nach Alternativen mit den traditionellen Energieträgern sparsam umzugehen, sie rationell und sinnvoll einzusetzen.

Mit wachsendem Umweltbewusstsein stieg auch das Interesse breiter Bevölkerungskreise an der Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit von landwirtschaftlichen Produktionsverfahren. Nebst möglicher Freihaltung von Boden, Wasser und Luft von Kunstdünger und Pflanzenschutzmitteln treten zunehmend auch die Emissionen infolge der Mechanisierung, natürlich hauptsächlich die Motorabgase, in den Blickpunkt des Interesses. Das bei einer Verbrennung unvermeidliche Kohlendioxid CO_2 ist ganz direkt vom Treibstoffverbrauch abhängig. Weitere gasförmige Emissionskomponenten wie Kohlenwasserstoffe (HC), Stickoxid (NOx) und Kohlenmonoxid (CO) werden durch die Verbrennungsführung, also durch die Motortechnik beeinflusst. Speziell bei Dieselmotoren ist auch die Emission von Partikeln (PM) von grosser Bedeutung. Alle diese Schadstoffe beeinträchtigen einerseits die menschliche Gesundheit und haben andererseits negative Auswirkungen auf die Umwelt.

Wie kann bei der landwirtschaftlichen Produktion Energie gespart, wie können Emissionen minimiert werden? Sind die einen Maschinen diesbezüglich besser als die anderen? Kann der Maschineneinsatz energetisch optimiert werden? Ist gar ein alternatives Produktionsverfahren bezüglich Energiebedarf und Emissionen günstiger? Mittels Energie- und Ökobilanzen wird versucht, Antworten auf solche Fragen und Lösungen für den sparsamen, rationellen Energieeinsatz zu finden.

Grundlage für alle diese Anstrengungen zu Verbesserungen ist immer die Kenntnis des aktuellen Zustandes. Zwar liefern die Durchschnitts-Verbrauchswerte oder die jährliche Gesamttreibstoffmenge Hinweise für die allgemeine Situation. Die Beurteilung und Optimierung von Energieverbrauch und Umweltbelastungen verlangt jedoch genaue Kenntnisse der Energie- und Emissionsfaktoren der Einzeltätigkeiten und von ganzen Verfahrensketten. Dazu sind nur wenig oder keine Messresultate bekannt.

Manfred Rinaldi hat in jahrelangen ausgedehnten Messungen und Wiederholungen eine einmalige Sammlung an Traktorlastspektren bei den unterschiedlichsten Einzelarbeiten errichtet. Durch die Verknüpfung dieser Lastspektren mit den Emissionskennfeldern, die aus Messungen an dreissig Traktoren mit Baujahr 2000 und 2001 auf dem Prüfstand resultierten, ergaben sich die Verbrauchs- und Emissionsfaktoren pro Stunde. Mit den Planzeiten der Arbeitswirtschaft liessen sich diese Faktoren letztlich auf die Fläche umlegen. Zentrales Ergebnis ist deshalb die Zusammenstellung der Verbrauchs- und Emissionsfaktoren pro Betriebsstunde und pro Hektar von 49 verschiedenen Einzelarbeiten. Die vorliegende Arbeit versteht sich somit als Datensammlung, die eine Grundlage für weitergehende Untersuchungen und Berechnungen bildet.

Ulrich Wolfensberger

Fachbereichsleiter Pflanze + Energie, Agroscope FAT Tänikon

Inhalt

1.	Zusammenfassung	9
2.	Einführung	10
3.	Methodischer Ansatz	12
4.	Aufnahme der Lastspektren auf dem Feld	13
5.	Prüfstandmessungen und Abgasmodell	16
5.1	Statistische Betrachtungen	17
5.2	„Virtueller“ Traktor	20
5.3	Zusammenhang zwischen Verbrauch und Leistung	21
5.4	Regression durch die Messpunkte des „virtuellen“ Traktors	22
5.5	Berechnen der Verbrauchs- und Emissionsfaktoren	24
6.	Planzeiten und ihre Herkunft	26
6.1	Was sind Planzeiten?	26
6.2	Wie entstehen Planzeiten?.....	27
7.	Ergebnisse	29
7.1	Aufgenommene Lastspektren	29
7.2	Tabellen der Verbrauchs- und Emissionsfaktoren	30
8.	Schlussfolgerungen	33
8.1	Der optimale Betriebspunkt.....	33
8.2	Angepasste Motorisierung	34
8.3	Beispiel: Pflügen mit 2- und 4-Schar-Pflug	36
8.4	Beispiel: Gülle pumpen und ausbringen	37
8.5	Verwendung der Ergebnisse	38
9.	Resumé	39
10.	Summary	41
11.	Literatur	42
12.	Anhang	43

Tabellen

Tab. 1: Beschreibung der untersuchten Arbeiten	15
Tab. 2: Kenndaten des „virtuellen“ Traktors.	21
Tab. 3: Regressionskoeffizienten und Bestimmtheitsmass für den „virtuellen“ Traktor.	23
Tab. 4: Liste der Einflussgrössen am Beispiel Pflügen.	26
Tab. 5: Unterteilung der Arbeitsablaufabschnitte am Beispiel Pflügen mit entsprechender Bezugsmenge (BM) und Zeitbedarf (t) in Centiminuten je Bezugsmenge.	27
Tab. 6: Mittlerer Treibstoffverbrauch, mittlere Leistung und Abgaswerte verschiedener landwirtschaftlicher Arbeiten, zeitbezogen [g/h]	31
Tab. 7: Traktorstunden, mittlerer Treibstoffverbrauch und Abgaswerte verschiedener landwirtschaftlicher Arbeiten, flächenbezogen [g/ha]	32
Tab. 8: Drehzahlen und Leistungen mit tiefem Treibstoffverbrauch und tiefen Emissionen (Minima bzw. günstige Bereiche der Regressionsflächen, Abb. 12-15)	33
Tab. 9: Aus Sicht einer angepassten Motorisierung empfohlene Traktorgrössen.	35
Tab. 10: Vergleich des Treibstoffverbrauchs und der Emissionen beim Pflügen mit unterschiedlicher Mechanisierung (Schlaggrösse 1 ha)	36
Tab. 11: Vergleich des Treibstoffverbrauchs und der Emissionen beim Gülle ausbringen mit unterschiedlicher Mechanisierung (Schlaggrösse 1 ha)	37

Abbildungen

Abb. 1:	Der Treibstoffverbrauch wird mit einem am Motor angebaute[m] Gerät kontinuierlich gemessen und im Datenlogger alle zehn Sekunden aufgezeichnet. ...	13
Abb. 2:	Auf dem Traktorprufstand der FAT werden neben den Leistungs- und Verbrauchsdaten auch die gesetzlich limitierten Abgaskomponenten CO (Kohlenmonoxid), HC (unverbrannte Kohlenwasserstoffe) und NOx (Stickoxide) gemessen.	16
Abb. 3:	Messpunkte und deren Gewichtung nach ISO 8178-4 C1	16
Abb. 4:	Messpunkte und deren Gewichtung nach dem FAT 6-Stufen-Test.....	17
Abb. 5:	Messwerte von HC nach ISO 8178-4 C1. Dargestellt sind Mittelwert, Standardfehler und Standardabweichung. Der Messpunkt 4 repräsentiert den oberen Leerlauf und der Messpunkt 8 den unteren Leerlauf.	18
Abb. 6:	Messwerte von HC nach FAT-Test. Dargestellt sind Mittelwert, Standardfehler und Standardabweichung. Der Messpunkt 6 repräsentiert den unteren Leerlauf.	18
Abb. 7:	Messwerte von NOx nach ISO 8178-4 C1. Dargestellt sind Mittelwert, Standardfehler und Standardabweichung.	19
Abb. 8:	Messwerte von NOx nach FAT-Test. Dargestellt sind Mittelwert, Standardfehler und Standardabweichung.	19
Abb. 9:	Messwerte von CO nach ISO 8178-4 C1. Dargestellt sind Mittelwert, Standardfehler und Standardabweichung.	19
Abb. 10:	Messwerte von CO nach FAT-Test. Dargestellt sind Mittelwert, Standardfehler und Standardabweichung.	20
Abb. 11:	Korrelation zwischen Zapfwellenleistung und Treibstoffverbrauch	21
Abb. 12:	Grafische Darstellung des Wirkungsgrades des „virtuellen“ Traktors. Der optimale Betriebsbereich des Dieselmotors befindet sich auf der flachen Kuppe der Fläche.....	23
Abb. 13:	Grafische Darstellung der statistischen Funktion (Regressionsfläche) für die Emission von HC (unverbrannte Kohlenwasserstoffe) in Abhängigkeit von Leistung und Drehzahl.....	23
Abb. 14:	Grafische Darstellung der statistischen Funktion (Regressionsfläche) für die Emission von NOx (Stickoxide) in Abhängigkeit von Leistung und Drehzahl.	24
Abb. 15:	Grafische Darstellung der statistischen Funktion (Regressionsfläche) für die Emission von CO (Kohlenmonoxid) in Abhängigkeit von Leistung und Drehzahl. ...	24
Abb. 16:	Zeitmessungen in der Praxis erfolgen mit Handheld-PC's mit entsprechender Software.....	28
Abb. 17:	Pflügen mit dem 62 kW-Traktor Hürlimann mit 2-Schar-Pflug.....	36
Abb. 18:	Pflügen mit dem 78 kW-Traktor Case mit dem 4-Schar-Pflug.....	37
Abb. 19:	Für das Gülle pumpen und ausbringen genügt der 50 kW-Traktor.....	37

Anhang

Abb. A1: Dünger streuen, pneumatisch, Arbeitsbreite 15 m, mit Traktor 50 kW, Nennleistung	44
Abb. A2: Eggen mit Kultivator, Arbeitsbreite 2,8 m, mit Traktor 62 kW Nennleistung	45
Abb. A3: Eggen und Säen, Arbeitsbreite 3 m, mit Traktor 78 kW Nennleistung	46
Abb. A4: Eggen mit Kreiselegge, Arbeitsbreite 3 m, mit Traktor 62 kW Nennleistung	47
Abb. A5: Hacken und Häufeln, Sternhackgerät, Arbeitsbreite 3,1 m, mit Traktor 50 kW Nennleistung	48
Abb. A6: Kartoffeln pflanzen, vierreihig, mit Traktor 50 kW Nennleistung	49
Abb. A7: Kartoffeln ernten, mit Sammelroder, einreihig und Traktor 50 kW Nennleistung	50
Abb. A8: Silomais häckseln, 2-reihig, mit Traktor 62 kW Nennleistung	51
Abb. A9: Pflügen, 2-scharig, mit Traktor 62 kW Nennleistung	52
Abb. A10: Pflügen, 4-scharig, mit Traktor 78 kW Nennleistung	53
Abb. A11: Grubber, Arbeitsbreite 2,5 m, mit Traktor 78 kW Nennleistung	54
Abb. A12: Mais säen und walzen, Einzelkorn, 4-reihig, Arbeitsbreite 3 m, mit Traktor 50 kW Nennleistung	55
Abb. A13: Rüben und Ackerbohnen säen, Einzelkorn, 6-reihig, Arbeitsbreite 2.25 m, mit Traktor 50 kW Nennleistung	56
Abb. A14: Spritzen, Arbeitsbreite 15 m, mit Traktor 50 kW Nennleistung	57
Abb. A15: Eingrasen, Arbeitsbreite 3 m, mit Traktor 62 kW Nennleistung	58
Abb. A16: Gras mähen, Arbeitsbreite 2 m, mit Traktor 50 kW Nennleistung	59
Abb. A17: Gras mähen und quetschen, Arbeitsbreite 3 m, mit Frontmähwerk und Traktor 62 kW Nennleistung	60
Abb. A18: Gras zetzen, mit Kreiselheuer, Arbeitsbreite 5 m und Traktor 50 kW Nennleistung	61
Abb. A19: Gras zetzen, mit Kreiselheuer, Arbeitsbreite 7,85 m und Traktor 50 kW Nennleistung	62
Abb. A20: Gras zetzen, mit Kreiselheuer, Arbeitsbreite 7,85 m und Traktor 62 kW Nennleistung	63
Abb. A21: Gras schwaden, Arbeitsbreite 3 m, mit Traktor 50 kW Nennleistung	64
Abb. A22: Gras schwaden, Arbeitsbreite 6 m, mit Traktor 50 kW Nennleistung	65
Abb. A23: Heu laden und einführen, mit Ladewagen und Traktor 62 kW Nennleistung	66
Abb. A24: Heu laden und einführen, mit Ladewagen und Traktor 50 kW Nennleistung	67
Abb. A25: Siloballen pressen, mit Traktor 50 kW Nennleistung	68
Abb. A26: Rundballen pressen, mit Traktor 62 kW Nennleistung	69
Abb. A27: Rundballen pressen, mit Traktor 78 kW Nennleistung	70

Abb. A28: Walzen, Arbeitsbreite 5 m, mit Traktor 50 kW Nennleistung	71
Abb. A29: Gülle ausführen mit Druckfass 5 m ³ und Traktor 50 kW Nennleistung.....	72
Abb. A30: Gülle ausführen mit Druckfass 6,5 m ³ und Traktor 50 kW Nennleistung.....	73
Abb. A31: Gülle ausführen mit Druckfass 6,5 m ³ und Traktor 62 kW Nennleistung.....	74
Abb. A32: Gülle ausführen mit Druckfass 6,5 m ³ und Traktor 78 kW Nennleistung.....	75
Abb. A33: Mist laden mit Mistkran, Antrieb mit Traktor 50 kW Nennleistung	76
Abb. A34: Mist ausführen mit Mistzetter und Traktor 50 kW Nennleistung (25 t/ha).....	77
Abb. A35: Mist ausführen mit Mistzetter und Traktor 62 kW Nennleistung (25 t/ha).....	78
Abb. A36: Mist ausführen mit Mistzetter und Traktor 78 kW Nennleistung (25 t/ha).....	79
Abb. A37: Silage auf Fahrsilo einführen, mit Traktor 62 kW Nennleistung.....	80
Abb. A38: Silomais einführen, mit Transportwagen und Traktor 50 kW Nennleistung	81
Abb. A39: Silomais einführen, mit Transportwagen und Traktor 78 kW Nennleistung	82
Abb. A40: Siloballen einführen mit Ballenzange und Traktor 50 kW Nennleistung.....	83
Abb. A41: Siloballen einführen mit Hecklader und Traktor 62 kW Nennleistung.....	84
Abb. A42: Strassenfahrt, schwere Transporte mit Traktor 50 kW Nennleistung	85
Abb. A43: Strassenfahrt, leichte Transporte mit Traktor 50 kW Nennleistung.....	86
Abb. A44: Strassenfahrt, schwere Transporte mit Traktor 62 kW Nennleistung	87
Abb. A45: Strassenfahrt, schwere Transporte mit Traktor 78 kW Nennleistung	88
Abb. A46: Heu pressen, ab Stock, kleine Quaderballen, mit Traktor 50 kW Nennleistung	89
Abb. A47: Betrieb eines Futtermischwagens mit Traktor 50 kW Nennleistung	90
Abb. A48: Betrieb eines Futtermischwagens mit Traktor 62 kW Nennleistung.....	91
Abb. A49: Hof- und Restarbeiten mit Traktor 50 kW Nennleistung	92

Fachausdrücke

Betriebspunkt:

Für eine bestimmte landwirtschaftliche Arbeit in einem bestimmten Moment erforderliche Drehzahl und Leistung des Traktormotors.

Lastkollektiv, Lastspektrum:

Darstellung der Zeitanteile der verschiedenen Betriebspunkte, das heisst verschiedenen Drehzahlen und Leistungen, in denen ein Traktormotor während der Ausführung einer bestimmten landwirtschaftlichen Arbeit läuft. Dies geschieht mittels Zuteilung der verschiedenen Drehzahlen und Leistungen in vorher definierte Klassen mit einer bestimmten Klassenbreite. Anzahl Klassen und Klassenbreite sind in einem bestimmten Bereich willkürlich und beeinflussen das spätere Ergebnis nur unwesentlich. Mehr Klassen und kleinere Klassenbreite ergeben lediglich eine feinere Auflösung, jedoch entsprechend mehr Aufwand. Es muss hier ein vernünftiges Optimum gefunden werden. Die Zuteilung von Werten zu bestimmten Klassen kann in MICROSOFT EXCEL mit dem Befehl „Pivot-Tabelle“ effizient durchgeführt werden.

„Virtueller“ Traktor:

Als Modellvorstellung repräsentiert der „virtuelle“ Traktor mit statistisch hinreichender Genauigkeit das Verbrauchs- und Abgasverhalten der Gesamtheit aller gemessenen realen Traktoren. Der „virtuelle“ Traktor ist physisch nicht vorhanden.

Abgaskomponenten:

Unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC)
Stickoxide (NO_x)
Kohlenmonoxid (CO)
Kohlendioxid (CO₂)
Partikel (PM)

Planzeiten:

Planzeiten sind Soll-Zeiten für bestimmte Arbeiten oder Arbeitsabschnitte, deren Ablauf mit Hilfe von Einflussgrößen beschrieben ist. Man versteht darunter ermittelte Zeiten für wiederkehrende Abläufe.

1. Zusammenfassung

Die Forderung nach Verbrauchs- und Emissionsreduktion beim Traktoreinsatz in Feld und Hof wird aus mehreren Gründen zunehmend thematisiert. Zum einen steigen die Kosten für Schmier- und Treibstoffe; diese machen auf Betriebsebene auf die Sachkosten des Pflanzenbaus bezogen heute immerhin knapp 20 % oder etwa 120 Franken pro Hektare landwirtschaftlicher Nutzfläche aus. Zum andern gilt bezüglich der Emissionen das Kyoto-Protokoll, das eine acht prozentige Reduktion der CO₂-Menge aus Treibstoffen fordert. Und schliesslich stellt sich auch im Interesse der Gesundheit der Bevölkerung und insbesondere des Maschinenführers die Aufgabe, die Emissionen und damit primär den Treibstoffverbrauch zu reduzieren. Unter den verschiedenen Möglichkeiten, der Forderung nach Verbrauchs- und Emissionsreduktion nachzukommen, scheint die Optimierung der Verfahren und Arbeitsorganisation erfolgversprechend und effektiv zu sein. Voraussetzung für Untersuchungen in dieser Richtung ist die Kenntnis der Verbrauchs- und Emissionswerte der verschiedenen Verfahren und Arbeiten bei den realen Einsätzen, um am richtigen Ort ansetzen zu können.

In diesem Bericht wird ein Katalog mit den detaillierten Verbrauchs- und Emissionsfaktoren für einzelne Verfahrensschritte bzw. verschiedene landwirtschaftliche Arbeiten mit Traktoren unterschiedlicher Leistungsklassen bezogen auf die bestellte Fläche vorgestellt.

Für die Bestimmung der flächenbezogenen Verbrauchs- und Emissionsfaktoren wurden die Lastkollektive von 49 verschiedenen Arbeiten auf dem Feld mit drei Traktoren unterschiedlicher Leistungsklasse gemessen. Aus den Lastkollektiven errechnet sich für die entsprechende Arbeit einerseits die mittlere Leistung, andererseits der mittlere Treibstoffverbrauch pro Stunde. Aus der umfangreichen Datenbank von Emissionsmessungen an Traktormotoren auf dem Prüfstand wurde ein Modell entwickelt, das für die drei Abgaskomponenten Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC) und Stickoxide (NO_x) je ein allgemein gültiges Kennfeld in dreidimensionaler Darstellung als Fläche über den Diagrammachsen Drehzahl und Leistung berechnet. Wendet man diese Abgasmodelle auf die Lastkollektive an, ergeben sich daraus die Emissionsmengen in Gramm pro Stunde, bzw. auf die mittlere Leistung bezogen in [g/kWh]. Mit den arbeitswirtschaftlich erhobenen Planzeiten werden letztlich die zeitbezogenen Verbrauchs- und Emissionsfaktoren in flächenbezogene umgerechnet.

Anhand der hier erhobenen und errechneten Daten kann für jede landwirtschaftliche Arbeit die entsprechend angepasste Motorisierung abgeleitet werden. Das heisst, dass der Motor für eine bestimmte Tätigkeit möglichst lange im optimalen Bereich von zirka 70 % Drehzahl und Leistung arbeiten sollte. Wird ein zu grosser Traktor gewählt, arbeitet der Motor in einem ungünstigen Betriebspunkt, was hohen Verbrauch und hohe Emissionen mit sich bringt. Der Einsatz einer angepassten Mechanisierung und das Fahren mit einer Drehzahl von zirka 70 % reduziert nicht nur den Treibstoffverbrauch und die Emissionen, sondern spart auch Investitions- und Unterhaltskosten.

Die vorliegende Arbeit liefert die Grundlagen, dass bei der Mechanisierung der landwirtschaftlichen Arbeiten vermehrt auf einen sparsamen, rationellen und sinnvollen Einsatz der traditionellen Energieträger geachtet werden kann.

2. Einführung

Auf Betriebsebene tragen die Kosten für Schmier- und Treibstoffe lediglich rund 2 % zu den gesamten Sachkosten eines durchschnittlichen Landwirtschaftsbetriebes bei. Auf die Sachkosten des Pflanzenbaus bezogen, machen diese Betriebsstoffkosten knapp 20 % aus (Hausheer 2004). Umgerechnet auf eine Hektare landwirtschaftlicher Nutzfläche ergibt dies Kosten von etwa 120 Franken. Wie im FAT/INFRAS-Projekt über nachhaltige Landschaftsproduktionssysteme im Berggebiet gezeigt wird, können bei Betrieben mit langen Transportwegen die Treibstoffkosten deutlich höher sein. Dennoch sind die Kosten allein in der Regel noch nicht Grund genug, sich vertieft mit Treibstoffeinsparmöglichkeiten zu befassen.

Der jährliche Treibstoffverbrauch der landwirtschaftlichen Motorfahrzeuge in der Schweiz liegt bei 178 Mio. Liter Dieseltreibstoff und 27 Mio. Liter Benzin, was etwa 5 % des schweizerischen Treibstoff-Energieverbrauchs entspricht (Hersener und Meier 2001). Bei der Verbrennung dieser fossilen Treibstoffe entsteht ausser der erwünschten technisch nutzbaren Wärme gemäss der Verbrennungsgleichung zwangsläufig auch CO₂ (Kohlendioxid). Das Kyoto-Protokoll verlangt bis 2010 eine Reduktion der CO₂-Menge aus Treibstoffen von 8 % gegenüber 1990. Das bedeutet, dass eine gleich grosse Reduktion des Treibstoffverbrauchs gefordert ist.

Bei einer unvollständigen Verbrennung - das ist eine motorische Verbrennung immer - gibt es aber auch weitere Emissionen, zum Beispiel die sog. (gesetzlich) limitierten Emissionen Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC) und Stickoxide (NO_x) und in geringerer Masse unlimitierte Emissionen wie VOC (volatile organic compounds, zum Beispiel Aldehyde, Benzol) und PAK (Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe). Vor allem bei Dieselmotoren ist auch die Emission von Partikeln und Feinpartikeln problematisch. Im Interesse der Umwelt, der Gesundheit der Bevölkerung und insbesondere auch des Maschinenführers stellt sich auch von dieser Seite die Aufgabe, die Emissionen und damit primär den Treibstoffverbrauch zu reduzieren.

Die Emissionen von Luftschadstoffen aus Traktoren und anderen Maschinen der Landwirtschaft (zum Beispiel Mähdrescher und andere selbstfahrende Arbeitsmaschinen) sind trotz teilweise geringer Anzahl und kurzen Betriebszeiten nicht vernachlässigbar. Diverse Studien (zum Beispiel BUWAL 1996 und Lambrecht et al. 2004) haben gezeigt, dass die Landwirtschaft einen relevanten Anteil zu den Emissionen des Verkehrs beisteuert. Beispielsweise stammen etwa 10 % der verkehrsbedingten Stickoxidemissionen und 25 % der Partikelemissionen von landwirtschaftlichen Maschinen.

Unter den verschiedenen Möglichkeiten, der Forderung nach Verbrauchs- und Emissionsreduktion nachzukommen, scheint die Optimierung der Verfahren und Arbeitsorganisation erfolgversprechend und effektiv zu sein, was sich mit Sicherheit auch finanziell positiv auswirkt. Die entsprechenden ökologischen Untersuchungen und Beurteilungen erfolgen aufgrund von Energie- und Ökobilanzen. Voraussetzung für die Erstellung solcher Bilanzen ist, die Verbrauchs- und Emissionswerte der verschiedenen Verfahren und Arbeiten bei den realen Einsätzen zu kennen, um am richtigen Ort ansetzen zu können.

Ziel des Projektes war deshalb, einen Katalog mit den detaillierten Verbrauchs- und Emissionsfaktoren zu erstellen

- für einzelne Verfahrensschritte der Innen- und Außenwirtschaft
- mit Traktoren unterschiedlicher Leistungsklassen
- bezogen auf die bestellte Fläche.

3. Methodischer Ansatz

In diesem Bericht werden die Emissionen von HC, NO_x und CO untersucht. Die CO₂-Emissionen sind dem Treibstoffverbrauch proportional und hängen nicht vom Motor oder Traktor ab. Eine separate Darstellung erübrigt sich daher. Die Emission von Partikeln ist zwar wichtig, doch ist die Messung sehr aufwändig. Daher musste auf ihre Erfassung verzichtet werden.

Die Bestimmung der flächenbezogenen Verbrauchs- und Emissionsfaktoren beruht auf der Grundlage der folgenden drei Elementen, die alle bei Agroscope FAT gemessen wurden.

- Aufnahme der Lastkollektive von verschiedenen Arbeiten auf dem Feld mit drei Traktoren unterschiedlicher Leistungsklasse. Die Lastkollektive zeigen die Zeitanteile für jeden Betriebspunkt (Drehzahl/Leistung) bei der Ausführung einer bestimmten Arbeit.
- Bestimmen eines Abgasmodells aus den Traktormessungen auf dem Prüfstand. Aus der umfangreichen Datenbank von Emissionsmessungen an Traktormotoren wurde ein Modell entwickelt, das für die drei Abgaskomponenten ein allgemein gültiges Kennfeld über der Drehzahl und Leistung darstellt.
- Messen und Berechnen von Planzeiten für die jeweiligen Arbeiten. Die Arbeitswirtschaft kalkuliert aufgrund von Zeitmessungen den Zeitbedarf (Arbeitskraftstunden und Maschinenstunden) für bestimmte Arbeitsabschnitte.

Aus den Lastkollektiven errechnet sich für die entsprechende Arbeit einerseits die mittlere Leistung, andererseits der mittlere Treibstoffverbrauch pro Stunde. Wendet man die Abgasmodelle auf die Lastkollektive an, ergeben sich daraus die Emissionsmengen in Gramm pro Stunde, bzw. auf die mittlere Leistung bezogen in [g/kWh]. Mit den Planzeiten werden letztlich die zeitbezogenen Verbrauchs- und Emissionsfaktoren in flächenbezogene umgerechnet.

4. Aufnahme der Lastspektren auf dem Feld

Treibstoffverbrauch und Emissionen der Traktormotoren werden üblicherweise auf dem Prüfstand in festgelegten Lastpunkten oder nach einem definierten Lastzyklus gemessen. Solche Messungen sind reproduzierbar und die Ergebnisse verschiedener Traktoren untereinander vergleichbar. Es lassen sich daraus jedoch keine Aussagen über den realen Treibstoffverbrauch oder die Emissionsfaktoren beim praktischen Einsatz im Feld ableiten, denn die Kenntnisse der Motorbelastung und der effektiven Motorbetriebspunkte bei den entsprechenden Arbeiten sind ungenau.

Deshalb wurden in diesem Projekt die Lastspektren von verschiedenen Arbeiten real im Feld gemessen. Zu diesem Zweck wurden drei Traktoren unterschiedlicher Leistungsklassen des Versuchsbetriebs der FAT mit Geräten für die Messung von Treibstoffverbrauch (Abb. 1) und Motordrehzahl ausgerüstet. Ein elektronischer Datenlogger registrierte die Messwerte zusammen mit Datum und Uhrzeit exakt alle zehn Sekunden. Start, Unterbruch und Beendigung der Datenaufnahme wurden über den Schmieröldruck des Motors gesteuert. Der Traktorfahrer bemerkte von der Datenerhebung nichts und diese beeinflusste sein Verhalten deshalb auch nicht. Die Art der Arbeit und weitere Einzelheiten zur Identifikation der Datensätze erfolgten vom Versuchsleiter mit handschriftlichen, tagebuchartigen Aufzeichnungen. Anfängliche Versuche, Teiltätigkeiten mit Hilfe eines vom Fahrer zu betätigenden Code-Schalters auseinander zu halten, waren nicht praktikabel. Unmittelbar nach beendeter Aufnahme wurden die Messdaten zur Weiterverarbeitung in EXCEL-Tabellen eingelesen. Der Versuchsleiter überprüfte den Datensatz visuell und beseitigte fehlerhafte Messdaten, wie sie jeweils beim Anlassen und Abstellen des Motors entstehen.

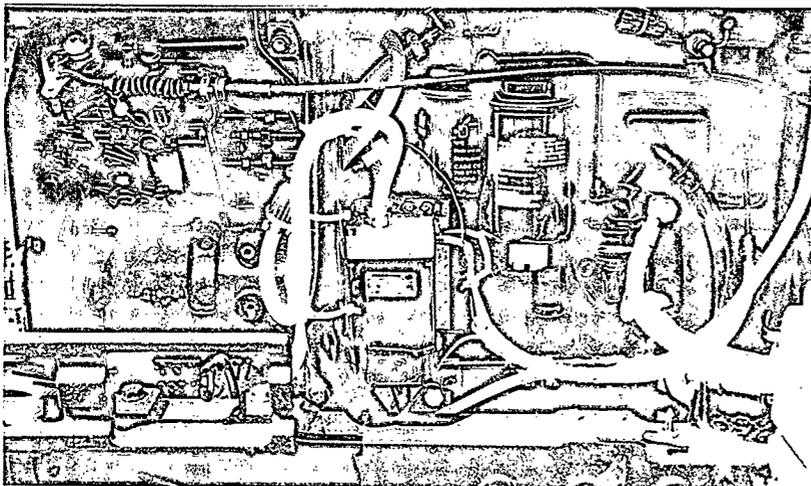


Abb. 1: Der Treibstoffverbrauch wird mit einem am Motor angebautem Gerät kontinuierlich gemessen und im Datenlogger alle zehn Sekunden aufgezeichnet.

Verwendete Traktoren:

Für die Aufnahme der Lastspektren verwendete Traktoren, ausgerüstet mit Messgeräten für Motordrehzahl, Treibstoffverbrauch und Datalogger mit zehn Sekunden Messintervall:

Steyr M 975, Allradantrieb

Gewicht 3,1 t

Verbrauch bei Nennleistung 13,0 kg/h (15,7 L/h)

Nennleistung: 50 kW (68 PS)

Nenn Drehzahl: 2300 U/min

Hürlimann H 488 DT, Allradantrieb

Gewicht 3,5 t

Verbrauch bei Nennleistung 15,8 kg/h (19,1 L/h)

Nennleistung: 62 kW (84 PS)

Nenn Drehzahl: 2500 U/min

CASE IH 5140 A, Allradantrieb

Gewicht 5,3 t

Verbrauch bei Nennleistung 19,4 kg/h (23,5 L/h)

Nennleistung: 78 kW (106 PS)

Nenn Drehzahl: 2200 U/min

Der nächste Schritt war die Generierung von Pivot-Tabellen mit den drei Achsen Drehzahl-Klasse, Verbrauchs-Klasse und Zeitanteil (Anhang, Abb. A1 bis A49). Diese Art der Zusammenfassung und Darstellung der grossen Menge von Messdaten nennt man Lastspektrum oder Lastkollektiv. Die Klassenbreite wurde so festgelegt, dass sich eine übersichtliche, aussagekräftige Darstellung ergibt. Etwas kleinere oder grössere Klassenbreiten haben auf das spätere Ergebnis keinen nennenswerten Einfluss. Da die Messungen exakt alle zehn Sekunden erfolgten, ergibt die sich in einer Klasse befindende Anzahl Messwerte direkt den Zeitanteil der Klasse. Die Zuteilung von Werten zu bestimmten Klassen ist in MICROSOFT EXCEL unter dem Befehl „Pivot-Tabelle“ zu finden. Die dreidimensionale, grafische Darstellung der Pivot-Tabelle mittels Balkendiagrammen gibt einen guten, visuellen Eindruck der zeitlichen Dauer von unterschiedlichen Belastungen des Traktormotors bei der Ausführung einer bestimmten landwirtschaftlichen Arbeit.

Das Lastspektrum einer Arbeit enthält folgende Teil-Tätigkeiten:

- Traktor aus Garage fahren
- Arbeitsgerät montieren
- Aufs Feld fahren
- Arbeit ausführen
- Zurück fahren
- Arbeitsgerät abmontieren
- Traktor in die Garage fahren

Die 49 verschiedenen Arbeiten, für die Daten in dieser Weise gemessen wurden, sind in Tab. 1 aufgelistet und beschrieben.

Tab. 1: Beschreibung der untersuchten Arbeiten

Abb.	Arbeit	Beschreibung (Arbeitsbreite, Gewicht, Grösse, Geschwindigkeit)	Traktor	Leistung kW
Ackerbau				
A1	Dünger streuen, pneumatisch	RAUCH AERO 2215, Arbeitsbreite 15 m	STEYR M 975	50
A2	Eggen mit Kultivator	Arbeitsbreite 2.8 m	Hürlimann H 488 DT	62
A3	Eggen, Säen, Walzen (Kombination)	vorn Packerwalze, hinten zapfwellengetriebene Kreiselegge und pneumat. Sämaschine; Arbeitsbreite 3 m	CASE IH 5140 A	78
A4	Eggen und Walzen (Kombination)	vorn Packerwalze, hinten zapfwellengetriebene Kreiselegge (Kverneland 18 300); Arbeitsbreite 3 m	Hürlimann H 488 DT	62
A5	Hacken und Häufeln, 4-reihig	Sternhackgerät HARUWY; Arbeitsbreite 3.1 m	STEYR M 975	50
A6	Kartoffeln pflanzen, 4-reihig	Kartoffelsetzmaschine	STEYR M 975	50
A7	Kartoffeln ernten, 1-reihig	Vollernter (Sammelroder)	STEYR M 975	50
A8	Mais häckseln, 2-reihig	Häcksler Pöttinger MEXPROFI-K	Hürlimann H 488 DT	62
A9	Pflügen, 2-scharig	Zweischarpflug, schwerer Boden	Hürlimann H 488 DT	62
A10	Pflügen, 4-scharig	Vierscharpflug	CASE IH 5140 A	78
A11	Grubbern	MF-Grubber; Arbeitsbreite 2.5 m	CASE IH 5140 A	78
A12	Mais säen und walzen, 4-reihig	ACCORD OPTIMA, Einzelkornsämaschine; Arbeitsbreite 3 m	STEYR M 975	50
A13	Einzelkorn säen, 6-reihig	ACCORD OPTIMA; Zuckerrüben und Ackerbohnen; Arbeitsbreite 2.25 m	STEYR M 975	50
A14	Spritzen	Fischer AGRI 3000 mit 800 L-Tank; Arbeitsbreite 15 m	STEYR M 975	50
Fütterbau				
A15	Gras mähen, laden und einführen	3m-Frontmäherwerk, laden mit Erntewagen, abladen im Stall	Hürlimann H 488 DT	62
A16	Gras mähen	2m-Kreiselmäher hinten, DEUTZ-FAHR KM24CR	STEYR M 975	50
A17	Gras mähen und aufbereiten	3m-Frontkreiselmäher und Heckaufbereiter	Hürlimann H 488 DT	62
A18	Gras zetzen (5 m; 50 kW)	5m-Kreiselheuer DEUTZ-FAHR KH 2.52, H.-S.	STEYR M 975	50
A19	Gras zetzen (7.85 m; 50 kW)	7.85m-Kreiselheuer NIEMEYER 785-DH	STEYR M 975	50
A20	Gras zetzen (7.85 m; 62 kW)	7.85m-Kreiselheuer NIEMEYER 785-DH	Hürlimann H 488 DT	62
A21	Gras schwaden (3 m)	Kreiselschwader 3 m	STEYR M 975	50
A22	Gras schwaden (6 m)	Kreiselschwader 6 m	STEYR M 975	50
A23	Heu laden und einführen (62 kW)	Ladewagen Pöttinger Ladeprofil II	Hürlimann H 488 DT	62
A24	Heu laden und einführen (50 kW)	Ladewagen Pöttinger Ladeprofil II	STEYR M 975	50
A25	Siloballen pressen	ORKEL GP 1250, ohne wickeln; Ballen 750kg, 1.35m Dm, 1.25m hoch	STEYR M 975	50
A26	Rundballen pressen (62 kW)	WELGER RP 200, Ballen 700kg, 1.3m Dm, 1.2m hoch	Hürlimann H 488 DT	62
A27	Rundballen pressen (78 kW)	WELGER RP 200, Ballen 700kg, 1.3m Dm, 1.2m hoch	CASE IH 5140 A	78
A28	Walzen	CAMBRIDGE-Walze; Arbeitsbreite 5m	STEYR M 975	50
Transporte				
A29	Gülle ausbringen (5 m; 50 kW)	Druckfass ALTHAUS 5 m, Ausbringmenge 30 m ³ /ha	STEYR M 975	50
A30	Gülle ausbringen (6.5 m; 50 kW)	Druckfass BAUER, 6.5 m, Ausbringmenge 30 m ³ /ha	STEYR M 975	50
A31	Gülle ausbringen (6.5 m; 62 kW)	Druckfass BAUER, 6.5 m, Ausbringmenge 30 m ³ /ha	Hürlimann H 488 DT	62
A32	Gülle ausbringen (6.5 m; 78 kW)	Druckfass BAUER, 6.5 m, Ausbringmenge 30 m ³ /ha	CASE IH 5140 A	78
A33	Mist laden mit Mistkran	Hydraulikantrieb für Kran mit Traktorsparzapfwelle	STEYR M 975	50
A34	Mist führen und zetzen (50 kW)	Mistzetter 3.2t, Mistladung 2.2t; Ausbringmenge 25 t/ha	STEYR M 975	50
A35	Mist führen und zetzen (62 kW)	Mistzetter 3.2t, Mistladung 2.2t; Ausbringmenge 25 t/ha	Hürlimann H 488 DT	62
A36	Mist führen und zetzen (78 kW)	Mistzetter 3.2t, Mistladung 2.2t; Ausbringmenge 25 t/ha	CASE IH 5140 A	78
A37	Silage auf Fahrsilo führen	Silage aufladen, transportieren, auf Fahrsilo einführen	Hürlimann H 488 DT	62
A38	Silomais einführen (4.7 t Häcksel; 50 kW)	Transportwagen + Traktor 7.0t, Silage 4.7t (Häcksel)	STEYR M 975	50
A39	Silomais einführen (3.3 t Häcksel; 78 kW)	Transportwagen + Traktor 9.1t, Silage 3.3t (Häcksel)	CASE IH 5140 A	78
A40	Siloballen mit Zange transportieren	inkl. an- u. abkuppeln der Ballenzange	STEYR M 975	50
A41	Siloballen mit Hecklader transportieren	inkl. an- u. abkuppeln der Ballenzange	Hürlimann H 488 DT	62
Strassen Transporte, Hof- und Restarbeiten				
A42	Strassenfahrt, schwerer Transport (15 km/h)	Anhänger beladen 12.0t, Traktor 3.1t; Transportgeschwindigkeit ca. 15 km/h	STEYR M 975	50
A43	Strassenfahrt, leichter Transport (18 km/h)	Transportgeschwindigkeit ca. 18 km/h	STEYR M 975	50
A44	Strassenfahrt, schwerer Transport (18 km/h)	2 Anhänger beladen (Rübenschnitzel) 19.5t, Traktor 3.5t; Transportgeschwindigkeit ca. 18 km/h	Hürlimann H 488 DT	62
A45	Strassenfahrt, schwerer Transport (22 km/h)	Anhänger beladen 12.0t, Traktor 5.3t; Transportgeschwindigkeit ca. 22 km/h	CASE IH 5140 A	78
A46	kleine Heuballen pressen, stationär	ab Stock, Pressenantrieb mit Traktorzapfwelle	STEYR M 975	50
A47	Futtermischwagen (50 kW)	MARMIX SUPER UNI	STEYR M 975	50
A48	Futtermischwagen (62 kW)	Gilioli Unifeed Dessimix 90	Hürlimann H 488 DT	62
A49	Hof- und Restarbeiten	Weg abranden, Zaunen, kurze leichte Transporte, usw.	STEYR M 975	50

5. Prüfstandmessungen und Abgasmodell

Seit 1994 werden auf dem Motorenprüfstand der FAT bei den jährlichen Traktortests neben den Leistungs- und Verbrauchsdaten auch die Abgaskomponenten HC (unverbrannte Kohlenwasserstoffe), NOx (Stickoxide) und CO (Kohlenmonoxid) gemessen (Abb. 2). Jeder dieser Traktoren wurde nach den zwei verschiedenen Testzyklen, dem ISO 8178-4 C1 8-Stufen-Test (Abb. 3) und dem FAT-internen 6-Stufen-Test (Abb. 4), gemessen. Der FAT-Test repräsentiert die tatsächlichen Arbeitspunkte des Motors beim praktischen Einsatz in der schweizerischen Landwirtschaft besser. Pro Traktor ergeben sich so 14 verschiedene Messpunkte, jeweils für die Abgaskomponenten HC, NOx und CO. Zudem sind sämtliche Leistungs- und Verbrauchsdaten verfügbar.

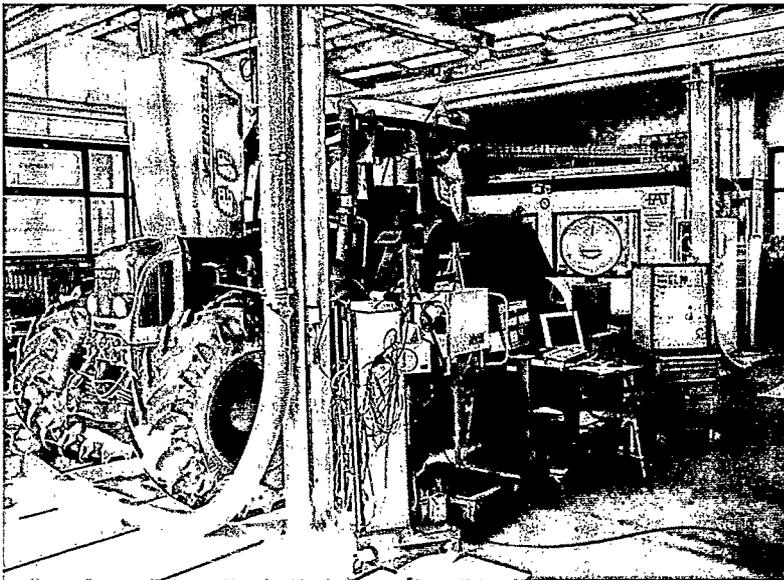


Abb. 2: Auf dem Traktorprüfstand der FAT werden neben den Leistungs- und Verbrauchsdaten auch die gesetzlich limitierten Abgaskomponenten CO (Kohlenmonoxid), HC (unverbrannte Kohlenwasserstoffe) und NOx (Stickoxide) gemessen.

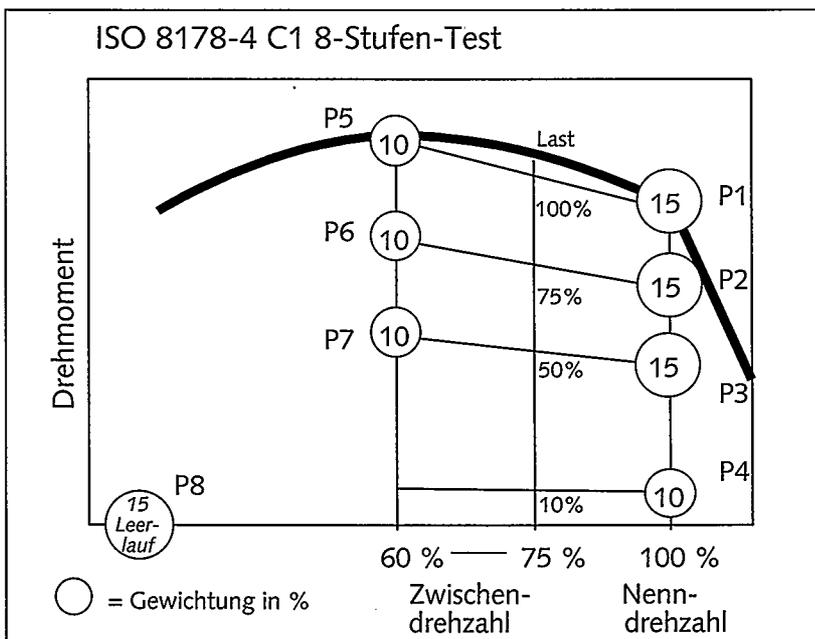


Abb. 3: Messpunkte und deren Gewichtung nach ISO 8178-4 C1

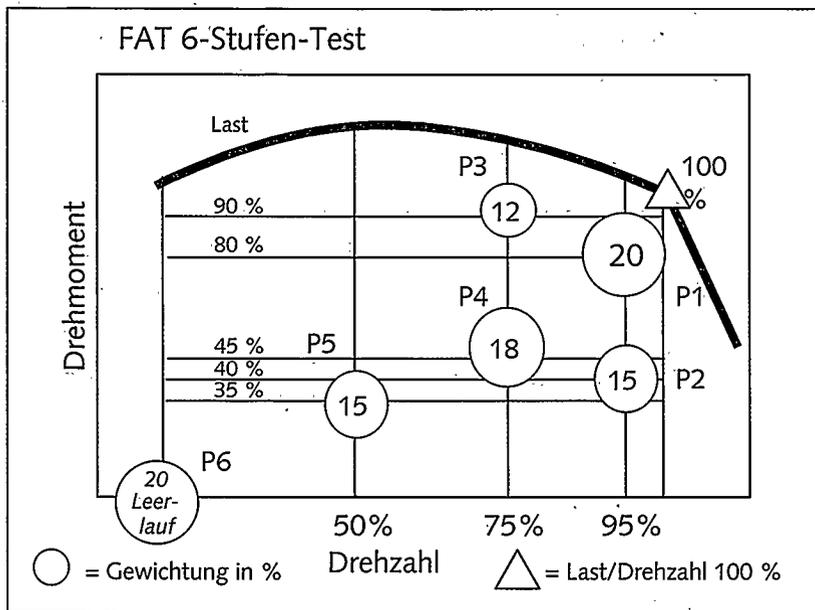


Abb. 4: Messpunkte und deren Gewichtung nach dem FAT 6-Stufen-Test

5.1 Statistische Betrachtungen

Ziel ist es, aus der grossen Menge von Messdaten der jährlichen Traktortests ein allgemein gültiges Abgasmodell zu entwickeln. Dazu wurden die Abgasmesswerte mittels statistischer Methoden untersucht. Es mussten Werte gefunden werden, die vom einzelnen Traktor unabhängig sind und kleine Standardabweichungen und Standardfehler aufweisen. Das konnte weitgehend erreicht werden, indem die ursprünglichen Abgasmesswerte der einzelnen Traktoren, die in Gramm pro Stunde erscheinen, auf ein Kilogramm pro Stunde verbrauchten Treibstoffes bezogen wurden. Durch diesen Bezug der Messwerte auf ein Kilogramm verbrauchten Treibstoff pro Stunde konnte die Traktorgrösse eliminiert werden.

Statistische Begriffe:

Mittelwert der Messwerte:

$$\bar{X} = 1/n \cdot \sum_{i=1}^n X_i$$

Standardabweichung der Messwerte:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Standardfehler der Messwerte (= Standardabweichung des Mittelwertes):

$$StdF = \pm S / \sqrt{n}$$

Diese transformierten Messpunkte (Abb. 5 bis 10) zeigen meistens erstaunlich kleine Standardabweichungen und Standardfehler, obwohl 30 (29 beim FAT 6-Stufen-Test) ganz unterschiedliche Traktoren aus den Messungen der Jahre 2000 und 2001 untersucht wurden. Dieses Ergebnis war nicht ohne weiteres von vorn herein zu erwarten. Eine Ausnahme bildet der Volllast-

punkt P5 beim ISO 8178-4 C1 Test von CO (Abb. 9). Bei Volllast neigt der Dieselmotor systembedingt zu unvollständiger Verbrennung des Treibstoffes und damit zu starken Russ- und CO-Emissionen. Dieser Messwert hängt stark von der Reglereinstellung des einzelnen Motors ab. Schon wenige Prozent unterhalb der Volllastkurve verschwindet dieser Effekt wieder. Ebenso sind die vergleichsweise grossen Standardabweichungen und Standardfehler bei den Messpunkten 4 und 8 im ISO-Test und bei Punkt 6 im FAT-Test erklärbar. Diese Punkte sind Leerlaufpunkte, an denen keine oder nur geringe Leistung gemessen wird. Der an diesen Punkten gemessene Treibstoffverbrauch wird hauptsächlich für die Überwindung von Reibungswiderständen in Motor und Getriebe benötigt und ist entsprechend gering. Der Verbrauch im Leerlaufpunkt fällt bei der weiteren Berechnung nur wenig ins Gewicht.

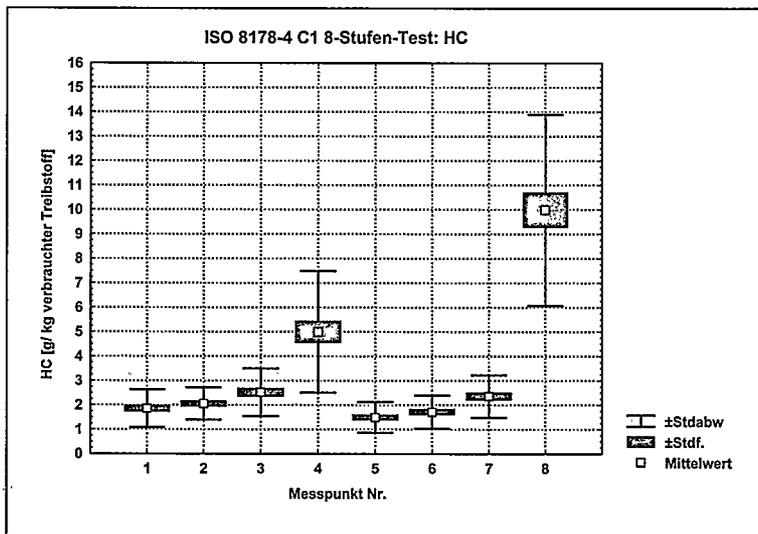


Abb. 5: Messwerte von HC nach ISO 8178-4 C1. Dargestellt sind Mittelwert, Standardfehler und Standardabweichung. Der Messpunkt 4 repräsentiert den oberen Leerlauf und der Messpunkt 8 den unteren Leerlauf.

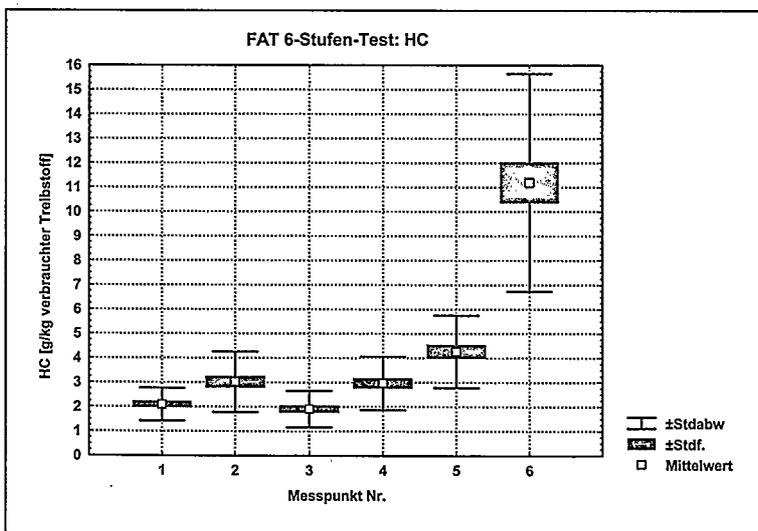


Abb. 6: Messwerte von HC nach FAT-Test. Dargestellt sind Mittelwert, Standardfehler und Standardabweichung. Der Messpunkt 6 repräsentiert den unteren Leerlauf.

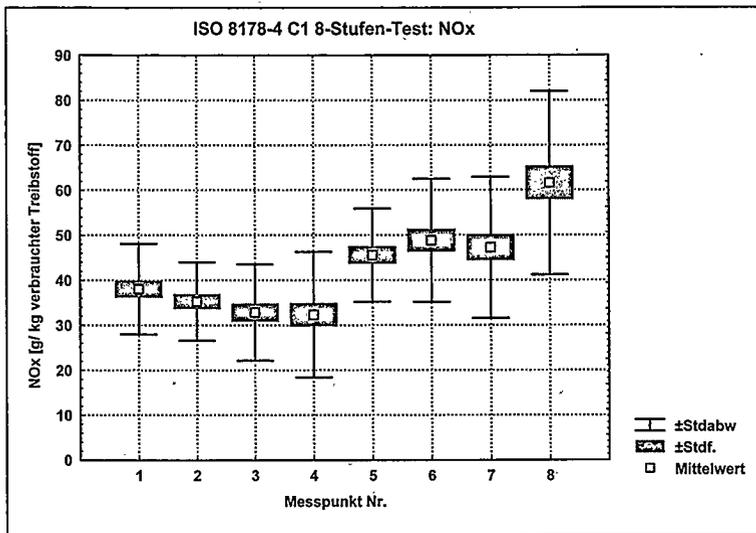


Abb. 7: Messwerte von NOx nach ISO 8178-4 C1. Dargestellt sind Mittelwert, Standardfehler und Standardabweichung.

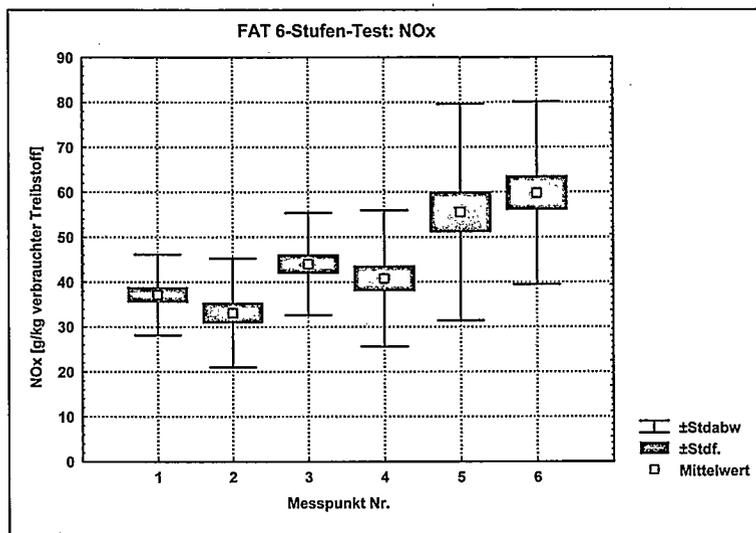


Abb. 8: Messwerte von NOx nach FAT-Test. Dargestellt sind Mittelwert, Standardfehler und Standardabweichung.

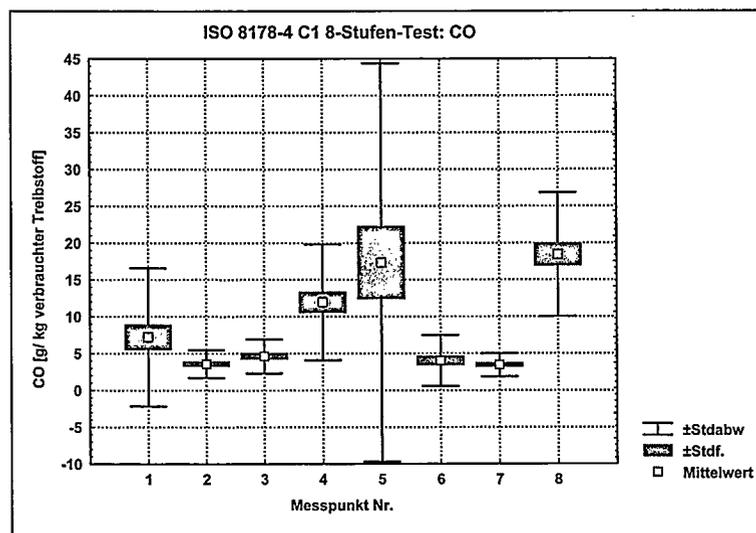


Abb. 9: Messwerte von CO nach ISO 8178-4 C1. Dargestellt sind Mittelwert, Standardfehler und Standardabweichung.

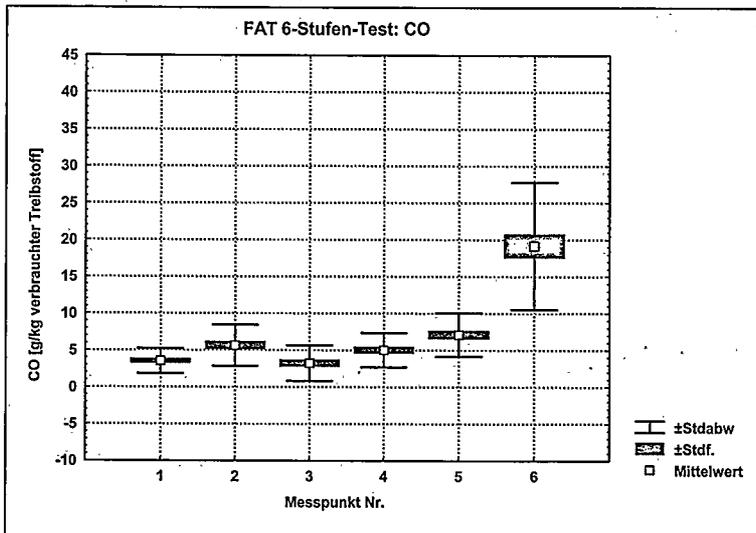


Abb. 10: Messwerte von CO nach FAT-Test. Dargestellt sind Mittelwert, Standardfehler und Standardabweichung.

Damit war der Weg frei, ein in gewissen Grenzen allgemein gültiges und von einem bestimmten Traktor unabhängiges Abgasmodell zu entwickeln.

5.2 „Virtueller“ Traktor

Bei der Berechnung einer Ökobilanz oder bei einem Verfahrenvergleich ist nicht bekannt, was für ein Traktor- und Maschinentyp in der Praxis jeweils für die Ausführung dieser bestimmten landwirtschaftlichen Arbeit verwendet wird. Dieses Problem wurde mit der Modellvorstellung eines „virtuellen“ Traktors angegangen. Mit Hilfe der vorher erwähnten statistischen Betrachtung konnte aus den Prüfstand-Messergebnissen der jährlichen Traktortests ein „virtueller“ Traktor postuliert werden (siehe auch Rinaldi M. und Stadler E., 2002). Grundlage bilden die Leistungs-, Verbrauchs- und Abgaswerte von 30 verschiedenen Traktoren der unterschiedlichsten Grössen, Typen und Hersteller, die in den Jahren 2000 und 2001 gemessen wurden. Der „virtuelle“ Traktor existiert nicht wirklich und kann somit auch nicht direkt gemessen werden. Er besitzt aber die mittleren Eigenschaften eines Teils oder aller gemessenen realen Traktoren. Die sich damit ergebenden Kenndaten des verwendeten „virtuellen“ Traktors sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tab. 2: Kenndaten des „virtuellen“ Traktors.

Hubraum	4.9	Liter
Nennleistung	76.2	kW
Nenn Drehzahl	2250	U/min

"Virtuelle" Messwerte und deren Standardabweichungen (S) nach dem ISO 8178-4 C1 Test

Punkt Nr.	Anzahl Messwerte	Drehzahl [U/min]	(S) Drehz.	Leistung [kW]	(S) Leistung	Treibstoffverb. [kg/h]	(S) Tr.verb.	HC [g/kg]	(S) HC	NOx [g/kg]	(S) NOx	CO [g/kg]	(S) CO	Wirkungsgrad [%]
P 1	30	2250.83	85.58	69.14	18.20	18.49	4.85	1.85	0.77	38.02	10.05	7.21	9.36	0.31
P 2	30	2252.07	86.84	52.13	13.53	14.81	4.02	2.05	0.66	35.29	8.71	3.58	1.88	0.30
P 3	30	2251.83	87.14	34.77	9.05	11.32	3.09	2.51	0.98	32.83	10.69	4.63	2.30	0.26
P 4	30	2251.60	87.22	6.96	1.80	6.04	1.66	4.99	2.49	32.33	13.92	11.95	7.85	0.10
P 5	30	1426.23	99.57	58.28	17.79	13.39	3.83	1.49	0.63	45.53	10.32	17.33	27.05	0.37
P 6	30	1426.10	101.35	43.85	13.32	10.34	3.03	1.72	0.68	48.80	13.67	4.03	3.45	0.36
P 7	30	1426.00	101.11	29.25	8.89	7.30	2.06	2.36	0.87	47.22	15.67	3.46	1.57	0.34
P 8	30	833.40	47.54	0.10	0.04	1.10	0.29	9.99	3.91	61.60	20.42	18.42	8.40	0.00

"Virtuelle" Messwerte und deren Standardabweichungen (S) nach dem FAT 6-Stufen-Test

Punkt Nr.	Anzahl Messwerte	Drehzahl [U/min]	(S) Drehz.	Leistung [kW]	(S) Leistung	Treibstoffverb. [kg/h]	(S) Tr.verb.	HC [g/kg]	(S) HC	NOx [g/kg]	(S) NOx	CO [g/kg]	(S) CO	Wirkungsgrad [%]
P 1	29	2136.90	82.11	52.82	14.00	14.33	3.89	2.09	0.67	37.15	9.01	3.53	1.69	0.31
P 2	29	2137.14	82.34	26.41	6.99	9.03	2.47	3.02	1.24	33.12	12.12	5.64	2.80	0.25
P 3	29	1688.59	66.11	46.96	12.43	11.39	2.98	1.91	0.74	43.99	11.35	3.24	2.42	0.35
P 4	29	1688.69	66.35	23.49	6.24	6.88	1.82	2.96	1.10	40.77	15.18	5.03	2.32	0.29
P 5	29	1126.59	45.07	12.18	3.23	3.65	0.94	4.27	1.48	55.51	24.07	7.11	2.95	0.28
P 6	29	824.97	54.67	0.10	0.04	1.08	0.28	11.19	4.46	59.77	20.31	19.16	8.63	0.00

5.3 Zusammenhang zwischen Verbrauch und Leistung

Der Zusammenhang zwischen Treibstoffverbrauch und Zapfwellenleistung ist exakt betrachtet nicht linear, weil der Wirkungsgrad des Dieselmotors in verschiedenen Betriebspunkten unterschiedlich ist. Statistisch betrachtet zeigt sich jedoch eine gute Korrelation zwischen den beiden Größen (Abb. 11).

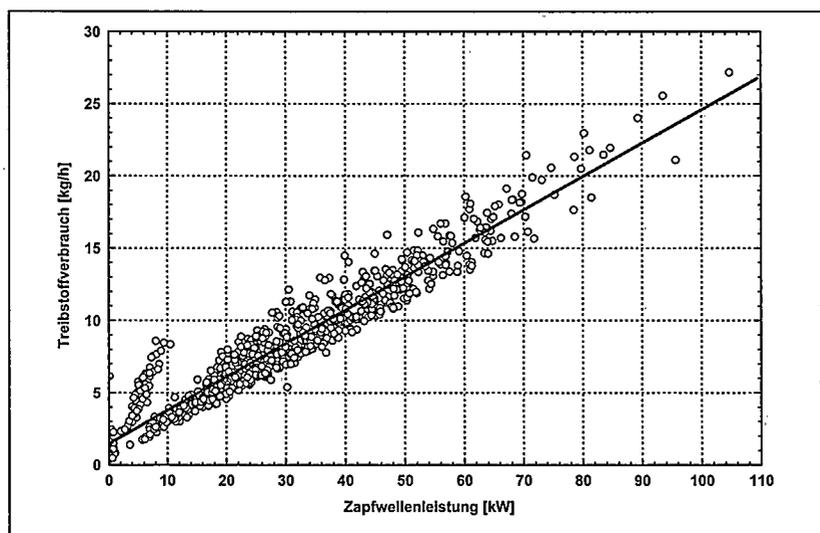


Abb. 11: Korrelation zwischen Zapfwellenleistung und Treibstoffverbrauch

Die Funktion kann mit ausreichender Genauigkeit mit folgender Formel der Regressionsgeraden beschrieben werden:

$$\text{Treibstoffverbrauch [kg/h]} = 1,5 + 0,23 \cdot \text{Zapfwellenleistung [kW]}$$

oder

$$\text{Zapfwellenleistung [kW]} = (\text{Treibstoffverbrauch [kg/h]} - 1,5) \cdot 4,348$$

Diese Formeln sind unter anderem nützlich bei der Bestimmung des Treibstoffverbrauchs eines Traktors bei Nennleistung. Sie wurden allen weiteren Berechnungen zugrunde gelegt. Abbildung 11 zeigt die grafische Veranschaulichung des Sachverhaltes. Der steil ansteigende kleine Ast nahe dem Nullpunkt resultiert aus der Messung nach ISO 8178-4 C1, Punkt 4. Bei diesem „Hohen Leerlauf“, bei dem man nur zehn Prozent des Nenndrehmoments misst, wird ein Grossteil des verbrauchten Treibstoffs für innere Motor- und Getriebe-Reibungsverluste verbraucht. Dieser Ast zeigt eindrücklich die Unwirtschaftlichkeit des Fahrens mit hoher Drehzahl und kleiner Leistung.

5.4 Regression durch die Messpunkte des „virtuellen“ Traktors

Für die Berechnungen der Verbrauchs- und Emissionsfaktoren ist es erforderlich, mathematische Funktionen durch die Messpunkte der Drehzahl, Leistung und Abgasmassen des „virtuellen“ Traktors zu legen und somit ein allgemeines Abgasmodell für den „virtuellen Traktor“ zu formulieren. Für die späteren Betrachtungen ist auch der Wirkungsgrad von Interesse, der deshalb in gleicher Weise dargestellt wird. Als Regressionsmodell wurden dreidimensional gekrümmte Flächen, mathematisch beschrieben durch quadratische Polynome, gewählt. Sie stellen je eine Funktion für HC, NO_x und CO sowie für den Wirkungsgrad des „virtuellen Traktors“ dar. Mit den so erhaltenen mathematischen Funktionen ist es möglich, zwischen den Messpunkten zu interpolieren und zusammen mit den Lastspektren die Abgasmassen für jede landwirtschaftliche Arbeit zu berechnen.

Dem Modell liegt die folgende Gleichung zugrunde:

$$Z = B_0 + B_1 \cdot X + B_2 \cdot Y + B_3 \cdot X \cdot X + B_4 \cdot X \cdot Y + B_5 \cdot Y \cdot Y$$

Es bedeuten :

B_0 bis B_5	Regressionskoeffizienten
X	Motordrehzahl in Bruchteilen der Nenndrehzahl
Y	Motorleistung in Bruchteilen der Nennleistung
Z	Abgasmasse in g/kg Treibstoffverbrauch

Die Werte von Regressionskoeffizienten und Bestimmtheitsmass finden sich in Tabelle 3. Die Funktionen für den Wirkungsgrad sowie für HC, NO_x und CO sind in den Abbildungen 12 bis 15 grafisch dargestellt.

Tab. 3: Regressionskoeffizienten und Bestimmtheitsmass für den „virtuellen“ Traktor.

Regressionskoeffizient	HC	NOx	CO	Wirkungsgrad
B ₀	22.431559	77.487555	55.923132	0.207
B ₁	-43.165023	-42.962901	-140.688147	0.202
B ₂	-11.930119	-21.451295	16.603271	0.310
B ₃	26.628439	-3.352206	102.643465	-0.362
B ₄	2.060018	22.886055	-67.596726	0.314
B ₅	6.505419	6.362376	44.544618	-0.369

Bestimmtheitsmass R	0.98	0.99	0.94
---------------------	------	------	------

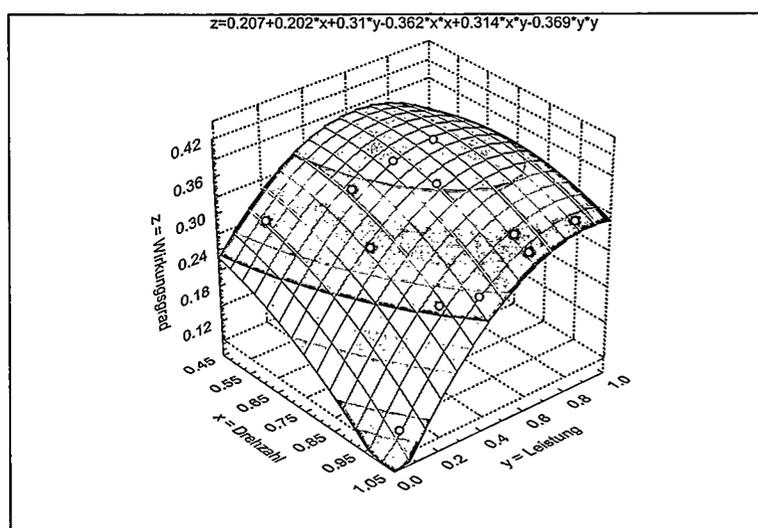


Abb. 12: Grafische Darstellung des Wirkungsgrades des „virtuellen“ Traktors. Der optimale Betriebsbereich des Dieselmotors befindet sich auf der flachen Kuppe der Fläche.

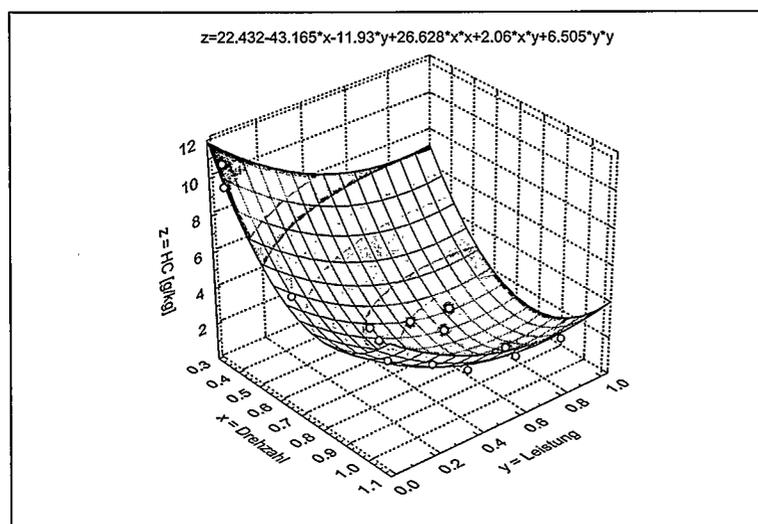


Abb. 13: Grafische Darstellung der statistischen Funktion (Regressionsfläche) für die Emission von HC (unverbrannte Kohlenwasserstoffe) in Abhängigkeit von Leistung und Drehzahl.

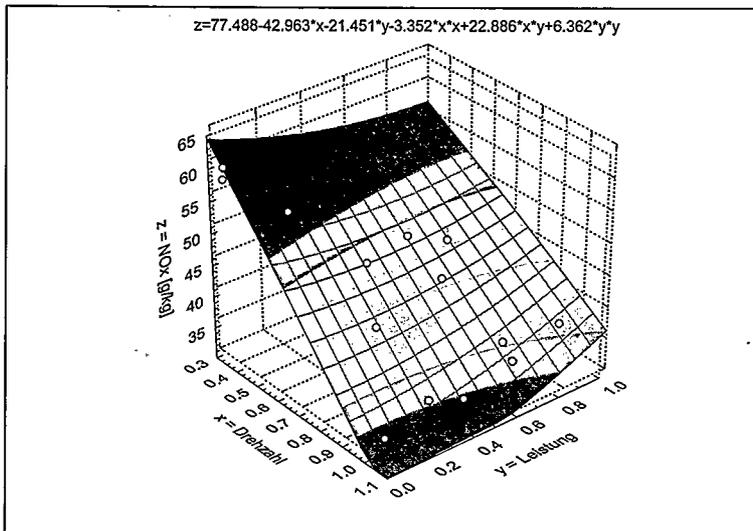


Abb. 14: Grafische Darstellung der statistischen Funktion (Regressionsfläche) für die Emission von NOx (Stickoxide) in Abhängigkeit von Leistung und Drehzahl.

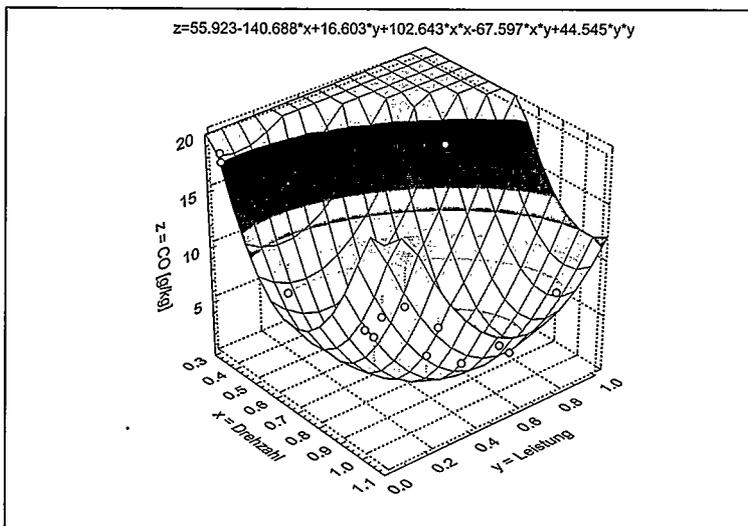


Abb. 15: Grafische Darstellung der statistischen Funktion (Regressionsfläche) für die Emission von CO (Kohlenmonoxid) in Abhängigkeit von Leistung und Drehzahl.

5.5 Berechnen der Verbrauchs- und Emissionsfaktoren

Aus den Lastspektren und dem Abgasmodell wurden für alle betrachteten Arbeiten der Treibstoffverbrauch und der Abgasausstoß pro Stunde berechnet.

Dazu wurden für alle Tabellenwerte der Abbildungen Anhang A1 bis A49 und für die drei Abgaskomponenten HC, NOx und CO mit Hilfe der jeweiligen Modelle die Abgasmassen berechnet und für jede einzelne Arbeit aufsummiert.

Mathematisch stellt sich das folgendermassen dar:

$$Z = \sum_{i=1}^n \left[(B_0 + B_1 \cdot X_i + B_2 \cdot Y_i + B_3 \cdot X_i \cdot X_i + B_4 \cdot X_i \cdot Y_i + B_5 \cdot Y_i \cdot Y_i) \cdot \frac{Y_i \cdot t_i}{t} \right]$$

$$Z_h = Fc_{\max} \cdot Z$$

B_0 bis B_5	Regressionskoeffizienten
$F_{c_{\max}}$	Dieserverbrauch [kg/h] des betrachteten Traktors bei Nennleistung
i	Index
n	Anzahl Werte in der Pivot Tabelle
X	Motordrehzahl in Bruchteilen der Nenndrehzahl
Y	Motorleistung in Bruchteilen der Nennleistung
t	Messdauer
t_i	Zeitanteil der Messdauer
Z	Abgasmasse bei Verbrauch von 1 kg Dieselöl bei Nennleistung [g/kg]
Z_h	Abgasmasse [g/h] für einen bestimmten Traktor

Treibstoffverbrauch und Abgasemissionen pro Stunde sind wichtige Ergebnisse. Die Haupt-Bezugsgrösse in der Landwirtschaft ist jedoch die bearbeitete Fläche in Hektaren. Zur Umrechnung können die Plan- oder Vorgabezeiten für die Flächenleistungen pro Stunde verwendet werden.

6. Planzeiten und ihre Herkunft

6.1 Was sind Planzeiten?

Die Planzeit ist ein kalkulierter Sollwert für den Zeitbedarf eines bestimmten Arbeitsabschnitts (Arbeitselement, Arbeitsverfahren, Produktionsverfahren, usw.), der mit Hilfe von Einflussgrößen beschrieben werden kann. Als Beispiel beträgt die Planzeit für das Pflügen eines Feldes mit einer Hektare Fläche 2,9 Stunden. Dieser Wert trifft zu, wenn mit einem 3-Scharpflug (Arbeitsbreite 1,05 m, Fahrgeschwindigkeit 5,5 km/h) gepflügt wird, das Feld 1 km vom Hof entfernt ist und alle Rüstzeiten wie Anbauen, Abbauen, Einstellen, usw. mit berücksichtigt werden (Tab. 4).

Tab. 4: Liste der Einflussgrößen am Beispiel Pflügen.

Gesetzte Werte

Entfernung Traktorstandort - Geräteschuppen (m)	20
Entfernung Hof - Feld (m)	1000
Entfernung Parzelle - Parzelle (m)	1000
Fahrt auf unbefestigter Strasse (m)	30
Parzellenlänge (m)	150
Parzellengrösse (ha)	1
Parzellenanzahl (n)	1
Parzellenform	Rechteck
Boden leicht/schwer	schwer
Anzahl Fahrten am Vorgewende (n)	2
Anzahl Schare (n)	3
Geschwindigkeit auf Teerstrasse (km/h)	18
Geschwindigkeit auf unbefestigte Strasse (km/h)	10
Geschwindigkeit beim Pflügen (km/h)	5.5
Arbeitsbreitenverstellung	manuell
Fusswege (m)	20

Berechnete Werte

Parzellenbreite (m)	67
Arbeitsbreite (m)	1.05
Fahrstrecke (m)	9598
Anzahl Wendevorgänge (n)	69

Eine Planzeit ist eine theoretische Grösse und beschreibt den Durchschnitt aller vorkommenden Arbeitsabläufe mit denselben Einflussgrößen. Der effektive Arbeitszeitbedarf in der Praxis weicht oft von dieser Planzeit ab, da einzelne Einflussgrößen einen anderen Wert aufweisen.

Mit Hilfe von Planzeiten kann der Zeitbedarf für definierte Arbeitsabläufe mit bekannten oder vorausgesetzten Einflussgrößen veranschlagt werden.

In der Landwirtschaft dienen Planzeiten

- zur Strukturplanung, um den Zeitbedarf zur Erledigung von Arbeiten, zum Beispiel für bestimmte Arbeitsverfahren (Pflügen), Produktionsverfahren (Getreide) oder ganze Betriebe abzuschätzen,
- zur Betriebsführung, um den effektiven Zeitbedarf mit Planzeiten zu vergleichen und damit Schwachstellen aufzuspüren.

In dieser Arbeit dienen Planzeiten dazu, Forschungsergebnisse unter vergleichbaren Bedingungen zu interpretieren.

6.2 Wie entstehen Planzeiten?

Zur Ermittlung einer Planzeit wird ein Arbeitsablauf in einzelne Abschnitte (Tab. 5) unterteilt. Der Umfang eines einzelnen Abschnittes wird im wesentlichen durch zwei Faktoren bestimmt. Einerseits muss er so klein sein, dass er durch Einflussgrößen genügend beschrieben werden kann, andererseits muss er gross genug sein, um mit den zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln gemessen werden zu können.

Tab. 5: Unterteilung der Arbeitsablaufabschnitte am Beispiel Pflügen mit entsprechender Bezugsmenge (BM) und Zeitbedarf (t) in Centiminuten je Bezugsmenge.

Arbeitsablauf-Abschnitt	BM [Einheit]	t pro BM [cmin]
Gehen unbelastet	m	1.70
Auf Traktor steigen und Starten	Vorgang	27.70
Traktor abstellen und absteigen	Vorgang	22.00
Auf Traktor mit laufendem Motor aufsteigen	Vorgang	8.80
Von Traktor mit laufendem Motor absteigen	Vorgang	8.80
Fahren mit Traktor auf Hofareal	m	0.60
Fahren mit Traktor auf Teerstrasse	m	0.33
Fahren mit Traktor auf Feldweg	m	0.60
Wenden mit Pflug	Vorgang	60.60
Pflügen mit Traktor und Anbaudrehpflug	m	1.09
Anbaupflug einstellen	Vorgang	291.80
Anbaupflug anbauen	Vorgang	255.00
Anbaupflug abbauen	Vorgang	120.00
Hydraulikschlauch ankuppeln	Vorgang	20.00
Hydraulikschlauch abkuppeln	Vorgang	20.00
Pflug zum Pflügen vorbereiten	Vorgang	85.00
Pflug zur Heimfahrt vorbereiten	Vorgang	12.00
Stöfungen beheben	Vorgang	1000.00
Strasse reinigen von Hand (Besen und Schaufel)	m ²	15.00
Strasse reinigen maschinell (Abschiebeschild)	m	1.10

Für diese Arbeitsablauf-Abschnitte wird in der Praxis in mehreren Wiederholungen der Zeitaufwand gemessen. Zusätzlich werden die entsprechenden Einflussgrößen erfasst. Im Fachbereich Arbeitswirtschaft von Agroscope FAT Tänikon wird die Zeit mit Handheld-PCs mit entsprechender Zeitmesssoftware in einer Genauigkeit von Hundertstelminuten gemessen (Abb. 16). Einflussgrößen werden mit Hilfe von GPS-Flächenmessgeräten, Massband, Meterstab, Federwaage, Radlastwaage, usw. gemessen.



Abb. 16: Zeitmessungen in der Praxis erfolgen mit Handheld-PC's mit entsprechender Software.

Für die weitere Verarbeitung wird die Qualität der gemessenen Daten statistisch überprüft.

Im Beispiel Pflügen entsteht als Mittelwert aus den Messungen eine Planzeit für das Arbeitselement (Arbeitsablauf-Abschnitt) „Wendevorgang mit Traktor und Anbaupflug“ von 60,6 Centiminuten. Wird das ganze Arbeitsverfahren (Arbeitsablauf) „Pflügen mit Anbaupflug“ aus den einzelnen Ablaufabschnitten wieder zusammengesetzt und mit den entsprechenden Einflussgrößen verknüpft, resultiert eine Planzeit für „Pflügen mit Anbaupflug“ von 2,9 Traktorstunden (Th) je Hektare.

Durch die Verknüpfung mehrerer Arbeitsverfahren können ganze Produktionsverfahren (zum Beispiel Getreidebau) bzw. ganze Betriebe modelliert werden.

Der Arbeitszeitbedarf für ganze Arbeitsverfahren kann in einzelne Zeitanteile unterteilt werden. Dies sind „Hauptzeiten“, „Nebenzeiten“, „Rüstzeiten“, „Wegzeiten“ und „Stör- bzw. Verlustzeiten“. Die Summe aller Zeitanteile ergibt die Gesamtarbeitszeit für ein Verfahren. Die Hauptzeit ist dabei der Zeitanteil für die eigentliche Arbeiterledigung. Beim Pflügen ist dies zum Beispiel ausschliesslich der Pflügevorgang ohne die Wendevorgänge an den Vorgehenden. Diese sind in der Nebenzeit enthalten. Die Rüstzeiten sind aufgeteilt in Rüstzeiten auf dem Hof (zum Beispiel Anhängen, Abhängen) und auf dem Feld (zum Beispiel Anbaupflug einstellen). Die Wegzeiten beschreiben die Arbeitszeiten für Fahrten bis zum Feld und zurück. Darin sind auch Fahrten auf dem Hofgelände sowie über Feldwege enthalten.

7. Ergebnisse

7.1 Aufgenommene Lastspektren

Die Abbildungen A1 bis A49 im Anhang zeigen die Lastspektren von 49 verschiedenen landwirtschaftlichen Arbeiten. Die Darstellung ist bei allen Abbildungen gleich. Unterhalb des Titels befindet sich eine Pivot-Tabelle. Darin wurden alle Messwerte der entsprechenden Arbeit nach Drehzahl und Treibstoffverbrauch klassifiziert. Die Zahlen in den Feldern sind die Klassenhäufigkeiten. Da jeder Messwert einem Zeitintervall von zehn Sekunden entspricht, ergibt sich direkt der Zeitanteil jeder Drehzahl- und Verbrauchsklasse. Wo nötig befinden sich daneben noch weitere erklärende Angaben zur jeweiligen Arbeit. In der Mitte befindet sich die grafische Darstellung der Pivot-Tabelle mit der Motordrehzahl als X-Achse, des Treibstoffverbrauchs als Y-Achse und des Zeitanteils als Z-Achse. Die Form des Lastspektrums ist sehr typisch für eine bestimmte Arbeit. Sie ist weitgehend unabhängig von der Grösse des verwendeten Traktors oder der Marke des verwendeten Arbeitsgerätes. Das Lastspektrum charakterisiert auf sehr eindrückliche und genaue Art eine bestimmte landwirtschaftliche Arbeit. Auffallend ist bei allen Spektren der hohe bis sehr hohe Leerlaufanteil. Zudem sind deutlich verschiedene Typen von Lastspektren auszumachen.

- Typ 1: Die Auslastungen scharen sich um einen Bereich, der etwa 70 % der Nennleistung und Nenndrehzahl entspricht. Dort arbeitet der Dieselmotor mit optimalem Wirkungsgrad (Abb. 12). Diese Arbeiten sind oft mittlere bis schwere Zug- und Zapfwellen-Arbeiten wie Dünger pneumatisch streuen (Abb. A1), Eggen mit Kultivator (Abb. A2), Gras mähen (Abb. A16 und A17), Gras zetzen (Abb. A19 und A20), Rundballen pressen (Abb. A26 und A27) und Mist ausführen (Abb. A35 und A36).
- Typ 2: Die Auslastungen häufen sich bei hoher Drehzahl und mittlerer bis hoher Belastung. Unter diesen Typ fallen vor allem schwere Zug- und Zapfwellen-Arbeiten wie Saatkombination (Abb. A3), Kreiselegge (Abb. A4), Mais häckseln (Abb. A8), Pflügen (Abb. A10), und Strassentransporte (Abb. A42 bis A45).
- Typ 3: Die Auslastungen verteilen sich über einen grossen Teil des Spektrums. Darunter fallen Silomais einführen (Abb. A38), Heu laden und einführen (Abb. A24), Eingrasen mit Frontmähwerk und Erntewagen (Abb. A15).
- Typ 4: Die Auslastungen konzentrieren sich auf einen eng begrenzten Drehzahl- und Leistungsbereich. Es sind dies besonders Arbeiten, die mit der Spar-Zapfwelle ausgeführt werden, wie Antrieb des Futtermischwagens (Abb. A48), Antrieb des Mistkranes (Abb. A33), Gülle mit dem Druckfass ausführen (Abb. A30), Spritzen (Abb. A14), Säen (Abb. A12 u. A13) und so weiter.
- Typ 5: Zusammengesetzte Spektren mit mehreren Schwerpunkten oder Kombinationen aus den vorigen vier Typen.

Unterhalb der Grafik sind die Ergebnisse der Messungen und Berechnungen für die entsprechende Arbeit zu finden.

7.2 Tabellen der Verbrauchs- und Emissionsfaktoren

Die Ergebnisse wurden in knappster Form in den Tabellen 6 und 7 für den weiteren Gebrauch durch interessierte Kreise zusammengefasst.

Tabelle 6 ist eine Übersicht und Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Feldaufnahmen und den Prüfstandsmessungen. In der ersten Spalte befindet sich die Nummer der zugehörigen Abbildungen A1 bis A49 im Anhang. Es folgt die Kurzbezeichnung der Arbeit (Verfahrensbeschrieb dazu siehe Tabelle 1). Spalte 3 beinhaltet die für den Versuch eingesetzte Traktorleistung. In den Spalten 4 und 5 sind die mittlere Leistung und der mittlere Verbrauch bei der entsprechenden Arbeit zu finden. Die letzten drei Spalten enthalten die errechneten Absolutwerte in g/h der Emissionen der einzelnen Arbeiten (vgl. auch Kap. 5.5 „Berechnen der Verbrauchs- und Emissionsfaktoren“).

Tabelle 7 zeigt bei der gleichen Reihenfolge der Arbeiten die verwendeten Traktorstunden pro Hektar, den Treibstoffverbrauch pro Hektar und die Absolutwerte der Emissionen in g/ha und zwar jeweils für eine Schlaggrösse von 0,5, 1,0 und 2,0 Hektar.

Tab. 6: Mittlerer Treibstoffverbrauch, mittlere Leistung und Abgaswerte verschiedener landwirtschaftlicher Arbeiten, zeitbezogen [g/h]

Abb.	Arbeit	Traktorleistung [kW]	mittlere Leistung [kW]	mittlerer Verbrauch [L/h]	Emissionen		
					HC [g/h]	NOx [g/h]	CO [g/h]
Ackerbau							
A1	Dünger streuen, pneumatisch	50	9.0	4.3	11.3	159.3	18.9
A2	Eggen mit Kultivator	62	17.2	6.6	14.5	246.7	32.5
A3	Eggen, Säen, Walzen (Kombination)	78	45.6	14.5	31.2	469.6	110.7
A4	Eggen und Walzen (Kombination)	62	33.8	11.2	16.6	388.9	77.2
A5	Hacken und Häufeln, 4-reihig	50	7.3	3.9	11.5	144.3	17.1
A6	Kartoffeln pflanzen, 4-reihig	50	0.6	2.0	7.2	75.7	9.8
A7	Kartoffeln ernten, 1-reihig	50	2.6	2.5	13.2	120.5	23.9
A8	Mais häckseln, 2-reihig	62	33.7	11.2	17.7	358.3	67.3
A9	Pflügen, 2-scharig	62	27.4	9.4	16.8	359.3	90.3
A10	Pflügen, 4-scharig	78	46.5	14.8	26.4	489.7	99.0
A11	Grubbern	78	48.9	15.4	26.8	506.9	107.7
A12	Mais säen und walzen, 4-reihig	50	6.1	3.5	9.6	130.7	11.4
A13	Einzelkorn säen, 6-reihig	50	3.9	2.9	9.9	116.6	13.9
A14	Spritzen	50	4.1	3.0	9.6	113.1	13.8
Futterbau							
A15	Gras mähen, laden und einführen	62	13.4	5.5	13.4	207.4	27.7
A16	Gras mähen	50	14.1	5.7	12.0	186.0	19.1
A17	Gras mähen und aufbereiten	62	25.2	8.8	13.6	303.7	31.3
A18	Gras zetzen (5 m; 50 kW)	50	5.8	3.4	11.1	131.9	15.5
A19	Gras zetzen (7.85 m; 50 kW)	50	11.1	4.9	10.0	170.9	12.5
A20	Gras zetzen (7.85 m; 62 kW)	62	12.0	5.2	13.4	192.0	18.8
A21	Gras schwaden (3 m)	50	6.1	3.5	11.3	132.9	16.3
A22	Gras schwaden (6 m)	50	6.4	3.6	11.5	143.3	17.5
A23	Heu laden und einführen (62 kW)	62	16.3	6.3	13.3	214.0	23.0
A24	Heu laden und einführen (50 kW)	50	10.8	4.8	12.0	165.9	20.7
A25	Siloballen pressen	50	12.9	5.4	13.0	180.6	31.9
A26	Rundballen pressen (62 kW)	62	17.9	6.8	13.7	237.3	30.1
A27	Rundballen pressen (78 kW)	78	29.9	10.1	22.3	327.1	52.3
A28	Walzen	50	8.6	4.2	10.1	154.1	13.5
Transporte							
A29	Gülle ausbringen (5 m; 50 kW)	50	8.9	4.3	11.5	156.3	26.3
A30	Gülle ausbringen (6.5 m; 50 kW)	50	10.3	4.7	12.0	174.5	25.8
A31	Gülle ausbringen (6.5 m; 62 kW)	62	10.1	4.6	13.9	175.7	22.8
A32	Gülle ausbringen (6.5 m; 78 kW)	78	25.5	8.9	23.7	332.7	68.3
A33	Mist laden mit Mistkran	50	2.0	2.4	13.9	118.2	26.1
A34	Mist führen und zetzen (50 kW)	50	13.5	5.6	11.3	203.2	24.7
A35	Mist führen und zetzen (62 kW)	62	18.1	6.9	13.7	248.6	27.3
A36	Mist führen und zetzen (78 kW)	78	22.0	7.9	21.6	276.6	47.1
A37	Silage auf Fahrsilo führen	62	10.0	4.6	12.7	171.2	23.6
A38	Silomais einführen (4.7 t Häcksel; 50 kW)	50	13.8	5.7	13.5	182.7	25.7
A39	Silomais einführen (3.3 t Häcksel; 78 kW)	78	32.8	10.9	24.1	304.5	57.2
A40	Siloballen mit Zange transportieren	50	8.6	4.2	12.0	141.6	18.4
A41	Siloballen mit Hecklader transportieren	62	14.8	5.9	14.7	200.4	22.1
Strassentransporte, Hof- und Restarbeiten							
A42	Strassenfahrt, schwerer Transport (15 km/h)	50	16.3	6.3	15.9	196.9	34.2
A43	Strassenfahrt, leichter Transport (18 km/h)	50	16.6	6.4	13.7	210.5	30.0
A44	Strassenfahrt, schwerer Transport (18 km/h)	62	19.8	7.3	14.4	238.8	35.6
A45	Strassenfahrt, schwerer Transport (22 km/h)	78	26.8	9.3	23.8	275.7	45.9
A46	kleine Heuballen pressen, stationär	50	6.5	3.6	9.2	115.6	11.7
A47	Futtermischwagen (50 kW)	50	7.4	3.9	11.7	143.7	22.6
A48	Futtermischwagen (62 kW)	62	5.7	3.4	14.1	148.5	25.9
A49	Hof- und Restarbeiten	50	4.5	3.1	10.2	114.6	18.0

Tab. 7: Traktorstunden, mittlerer Treibstoffverbrauch und Abgaswerte verschiedener landwirtschaftlicher Arbeiten, flächenbezogen [g/ha]

Abb.	Arbeit	Trakt.sthd [Th/ha] bei einer Schlaggrösse von			Verbrauch [L/ha] bei einer Schlaggrösse von			HC [g/ha] bei einer Schlaggrösse			NOx [g/ha] bei einer Schlaggrösse			CO [g/ha] bei einer Schlaggrösse		
		0,5 ha Th	1,0 ha Th	2,0 ha Th	0,5 ha L/ha	1,0 ha L/ha	2,0 ha L/ha	0,5 ha g/ha	1,0 ha g/ha	2,0 ha g/ha	0,5 ha g/ha	1,0 ha g/ha	2,0 ha g/ha	0,5 ha g/ha	1,0 ha g/ha	2,0 ha g/ha
	Ackerbau															
A1	Dünger streuen, pneumatisch	1.6	1.0	0.7	6.9	4.3	3.0	18	11	8	255	159	112	30	19	13
A2	Eggen mit Kultivator	1.2	0.9	0.7	7.9	5.9	4.6	17	13	10	296	222	173	39	29	23
A3	Eggen, Säen, Walzen (Kombination)	2.8	2.2	1.8	40.6	31.9	26.1	87	69	56	1315	1033	845	310	244	199
A4	Eggen und Walzen (Kombination)	1.7	1.4	1.2	19.3	15.9	13.6	28	23	20	661	544	467	131	108	93
A5	Häcken und Häufeln, 4-reihig	1.4	1.1	0.8	5.4	4.2	3.1	16	13	9	202	159	115	24	19	14
A6	Kartoffeln pflanzen, 4-reihig	6.6	5.3	5.3	13.0	10.4	10.4	48	38	38	500	401	401	65	52	52
A7	Kartoffeln ernten, 1-reihig	14.3	13.4	13.0	36.3	34.0	33.0	189	177	172	1723	1615	1567	342	320	311
A8	Mais häckseln, 2-reihig	3.0	2.6	2.4	33.6	29.1	26.9	53	46	42	1075	932	860	202	175	162
A9	Pflügen, 2-scharig	4.9	4.1	3.8	46.2	38.7	35.8	82	69	64	1761	1473	1365	442	370	343
A10	Pflügen, 4-scharig	2.8	2.3	2.1	41.3	33.9	31.0	74	61	55	1371	1126	1028	277	228	208
A11	Grubbern	1.6	1.4	1.2	24.7	21.6	18.5	43	38	32	811	710	608	172	151	129
A12	Mais säen und walzen, 4-reihig	1.5	1.0	0.9	5.3	3.5	3.2	14	10	9	196	131	118	17	11	10
A13	Einzelkorn säen, 6-reihig	1.9	1.5	1.3	5.5	4.4	3.8	19	15	13	222	175	152	26	21	18
A14	Spritzen	1.8	1.2	0.9	5.3	3.5	2.7	17	12	9	204	136	102	25	17	12
	Fütterbau															
A15	Gras mähen, laden und einführen	2.7	2.2	2.0	15.0	12.2	11.1	36	29	27	560	456	415	75	61	55
A16	Gras mähen	1.6	1.2	1.0	9.2	6.9	5.7	19	14	12	298	223	186	31	23	19
A17	Gras mähen und aufbereiten	1.2	0.9	0.7	10.6	7.9	6.2	16	12	10	364	273	213	38	28	22
A18	Gras zetzen (5 m; 50 kW)	1.1	0.8	0.6	3.8	2.7	2.1	12	9	7	145	106	79	17	12	9
A19	Gras zetzen (7.85 m; 50 kW)	0.9	0.7	0.4	4.4	3.4	2.0	9	7	4	154	120	68	11	9	5
A20	Gras zetzen (7.85 m; 62 kW)	0.9	0.7	0.4	4.6	3.6	2.1	12	9	5	173	134	77	17	13	8
A21	Gras schwaden (3 m)	1.2	0.9	0.7	4.2	3.2	2.5	14	10	8	159	120	93	20	15	11
A22	Gras schwaden (6 m)	1.0	0.7	0.5	3.6	2.5	1.8	12	8	6	143	100	72	18	12	9
A23	Heu laden und einführen (62 kW)	0.6	0.5	0.5	3.8	3.2	3.2	8	7	7	128	107	107	14	12	12
A24	Heu laden und einführen (50 kW)	0.7	0.6	0.5	3.4	2.9	2.4	8	7	6	116	100	83	14	12	10
A25	Siloballen pressen	1.8	1.2	1.0	9.7	6.5	5.4	23	16	13	325	217	181	57	38	32
A26	Rundballen pressen (62 kW)	1.8	1.2	1.0	12.2	8.1	6.8	25	16	14	427	285	237	54	36	30
A27	Rundballen pressen (78 kW)	1.8	1.2	1.0	18.2	12.1	10.1	40	27	22	589	393	327	94	63	52
A28	Walzen	0.9	0.6	0.5	3.8	2.5	2.1	9	6	5	139	92	77	12	8	7
	Transporte															
A29	Gülle ausbringen (5 m; 50 kW)	2.6	2.1	1.8	11.1	9.0	7.7	30	24	21	406	328	281	68	55	47
A30	Gülle ausbringen (6.5 m; 50 kW)	2.3	1.8	1.6	10.7	8.4	7.5	28	22	19	401	314	279	59	46	41
A31	Gülle ausbringen (6.5 m; 62 kW)	2.3	1.8	1.6	10.6	8.3	7.4	32	25	22	404	316	281	52	41	36
A32	Gülle ausbringen (6.5 m; 78 kW)	2.3	1.8	1.6	20.5	16.0	14.2	55	43	38	765	599	532	157	123	109
A33	Mist laden mit Mistkran	1.9	1.6	1.5	4.5	3.8	3.5	26	22	21	225	189	177	50	42	39
A34	Mist führen und zetten (50 kW)	3.0	2.6	2.3	16.7	14.5	12.8	34	29	26	610	528	467	74	64	57
A35	Mist führen und zetten (62 kW)	2.7	2.3	2.0	18.5	15.8	13.7	37	32	27	671	572	497	74	63	55
A36	Mist führen und zetten (78 kW)	2.7	2.3	2.0	21.4	18.2	15.9	58	50	43	747	636	553	127	108	94
A37	Silage auf Fahrsilo führen	0.7	0.6	0.6	3.2	2.7	2.7	9	8	8	120	103	103	17	14	14
A38	Silomais einführen (4.7 t Häcksel; 50 kW)	10.0	9.0	7.0	56.5	50.9	39.6	135	122	95	1827	1644	1279	257	231	180
A39	Silomais einführen (3.3 t Häcksel; 78 kW)	10.0	7.0	6.5	109.3	76.5	71.0	241	169	157	3045	2132	1979	572	400	372
A40	Siloballen mit Zange transportieren	4.2	3.9	3.9	17.7	16.4	16.4	50	47	47	595	552	552	77	72	72
A41	Siloballen mit Hecklader transportieren	4.2	3.9	3.9	24.9	23.1	23.1	62	57	57	842	782	782	93	86	86

8. Schlussfolgerungen

8.1 Der optimale Betriebspunkt

Der Motorwirkungsgrad (Abb. 12) und die drei untersuchten Emissionen (Abb. 13 bis 15) haben kein gemeinsames Optimum; es gibt keinen Betriebspunkt, bei dem gleichzeitig der Verbrauch und alle drei untersuchten Emissionskomponenten minimal sind. Insbesondere gibt es gegenläufige Anforderungen bezüglich den Emissionen von Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen: Bei hohen Verbrennungstemperaturen sind zwar die Emissionen von CO und HC tief, doch steigen dann die NOx-Emissionen.

Man kann jedoch einen Bereich mit einem guten Kompromiss zwischen hohem Wirkungsgrad und tiefen Emissionen ausmachen (Tab. 8), nämlich im Bereich um 70 % der Nennleistung und 70 % der Nenndrehzahl.

Tab. 8: Drehzahlen und Leistungen mit tiefem Treibstoffverbrauch und tiefen Emissionen (Minima bzw. günstige Bereiche der Regressionsflächen, Abb. 12-15)

		Wirkungsgrad bzw. Emission	Drehzahl [% der Nenndrehzahl]	Leistung [% der Nennleistung]
Wirkungsgrad	Maximum	36.6 %	57	66
	Günstiger Bereich	> ca. 35 %	45-70	55-75
HC-Emissionen	Minimum	0.87 g HC/kg Diesel	78	79
	Günstiger Bereich	< ca. 1.5 g HC/kg Diesel	70-90	60-95
CO-Emissionen	Minimum	1.10 g CO/kg Diesel	83	44
	Günstiger Bereich	< ca. 2 g CO/kg Diesel	75-90	30-55
NOx-Emissionen	Minimum	-	-	-
	Günstiger Bereich	< ca. 35 g NOx/kg Diesel	> 90	< 80
Gesamthaft günstiger Bereich		-	ca. 70	ca. 70

Maxima-Minima-Rechnung zur Bestimmung des Punktes der kleinsten Emission oder des grössten Wirkungsgrades in den jeweiligen mathematischen Modellen.

Mittels zweier partieller Ableitungen nach den beiden Variablen x und y und Null-Setzen (Berührungspunkt der gekrümmten Fläche mit einer horizontalen Ebene) kann der kleinste oder grösste Wert gefunden werden.

Allgemeine Form des Modelles

$$Z = B_0 + B_1x + B_2y + B_3x^2 + B_4xy + B_5y^2$$

Ableitung nach x

$$\frac{\partial z}{\partial x} = B_1 + 2B_3x + B_4y = 0 \quad (1)$$

Ableitung nach y

$$\frac{\partial z}{\partial y} = B_2 + B_4x + 2B_5y = 0 \quad (2)$$

Auflösung des Gleichungssystems

$$(1) \quad x = \frac{-B_1 - B_4y}{2B_3}$$

$$(1) + (2) \quad B_2 + \frac{-B_4(B_1 + B_4y)}{2B_3} + 2B_5y = 0$$

$$B_4B_1 + B_4^2y = 2B_2B_3 + 4B_3B_5y$$

Koordinaten des Berührungspunktes

$$y = \frac{2B_2B_3 - B_4B_1}{B_4^2 - 4B_3B_5}$$

$$x = \frac{-(B_1 + B_4y)}{2B_3}$$

8.2 Angepasste Motorisierung

Für einen tiefen Verbrauch und tiefe Emissionen ist eine angepasste Motorisierung erforderlich. Das heisst, dass der Motor für eine bestimmte Tätigkeit möglichst lange im optimalen Bereich von zirka 70 % Drehzahl und Leistung arbeiten sollte. Wird ein zu grosser Traktor gewählt, arbeitet der Motor in einem ungünstigen Betriebspunkt, was hohen Verbrauch und hohe Emissionen mit sich bringt.

Mehrere gleiche Arbeiten wurden mit Traktoren unterschiedlicher Nennleistung ausgeführt. Eine Gegenüberstellung des Treibstoffverbrauchs und der Emissionen dieser Arbeiten zeigt, dass sich der Einsatz eines grossen Traktors nur dann lohnt, wenn der Zeitanteil der Betriebspunkte im optimalen Bereich gross ist und gleichzeitig eine bedeutende Reduktion des Zeitbedarfs erreicht wird.

Ein Beispiel für eine gut angepasste Motorisierung ist die Arbeit „Gras mähen und quetschen mit Traktor 62 kW“ (Abb. A17). Bei dieser Tätigkeit läuft der Motor häufig mit einer Drehzahl von 70 %. Ein Beispiel für eine Arbeit mit einem ungünstigen Lastkollektiv ist die Arbeit „Gülle ausführen mit Traktor 78 kW“ (Abb. A32), bei welcher der Motor nur selten in einem günstigen Bereich arbeitet. Der gewählte Traktor hat eine deutlich zu hohe Leistung für diese Arbeit.

Der Einsatz einer angepassten Mechanisierung und das Fahren mit einer Drehzahl von zirka 70 % lohnen sich aus verschiedenen Gründen:

- Reduktion des Treibstoffverbrauchs („Eco-Drive“, vgl. auch Stadler und Schiess, 2000)
- Reduktion der Emissionen

- Weniger Lärm und Vibrationen beim Fahren
- Weniger Verschleiss (= längere Lebensdauer und weniger Reparaturen)
- Keine Übermotorisierung (= keine zu hohen Investitionen)

In Tabelle 9 ist die aus der Sicht einer angepassten Motorisierung empfohlene Traktorgröße für die 49 gemessenen Arbeiten mit den dabei verwendeten Arbeitsgeräten ersichtlich. Diese Zusammenstellung hat theoretischen, informativen Charakter, da in der Praxis selbstverständlich nicht so viele Traktoren der unterschiedlichen Leistungsklassen zur Verfügung stehen.

Tab. 9: Aus Sicht einer angepassten Motorisierung empfohlene Traktorgrößen.

Abb.	Arbeit	mittlerer Verbrauch L/h	mittlere Leistung kW	Maximaler Verbrauch L/h	Maximale Leistung kW	Empfohlener Traktor kW
Ackerbau						
A1	Dünger streuen, pneumatisch	4.3	9.0	12	37	37-44
A2	Eggen mit Kultivator	6.6	17.2	14	44	37-44
A3	Eggen, Säen, Walzen (Kombination)	14.5	45.6	25	83	75-94
A4	Eggen und Walzen (Kombination)	11.2	33.7	20	65	65-75
A5	Hacken und Häufeln, 4-reihig	3.9	7.3	8	22	21-29
A6	Kartoffeln pflanzen, 4-reihig	2.0	0.6	6	15	bis 20
A7	Kartoffeln ernten, 1-reihig	2.5	2.6	8	22	21-29
A8	Mais häckseln, 2-reihig	11.2	33.7	20	65	65-75
A9	Pflügen, 2-scharig	9.4	27.4	20	65	65-75
A10	Pflügen, 4-scharig	14.8	46.5	26	87	75-94
A11	Grubbern	15.4	48.9	25	83	75-94
A12	Mais säen und walzen, 4-reihig	3.5	6.1	8	22	21-29
A13	Einzelkorn säen, 6-reihig	2.9	3.9	8	22	21-29
A14	Spritzen	3.0	4.1	12	37	37-44
Futterbau						
A15	Gras mähen, laden und einführen	5.5	13.4	18	58	55-64
A16	Gras mähen	5.7	14.1	14	44	37-44
A17	Gras mähen und aufbereiten	8.8	25.2	20	65	65-75
A18	Gras zetzen (5 m; 50 kW)	3.4	5.8	8	22	21-29
A19	Gras zetzen (7.85 m; 50 kW)	4.9	11.1	12	37	37-44
A20	Gras zetzen (7.85 m; 62 kW)	4.9	11.1	12	37	37-44
A21	Gras schwaden (3 m)	3.5	6.1	8	22	21-29
A22	Gras schwaden (6 m)	3.6	6.4	10	29	30-36
A23	Heu laden und einführen (62 kW)	6.3	16.3	18	58	55-64
A24	Heu laden und einführen (50 kW)	4.8	10.8	16	51	45-54
A25	Siloballen pressen	5.4	12.9	16	51	45-54
A26	Rundballen pressen (62 kW)	10.1	29.9	24	80	75-94
A27	Rundballen pressen (78 kW)	10.1	29.9	24	80	75-94
A28	Walzen	4.2	8.6	10	29	30-36
Transporte						
A29	Gülle ausbringen (5 m; 50 kW)	4.3	8.9	16	51	45-54
A30	Gülle ausbringen (6.5 m; 50 kW)	4.7	10.3	16	51	45-54
A31	Gülle ausbringen (6.5 m; 62 kW)	4.7	10.3	16	51	45-54
A32	Gülle ausbringen (6.5 m; 78 kW)	8.9	25.5	16	51	45-54
A33	Mist laden mit Mistkran	2.4	2.0	6	15	bis 20
A34	Mist führen und zetzen (50 kW)	7.9	22.0	18	58	55-64
A35	Mist führen und zetzen (62 kW)	7.9	22.0	18	58	55-64
A36	Mist führen und zetzen (78 kW)	7.9	22.0	18	58	55-64
A37	Silage auf Fahrsilo führen	4.6	10.0	18	58	55-64
A38	Silomais einführen (4.7 t Häcksel; 50 kW)	5.7	13.8	16	51	45-54
A39	Silomais einführen (3.3 t Häcksel; 78 kW)	5.7	13.8	16	51	45-54
A40	Siloballen mit Zange transportieren	4.2	8.6	14	44	37-44
A41	Siloballen mit Hecklader transportieren	5.9	14.8	14	44	37-44

Abb.	Arbeit	mittlerer Verbrauch L/h	mittlere Leistung kW	Maximaler Verbrauch L/h	Maximale Leistung kW	Empfohlener Traktor kW
	Strassentransporte, Hof- und Restarbeiten					
A42	Strassenfahrt, schwerer Transport (15 km/h)	6.3	16.3	16	51	45-54
A43	Strassenfahrt, leichter Transport (18 km/h)	6.4	16.6	16	51	45-54
A44	Strassenfahrt, schwerer Transport (18 km/h)	7.3	19.8	18	58	55-64
A45	Strassenfahrt, schwerer Transport (22 km/h)	9.3	26.8	24	80	75-94
A46	kleine Heuballen pressen, stationär	3.6	6.5	6	15	bis 20
A47	Futtermischwagen (50 kW)	3.9	7.4	10	29	30-36
A48	Futtermischwagen (62 kW)	3.4	5.7	10	29	30-36
A49	Hof- und Restarbeiten	3.1	4.5	12	37	37-44

8.3 Beispiel: Pflügen mit 2- und 4-Schar-Pflug

Tab. 10: Vergleich des Treibstoffverbrauchs und der Emissionen beim Pflügen mit unterschiedlicher Mechanisierung (Schlaggrösse 1 ha).

	Treibstoffverbrauch [L/ha]	HC-Emission [g/ha]	CO-Emission [g/ha]	NOx-Emission [g/ha]
2-Schar-Pflug 62 kW-Traktor	38.7	69	370	1473
4-Schar-Pflug 78 kW-Traktor	33.9	61	228	1126
Differenz	- 12 %	- 12 %	- 38 %	- 24 %

Die Arbeit „Pflügen“ wurde mit einem 2-Schar-Pflug an einem 62 kW-Traktor (Abb. 17) und einem 4-Schar-Pflug an einem 78 kW-Traktor (Abb. 18) ausgeführt (vgl. Abb. A9 und A10 sowie Tab. 7). Beim Pflügen ist eine hohe Leistung erforderlich, auch der grössere Traktor weist ein gutes Lastkollektiv auf. Dadurch, und weil mit der grösseren Arbeitsbreite auch die nötige Arbeitszeit sinkt, weist die Variante mit dem 78 kW-Traktor einen tieferen Verbrauch und tiefere Emissionen auf.



Abb. 17: Pflügen mit dem 62 kW-Traktor Hurlimann mit 2-Schar-Pflug

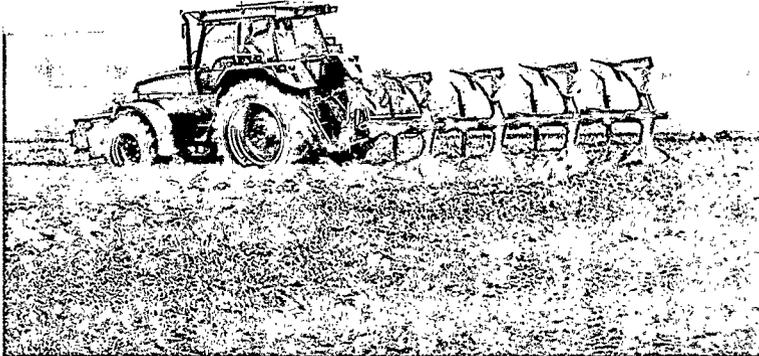


Abb. 18: Pflügen mit dem 78 kW-Traktor Case mit dem 4-Schar-Pflug.

8.4 Beispiel: Gülle pumpen und ausbringen

Tab. 11: Vergleich des Treibstoffverbrauchs und der Emissionen beim Gülle ausbringen mit unterschiedlicher Mechanisierung (Schlaggrösse 1 ha).

	Treibstoffverbrauch [L/ha]	HC-Emission [g/ha]	CO-Emission [g/ha]	NOx-Emission [g/ha]
Güllenfass 6.5 m ³ 50 kW-Traktor	8.4	22	46	314
Güllenfass 6.5 m ³ 78 kW-Traktor	16.0	43	123	599
Differenz	+ 90 %	+95 %	+167 %	+91 %

Anders als beim Pflügen wirkt sich beim Gülle pumpen und ausbringen der Einsatz eines Traktors mit hoher Leistung negativ aus (Abb. A30 und A32 sowie Tab. 7). Weil für diese Tätigkeit nur eine geringe Leistung erforderlich ist und die Arbeitszeit durch die Güllepumpe (und nicht den Traktor) begrenzt wird, genügt der 50 kW-Traktor vollauf (Abb. 19). Mit dem 78 kW-Traktor sind Treibstoffverbrauch und Emissionen rund doppelt so hoch.



Abb. 19: Für das Gülle pumpen und ausbringen genügt der 50 kW-Traktor.

8.5 Verwendung der Ergebnisse

Die hier präsentierten Daten und Ergebnisse können von verschiedenen Anwendern und für verschiedene Zwecke verwendet werden, u.a. für

- Landwirte
 - Empfehlungen für angepasste Motorisierung
 - Empfehlungen für treibstoffsparende und emissionsreduzierende Fahrweise (Ecodrive)
- Traktorhersteller
 - Entwicklung von Motoren mit tiefem Treibstoffverbrauch und tiefen Emissionswerten
- Forschung und Beratung
 - Betriebswirtschaft: Genauere Berücksichtigung der Treibstoffkosten bei den Maschinenkosten und in Verfahrensrechnungen
 - Ökologie: Analyse von Energieverbrauch und Schadstoffemissionen von landwirtschaftlichen Produktionsverfahren
 - Entwicklung von Produktionsverfahren mit tiefem Energieverbrauch und tiefen Emissionen

Die Ergebnisse von Tab. 6 mögen dazu verleiten, die Emissionswerte in g/h durch die mittlere Leistung zu dividieren und diese Emissionsfaktoren (in g/kWh) der verschiedenen Arbeiten mit den gesetzlichen Grenzwerten zu vergleichen, die in der Schweiz seit 2003 für landwirtschaftliche Traktoren gelten. Dabei würden sehr grosse Differenzen zu den Grenzwerten festgestellt werden, sowohl nach oben wie nach unten. Ein solcher Vergleich ist aus zwei Gründen nicht zulässig:

- Der hier präsentierten Ermittlung der Emissionswerte mit dem Abgasmodell liegen die Emissionen bezogen auf die Zapfwellenleistung zu Grunde; die Grenzwerte beziehen sich jedoch auf die Motorleistung am Schwungrad. Der Unterschied beträgt je nach Traktor und Getriebe etwa 10-15 %.
- Die gesetzlichen Abgasgrenzwerte werden im ISO 8 Stufen-Test ermittelt und gewichtet. Dieser Test bildet einen „Mittelwert“ der Gesamtheit aller landwirtschaftlichen Arbeiten übers Jahr ab. Die Motorbelastung und damit die Emissionswerte einer einzelnen Arbeit kann erheblich vom „Mittelwert“ abweichen, obwohl der Motor den Vorschriften genügt.

Die in dieser Arbeit vorgestellten Resultate wollen nicht den Traktormotor beurteilen, sondern vielmehr Hinweise und Anhaltspunkte hinsichtlich des Energiebedarfs und der Emissionen bezüglich der angewendeten Arbeitsmaschinen, der verschiedenen Verfahren und des Betriebsverhaltens geben. Es ist zu wünschen, dass diese Kenntnisse genutzt werden, bei den landwirtschaftlichen Arbeiten vermehrt mit den traditionellen Energieträgern sparsam umzugehen, sie rationell und sinnvoll einzusetzen.

9. Résumé

Consommation de carburant et émissions de tracteurs dans le cadre de divers travaux agricoles

Présentation détaillée des méthodes, mesures et résultats

La réduction des émissions et de la consommation de carburant des tracteurs utilisés pour divers travaux agricoles devient un sujet de plus en plus actuel, et ceci pour diverses raisons: d'une part, le coût des lubrifiants et carburants augmente continuellement et représente actuellement presque 20 % (environ 120 francs par hectare de surface agricole utile) des coûts matériels entraînés par la production végétale. D'autre part, les valeurs d'émissions font l'objet des exigences du protocole de Kyoto qui impose une réduction de 8 % des émissions de CO₂ provenant des carburants. Enfin, afin de protéger l'environnement, la santé de la population et notamment celle du conducteur, il s'agit de réduire les émissions et, par conséquent, notamment la consommation de carburant. Il existe diverses possibilités pour réduire la consommation de carburant et les émissions; l'optimisation sur le plan des procédés techniques et de l'organisation du travail semble parmi les plus prometteuses et efficaces. Pour réaliser des études dans ce domaine, il faut connaître les valeurs de consommation et d'émissions des différents travaux agricoles et procédés techniques dans les conditions pratiques afin de pouvoir identifier les mesures bien adaptées.

Le présent rapport contient un catalogue détaillé des facteurs de consommation et d'émissions rapportés à la surface cultivée pour différents procédés techniques ou travaux agricoles effectués avec des tracteurs de différentes catégories de puissance.

Pour déterminer les facteurs de consommation et d'émissions rapportés à la surface, on a dans un premier temps mesuré la charge collective de 49 travaux effectués avec trois tracteurs de catégories de puissance différentes. La charge collective permet de calculer d'une part la performance moyenne, d'autre part la consommation moyenne par heure pour le procédé de travail correspondant. A partir des valeurs d'émissions de tracteurs relevées au banc d'essai, on a ensuite développé un modèle permettant de calculer un diagramme caractéristique pour les trois composants de gaz d'échappement: monoxyde de carbone (CO), hydrocarbures (HC) et oxydes nitriques (NOx). Ce diagramme est représenté pour chacun des composants sous forme tridimensionnelle comme surface sur les axes de diagramme régime et puissance. Lorsque le modèle de gaz d'échappement est appliqué pour les charges collectives, il en résulte les quantités d'émissions en gramme par heure resp. en [g/kWh] par rapport à la puissance moyenne. Enfin, les temps standard relevés dans le cadre d'études d'économies du travail permettent de convertir les facteurs de consommation et d'émissions rapportés au temps en facteurs rapportés à la surface.

Sur la base des données relevées et calculées dans le cadre de cette étude, il est possible d'identifier pour tout travail agricole la motorisation adaptée, c'est-à-dire la machine qui permet de travailler aussi longtemps que possible au niveau optimal, soit à 70 % du régime et de la puissance. Lorsqu'on choisit un tracteur trop puissant, le moteur travaille à un régime peu favorable, ce qui se traduit par une consommation et des émissions élevées. L'utilisation d'un tracteur bien adapté et le travail à un régime d'environ 70 % permet non seulement de réduire la

consommation du carburant et des émissions, mais également d'économiser les coûts d'investissement et d'entretien.

Le présent travail fournit les bases pour orienter la mécanisation des travaux agricoles vers une utilisation économique, rationnelle et bien adaptée des ressources énergétiques traditionnelles.

10. Summary

Fuel consumption and emissions of tractors in agricultural work

Detailed presentation of methods, measurements and results

The reduction of emissions and fuel consumption of tractors used in agriculture is of growing importance for several reasons: On the one hand, the cost of lubricants and fuels at farm level are continuously growing. They account for just under 20 % of the material cost of plant production, or roughly 120 francs per hectare of utilised agricultural area. On the other, the Kyoto Protocol calls for an eight percent reduction in the amount of CO₂ from fuels. Moreover, in the interest of the environment, public health and particularly the machine operator, there is a duty to reduce emissions and hence primarily fuel consumption. Of the various possible ways of meeting the requirement to reduce consumption and emissions, the optimisation of procedures and labour organisation appears promising and effective. Studies in this direction are conditional on knowledge of the consumption and emission figures for various procedures and jobs in actual practice in order to start in the right place.

This report presents a catalogue of the detailed consumption and emission factors for various agricultural procedures and jobs with tractors of different performance classes in relation to the area cultivated.

The load collectives of 49 different jobs were measured in the field with three tractors of different performance classes to determine the area-related consumption and emission factors. From the load collectives were calculated firstly the mean power and secondly the mean fuel consumption per hour for the relevant job. The comprehensive database of emission measurements on tractor engines at the test bench was used to develop a model representing a universally valid map for each of the following three exhaust gas components: carbon monoxide (CO), the hydrocarbons (HC) and nitrogen oxide (NO_x). This map is represented in a three-dimensional graph as a surface over engine speed and power. The exhaust gas models were applied to the load collectives to give the emission amounts in grams per hour, or in [g/kWh] relative to mean power. The time-related consumption and emission factors were finally converted into area-related factors using the standard labour times collected.

The appropriately matched motorisation for every agricultural job can be derived using the data collected and calculated here. This means that for a specific activity the engine should run for as long as possible in the optimum range of approximately 70 % engine speed and power. If too large a tractor is selected, the engine will run at an unfavourable operating point, causing high consumption and high emissions. Using matched mechanisation and operating at an engine speed of around 70 % not only reduces fuel consumption and emissions, but also cuts the cost of investment and maintenance.

This paper provides the foundations for increasing care in the economical, rational and meaningful use of traditional energy resources in the mechanisation of agricultural work.

11. Literatur

BUWAL, 1995. Vom Menschen verursachte Luftschadstoff-Emissionen in der Schweiz von 1900 bis 2010, BUWAL, Schriftenreihe Umwelt Nr. 256, Bern.

BUWAL, 1996. Schadstoffemissionen und Treibstoffverbrauch des Offroad-Sektors, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Zürich; Technik Thermische Maschinen, Niederrohrdorf; BUWAL, Umwelt-Materialien Nr. 49, Bern.

Hausheer Schnider J. (Red.), 2004. Grundlagenbericht 2003. Zentrale Auswertung von Buchhaltungsdaten. Agroscope FAT Tänikon.

Hersener J.-L. und Meier U., 2001. Rationelle Energieanwendung in der Landwirtschaft (REAL), Bundesamt für Energie, Bern.

Lambrecht, U., Helms, H., Kullmer K. und Knörr W., 2004. Entwicklung eines Modells zur Berechnung der Luftschadstoffemissionen und des Kraftstoffverbrauchs von Verbrennungsmotoren in mobilen Geräten und Maschinen. IFEU Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin.

Rinaldi M., 2000. Consumption and emission factors of various farming tasks, Tagungsband AgEng Warwick, Seite 124.

Rinaldi M. und Gaillard G., 1999. Treibstoffverbrauch und Abgase landwirtschaftlicher Traktoren, Agrarforschung 6, Seite 212.

Rinaldi M. und Näf E., 1992. Motorauslastung von Landwirtschaftstraktoren, FAT-Berichte Nr. 426.

Rinaldi M. und Stadler E., 2002. Trends im Abgasverhalten landwirtschaftlicher Traktoren, FAT-Berichte Nr. 577.

Schick M., 2000. Arbeitszeitbedarf verschiedener Melkverfahren, FAT-Berichte Nr. 544.

Schick M. und Stark R., 2004. Arbeitswirtschaftliche Kennzahlen zum Getreideanbau, FAT-Berichte Nr. 604.

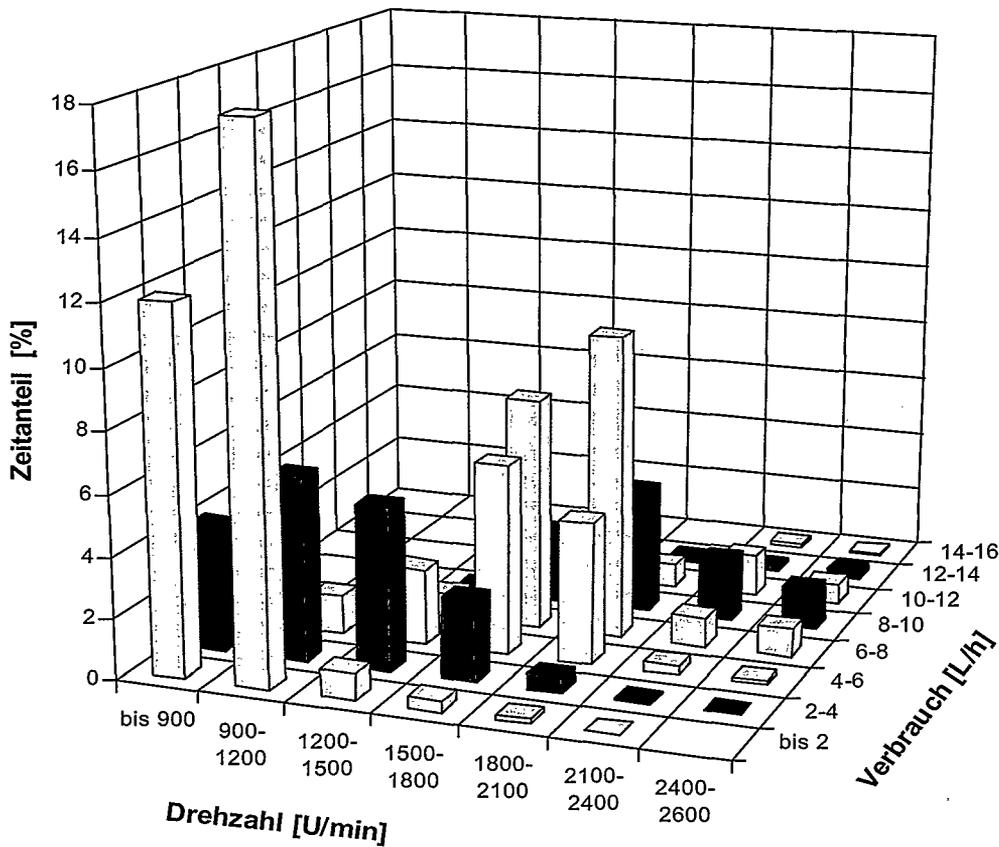
Schick M., Stark R., Luder W., 2003. Fachkonzept für den neuen FAT Arbeitsvoranschlag.

Stadler E. und Schiess I., 2000. Geprüfte Traktoren, Zweiachsmäher und Transporter. „ECO-DRIVE“-Fahrweise senkt den Treibstoffverbrauch. FAT-Berichte 552.

Abb. A1: Dünger streuen, pneumatisch, Arbeitsbreite 15 m, mit Traktor 50 kW, Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:
 Vom 13.3. bis zum 29.5.2000 wurden sieben Messungen mit unterschiedlichen Fahrern und Schlägen durchgeführt. Das hier präsentierte Ergebnis ist die Summe bzw. der Durchschnitt der sehr ähnlichen Einzel-Messungen.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	1136	391	47	4					1578
900-1200	1680	576	122	31	2				2411
1200-1500	85	506	235	74	16				916
1500-1800	35	252	588	719	226	22			1842
1800-2100	14	48	437	939	388	69	11		1906
2100-2400	1	3	28	91	191	128	15	10	467
über 2400		2	12	87	130	64	24	6	325
Total	2951	1778	1469	1945	953	283	50	16	9445



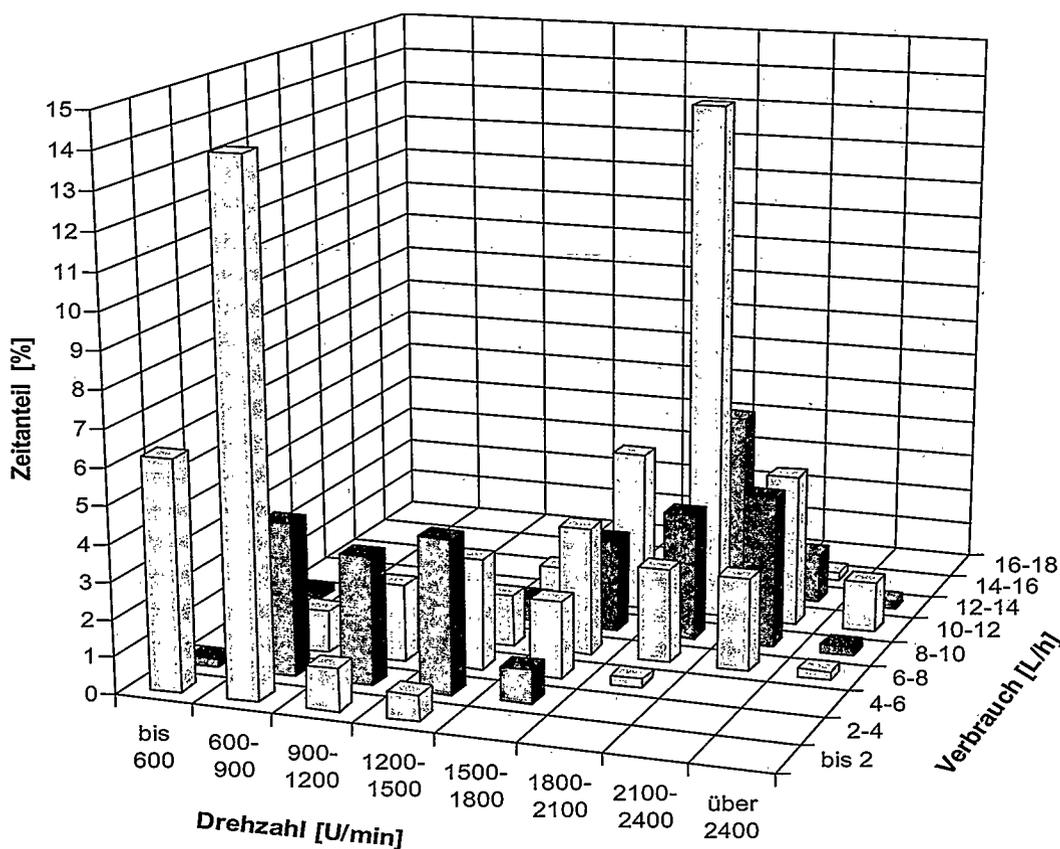
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	4.3
mittlere Leistung [kW]	9.0
mittlere Drehzahl [U/min]	1419
Anzahl Messwerte [10 sec]	9445
Messdauer [h]	26.2
Emission HC [g/h]	11.3
Emission NOx [g/h]	159.3
Emission CO [g/h]	18.9

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	1.6
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	0.7
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	6.9
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	3.0
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	18
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	8
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	255
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	112
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	30
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	13

Abb. A2: Eggen mit Kultivator, Arbeitsbreite 2,8 m, mit Traktor 62 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:
Der Kultivator ist eine gezogene Egge mit gefederten Zinken und nachlaufender Krümelwalze.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total	
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16		16-18
bis 600	27	1	2		1					31
600-900	61	18	5	3						87
900-1200	5	15	9	4						33
1200-1500	3	18	13	6	3	4				47
1500-1800		4	9	15	11	19	2	1		61
1800-2100			1	11	15	61	22	2		112
2100-2400				11	18	18	6	1		54
über 2400				1	1	6	1			9
Total	96	56	39	51	49	108	31	4		434



Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	62
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	19.1
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	6.6
mittlere Leistung [kW]	17.2
mittlere Drehzahl [U/min]	1461
Anzahl Messwerte [10 sec]	434
Messdauer [h]	1.2
Emission HC [g/h]	14.5
Emission NOx [g/h]	246.7
Emission CO [g/h]	32.5

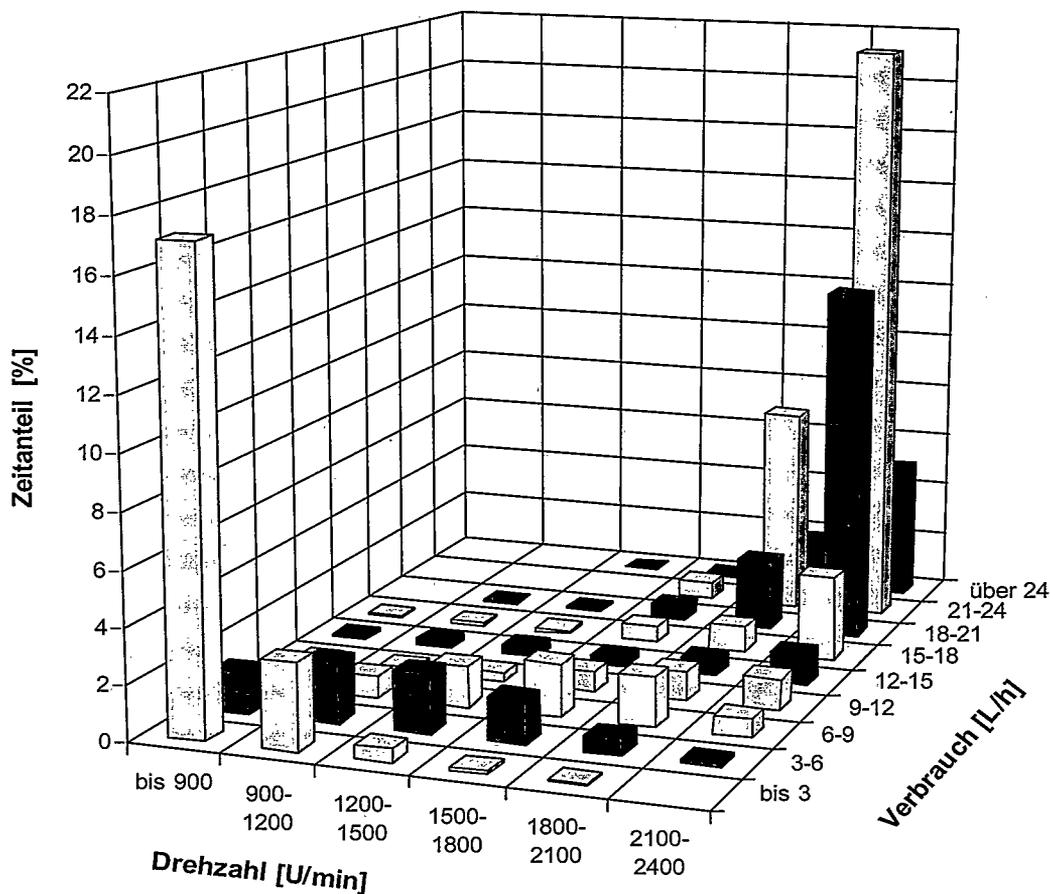
Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	1.2
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	0.7
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	7.9
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	4.6
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	17
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	10
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	296
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	173
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	39
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	23

Abb. A3: Eggen und Säen, Arbeitsbreite 3 m, mit Traktor 78 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Es wurde eine Saatkombination bestehend aus vorderer Packerwalze, hinterer, zapfwellengetriebener Kreiselegge und pneumatischer Sämaschine verwendet. Die Arbeit wurde vom 16. bis 25. August 2000 vom selben Fahrer auf verschiedenen Parzellen ausgeführt. Die Parzellengröße ist ein halb bis zwei Hektar. Der Anfahrtsweg beträgt 0,5 bis 1,5 km.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]									Werte Total
	bis 3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	24 -	
bis 900	1078	94	17	5	7	4				1205
900-1200	196	138	50	11	17	5	3			420
1200-1500	31	137	94	22	23	8	5		1	321
1500-1800	8	100	121	46	18	37	33	39	5	407
1800-2100	4	37	114	66	37	59	161	474	114	1066
2100-2400		7	42	71	69	195	817	1356	312	2869
Total	1317	513	438	221	171	308	1019	1869	432	6288



Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	78
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	23.5
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	14.5
mittlere Leistung [kW]	45.6
mittlere Drehzahl [U/min]	1735
Anzahl Messwerte [10 sec]	6288
Messdauer [h]	17.5
Emission HC [g/h]	31.2
Emission NOx [g/h]	469.6
Emission CO [g/h]	110.7

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	2.8
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	1.8
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	40.6
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	26.1
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	87
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	56
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	1315
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	845
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	310
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	199

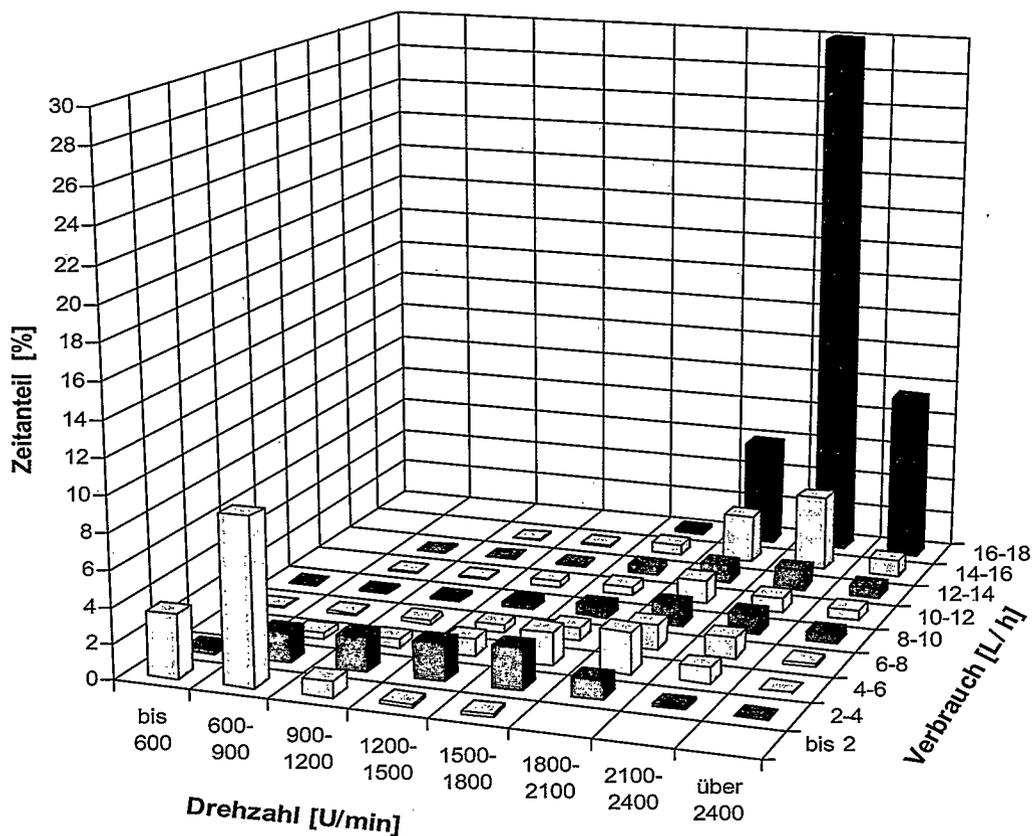
Abb. A4: Eggen mit Kreiselegge, Arbeitsbreite 3 m, mit Traktor 62 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der

Messung:

Hinten am Traktor befindet sich die zapfwellengetriebene Kreiselegge und am Fronthubwerk eine Packerwalze. Die Arbeit wurde vom 25.4. bis 5.5.2000 an fünf Tagen von verschiedenen Fahrern auf unterschiedlichen Schlägen ausgeführt. Die Parzellen sind flach und in Hanglage. Die Parzellengröße ist ein bis zwei Hektar. Der Anfahrtsweg beträgt 0,5 bis 1,5 km.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]									Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	
bis 600	282	22	5	6	3					318
600-900	740	133	26	12	5	3	1			920
900-1200	72	152	38	18	10	10	5	2		307
1200-1500	15	163	77	35	26	32	9	9		366
1500-1800	12	181	146	59	51	42	37	47	18	593
1800-2100		83	185	111	96	107	78	214	471	1345
2100-2400		10	70	95	85	62	93	337	2399	3151
über 2400		1	1	17	42	44	43	72	751	971
Total	1121	745	548	353	318	300	266	681	3639	7971



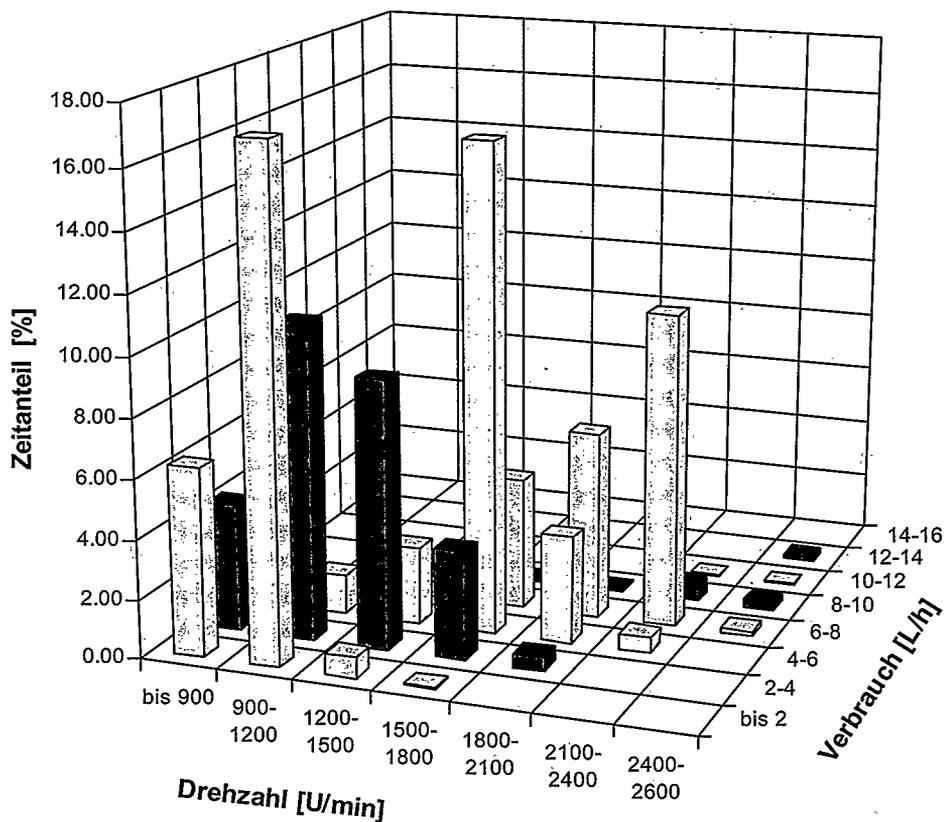
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	62
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	19.1
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	11.2
mittlere Leistung [kW]	33.7
mittlere Drehzahl [U/min]	1811
Anzahl Messwerte [10 sec]	7971
Messdauer [h]	22.1
Emission HC [g/h]	16.6
Emission NOx [g/h]	388.9
Emission CO [g/h]	77.2

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	2.8
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	1.8
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	40.6
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	26.1
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	87
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	56
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	1315
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	845
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	310
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	199

Abb. A5: Hacken und Häufeln, Sternhackgerät, Arbeitsbreite 3,1 m, mit Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:
Diese Messungen wurde am 8. und 9. Juni 2000 auf einem Maisfeld durchgeführt.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	126	86	2	1					215
900-1200	339	212	27						578
1200-1500	14	180	52	3	1				250
1500-1800	1	73	326	89	1				490
1800-2100		9	72	126	1				208
2100-2400			11	211	12	1			235
über 2400				3	5	1	3		12
Total	480	560	490	433	20	2	3		1988



Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	3.9
mittlere Leistung [kW]	7.3
mittlere Drehzahl [U/min]	1427
Anzahl Messwerte [10 sec]	1988
Messdauer [h]	5.5
Emission HC [g/h]	11.5
Emission NOx [g/h]	144.3
Emission CO [g/h]	17.1

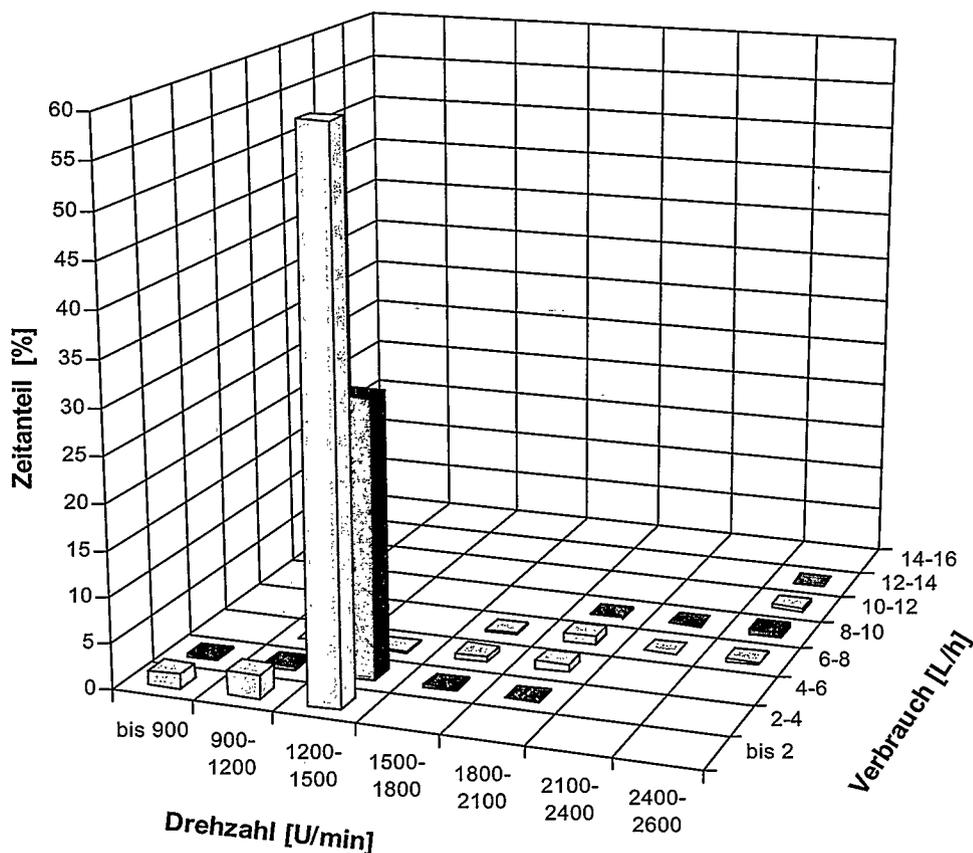
Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	1.4
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	0.8
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	5.4
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	3.1
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	16
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	9
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	202
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	115
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	24
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	14

Abb. A6: Kartoffeln pflanzen, vierreihig, mit Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Bei der am 27.4.2000 durchgeführten Messung waren fünf Personen beteiligt: Eine Person steuerte den Traktor und vier Personen legten die Knollen in die Setzmaschine. Die Parzellengröße ist 0,75 ha und der Anfahrtsweg beträgt 1,5 km.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	23	3							26
900-1200	39	6	2						47
1200-1500	882	445	2						1329
1500-1800		4	9	4					17
1800-2100		1	13	14	1				29
2100-2400				1	2				3
über 2400				3	8	6	1		18
Total	944	459	26	22	11	6	1		1469



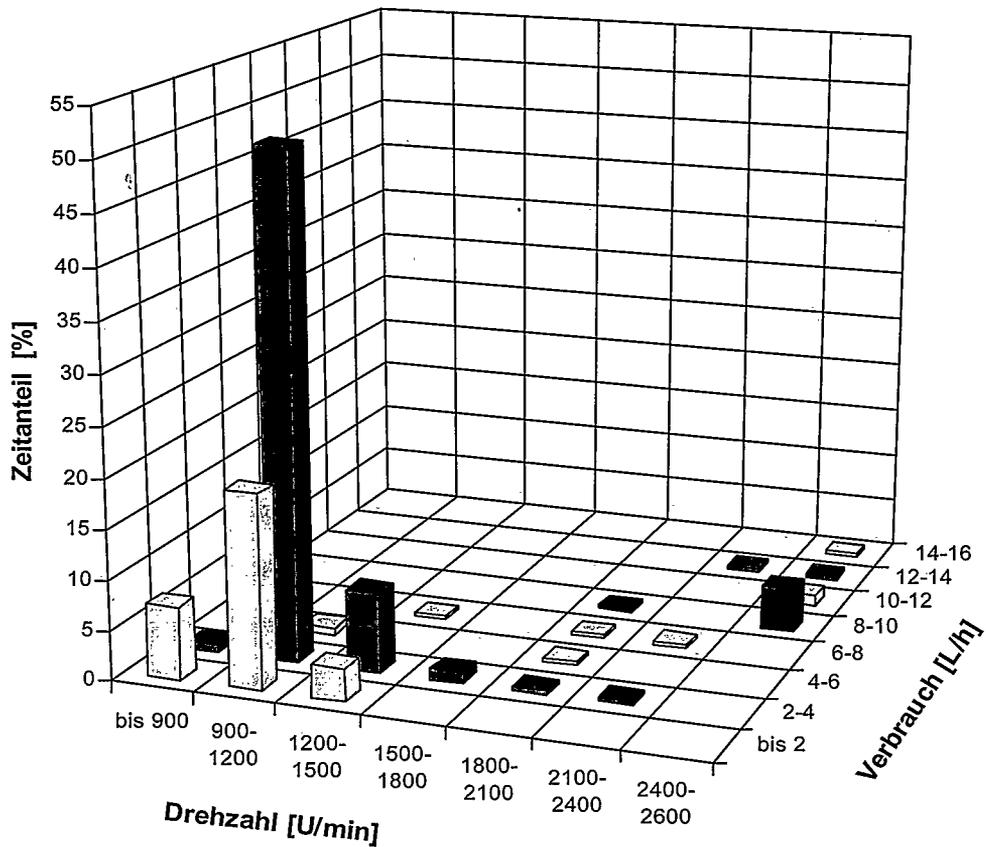
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	2.0
mittlere Leistung [kW]	0.6
mittlere Drehzahl [U/min]	1299
Anzahl Messwerte [10 sec]	1469
Messdauer [h]	4.1
Emission HC [g/h]	7.2
Emission NOx [g/h]	75.7
Emission CO [g/h]	9.8

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	6.6
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	5.3
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	13.0
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	10.4
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	48
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	38
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	500
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	401
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	65
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	52

Abb. A7: Kartoffeln ernten, mit Sammelroder, einreihig und Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	20	2							22
900-1200	53	138	2						193
1200-1500	9	22		1					32
1500-1800		3							3
1800-2100		1	1	1	1				4
2100-2400		1		1			1		3
über 2400					12	3	1	1	17
Total	82	167	3	3	13	3	2	1	274



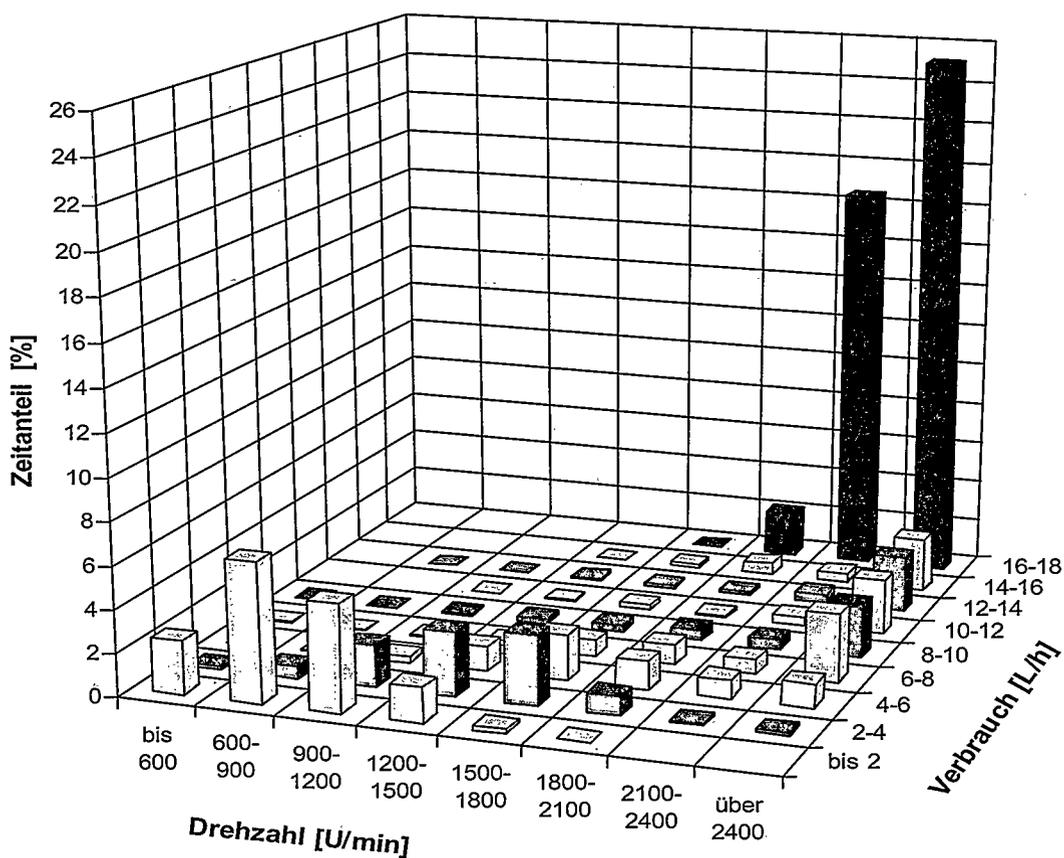
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	2.5
mittlere Leistung [kW]	2.6
mittlere Drehzahl [U/min]	1213
Anzahl Messwerte [10 sec]	274
Messdauer [h]	0.8
Emission HC [g/h]	13.2
Emission NOx [g/h]	120.5
Emission CO [g/h]	23.9

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	14.3
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	13.0
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	36.3
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	33.0
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	189
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	172
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	1723
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	1567
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	342
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	311

Abb. A8: Silomais häckseln, 2-reihig, mit Traktor 62 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:
Die Aufnahmen erfolgten vom 14. bis 19. 8. 2000 mit dem gleichen Fahrer auf verschiedenen Parzellen.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]									Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	
bis 600	229	14	2	1	1					247
600-900	597	52	7	3	1		1			661
900-1200	458	182	25	10	9	4	1			689
1200-1500	152	275	109	25	24	8	9	2		604
1500-1800	18	298	195	66	30	19	9	16	1	652
1800-2100	4	82	122	88	44	10	15	52	195	612
2100-2400		9	80	63	43	40	41	41	1686	2003
über 2400		12	102	291	231	238	243	227	2284	3628
Total	1458	924	642	547	383	319	319	338	4166	9096



Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	62
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	19.1
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	11.2
mittlere Leistung [kW]	33.7
mittlere Drehzahl [U/min]	1983
Anzahl Messwerte [10 sec]	9096
Messdauer [h]	25.3
Emission HC [g/h]	17.7
Emission NOx [g/h]	358.3
Emission CO [g/h]	67.3

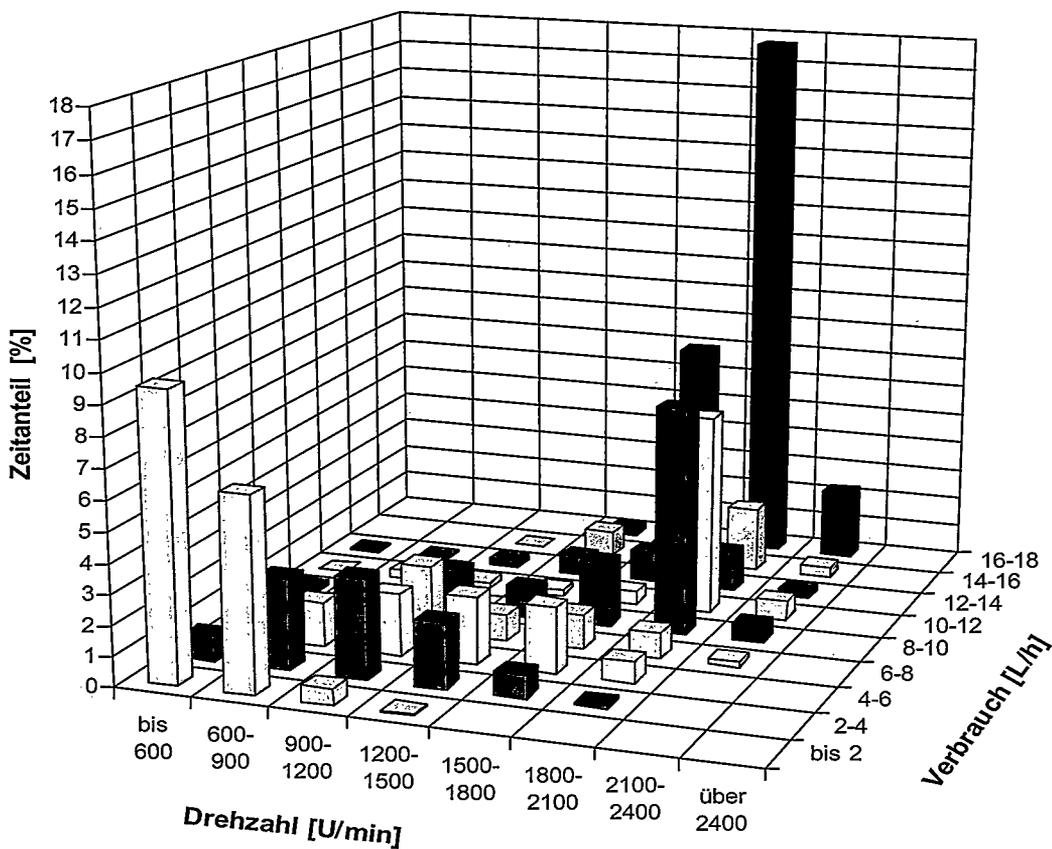
Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	3.0
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	2.4
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	33.6
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	26.9
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	53
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	42
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	1075
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	860
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	202
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	162

Abb. A9: Pflügen, 2-scharig, mit Traktor 62 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Die Messungen erfolgten am 6.3. und 6.7.2000 auf zwei Parzellen von 1,5 und 3,3 ha mit schwerem Boden. Der Anfahrtsweg beträgt jeweils 500 Meter.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]									Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	
bis 600	205	18	4	1	4	1	1			234
600-900	139	65	32	21	4	6	2			269
900-1200	12	71	44	48	29	4	5	1		214
1200-1500	1	47	48	19	22	4	13	18	5	177
1500-1800		17	47	25	47	9	23	62	150	380
1800-2100		2	15	18	163	143	28	46	384	799
2100-2400				4	12	14	5	7	49	91
über 2400										
Total	357	220	190	136	281	181	77	134	588	2164



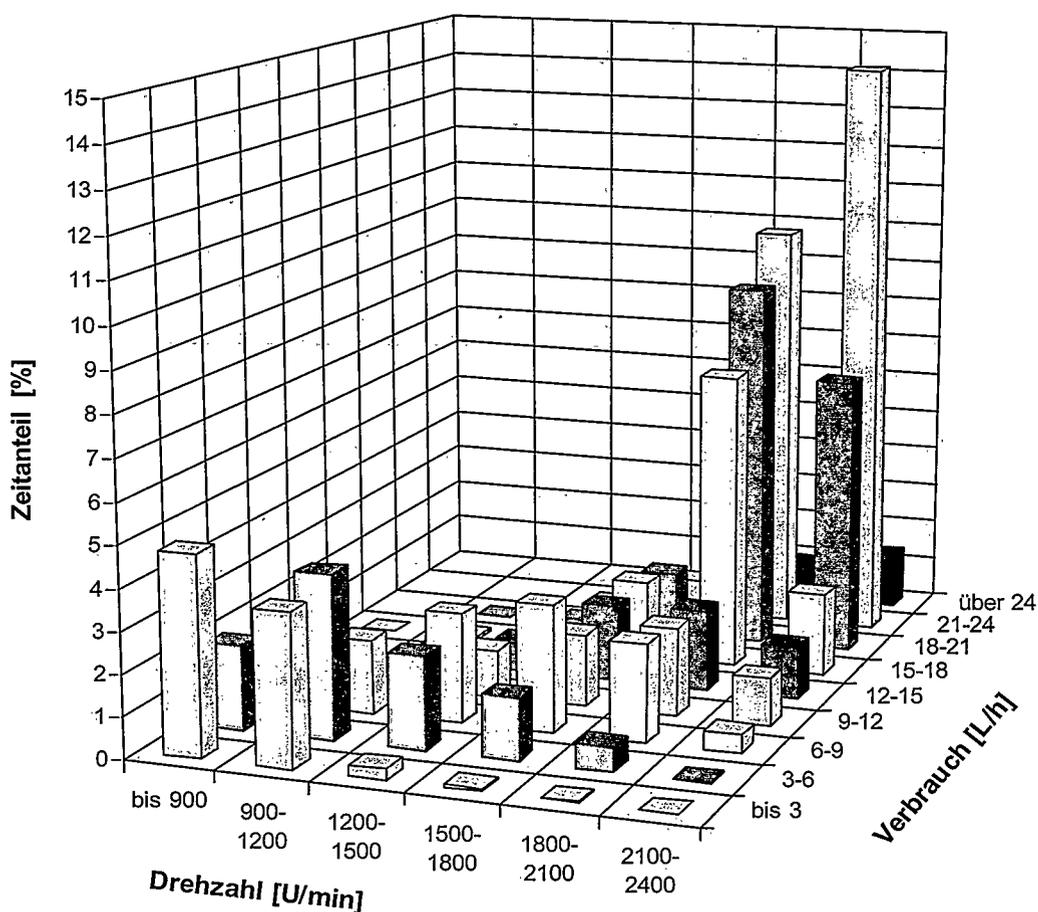
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	62
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	19.1
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	9.4
mittlere Leistung [kW]	27.4
mittlere Drehzahl [U/min]	1627
Anzahl Messwerte [10 sec]	2164
Messdauer [h]	6.0
Emission HC [g/h]	16.8
Emission NOx [g/h]	359.3
Emission CO [g/h]	90.3

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	4.9
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	3.8
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	46.2
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	35.8
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	82
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	64
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	1761
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	1365
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	442
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	343

Abb. A10: Pflügen, 4-scharig, mit Traktor 78 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:
Die Arbeiten wurde vom 10.3. bis 18.9.2000 von verschiedenen Fahrern auf sieben verschiedenen Parzellen von 2 bis 6 ha Grösse ausgeführt. Der Anfahrtsweg beträgt 0,5 bis 1,5 km.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]									Werte Total
	bis 3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	24 -	
bis 900	537	228	51	11	7	1				835
900-1200	409	443	200	60	26	9	.2			1149
1200-1500	30	252	296	130	87	44	13	1	1	854
1500-1800	7	167	343	197	209	212	175	93	9	1412
1800-2100	3	65	265	240	220	814	1013	1134	105	3859
2100-2400	1	2	50	128	144	226	768	1610	152	3081
Total	987	1157	1205	766	693	1306	1971	2838	267	11190



Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	78
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	23.5
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	14.8
mittlere Leistung [kW]	46.5
mittlere Drehzahl [U/min]	1749
Anzahl Messwerte [10. sec]	11190
Messdauer [h]	31.1
Emission HC [g/h]	26.4
Emission NOx [g/h]	489.7
Emission CO [g/h]	99

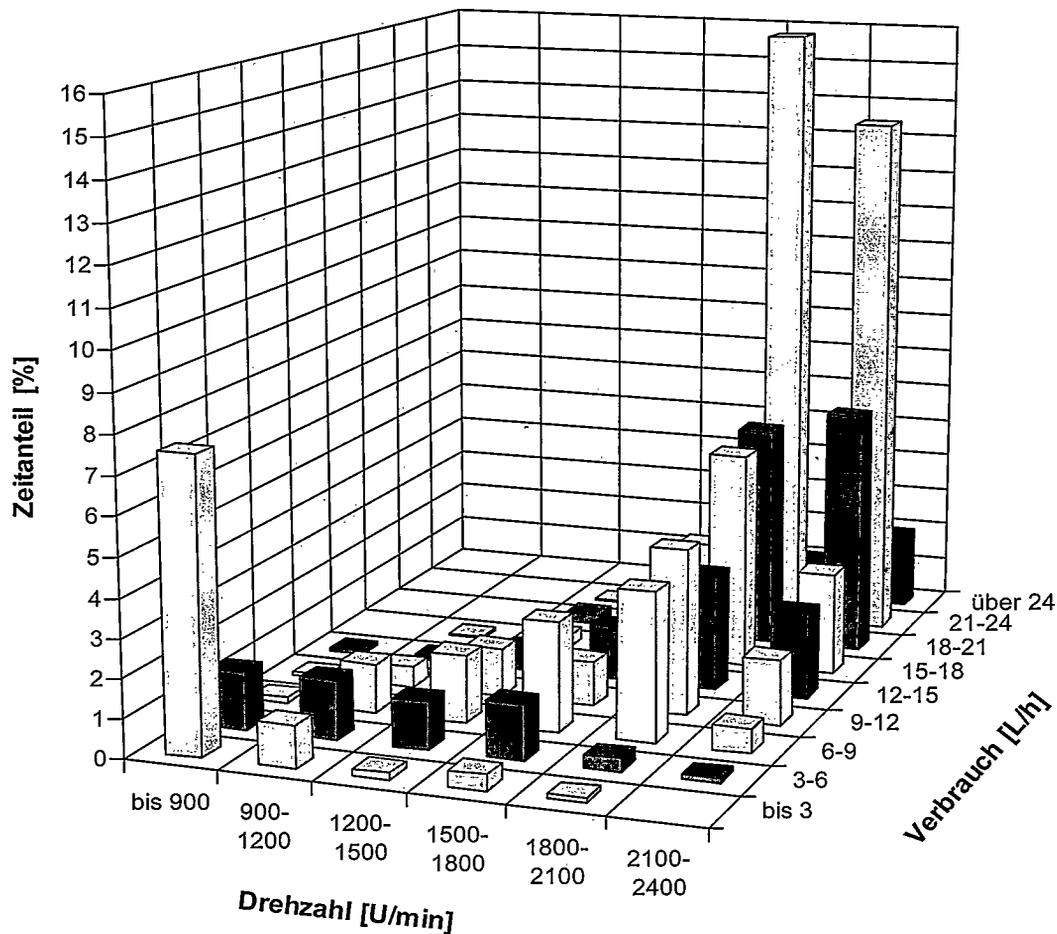
Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	2.8
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	2.1
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	41.3
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	31.0
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	74
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	55
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	1371
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	1028
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	277
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	208

Abb. A11: Grubber, Arbeitsbreite 2,5 m, mit Traktor 78 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Die Arbeit wurde am 15. und 23. August 2000 vom selben Fahrer auf drei verschiedenen Parzellen ausgeführt. Zwei Parzellen sind flach und eine ist in Hanglage. Die Parzellengröße ist ein bis zwei Hektar. Der Anfahrtsweg beträgt 0,5 bis 1,5 km.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]									Werte Total
	bis 3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	24 -	
bis 900	202	40	4	2	2					250
900-1200	29	41	34	14	4	2				124
1200-1500	5	33	47	34	16	8	7	1		151
1500-1800	11	38	76	31	38	23	33	50		300
1800-2100	3	9	103	115	81	151	155	438	28	1083
2100-2400		3	17	45	60	71	171	371	52	790
Total	250	164	281	241	201	255	366	860	80	2698



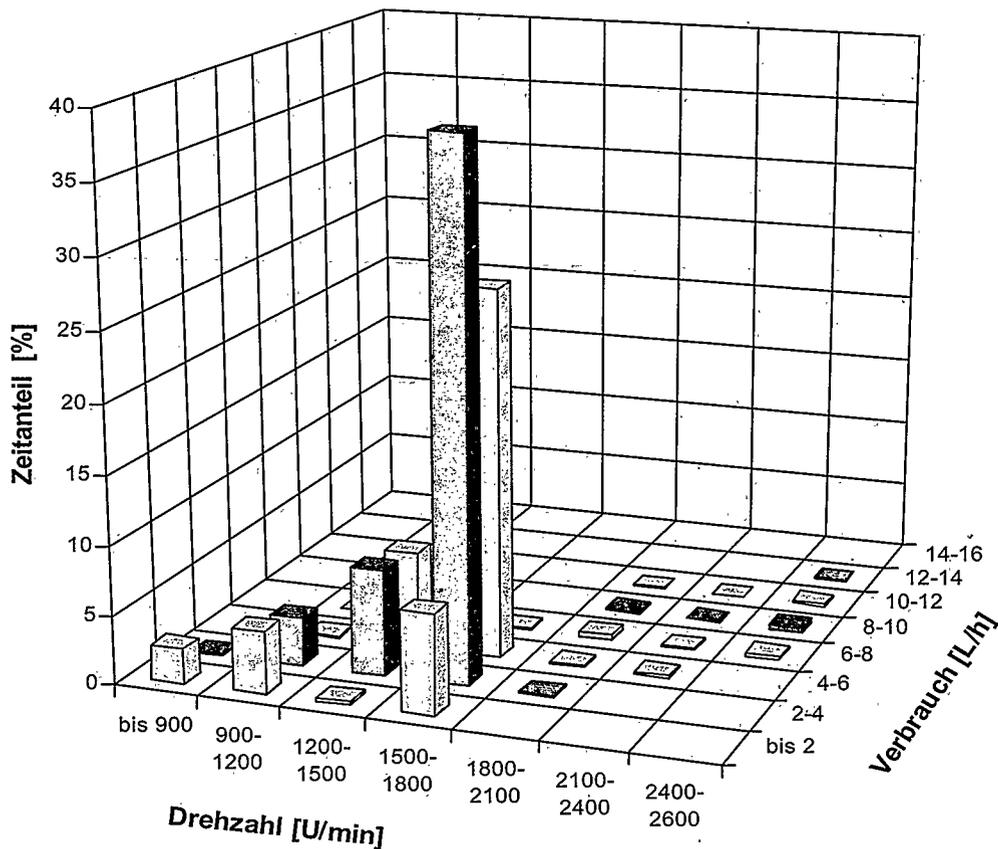
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	78
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	23.5
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	15.4
mittlere Leistung [kW]	48.9
mittlere Drehzahl [U/min]	1807
Anzahl Messwerte [10 sec]	2698
Messdauer [h]	7.5
Emission HC [g/h]	26.8
Emission NOx [g/h]	506.9
Emission CO [g/h]	107.7

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	3.2
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	2.4
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	49.3
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	37.0
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	86
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	64
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	1622
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	1217
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	345
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	258

Abb. A12: Mais säen und walzen, Einzelkorn, 4-reihig, Arbeitsbreite 3 m, mit Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:
Die Aufnahme erfolgte am 5. Mai 2000.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	35	1							36
900-1200	63	48	2	1					114
1200-1500	4	107	98	1					210
1500-1800	101	536	372	2					1011
1800-2100		1	2	5	2	1			11
2100-2400			2	1	1	1			5
über 2400				3	4	2	1		10
Total	203	693	476	13	7	4	1		1397



Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	3.5
mittlere Leistung [kW]	6.1
mittlere Drehzahl [U/min]	1464
Anzahl Messwerte [10 sec]	1397
Messdauer [h]	3.9
Emission HC [g/h]	9.6
Emission NOx [g/h]	130.7
Emission CO [g/h]	11.4

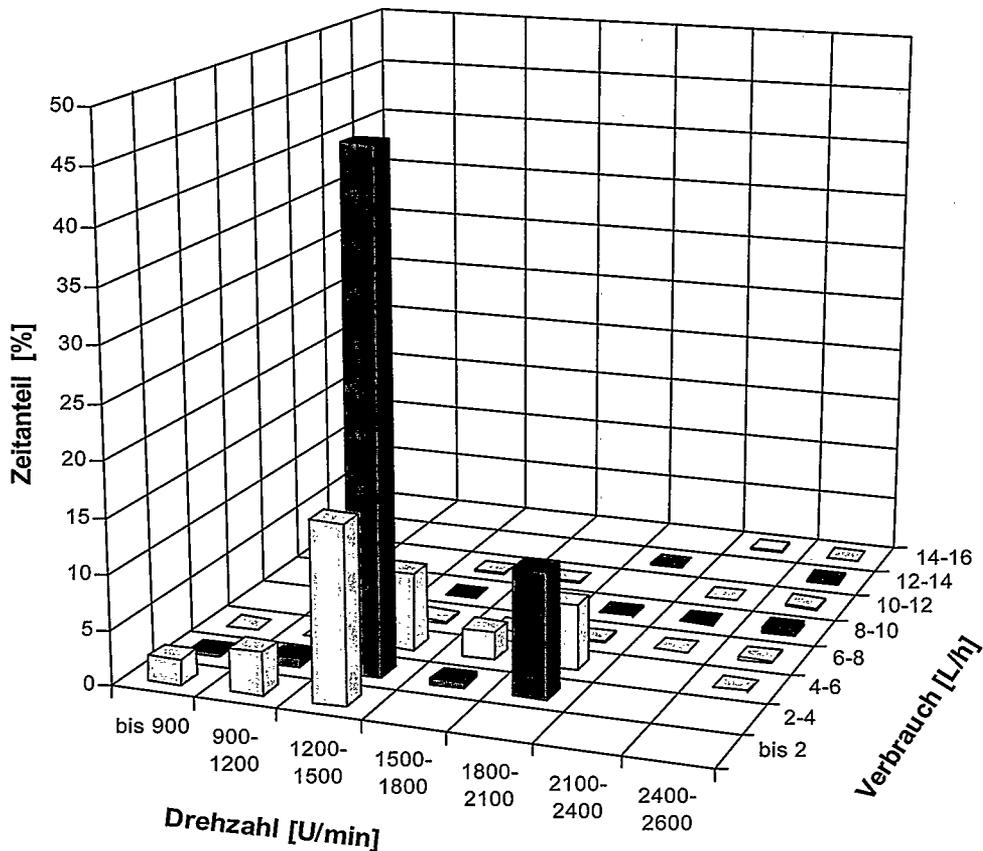
Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	1.5
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	0.9
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	5.3
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	3.2
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	14
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	9
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	196
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	118
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	17
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	10

Abb. A13: Rüben und Ackerbohnen säen, Einzelkorn, 6-reihig, Arbeitsbreite 2.25 m, mit Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Die Aufnahmen erfolgten am 13. und 23. März 2000 mit Ackerbohnen und Zuckerrüben. Die Parzellengröße mit Ackerbohnen war 5 ha und der Anfahrweg 250 m. Bei Zuckerrüben war es eine 4 ha-Parzelle mit 0,5 km Anfahrtsweg.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	65	7	1						73
900-1200	111	20	3	1					135
1200-1500	455	1311	198	5	1	1			1971
1500-1800		15	73	3	9	2			102
1800-2100		320	168	3	3		2		496
2100-2400				2	3	1		4	10
über 2400			2	5	12	5	6	2	32
Total	631	1673	445	19	28	9	8	6	2819



Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	2.9
mittlere Leistung [kW]	3.9
mittlere Drehzahl [U/min]	1438
Anzahl Messwerte [10 sec]	2819
Messdauer [h]	7.8
Emission HC [g/h]	9.9
Emission NOx [g/h]	116.6
Emission CO [g/h]	13.9

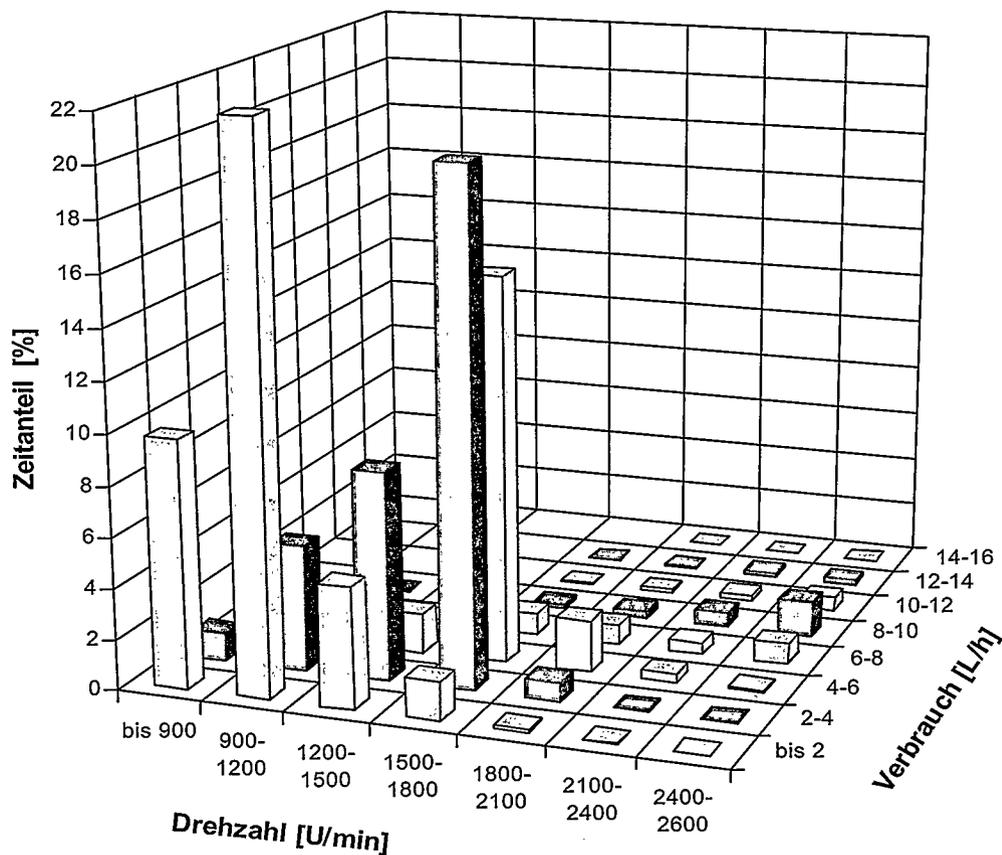
Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	1.9
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	1.3
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	5.5
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	3.8
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	19
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	13
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	222
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	152
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	26
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	18

Abb. A14: Spritzen, Arbeitsbreite 15 m, mit Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Die Tankfüllung der verwendeten Maschine beträgt 800 Liter. Das Messergebnis besteht aus 10 Aufnahmen vom 3. April bis 24. Mai 2000.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	1427	163	8	2					1600
900-1200	3212	725	65	10	1				4013
1200-1500	702	1200	230	27	3				2162
1500-1800	224	2938	2225	128	22	4	1		5542
1800-2100	15	108	299	115	36	16	5	1	595
2100-2400	1	7	48	66	81	33	21	4	261
über 2400		3	13	118	206	75	29	3	447
Total	5581	5144	2888	466	349	128	56	8	14620



Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	3.0
mittlere Leistung [kW]	4.1
mittlere Drehzahl [U/min]	1377
Anzahl Messwerte [10 sec]	14620
Messdauer [h]	40.6
Emission HC [g/h]	9.6
Emission NOx [g/h]	113.1
Emission CO [g/h]	13.8

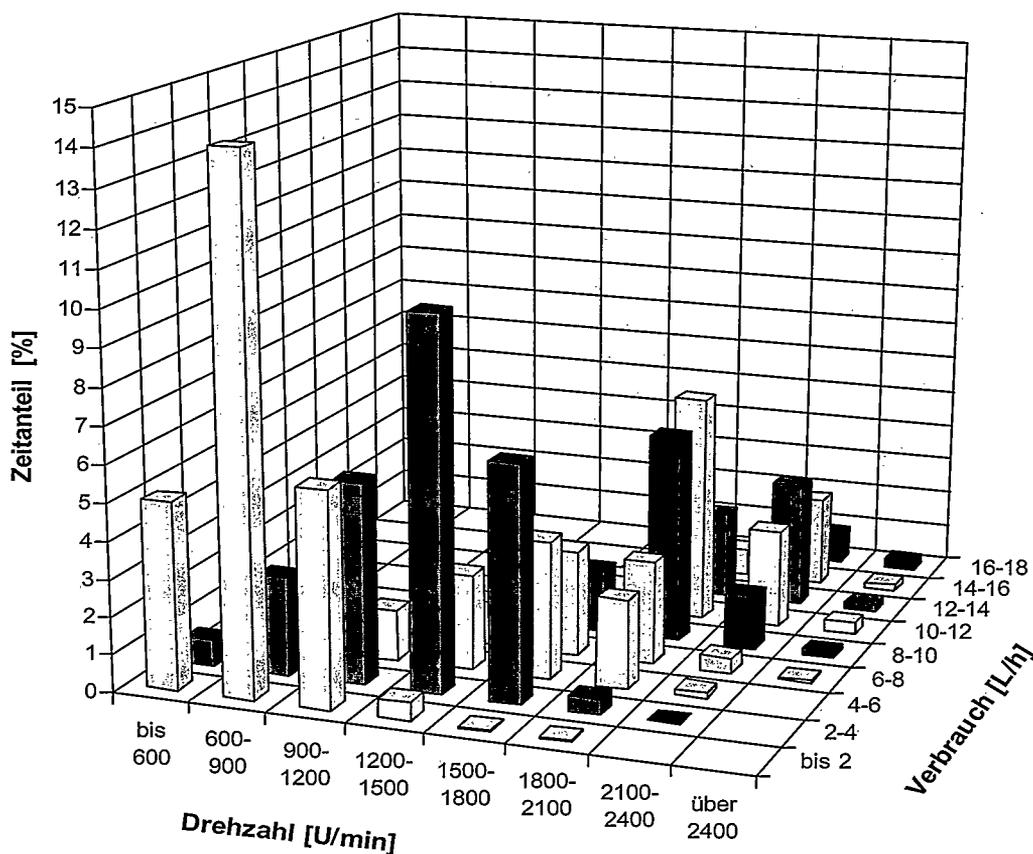
Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	1.8
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	0.9
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	5.3
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	2.7
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	17
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	9
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	204
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	102
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	25
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	12

Abb. A15: Eingrasen, Arbeitsbreite 3 m, mit Traktor 62 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Diese Arbeit wurde mit Frontmäherwerk und angehängtem, zapfwelkengetriebenem Erntewagen ausgeführt. Sie beinhaltet die Fahrten zu den Parzellen, das Mähen und Aufnehmen des Grases und das Abladen im Laufstall. Die Aufnahmen erfolgten vom 20. Juni bis 3. Juli und vom 30. bis 31. Oktober 2000.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]									Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	
bis 600	221	31	2							254
600-900	621	116	16	8						761
900-1200	254	237	60	12	6					569
1200-1500	22	437	113	52	20	7	4			655
1500-1800	2	277	163	125	75	41	14	1		698
1800-2100	2	18	105	122	246	269	103	32	3	900
2100-2400		1	7	18	65	117	149	106	38	501
über 2400				3	7	14	9	7	11	51
Total	1122	1117	466	340	419	448	279	146	52	4389



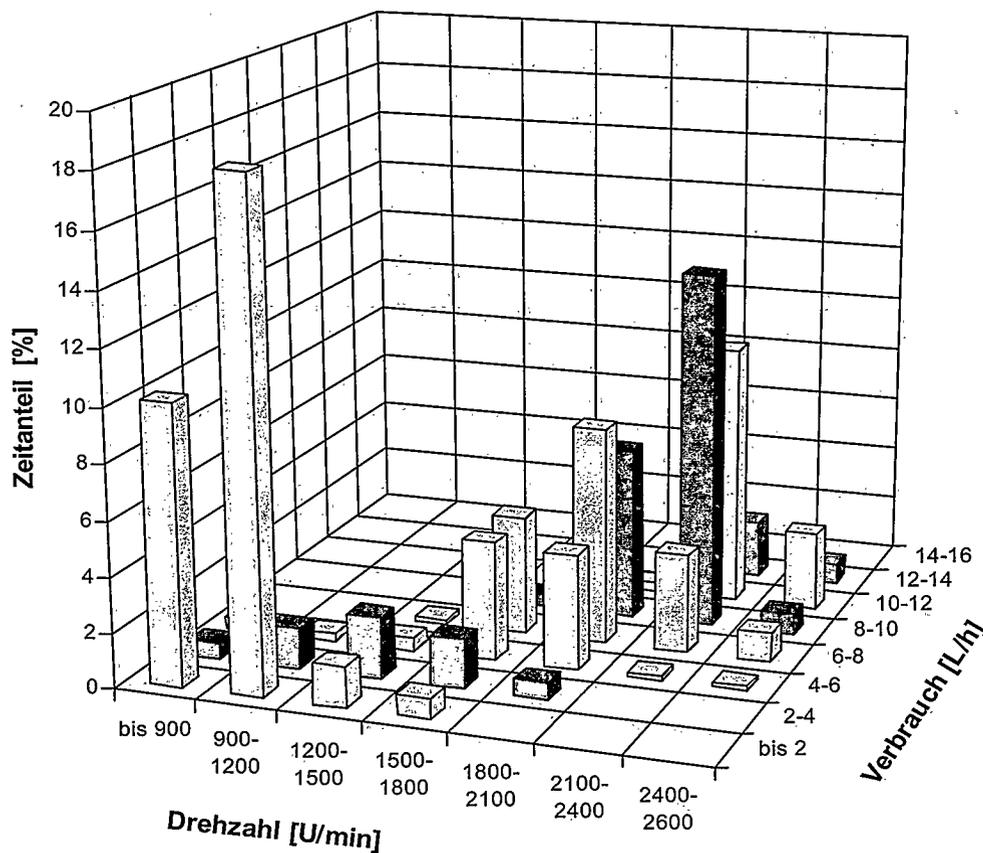
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	62
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	19.1
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	5.5
mittlere Leistung [kW]	13.4
mittlere Drehzahl [U/min]	1475
Anzahl Messwerte [10 sec]	4389
Messdauer [h]	12.2
Emission HC [g/h]	13.4
Emission NOx [g/h]	207.4
Emission CO [g/h]	27.7

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	2.7
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	2.0
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	15.0
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	11.1
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	36
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	27
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	560
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	415
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	75
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	55

Abb. A16: Gras mähen, Arbeitsbreite 2 m, mit Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:
Das Mähwerk mit einer Arbeitsbreite von 2 m ist hinten am Traktor angebracht.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	68	4	3						75
900-1200	122	10	2						134
1200-1500	10	15	3	1					29
1500-1800	5	12	29	29	3				78
1800-2100		4	28	53	42	2			129
2100-2400			1	24	87	64	14		190
über 2400			1	7	5	19	5		37
Total	205	45	67	114	137	85	19		672



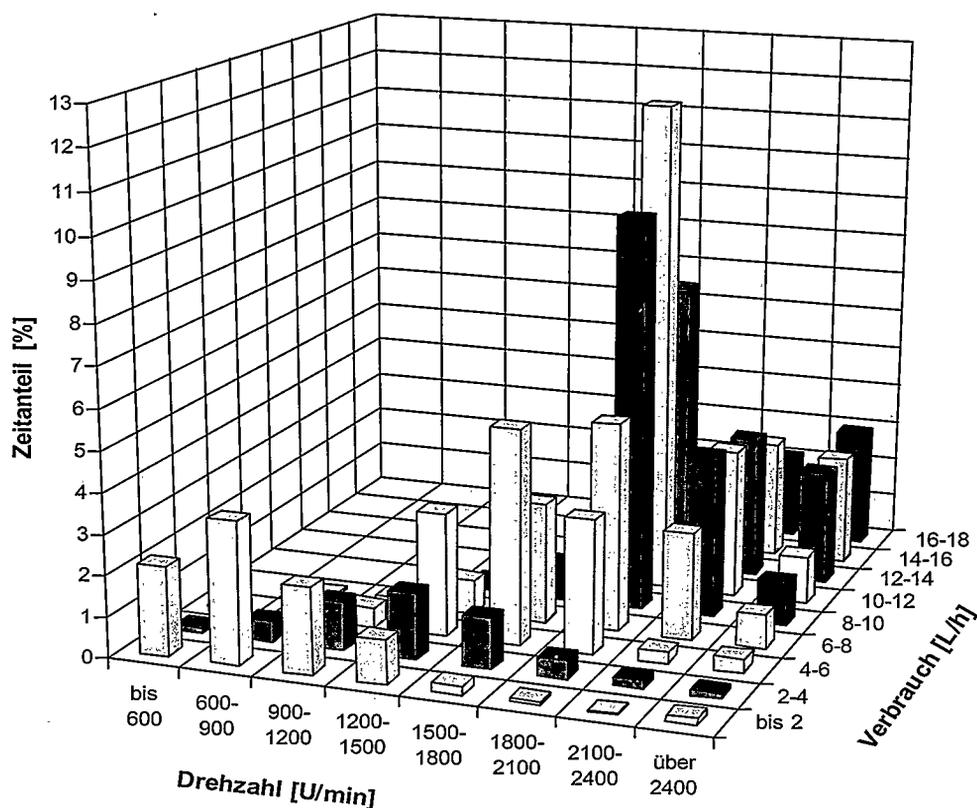
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	5.7
mittlere Leistung [kW]	14.1
mittlere Drehzahl [U/min]	1660
Anzahl Messwerte [10 sec]	672
Messdauer [h]	1.9
Emission HC [g/h]	12.0
Emission NOx [g/h]	186.0
Emission CO [g/h]	19.1

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	1.6
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	1.0
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	9.2
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	5.7
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	19
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	12
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	298
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	186
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	31
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	19

Abb. A17: Gras mähen und quetschen, Arbeitsbreite 3 m, mit Frontmähwerk und Traktor 62 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:
 Vorne am Traktor befindet sich das Frontmähwerk mit einer Arbeitsbreite von 3 m. Hinten ist ein Quetschwerk angebracht. Das Quetschen des Grases fördert den Trocknungsvorgang.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]										Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	
bis 600	53	3	1								57
600-900	84	12	3	1							100
900-1200	51	29	12	4							96
1200-1500	26	39	73	20	6	1					165
1500-1800	5	30	127	71	22	8	3	2			268
1800-2100	2	11	79	123	233	290	174	37	6		955
2100-2400	1	5	7	63	97	88	84	70	50		465
über 2400	4	3	8	20	26	28	68	65	70		292
Total	226	132	310	302	384	415	329	174	126		2398



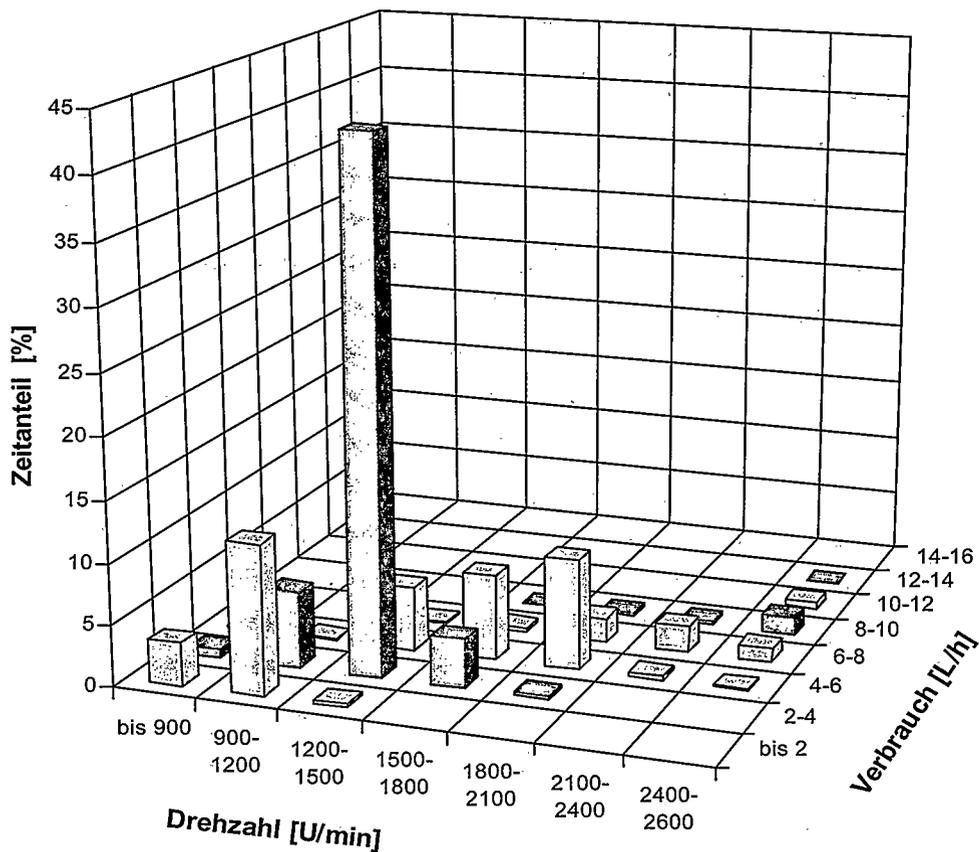
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	62
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	19.1
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	8.8
mittlere Leistung [kW]	25.2
mittlere Drehzahl [U/min]	1868
Anzahl Messwerte [10 sec]	2398
Messdauer [h]	6.7
Emission HC [g/h]	13.6
Emission NOx [g/h]	303.7
Emission CO [g/h]	31.3

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	1.2
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	0.7
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	10.6
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	6.2
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	16
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	10
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	364
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	213
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	38
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	22

Abb. A18: Gras zetzen, mit Kreiselheuer, Arbeitsbreite 5 m und Traktor 50 kW
Nennleistung

Nähere Beschreibung der
Messung:

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	79	15	2						96
900-1200	275	140	3						418
1200-1500	7	968	117	2					1094
1500-1800		90	157	9	1				257
1800-2100		6	204	44	4				258
2100-2400			7	48	6				61
über 2400			3	25	32	11	1		72
Total	361	1219	493	128	43	11	1		2256



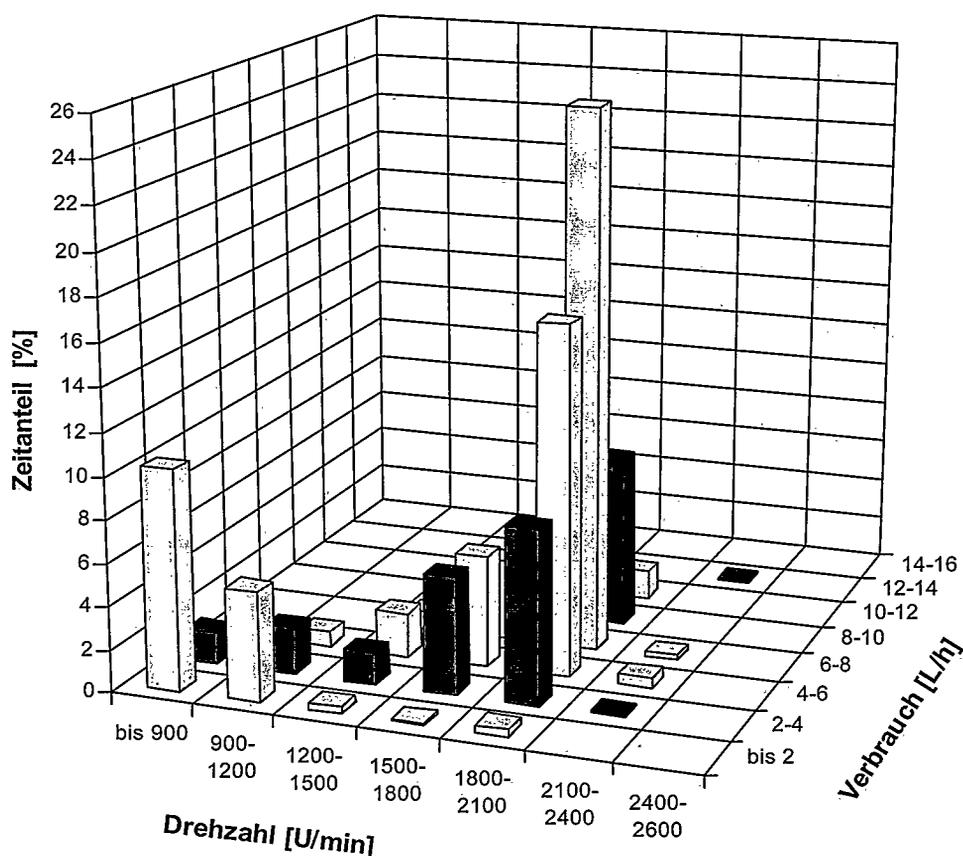
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	3.4
mittlere Leistung [kW]	5.8
mittlere Drehzahl [U/min]	1411
Anzahl Messwerte [10 sec]	2256
Messdauer [h]	6.3
Emission HC [g/h]	11.1
Emission NOx [g/h]	131.9
Emission CO [g/h]	15.5

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	1.1
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	0.6
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	3.8
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	2.1
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	12
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	7
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	145
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	79
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	17
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	9

Abb. A19: Gras zetzen, mit Kreiselheuer, Arbeitsbreite 7,85 m und Traktor 50 kW
Nennleistung

Nähere Beschreibung der
Messung:

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	90	13	1						104
900-1200	45	19	6						70
1200-1500	3	13	18	7					41
1500-1800	1	48	46	33	3				131
1800-2100	3	71	143	221	70	12			520
2100-2400		1	4	2			1		8
über 2400									
Total	142	165	218	263	73	12	1		874



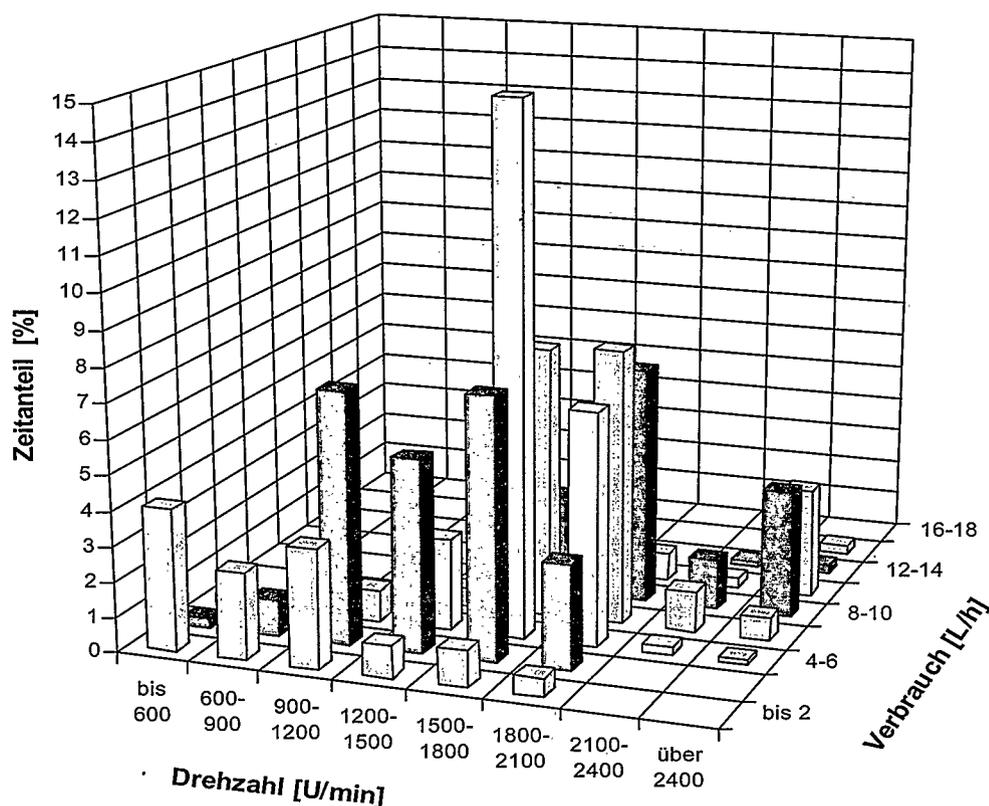
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	4.9
mittlere Leistung [kW]	11.1
mittlere Drehzahl [U/min]	1656
Anzahl Messwerte [10 sec]	874
Messdauer [h]	2.4
Emission HC [g/h]	10.0
Emission NOx [g/h]	170.9
Emission CO [g/h]	12.5

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	0.9
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	0.4
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	4.4
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	2.0
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	9
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	4
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	154
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	68
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	11
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	5

Abb. A20: Gras zetzen, mit Kreiselheuer, Arbeitsbreite 7,85 m und Traktor 62 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total	
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16		16-18
bis 600	31	2	2							35
600-900	19	8								27
900-1200	26	55	7							88
1200-1500	7	42	20	4						73
1500-1800	8	57	115	59	22					261
1800-2100	4	23	51	60	52	6				196
2100-2400			2	9	11	2	1			25
über 2400			1	5	28	24	2	2		62
Total	95	187	198	137	113	32	3	2		767



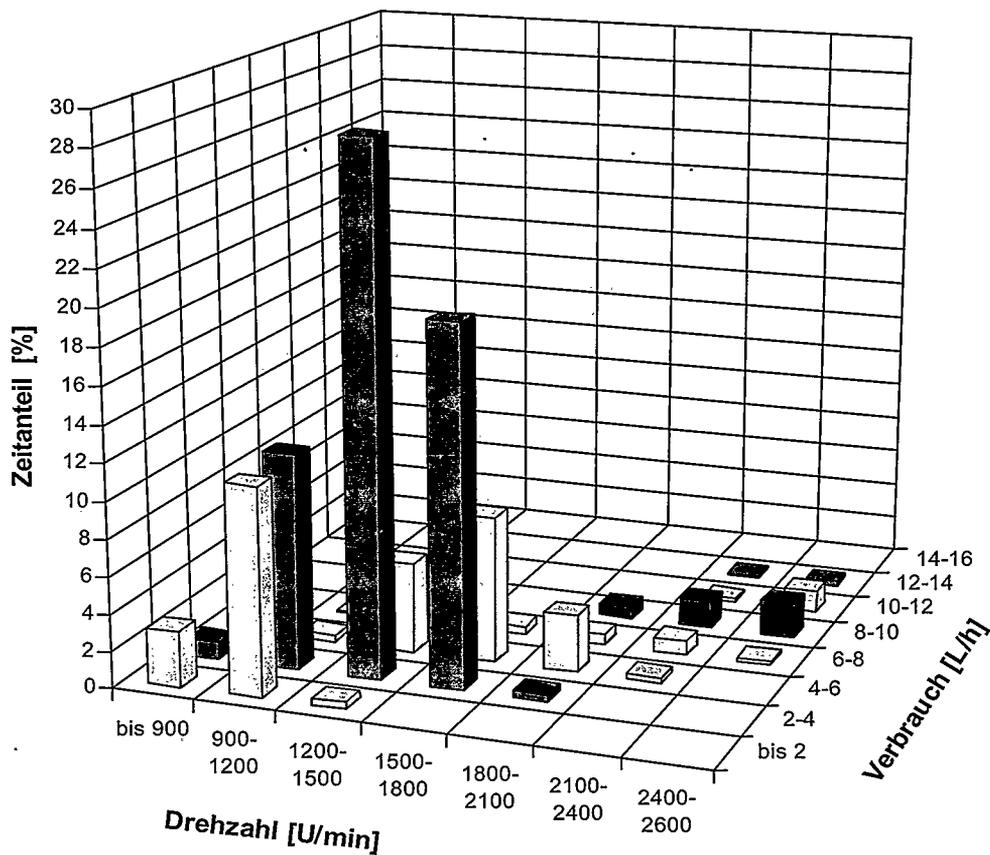
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	62
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	19.1
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	5.2
mittlere Leistung [kW]	12.0
mittlere Drehzahl [U/min]	1635
Anzahl Messwerte [10 sec]	767
Messdauer [h]	2.1
Emission HC [g/h]	13.4
Emission NOx [g/h]	192.0
Emission CO [g/h]	18.8

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	0.9
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	0.4
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	4.6
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	2.1
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	12
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	5
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	173
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	77
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	17
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	8

Abb. A21: Gras schwaden, Arbeitsbreite 3 m, mit Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	32	10							42
900-1200	119	123	4	1					247
1200-1500	4	300	52	1	1				358
1500-1800		205	84	5					294
1800-2100		4	33	6	7				50
2100-2400			3	8	16	2	1		30
über 2400				2	20	12	3		37
Total	155	642	176	23	44	14	4		1058



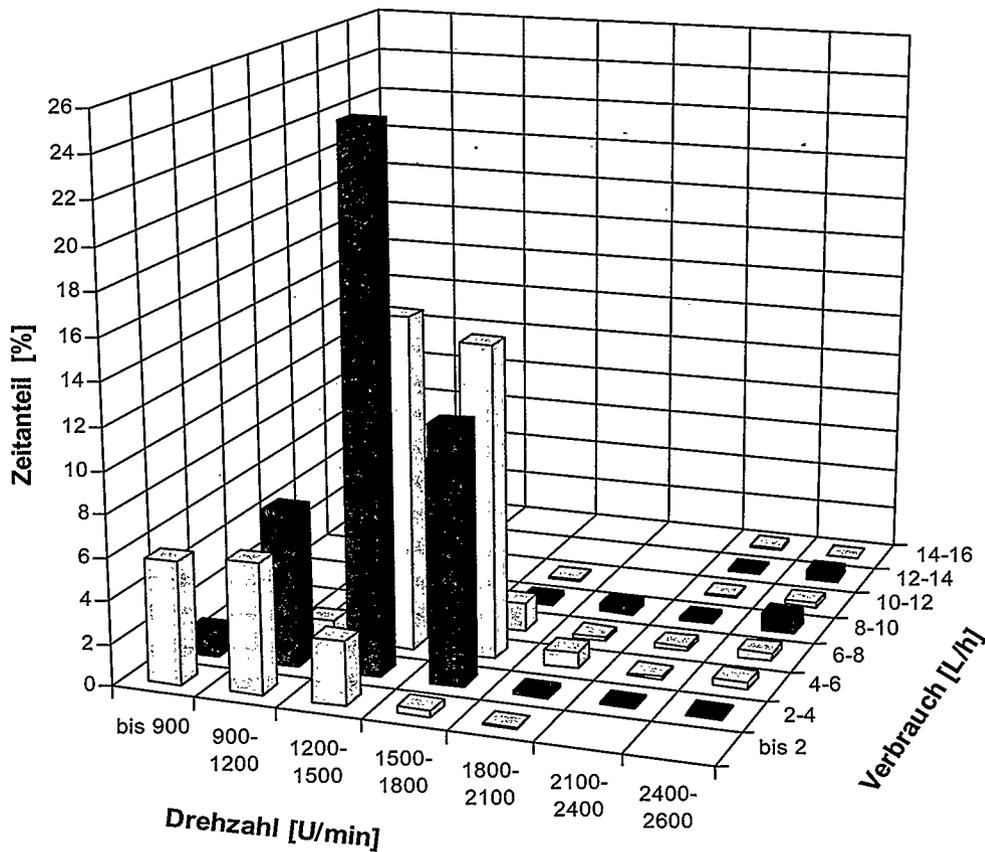
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	3.5
mittlere Leistung [kW]	6.1
mittlere Drehzahl [U/min]	1404
Anzahl Messwerte [10 sec]	1058
Messdauer [h]	2.9
Emission HC [g/h]	11.3
Emission NOx [g/h]	132.9
Emission CO [g/h]	16.3

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	1.2
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	0.7
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	4.2
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	2.5
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	14
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	8
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	159
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	93
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	20
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	11

Abb. A22: Gras schwaden, Arbeitsbreite 6 m, mit Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	120	25	3						148
900-1200	127	152	18	1					298
1200-1500	62	520	325	19	1				927
1500-1800	7	249	305	29	6	2			598
1800-2100	1	3	16	4	8				32
2100-2400		2	2	4	4	2	2	3	19
über 2400		3	7	7	16	4	9	1	47
Total	317	954	676	64	35	8	11	4	2069



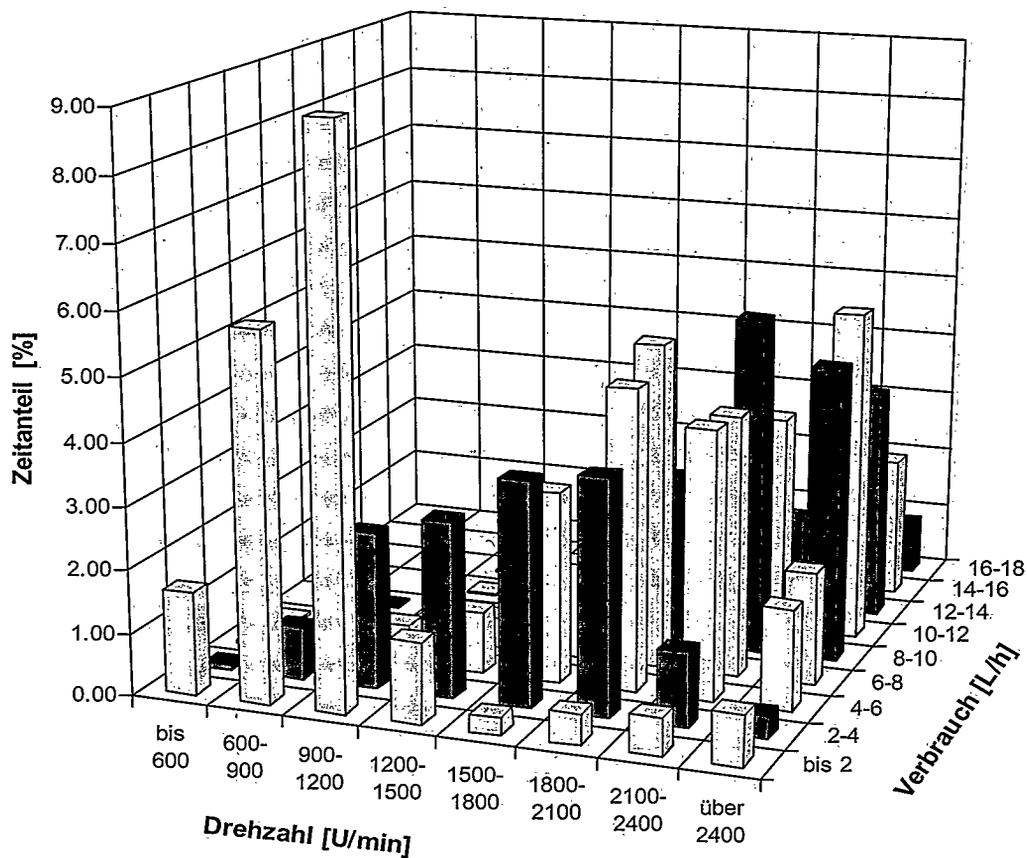
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	3.6
mittlere Leistung [kW]	6.4
mittlere Drehzahl [U/min]	1388
Anzahl Messwerte [10 sec]	2069
Messdauer [h]	5.8
Emission HC [g/h]	11.5
Emission NOx [g/h]	143.3
Emission CO [g/h]	17.5

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	1.0
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	0.5
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	3.6
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	1.8
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	12
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	6
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	143
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	72
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	18
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	9

Abb. A23: Heu laden und einführen, mit Ladewagen und Traktor 62 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]									Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	
bis 600	47	2	1	1						51
600-900	167	24	6	2	1					200
900-1200	258	71	18	8		1	1			357
1200-1500	37	80	28	14	5	5	1			170
1500-1800	8	102	87	44	19	12	6	5		283
1800-2100	14	107	137	148	78	52	17	7	7	567
2100-2400	17	34	122	119	154	100	43	23	17	629
über 2400	23	10	46	52	135	152	106	65	24	613
Total	571	430	445	388	392	322	174	100	48	2870



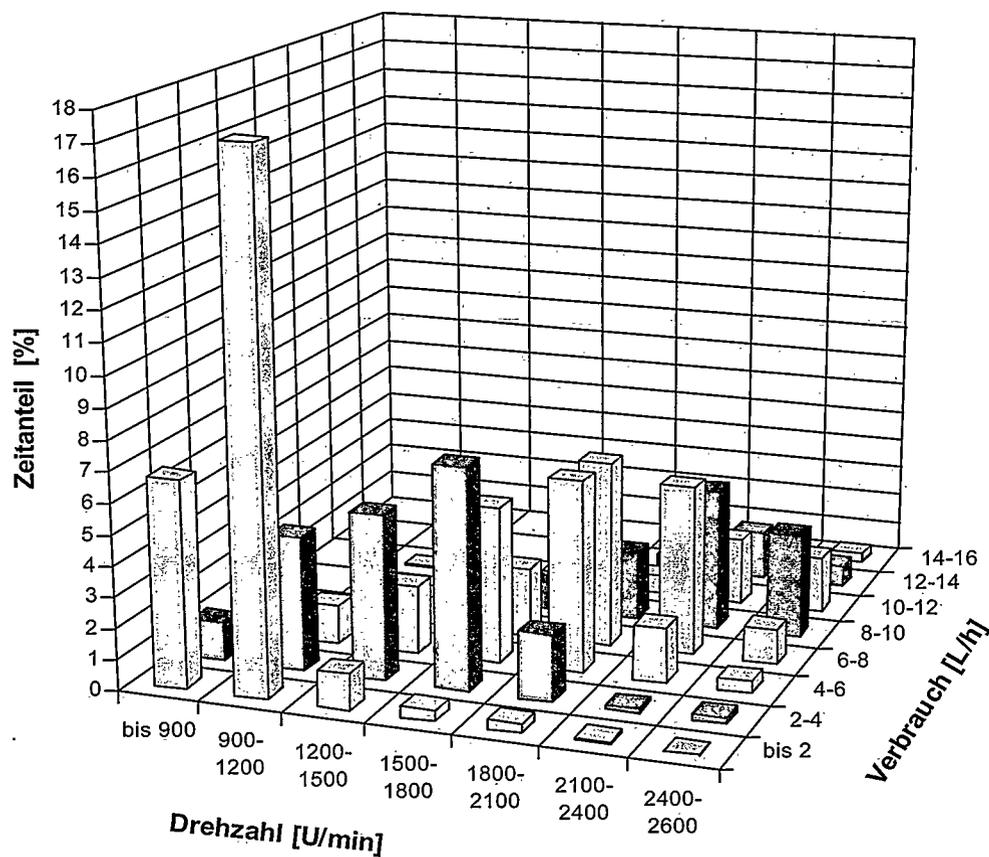
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	62
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	19.1
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	6.3
mittlere Leistung [kW]	16.3
mittlere Drehzahl [U/min]	1828
Anzahl Messwerte [10 sec]	2870
Messdauer [h]	8.0
Emission HC [g/h]	13.3
Emission NOx [g/h]	214.0
Emission CO [g/h]	23.0

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	0.6
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	0.5
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	3.8
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	3.2
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	8
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	7
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	128
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	107
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	14
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	12

Abb. A24: Heu laden und einführen, mit Ladewagen und Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	169	32	7						208
900-1200	433	110	32	6	3	1			585
1200-1500	30	135	56	24	3				248
1500-1800	9	181	128	57	23	7	1		406
1800-2100	7	54	157	152	56	15	11	4	456
2100-2400	2	3	45	139	116	54	40	14	413
über 2400	1	5	10	29	86	46	18	8	203
Total	651	520	435	407	287	123	70	26	2519



Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	4.8
mittlere Leistung [kW]	10.8
mittlere Drehzahl [U/min]	1597
Anzahl Messwerte [10 sec]	2519
Messdauer [h]	7.0
Emission HC [g/h]	12.0
Emission NOx [g/h]	165.9
Emission CO [g/h]	20.7

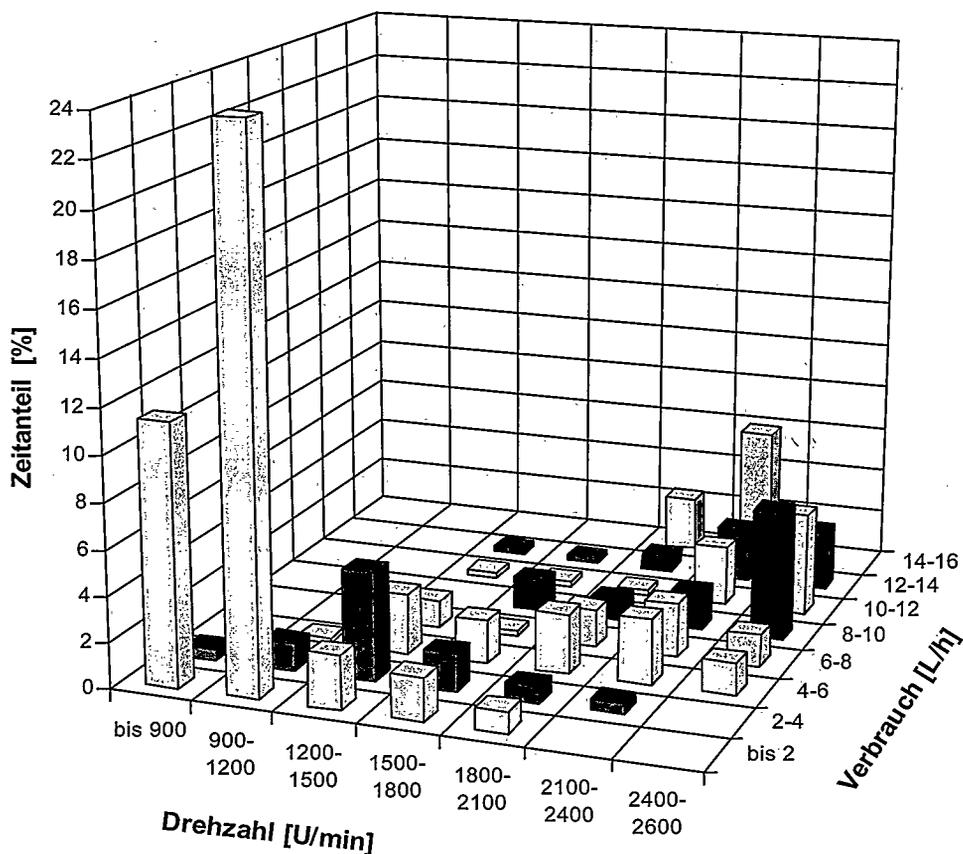
Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	0.7
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	0.5
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	3.4
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	2.4
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	8
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	6
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	116
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	83
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	14
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	10

Abb. A25: Siloballen pressen, mit Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Hergestellt wurden Rundballen mit einer Masse von 750 kg, einem Durchmesser von 1,35 m und einer Höhe von 1,25 m. In der Aufnahme ist das Umwickeln der Ballen nicht enthalten.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	48	2							50
900-1200	101	5	1						107
1200-1500	10	20	11	5		1	1		48
1500-1800	8	7	8	1	6	1	1		32
1800-2100	4	3	11	7	4	1	3	10	43
2100-2400		2	12	10	7	11	10	25	77
über 2400			6	6	24	19	11		66
Total	171	39	49	29	41	33	26	35	423



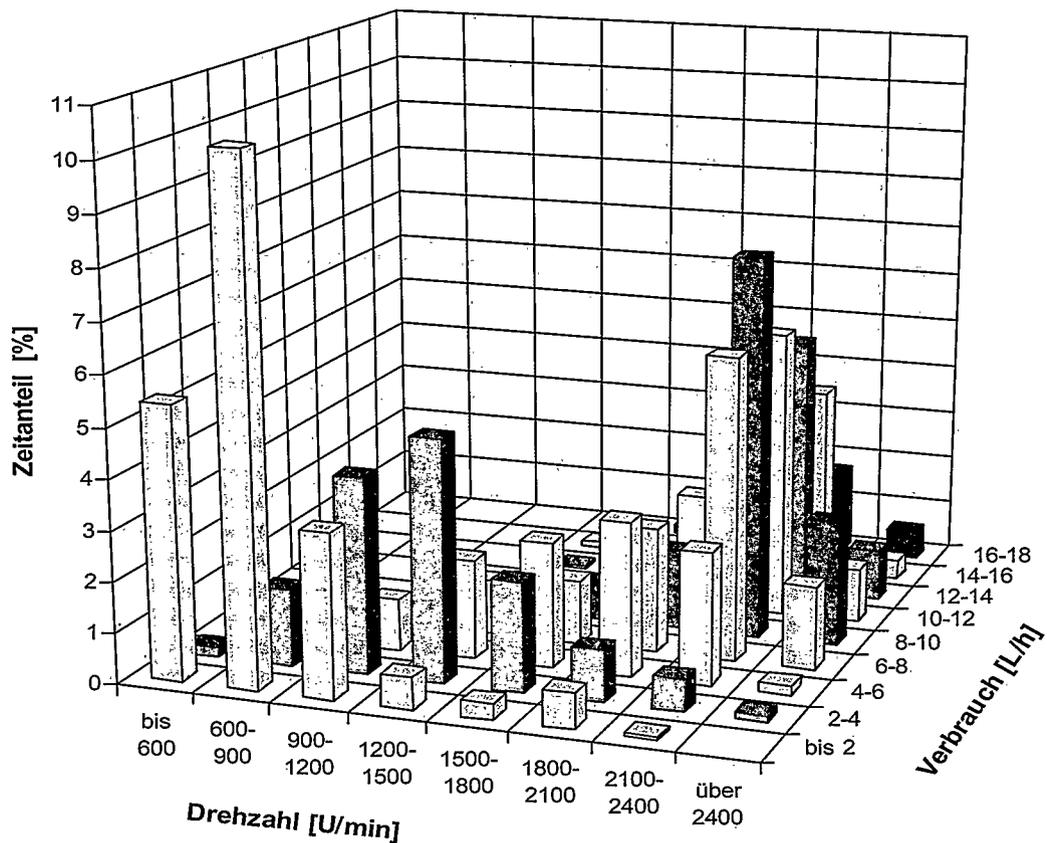
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	5.4
mittlere Leistung [kW]	12.9
mittlere Drehzahl [U/min]	1598
Anzahl Messwerte [10 sec]	423
Messdauer [h]	1.2
Emission HC [g/h]	13.0
Emission NOx [g/h]	180.6
Emission CO [g/h]	31.9

Traktorstunden [Th/ha] bei 0,5 ha Schlag	1.8
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	1.0
Verbrauch [L/ha] bei 0,5 ha Schlag	9.7
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	5.4
Emission HC [g/ha] bei 0,5 ha Schlag	23
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	13
Emission NOx [g/ha] bei 0,5 ha Schlag	325
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	181
Emission CO [g/ha] bei 0,5 ha Schlag	57
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	32

Abb. A26: Rundballen pressen, mit Traktor 62 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:
Hergestellt wurden Rundballen mit einer Masse von 700 kg, einem Durchmesser von 1,3 m und einer Höhe von 1,2 m.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]									Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	
bis 600	85	3								88
600-900	161	24	1							186
900-1200	51	61	16	8	2					138
1200-1500	10	75	31	17	10		1	2		146
1500-1800	5	34	39	20	12	11	5	4	3	133
1800-2100	11	16	48	39	25	36	19	22	15	231
2100-2400	1	10	41	94	119	90	82	60	27	524
über 2400		2	3	26	39	17	16	6	9	118
Total	324	225	179	204	207	154	123	94	54	1564



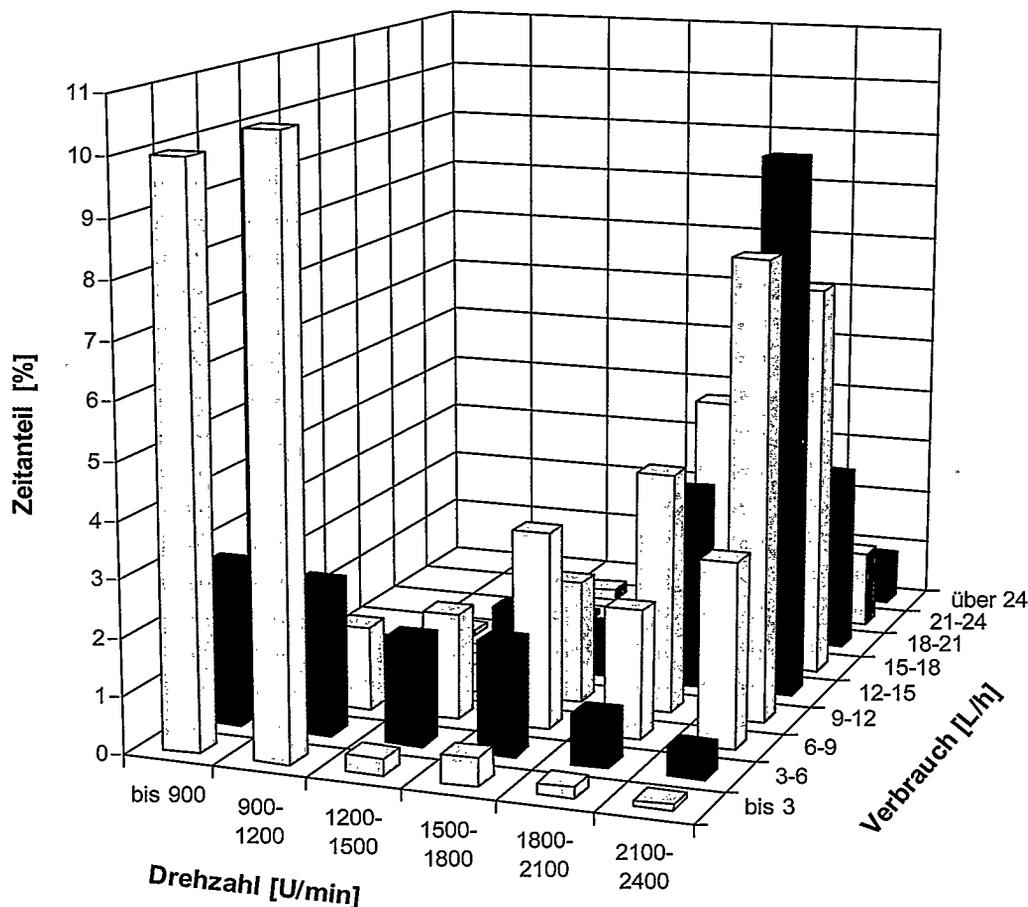
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	62
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	19.1
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	6.8
mittlere Leistung [kW]	17.9
mittlere Drehzahl [U/min]	1703
Anzahl Messwerte [10 sec]	1564
Messdauer [h]	4.3
Emission HC [g/h]	13.7
Emission NOx [g/h]	237.3
Emission CO [g/h]	30.1

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	1.8
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	1.0
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	12.2
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	6.8
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	25
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	14
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	427
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	237
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	54
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	30

Abb. A27: Rundballen pressen, mit Traktor 78 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:
 Hergestellt wurden Rundballen mit einer Masse von 700 kg, einem Durchmesser von 1,3 m und einer Höhe von 1,2 m.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]									Werte Total
	bis 3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	24 -	
bis 900	102	29	6	1	2					140
900-1200	107	27	15	3		1				153
1200-1500	3	19	19	5	11	1	1	2		61
1500-1800	5	20	35	22	9	7	5	1	1	105
1800-2100	2	9	23	43	36	49	35	13	6	216
2100-2400	1	5	33	82	97	71	33	14	9	345
Total	220	109	131	156	155	129	74	30	16	1020



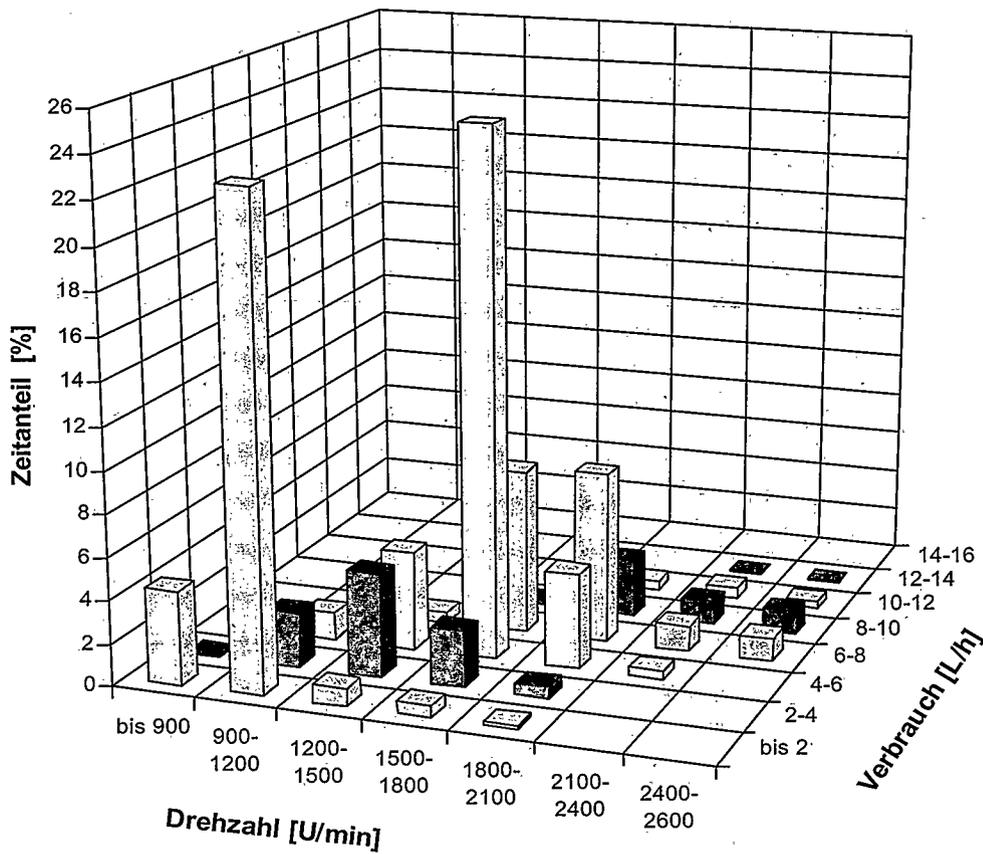
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	78
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	23.5
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	10.1
mittlere Leistung [kW]	29.9
mittlere Drehzahl [U/min]	1661
Anzahl Messwerte [10 sec]	1020
Messdauer [h]	2.8
Emission HC [g/h]	22.3
Emission NOx [g/h]	327.1
Emission CO [g/h]	52.3

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	1.8
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	1.0
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	18.2
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	10.1
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	40
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	22
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	589
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	327
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	94
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	52

Abb. A28: Walzen, Arbeitsbreite 5 m, mit Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	78	1							79
900-1200	406	45	23						474
1200-1500	15	86	82	8					191
1500-1800	10	47	438	138	4	1			638
1800-2100	3	9	80	143	48	8			291
2100-2400			7	21	20	10	1		59
über 2400				19	19	5	1		44
Total	512	188	630	329	91	24	2		1776



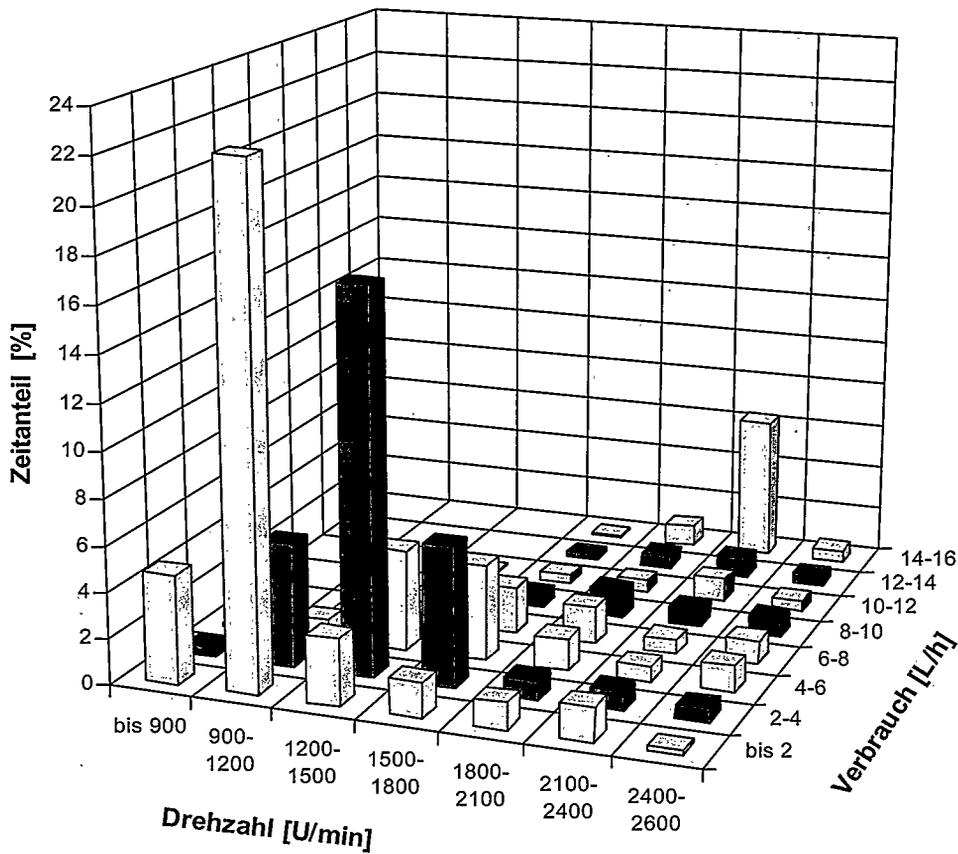
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	4.2
mittlere Leistung [kW]	8.6
mittlere Drehzahl [U/min]	1465
Anzahl Messwerte [10 sec]	1776
Messdauer [h]	4.9
Emission HC [g/h]	10.1
Emission NOx [g/h]	154.1
Emission CO [g/h]	13.5

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	0.9
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	0.5
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	3.8
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	2.1
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	9
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	5
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	139
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	77
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	12
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	7

Abb. A29: Gülle ausführen mit Druckfass 5 m³ und Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	149	12	4	1					166
900-1200	703	170	28	1	1				903
1200-1500	92	526	139	29	7	2			795
1500-1800	49	192	132	64	19	11	8	1	476
1800-2100	37	25	44	51	38	17	19	29	260
2100-2400	47	26	21	19	24	32	28	199	396
über 2400	5	19	36	32	25	14	14	17	162
Total	1082	970	404	197	114	76	69	246	3158



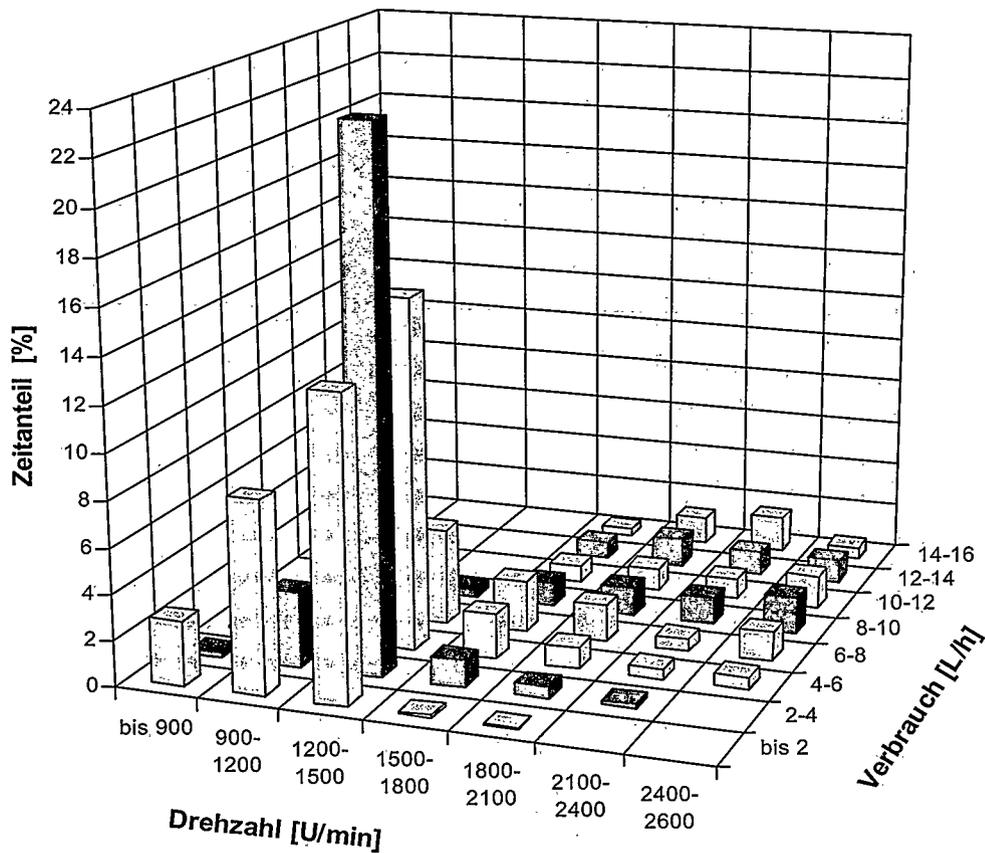
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	4.3
mittlere Leistung [kW]	8.9
mittlere Drehzahl [U/min]	1475
Anzahl Messwerte [10 sec]	3158
Messdauer [h]	8.8
Emission HC [g/h]	11.5
Emission NOx [g/h]	156.3
Emission CO [g/h]	26.3

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	2.6
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	1.8
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	11.1
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	7.7
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	30
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	21
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	406
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	281
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	68
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	47

Abb. A30: Gülle ausführen mit Druckfass 6,5 m³ und Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	69	5	1						75
900-1200	205	80	13						298
1200-1500	323	571	376	103	8				1381
1500-1800	3	29	49	56	26	18	18	7	206
1800-2100	1	12	23	40	30	24	31	29	190
2100-2400		5	11	13	29	22	25	40	145
über 2400			13	31	40	35	25	13	157
Total	601	702	486	243	133	99	99	89	2452

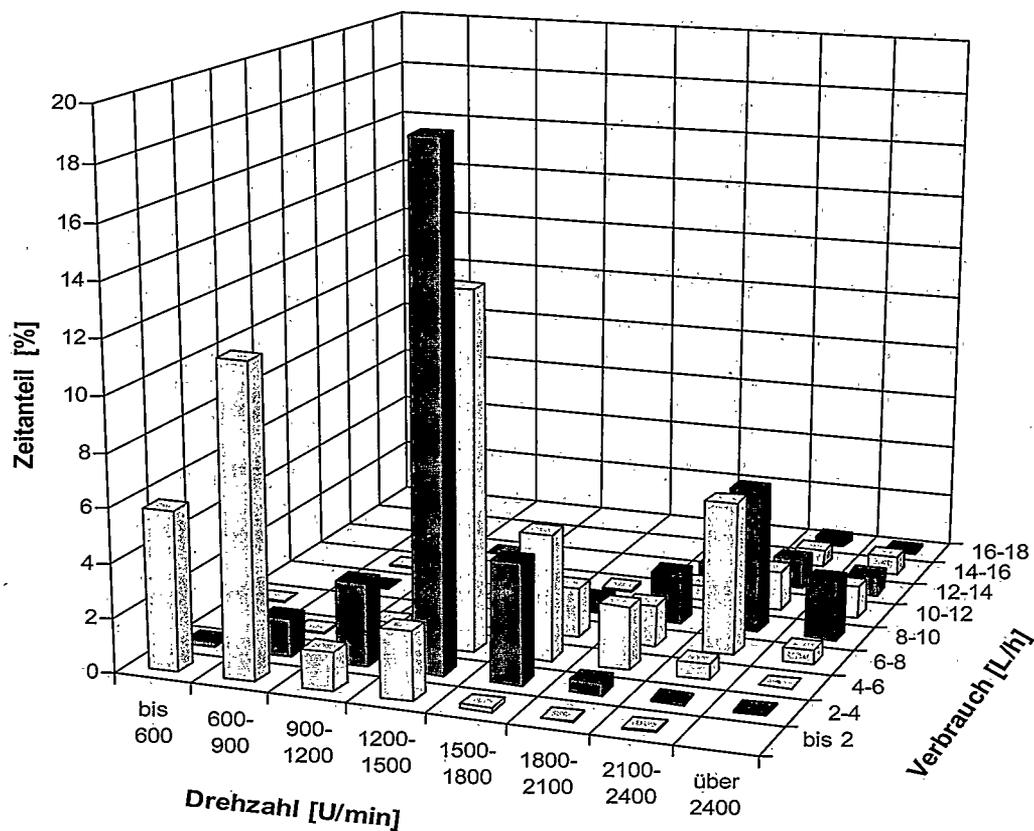


Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50	Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	2.3
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7	Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	1.6
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	4.7	Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	10.7
mittlere Leistung [kW]	103	Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	7.5
mittlere Drehzahl [U/min]	1450	Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	28
Anzahl Messwerte [10 sec]	2452	Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	19
Messdauer [h]	6.8	Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	401
Emission HC [g/h]	12.0	Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	279
Emission NOx [g/h]	174.5	Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	59
Emission CO [g/h]	25.8	Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	41

Abb. A31: Gülle ausführen mit Druckfass 6,5 m³ und Traktor 62 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]										Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	
bis 600	191	6	2	1							200
600-900	372	45	2		1	1					421
900-1200	46	99	23	4	1		1				174
1200-1500	82	616	429	23	1						1151
1500-1800	5	144	151	60	17	3					380
1800-2100	1	15	76	49	60	19	17	1			238
2100-2400	2	3	19	183	173	47	36	21	10		494
über 2400		2	1	17	72	38	24	23	4		181
Total	699	930	703	337	325	108	78	45	14		3239



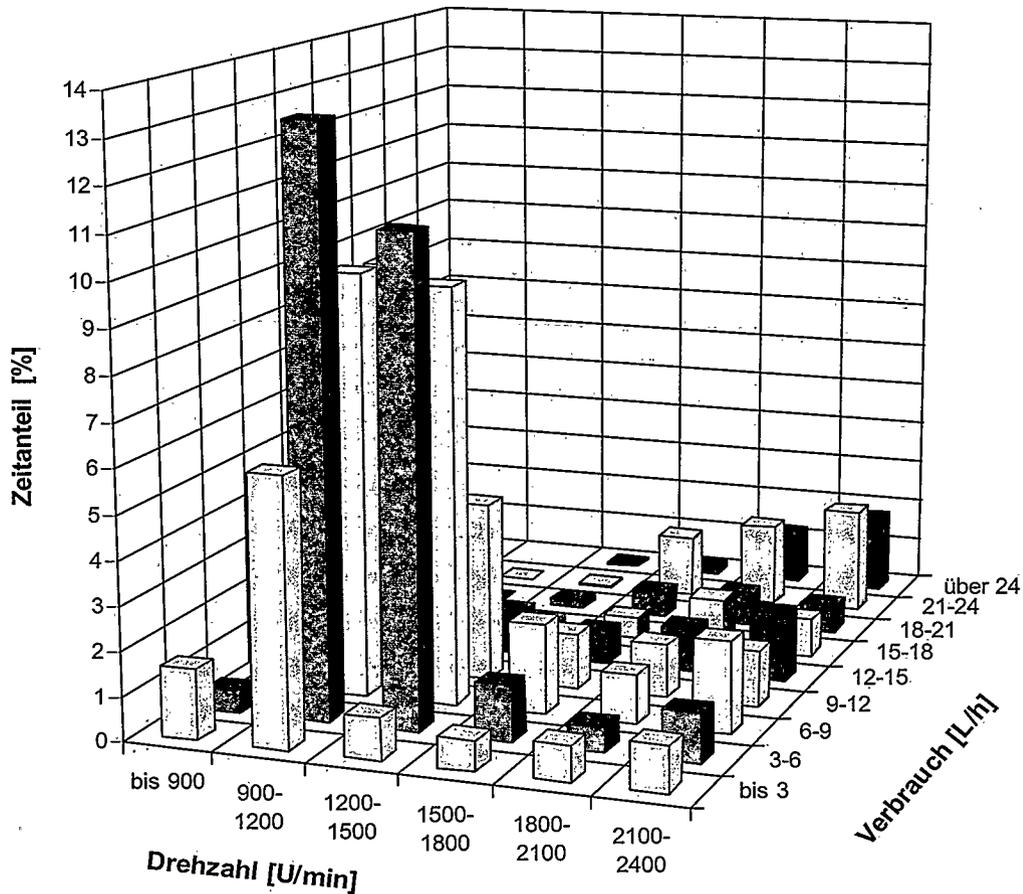
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	62
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	19.1
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	4.6
mittlere Leistung [kW]	10.1
mittlere Drehzahl [U/min]	1467
Anzahl Messwerte [10 sec]	3239
Messdauer [h]	9.0
Emission HC [g/h]	13.9
Emission NOx [g/h]	175.7
Emission CO [g/h]	22.8

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	2.3
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	1.6
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	106
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	7.4
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	32
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	22
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	404
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	281
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	52
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	36

Abb. A32: Gülle ausführen mit Druckfass 6,5 m³ und Traktor 78 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]									Werte Total
	bis 3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	24 -	
bis 900	109	34	5	2	1					151
900-1200	414	908	660	649	93	6	2	1		2733
1200-1500	65	754	648	281	71	16	12	3	3	1853
1500-1800	47	87	142	86	51	35	41	99	11	599
1800-2100	55	39	76	83	69	79	50	131	83	665
2100-2400	72	76	143	87	107	60	45	168	122	880
Total	762	1898	1674	1188	392	196	150	402	219	6881



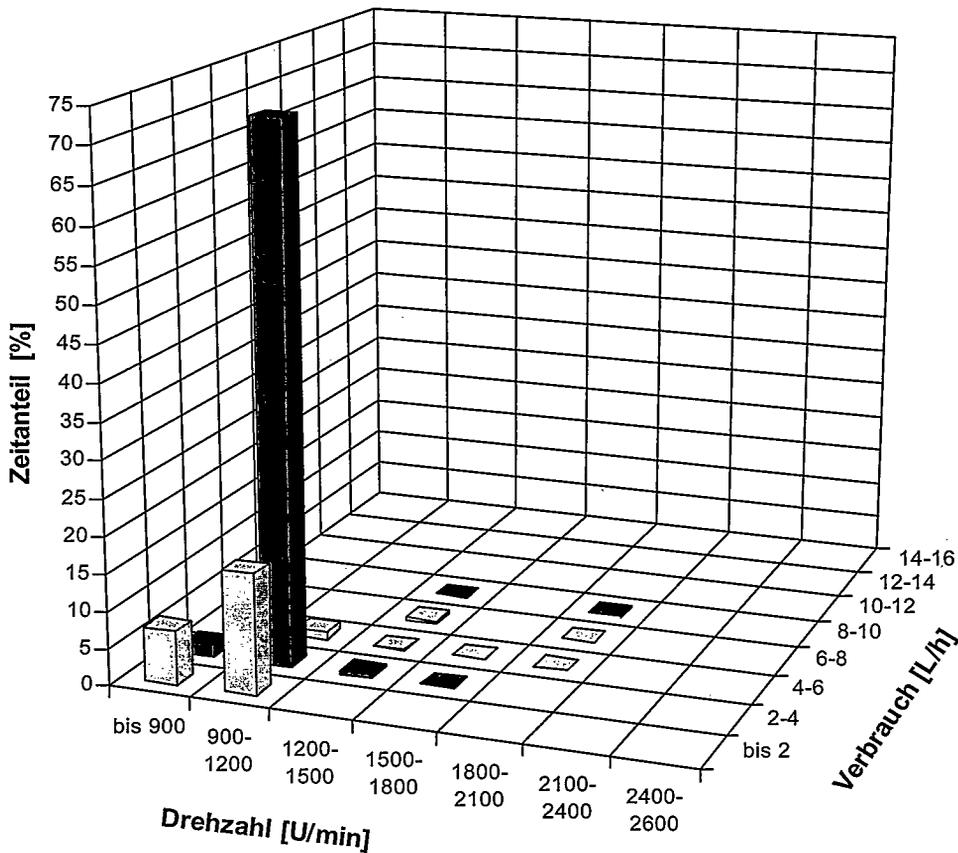
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	78
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	23.5
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	8.9
mittlere Leistung [kW]	25.5
mittlere Drehzahl [U/min]	1415
Anzahl Messwerte [10 sec]	6881
Messdauer [h]	19.1
Emission HC [g/h]	23.7
Emission NOx [g/h]	332.7
Emission CO [g/h]	68.3

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	2.3
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	1.6
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	20.5
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	14.2
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	55
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	38
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	765
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	532
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	157
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	109

Abb. A33: Mist laden mit Mistkran, Antrieb mit Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:
Der Traktor treibt mit seiner Sparzapfwelle die Hydraulikpumpe des Mistkranes an.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	96	20							116
900-1200	215	949	14						1178
1200-1500		5	1	4	1				11
1500-1800		1	2						3
1800-2100			1	2	1				4
2100-2400									
über 2400									
Total	311	975	18	6	2				1312

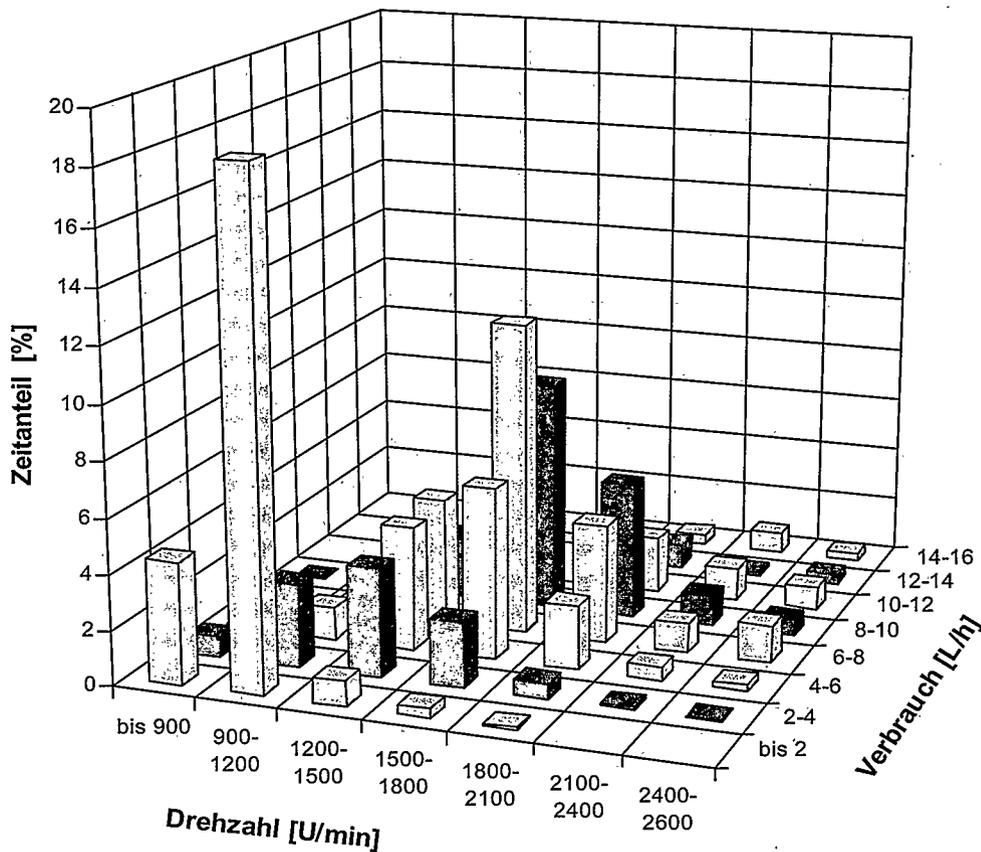


Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	2.4
mittlere Leistung [kW]	2.0
mittlere Drehzahl [U/min]	1056
Anzahl Messwerte [10 sec]	1312
Messdauer [h]	3.6
Emission HC [g/h]	13.9
Emission NOx [g/h]	118.2
Emission CO [g/h]	26.1

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	1.9
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	1.5
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	4.5
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	3.5
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	26
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	21
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	225
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	177
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	50
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	39

Abb. A34: Mist ausführen mit Mistzetter und Traktor 50 kW Nennleistung (25 t/ha)

Nähere Beschreibung der Messung:	Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total	
		bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16		
Massen:											
Mist:	2,2 t										
Miststreuer:	3,2 t										
Traktor:	3,1 t										
Total:	8,5 t										
Distanz	0,5 km										
		bis 900	900-1200	1200-1500	1500-1800	1800-2100	2100-2400	über 2400	Total		
		119	20	3		1				143	
		496	81	32	11	1				621	
		25	106	121	124	61	15			452	
		9	64	168	306	227	41	10		825	
		2	15	63	117	134	55	24	11	421	
			3	13	29	30	33	4	21	133	
			1	6	36	15	22	10	8	98	
		Total	651	290	406	623	469	166	48	40	2693



Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	5.6
mittlere Leistung [kW]	13.5
mittlere Drehzahl [U/min]	1492
Anzahl Messwerte [10 sec]	2693
Messdauer [h]	7.5
Emission HC [g/h]	11.3
Emission NOx [g/h]	203.2
Emission CO [g/h]	24.7

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	3.0
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	2.3
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	16.7
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	12.8
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	34
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	26
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	610
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	467
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	74
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	57

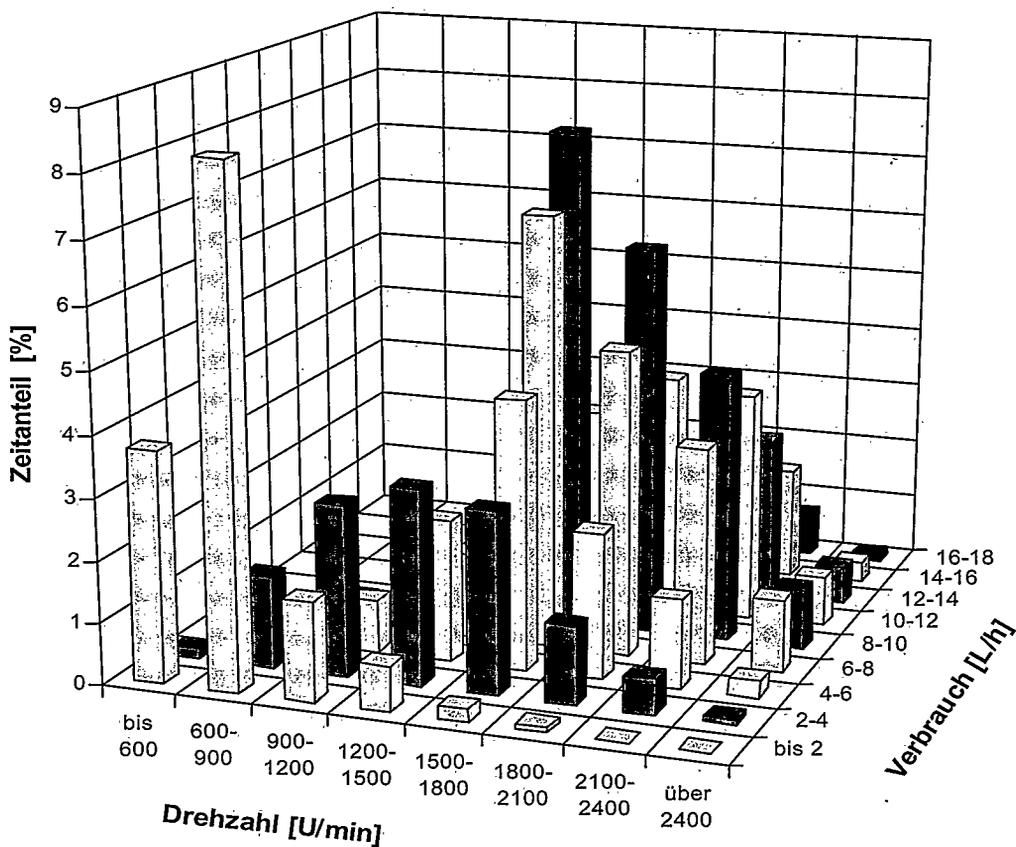
Abb. A35: Mist ausführen mit Mistzetter und Traktor 62 kW Nennleistung (25 t/ha)

Nähere Beschreibung der Messung:

Massen:
 Mist: 2,2 t
 Miststreuer: 3,2 t
 Traktor: 3,5 t
 Total: 8,9 t

Distanz: 0,5 km

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]									Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	
bis 600	142	6	2	1						151
600-900	315	57	11	6	1					390
900-1200	61	106	33	9	3					212
1200-1500	28	120	88	53	20	4	1			314
1500-1800	8	112	166	266	307	123	31	1		1014
1800-2100	3	48	90	188	240	149	72	37	2	829
2100-2400		22	55	133	166	142	102	69	27	716
über 2400		3	11	45	37	31	23	13	4	167
Total	557	474	456	701	774	449	229	120	33	3793

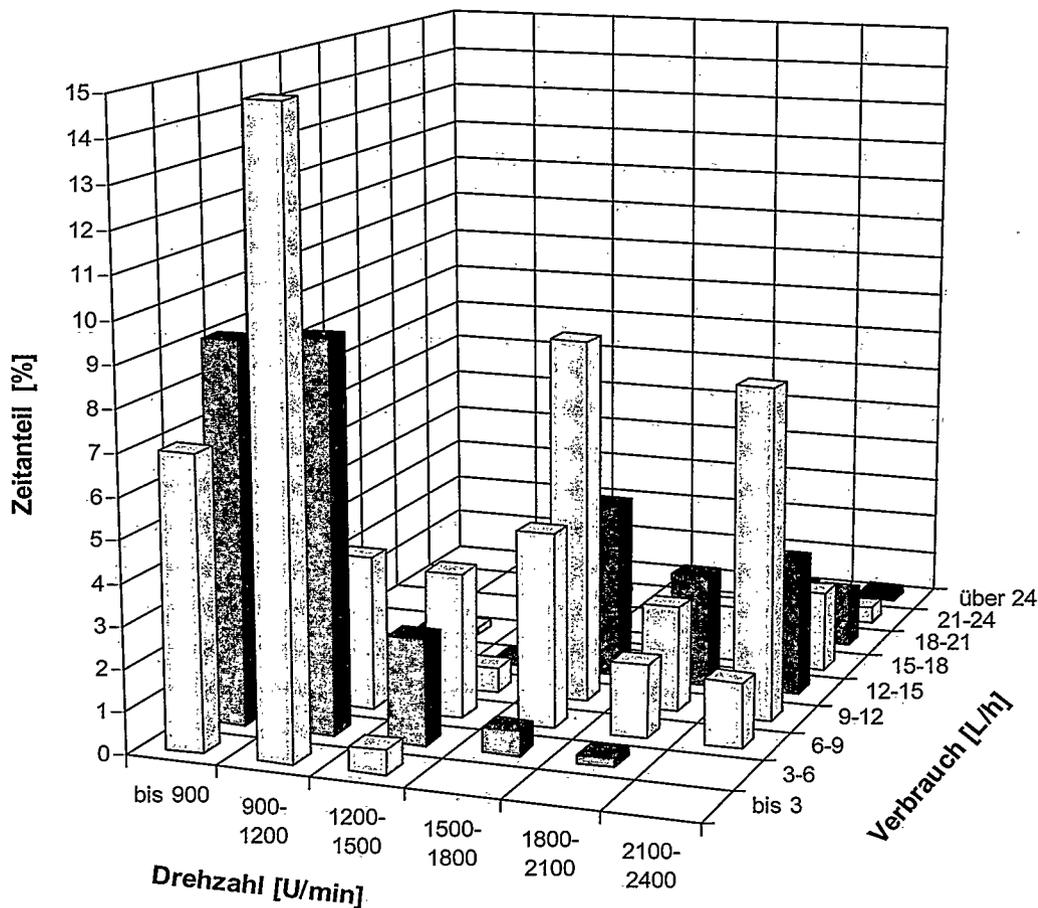


Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	62
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	19.1
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	6.9
mittlere Leistung [kW]	18.1
mittlere Drehzahl [U/min]	1660
Anzahl Messwerte [10 sec]	3793
Messdauer [h]	10.5
Emission HC [g/h]	13.7
Emission NOx [g/h]	248.6
Emission CO [g/h]	27.3

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	2.7
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	2.0
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	18.5
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	13.7
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	37
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	27
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	671
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	497
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	74
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	55

Abb. A36: Mist ausführen mit Mistzetter und Traktor 78 kW Nennleistung (25 t/ha)

Nähere Beschreibung der Messung:	Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total		
		bis 3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24		24 -	
Massen:		bis 900	36	47	7	3					93	
Mist:	2,2 t	900-1200	77	48	19	4	3	1		2	154	
Miststreuer:	3,2 t	1200-1500	3	13	18	3	1		2	1	41	
Traktor:	5,3 t	1500-1800		3	24	45	22	1			95	
Total:	10,7 t	1800-2100		1	9	13	14	7	1		46	
Distanz:	0,5 km	2100-2400			8	41	17	10	7	2	1	86
		Total	116	112	85	109	57	19	10	3	4	515



Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	78
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	23.5
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	7.9
mittlere Leistung [kW]	22.0
mittlere Drehzahl [U/min]	1395
Anzahl Messwerte [10 sec]	515
Messdauer [h]	1.4
Emission HC [g/h]	21.6
Emission NOx [g/h]	276.6
Emission CO [g/h]	47.1

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	2.7
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	2.0
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	21.4
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	15.9
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	58
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	43
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	747
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	553
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	127
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	94

Abb. A37: Silage auf Fahrsilo einführen, mit Traktor 62 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der

Messung:

Die Arbeit umfasst das Aufnehmen der Silage auf dem Feld, die Fahrt zum Fahrsilo und das Abladen.

Massen:

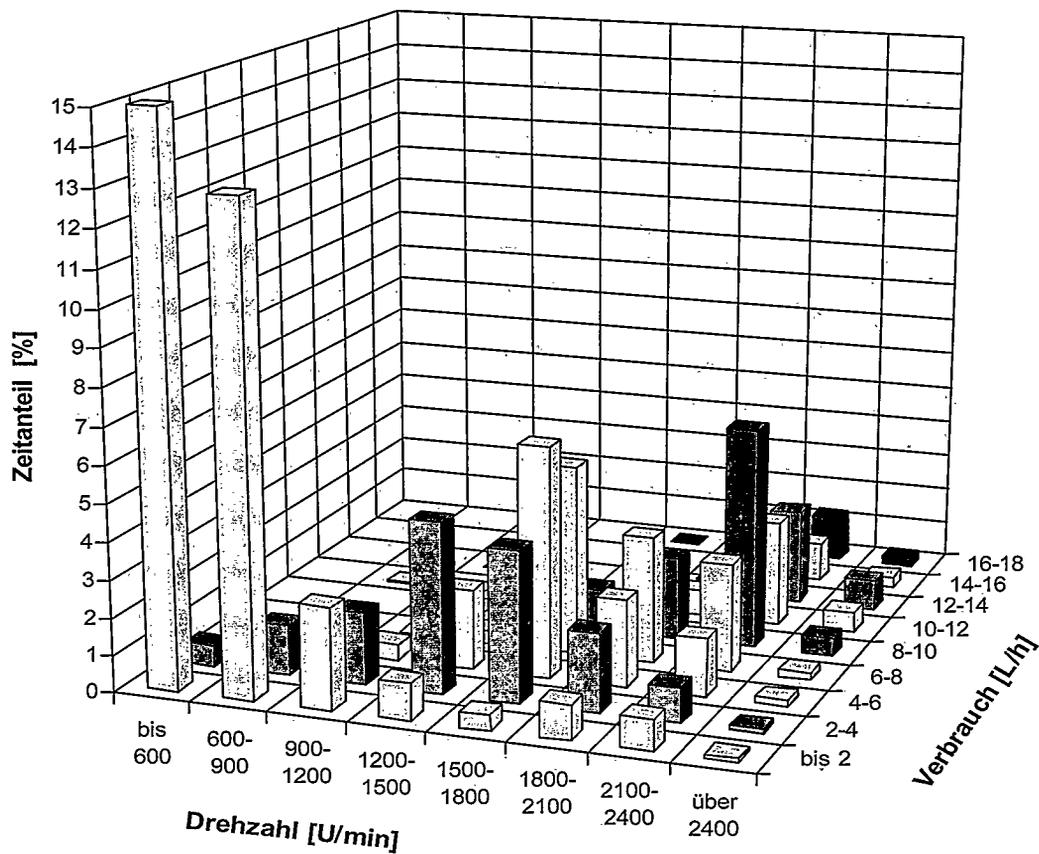
Silage : 2,5 t

Traktor u. Ladewagen: 6,8 t

Total: 9,3 t

Distanz: 1 km

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]										Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18		
bis 600	831	25	5								861
600-900	565	60	4	4		1					634
900-1200	119	85	19	1	2	1	1				228
1200-1500	43	199	93	16	4	1					356
1500-1800	18	176	270	222	49	8		2	1		746
1800-2100	41	92	102	148	97	30	16	13	8		547
2100-2400	36	41	68	126	259	123	111	46	53		863
über 2400	4	5	7	9	20	24	35	13	10		127
Total	1657	683	568	526	431	188	163	74	72		4362



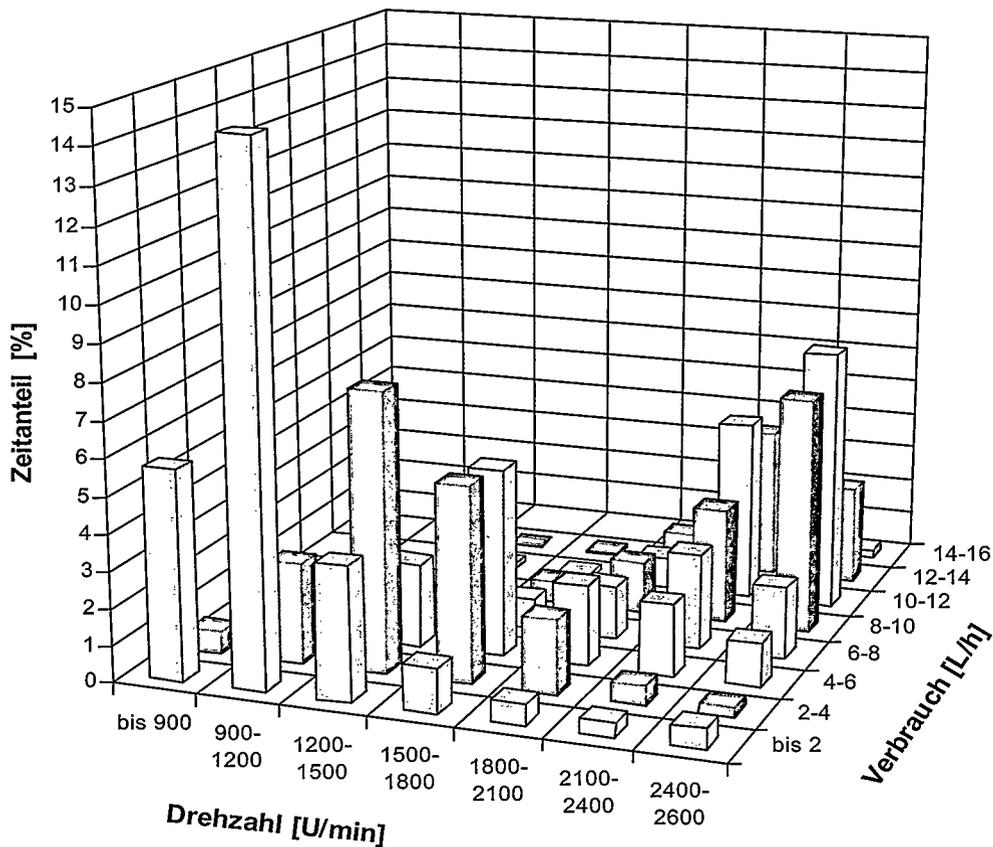
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	62
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	19.1
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	4.6
mittlere Leistung [kW]	10.0
mittlere Drehzahl [U/min]	1408
Anzahl Messwerte [10 sec]	4362
Messdauer [h]	12.1
Emission HC [g/h]	12.7
Emission NOx [g/h]	171.2
Emission CO [g/h]	23.6

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	0.7
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	0.6
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	3.2
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	7.2
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	9
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	8
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	120
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	103
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	17
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	14

Abb. A38: Silomais einführen, mit Transportwagen und Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:
Die Aufnahme umfasst den Transport vom Feld zum Fuss des Hochsilos. Das Gebläse für die Silobefüllung ist nicht enthalten.
Massen:
Silage : 4,7 t
Traktor u. Anhänger: 7,0 t
Total: 11,7 t
Distanz: 1 km

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	268	29	3						300
900-1200	679	129	13	3					824
1200-1500	172	358	107	6	2	7	1		653
1500-1800	58	251	240	39	29	7	3		627
1800-2100	27	95	104	69	67	40	40	6	448
2100-2400	18	25	92	122	149	233	193	52	884
über 2400	25	12	56	92	303	337	127	11	963
Total	1247	899	615	331	550	624	364	69	4699



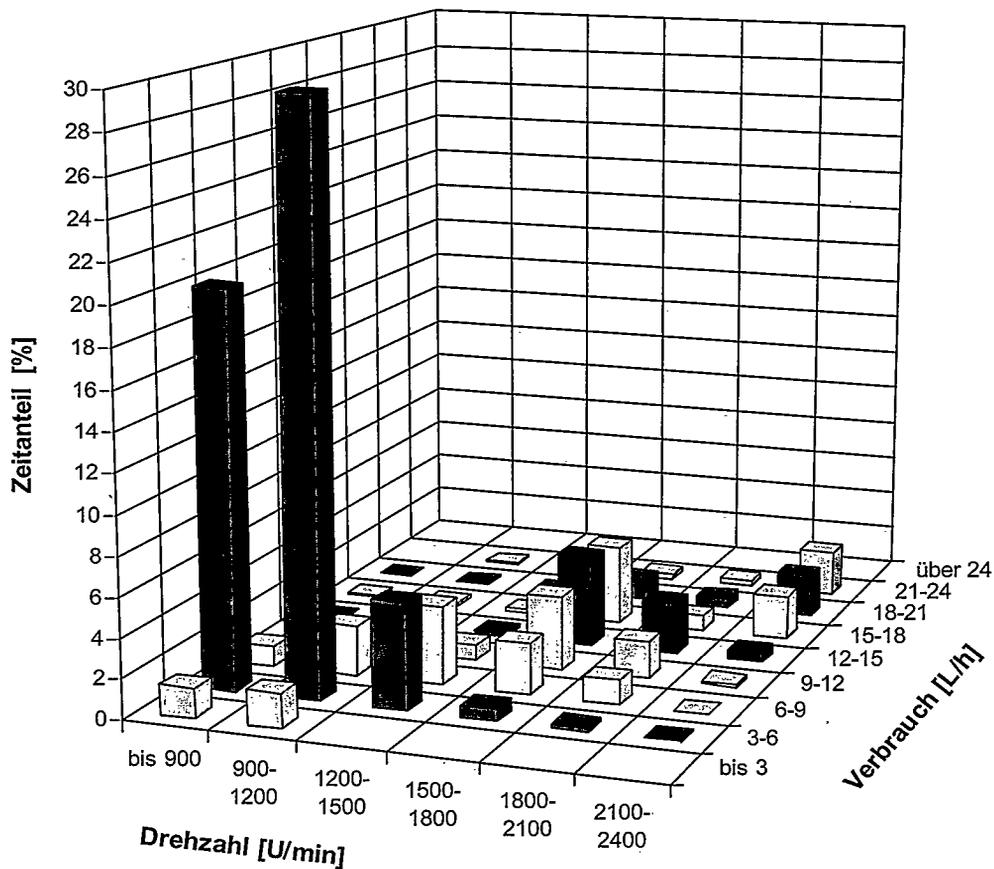
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	7.7
mittlere Leistung [kW]	13.8
mittlere Drehzahl [U/min]	1737
Anzahl Messwerte [10 sec]	4699
Messdauer [h]	13.1
Emission HC [g/h]	13.5
Emission NOx [g/h]	182.7
Emission CO [g/h]	25.7

Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	10.0
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	7.0
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	56.5
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	39.6
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	135
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	95
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	1827
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	1279
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	257
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	180

Abb. A39: Silomais einführen, mit Transportwagen und Traktor 78 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:
 Die Aufnahme umfasst den Transport vom Feld zum Fuss des Hochsilos. Das Gebläse für die Silobefüllung ist nicht enthalten.
 Massen:
 Silage : 3,3 t
 Traktor u. Anhänger: 9,1 t
 Total: 12,4 t
 Distanz: 1 km

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total	
	bis 3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24		24 -
bis 900	27	360	19	1	1	2	1			411
900-1200	31	531	46	10	3	3	1	1		626
1200-1500		97	72	14	3	3	1			190
1500-1800		11	47	67	83	72	20	5		305
1800-2100		3	22	34	47	14	9	6		135
2100-2400		1		3	9	40	39	41		133
Total	58	1003	206	129	146	134	71	53		1800



Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	78
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	23.5
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	10.9
mittlere Leistung [kW]	32.8
mittlere Drehzahl [U/min]	1269
Anzahl Messwerte [10 sec]	1800
Messdauer [h]	5.0
Emission HC [g/h]	24.1
Emission NOx [g/h]	304.5
Emission CO [g/h]	57.2

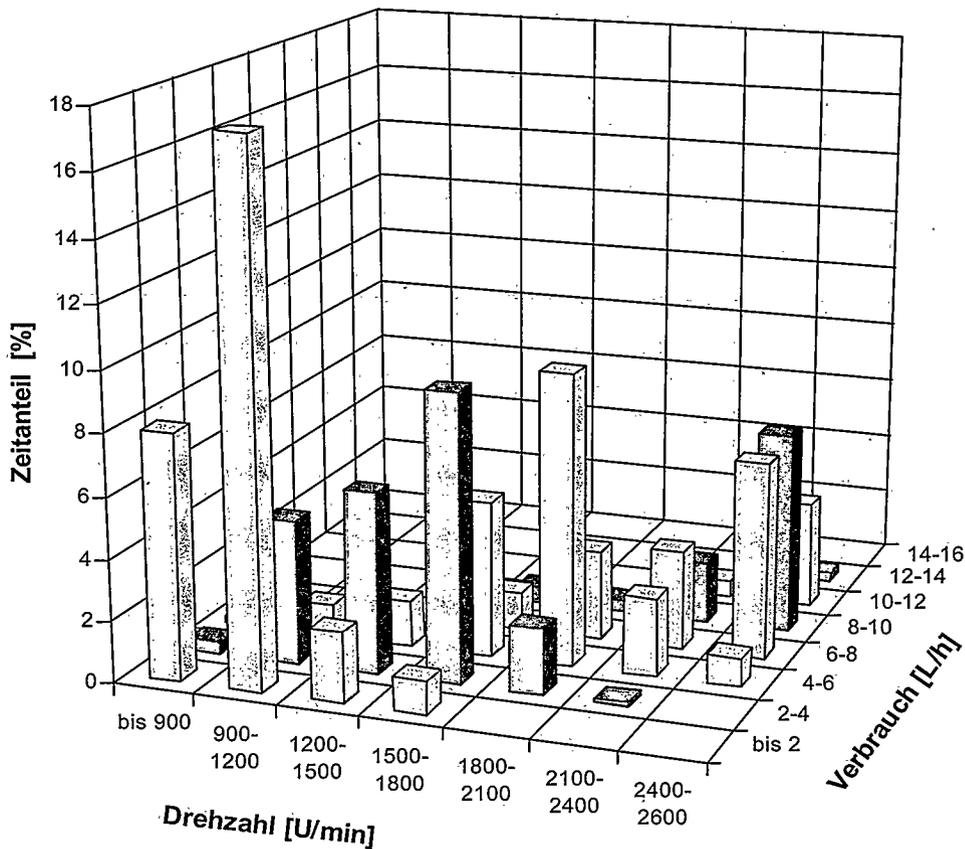
Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	10.0
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	6.5
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	109.3
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	71.0
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	241
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	157
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	3045
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	1979
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	572
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	372

Abb. A40: Siloballen einführen mit Ballenzange und Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Die Messung umfasst An- und Abkuppeln der Ballenzange, die Fahrt vom Hof zum Feld, das Ergreifen des Ballens, die Rückfahrt zum Hof und das Ablegen des Ballens. Transportdistanz zirka 500 m.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	60	3	2						65
900-1200	130	35	8	3					176
1200-1500	17	44	11						72
1500-1800	8	70	38	9	4				129
1800-2100		16	71	22	3				112
2100-2400		1	19	24	15	4			63
über 2400			7	48	49	26	2		132
Total	215	169	156	106	71	30	2		749



Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	4.2
mittlere Leistung [kW]	8.6
mittlere Drehzahl [U/min]	1612
Anzahl Messwerte [10 sec]	749
Messdauer [h]	2.1
Emission HC [g/h]	12.0
Emission NOx [g/h]	141.6
Emission CO [g/h]	18.4

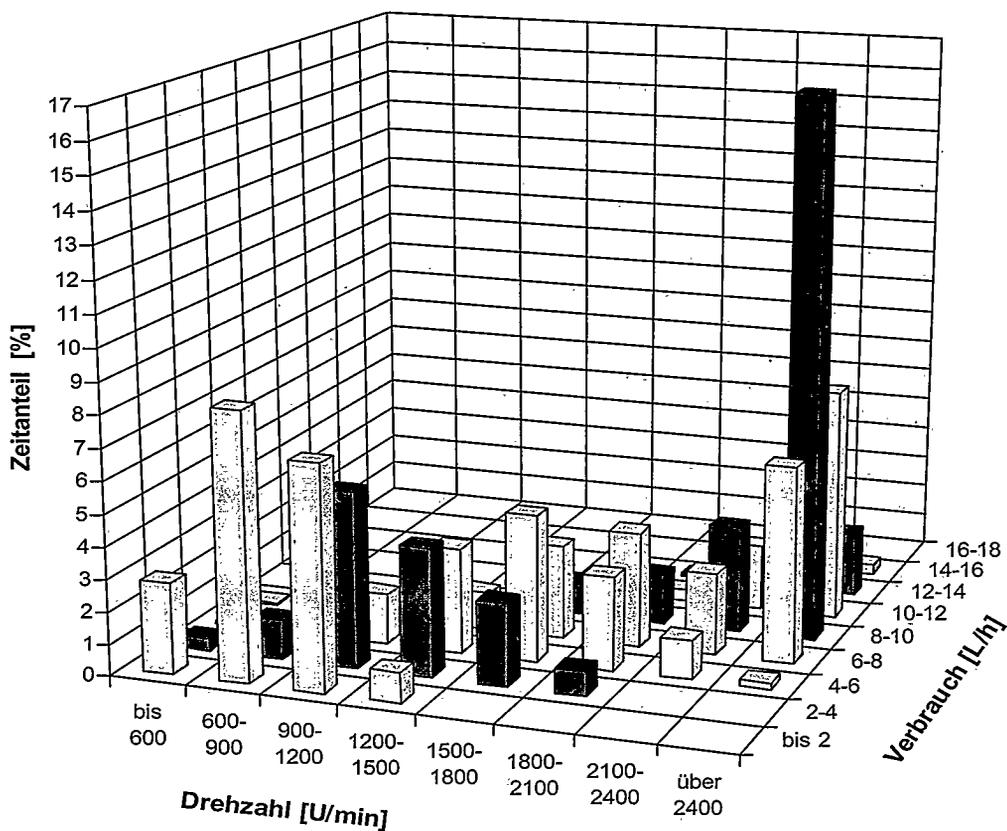
Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	4.2
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	3.9
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	17.7
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	16.4
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	50
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	47
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	595
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	552
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	77
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	72

Abb. A41: Siloballen einführen mit Hecklader und Traktor 62 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Die Messung umfasst An- und Abkuppeln der Ballenzange, die Fahrt vom Hof zum Feld, das Ergreifen des Ballens, die Rückfahrt zum Hof und das Ablegen des Ballens. Transportdistanz zirka 500 m.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total	
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16		16-18
bis 600	49	6	2	1						58
600-900	142	21	8	1						172
900-1200	119	93	27	5	1					245
1200-1500	16	68	56	20		1				161
1500-1800		44	78	50	17					189
1800-2100		13	50	61	27	6	2			159
2100-2400			21	44	57	35	5			162
über 2400			3	104	286	123	34	5		555
Total	326	245	245	286	388	165	41	5		1701



Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	62
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	19.1
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	5.9
mittlere Leistung [kW]	14.8
mittlere Drehzahl [U/min]	1769
Anzahl Messwerte [10 sec]	1701
Messdauer [h]	4.7
Emission HC [g/h]	14.7
Emission NOx [g/h]	200.4
Emission CO [g/h]	22.1

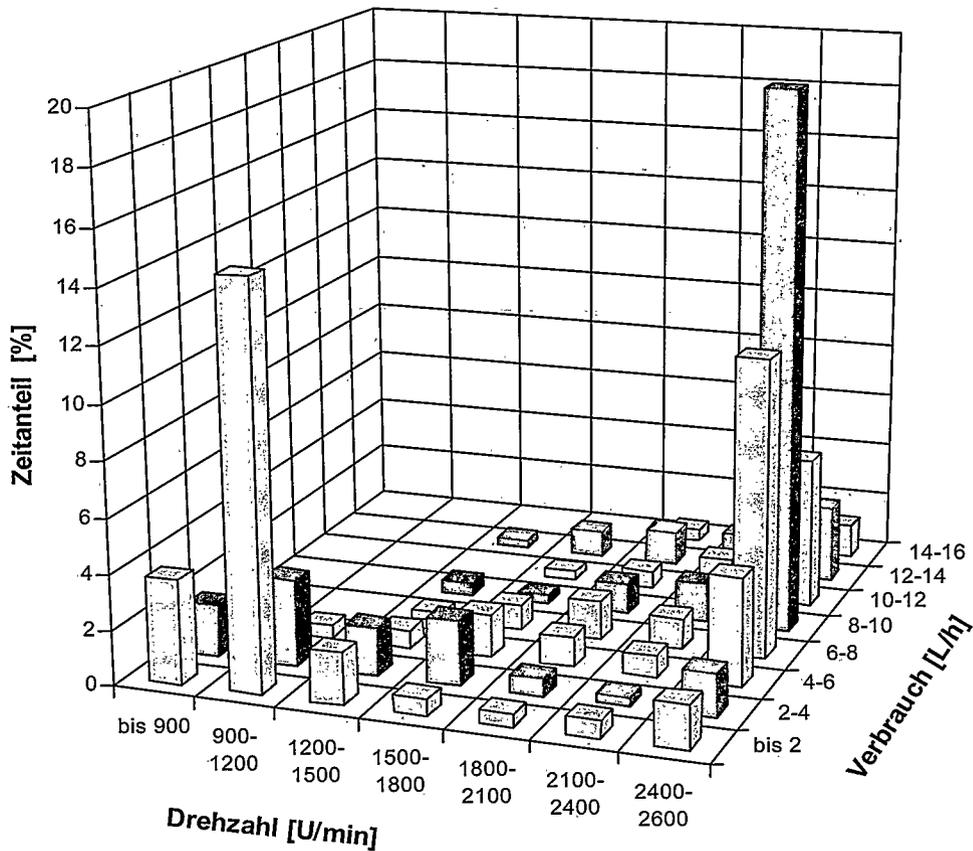
Traktorstunden [Th/ha] bei 0.5 ha Schlag	4.2
Traktorstunden [Th/ha] bei 2 ha Schlag	3.9
Verbrauch [L/ha] bei 0.5 ha Schlag	24.9
Verbrauch [L/ha] bei 2 ha Schlag	23.1
Emission HC [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	62
Emission HC [g/ha] bei 2 ha Schlag	57
Emission NOx [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	842
Emission NOx [g/ha] bei 2 ha Schlag	782
Emission CO [g/ha] bei 0.5 ha Schlag	93
Emission CO [g/ha] bei 2 ha Schlag	86

Abb. A42: Strassenfahrt, schwere Transporte mit Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:
Diese Arbeit kann nicht auf Hektaren bezogen werden.
Die Transportgeschwindigkeit ist zirka 15 km/h.

Massen:
Anhänger u. Ladung: 12,0 t
Traktor: 3,1 t
Total: 15,1 t
Distanz: 2 mal 10 km

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	24	12							36
900-1200	93	20	3						116
1200-1500	12	11	4	2	3		2		34
1500-1800	4	15	10	6	2	2	6		45
1800-2100	3	4	7	9	7	4	8	3	45
2100-2400	4	2	5	7	9	9	9	17	62
über 2400	10	10	25	69	125	35	18	8	300
Total	150	74	54	93	146	50	43	28	638



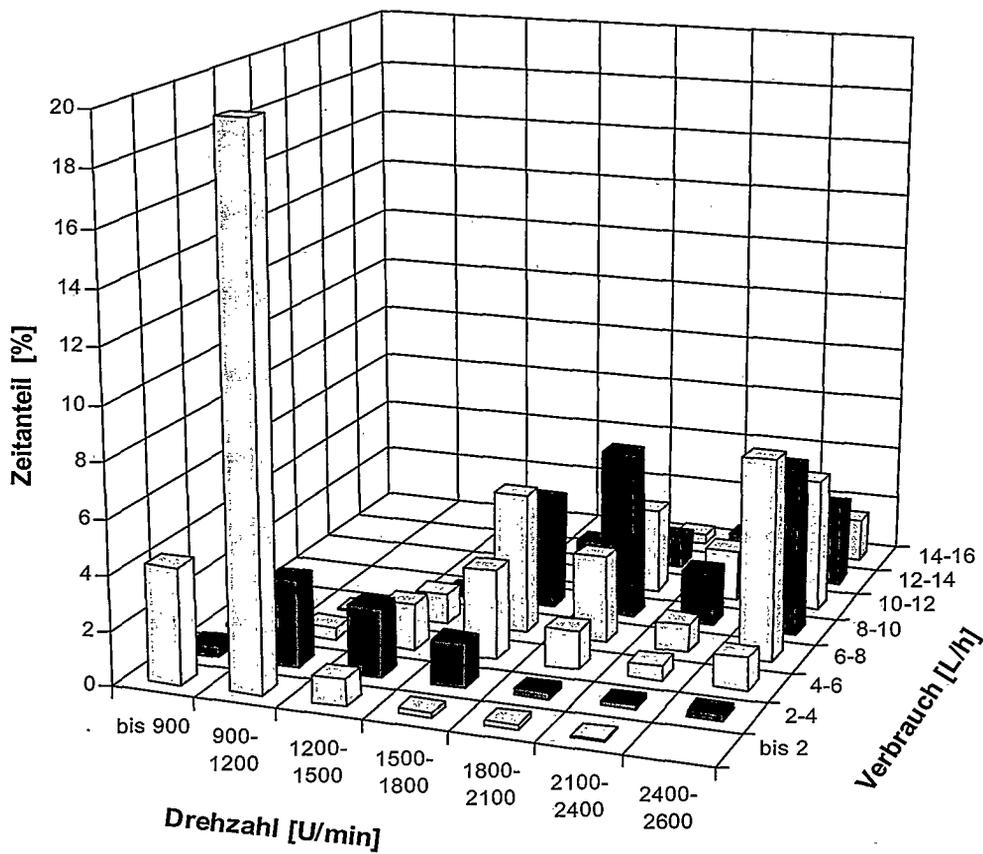
Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	6.3
mittlere Leistung [kW]	16.3
mittlere Drehzahl [U/min]	19123
Anzahl Messwerte [10 sec]	638
Messdauer [h]	1.8
Emission HC [g/h]	15.9
Emission NOx [g/h]	196.9
Emission CO [g/h]	34.2

Abb. A43: Strassenfahrt, leichte Transporte mit Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:

Diese Arbeit kann nicht auf Hektaren bezogen werden.
Die Transportgeschwindigkeit ist zirka 18 km/h.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	95	9	2						106
900-1200	445	71	10	2					528
1200-1500	22	56	38	25	5	1	1		148
1500-1800	4	36	74	115	91	15	14	4	353
1800-2100	4	5	32	71	137	70	26	9	354
2100-2400	1	4	12	23	44	42	35	45	206
über 2400		5	27	165	139	109	68	36	549
Total	571	186	195	401	416	237	144	94	2244

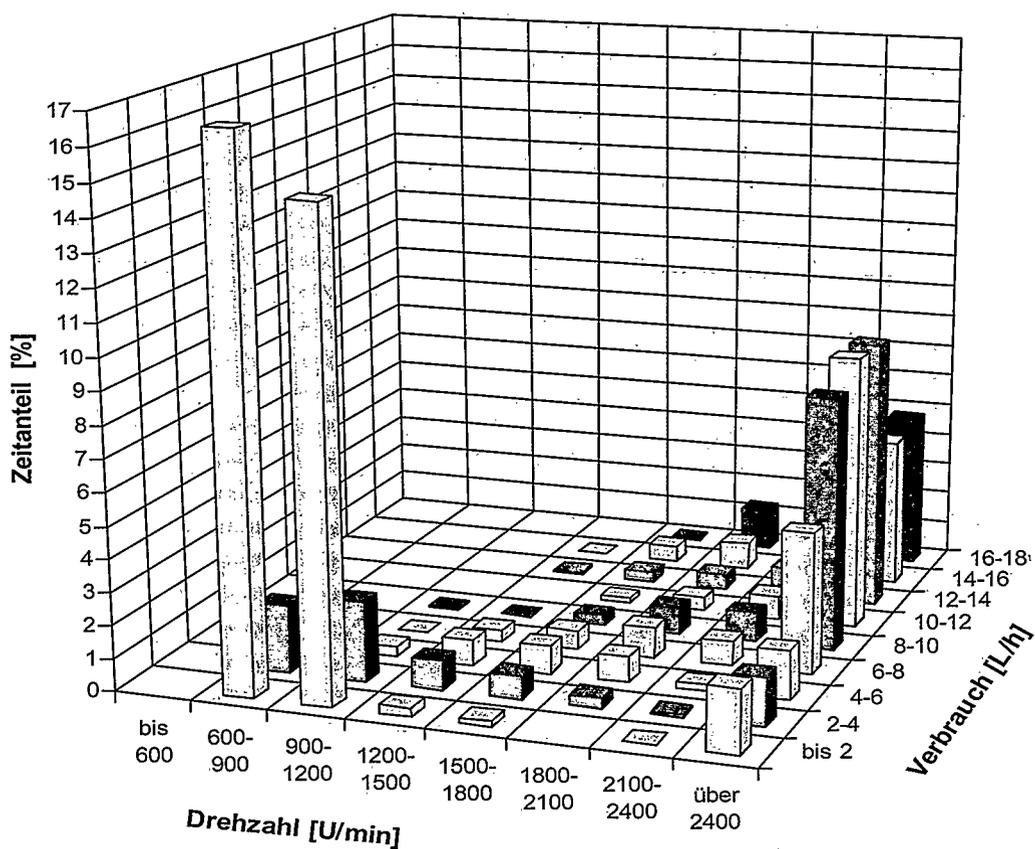


Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	6.4
mittlere Leistung [kW]	16.6
mittlere Drehzahl [U/min]	1713
Anzahl Messwerte [10 sec]	2244
Messdauer [h]	6.2
Emission HC [g/h]	13.7
Emission NOx [g/h]	210.5
Emission CO [g/h]	30.0

Abb. A44: Strassenfahrt, schwere Transporte mit Traktor 62 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:
 Diese Arbeit kann nicht auf Hektaren bezogen werden.
 Die Transportgeschwindigkeit ist zirka 18 km/h.
 Massen:
 2 Anhänger +
 Rübenschnitzel : 19,5 t
 Traktor: 3,5 t
 Total: 23 t
 Distanz: 2 mal 12 km

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]									Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	
bis 600										0
600-900	424	53	1	1						479
900-1200	376	62	8	1	1					448
1200-1500	7	23	20	9	1		2	1		63
1500-1800	4	18	22	15	8	4	8	13	1	93
1800-2100		8	20	24	21	11	12	21	33	150
2100-2400	1	2	5	19	23	18	22	27	94	211
über 2400	50	38	38	111	199	216	213	118	122	1105
Total	862	204	114	180	253	249	257	180	250	2549

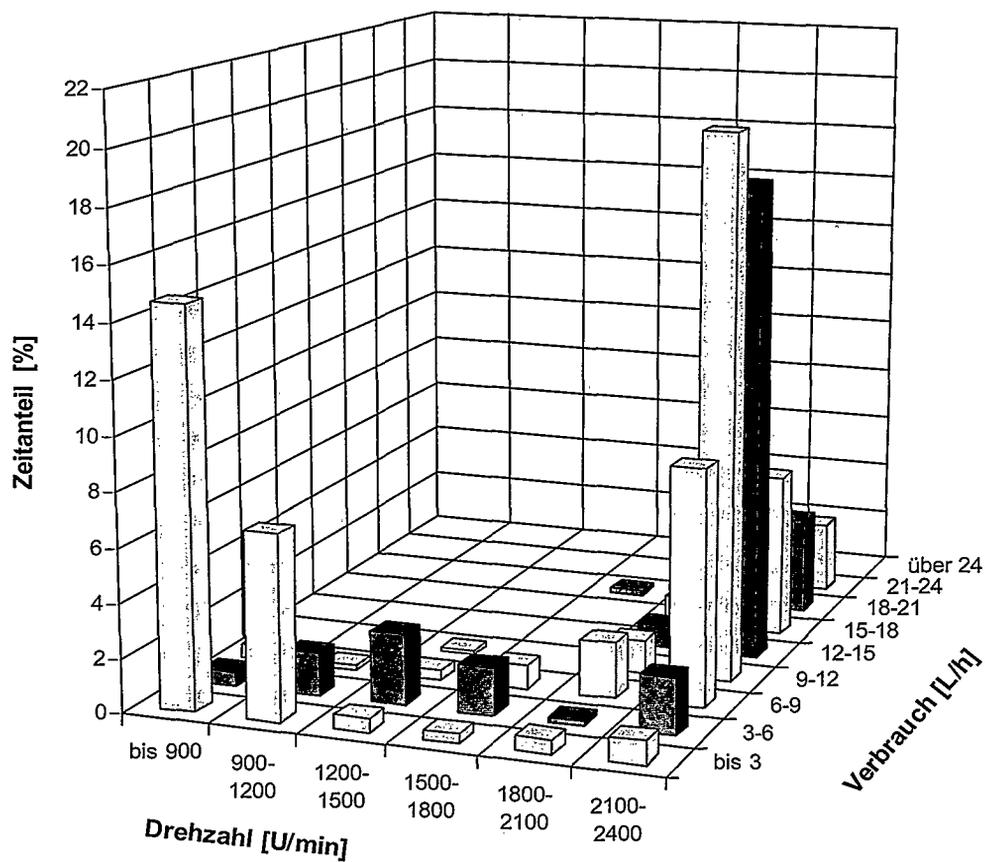


Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	62
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	19.1
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	7.3
mittlere Leistung [kW]	19.8
mittlere Drehzahl [U/min]	1798
Anzahl Messwerte [10 sec]	2549
Messdauer [h]	7.1
Emission HC [g/h]	14.4
Emission NOx [g/h]	238.8
Emission CO [g/h]	35.6

Abb. A45: Strassenfahrt, schwere Transporte mit Traktor 78 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:
 Diese Arbeit kann nicht auf Hektaren bezogen werden.
 Die Transportgeschwindigkeit ist zirka. 22 km/h.
 Massen:
 Anhänger u. Ladung: 12,0 t
 Traktor: 5,3 t
 Total: 17,3 t
 Distanz: 2 mal 10 km

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]									Werte Total
	bis 3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	24 -	
bis 900	84	3	3							90
900-1200	39	9	1							49
1200-1500	3	15	2	1						21
1500-1800	2	10	5				1			18
1800-2100	3	1	12	7	5	6	2	3	1	40
2100-2400	5	12	50	115	102	35	21	15		355
Total	136	50	73	123	107	41	24	18	1	573

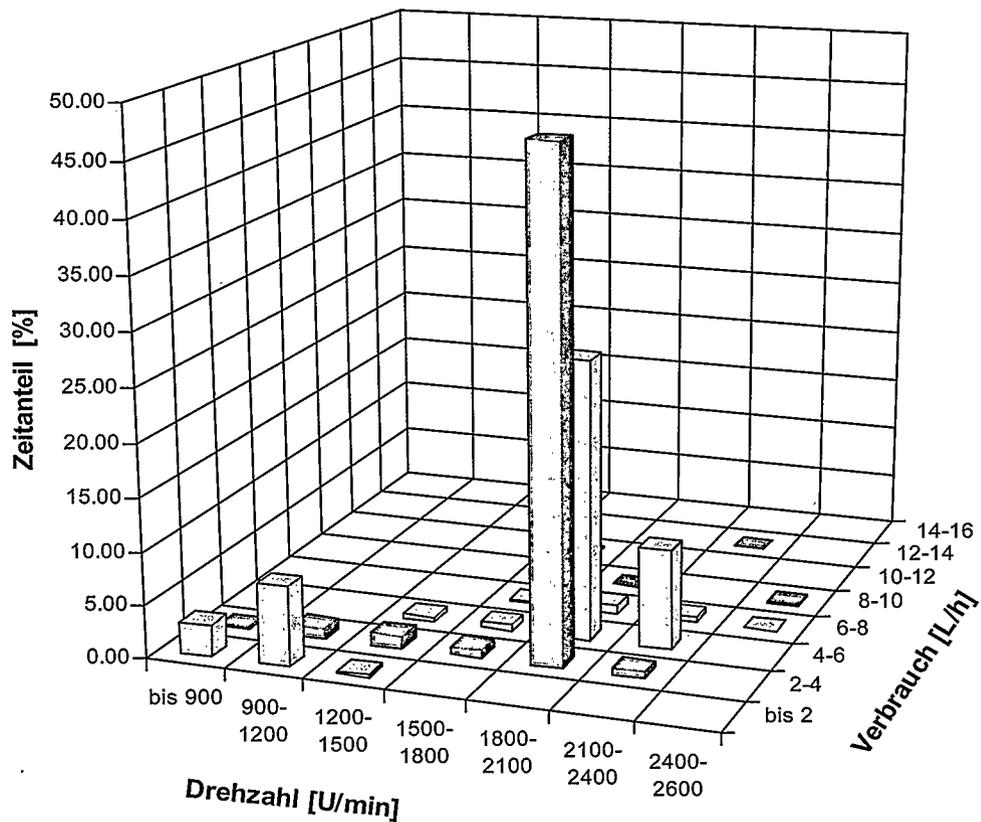


Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	78
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	23.5
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	9.3
mittlere Leistung [kW]	26.8
mittlere Drehzahl [U/min]	1878
Anzahl Messwerte [10 sec]	573
Messdauer [h]	1.6
Emission HC [g/h]	23.8
Emission NOx [g/h]	275.7
Emission CO [g/h]	45.9

Abb. A46: Heu pressen, ab Stock, kleine Quaderballen, mit Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:
Diese Arbeit kann nicht auf Hektaren bezogen werden.
Pressenantrieb mit Traktorzapfwelle.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	36	2							38
900-1200	91	12							103
1200-1500	3	14	5						22
1500-1800		9	7	2		1			19
1800-2100		569	317	9	1				896
2100-2400		7	113	6			1		127
über 2400				1	1				2
Total	130	613	442	18	2	1	1		1207

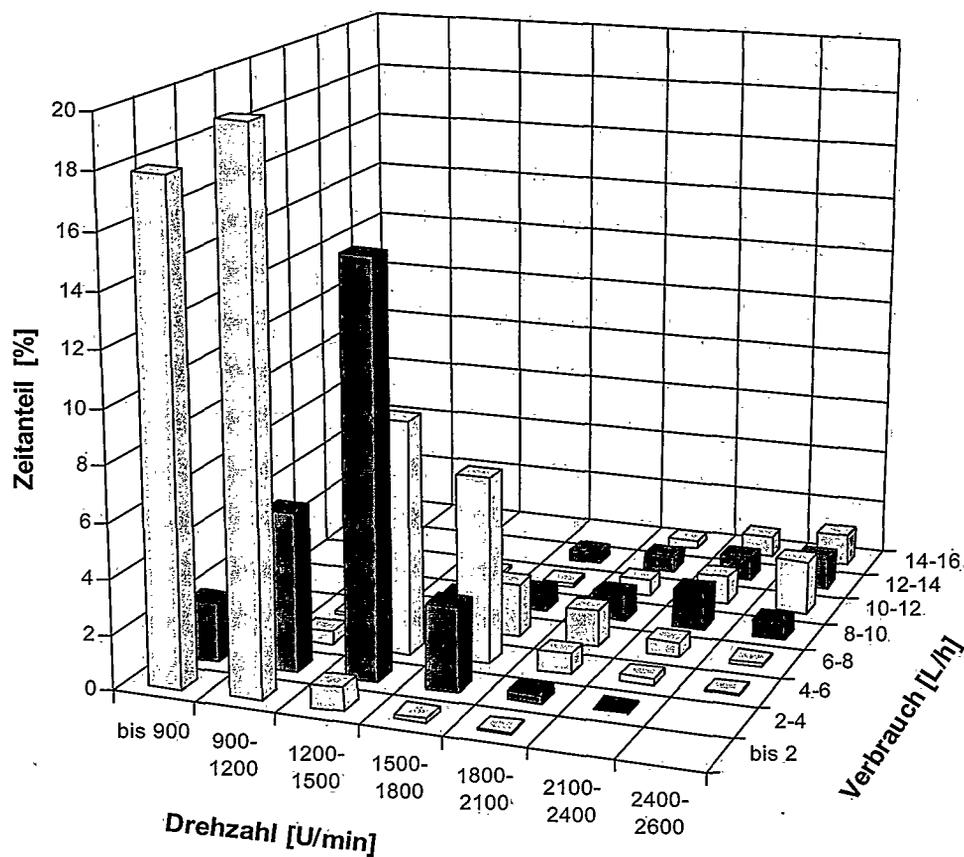


Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	3.6
mittlere Leistung [kW]	6.5
mittlere Drehzahl [U/min]	1895
Anzahl Messwerte [10 sec]	1207
Messdauer [h]	3.4
Emission HC [g/h]	9.2
Emission NOx [g/h]	115.6
Emission CO [g/h]	11.7

Abb. A47: Betrieb eines Futtermischwagens mit Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:
Diese Arbeit kann nicht auf Hektaren bezogen werden.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	308	37	3						348
900-1200	341	99	8	2	1				451
1200-1500	15	258	147	12	3	2			437
1500-1800	3	53	117	34	12	2	7		228
1800-2100	1	5	13	23	17	10	10	5	84
2100-2400		1	4	9	25	18	15	13	85
über 2400			1	2	11	34	20	20	88
Total	668	453	293	82	69	66	52	38	1721

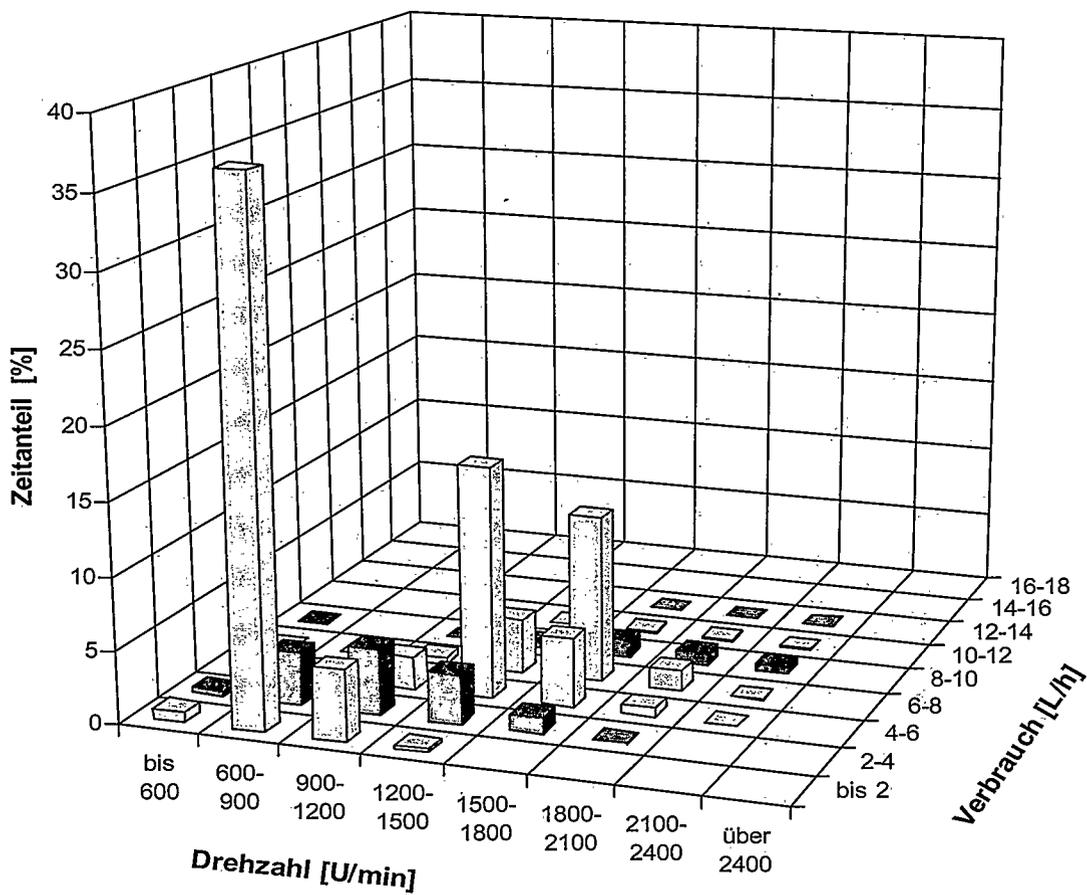


Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	3.9
mittlere Leistung [kW]	7.4
mittlere Drehzahl [U/min]	1315
Anzahl Messwerte [10 sec]	1721
Messdauer [h]	4.8
Emission HC [g/h]	11.7
Emission NOx [g/h]	143.7
Emission CO [g/h]	22.6

Abb. A48: Betrieb eines Futtermischwagens mit Traktor 62 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:
Diese Arbeit kann nicht auf Hektaren bezogen werden.

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]									Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	
bis 600	141	69	5	1	1					217
600-900	7070	696	55	5						7826
900-1200	936	862	434	83	9					2324
1200-1500	42	651	3068	728	67	4				4560
1500-1800		219	918	2207	218	29	2			3593
1800-2100		11	120	264	164	24	5			588
2100-2400			5	15	106	12	4			142
über 2400										
Total	8189	2508	4605	3303	565	69	11			19250

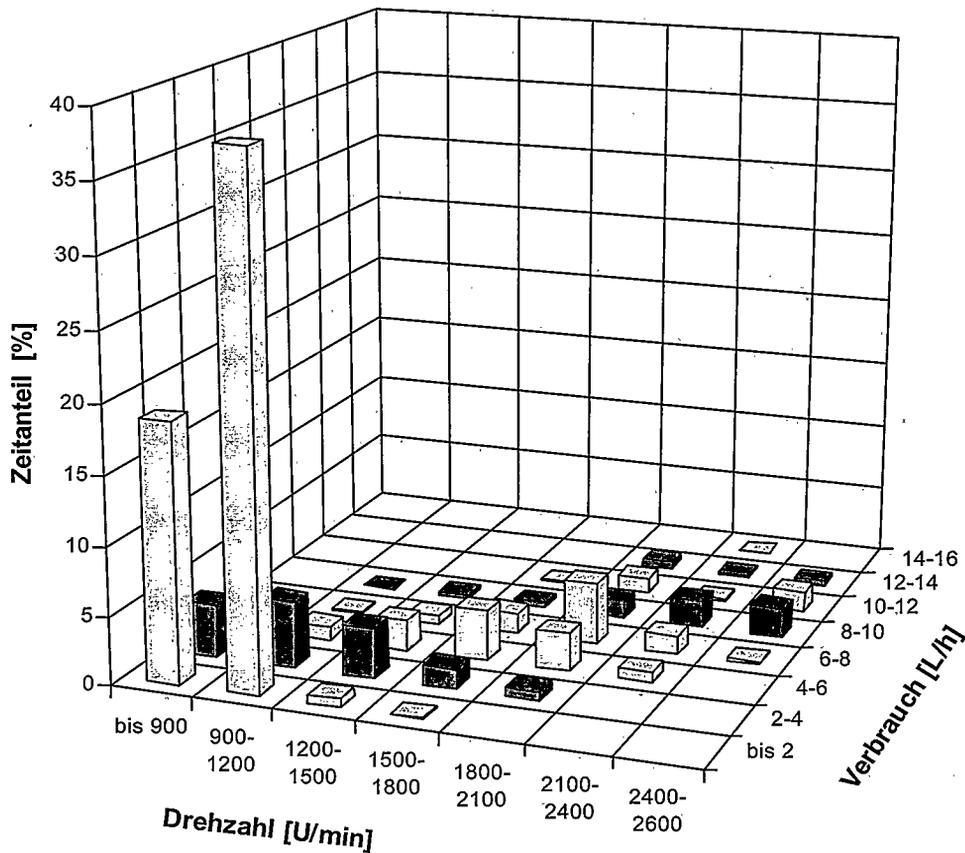


Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	62
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	19.1
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	3.4
mittlere Leistung [kW]	5.7
mittlere Drehzahl [U/min]	1101
Anzahl Messwerte [10 sec]	19250
Messdauer [h]	53.5
Emission HC [g/h]	14.1
Emission NOx [g/h]	148.5
Emission CO [g/h]	25.9

Abb. A49: Hof- und Restarbeiten mit Traktor 50 kW Nennleistung

Nähere Beschreibung der Messung:
 Diese Arbeit kann nicht auf Hektaren bezogen werden.
 In dieser Messung sind folgende Arbeiten enthalten:
 Weg abranden mit Planierschild
 Viehwaage transportieren
 Zaunen
 Hofarbeiten
 Kurze, leichte Transporte

Drehzahl U/min	Treibstoffverbrauch [L/h]								Werte Total
	bis 2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	
bis 900	259	53	3						315
900-1200	522	66	14	2					604
1200-1500	9	50	30	8	3				100
1500-1800	1	20	51	21	5	1			99
1800-2100		8	38	62	18	15	7		148
2100-2400			10	18	27	3	2	1	61
über 2400				2	29	20	5		56
Total	791	197	146	113	82	39	14	1	1383



Mess-Traktor-Nennleistung [kW]	50
Verbrauch bei Nennleistung [L/h]	15.7
mittlerer Diesel-Verbrauch [L/h]	3.1
mittlere Leistung [kW]	4.5
mittlere Drehzahl [U/min]	1221
Anzahl Messwerte [10 sec]	1383
Messdauer [h]	3.8
Emission HC [g/h]	10.2
Emission NOx [g/h]	114.6
Emission CO [g/h]	18.0

Frühere Nummern der FAT-Schriftenreihe

Jahr	Nr.	Verfasser	Titel
1997	45	Weber R. (Redaktion)	Tiergerechte Haltungssysteme für landwirtschaftliche Nutztiere.
1997	46	Gaillard G. et al.	Umweltinventar der landwirtschaftlichen Inputs im Pflanzenbau.
1998	47	Kaufmann R. (Red.)	Elektronik in der Landtechnik.
1998	48	Van Caenegem L. et al.	Erdwärmetauscher für Mastschweine.
1998	49	Deininger E.	Beeinflussung der aggressiven Auseinandersetzungen beim Gruppieren von abgesetzten Sauen.
1999	50	Mayer C.	Stallklimatische, ethologische und klinische Untersuchungen zur Tiergerechtigkeit unterschiedlicher Haltungssysteme in der Schweinemast.
2000	51	Van Caenegem L. und Wechsler B.	Stallklimawerte und ihre Berechnung.
2000	52	Heinzer L. et al.	Ökologische und ökonomische Bewertung von Bioenergeträgern.
2001	53	Kircher A.	Untersuchungen zum Tier-Fressplatz-Verhältnis bei der Fütterung von Aufzuchtferkeln und Mastschweinen an Rohrbreiautomaten unter dem Aspekt der Tiergerechtigkeit.
2002	54	Kaufmann R., Hütl G. (Redaktion)	Landtechnik im Alpenraum. 6. Tagung 15./16.5.2002 in Feldkirch
2002	55	Schnider R.	Gesundheit von Mastschweinen in unterschiedlichen Haltungssystemen.
2003	56	Hilty R. und Herzog D.	Wie teuer sind Milchviehställe wirklich?
2003	57	Ferjani A.	Équilibre sectoriel, équilibre général: Modelisation de l'impact de la libéralisation sur l'agriculture et l'économie tunisiennes (nur französisch).
2003	58	Loretz C.	Verhalten von behornten und hornlosen Ziegen im Laufstall am Fressplatz und im Liegebereich.
2004	59	Kaufmann R. (Redaktion)	Elektronik in der Landtechnik.
2004	60	Gysi M. (Redaktion)	Landwirtschaftliche Forschung auf der Faktorseite.
2004	61	Rossier R.	Familienkonzepte und betriebliche Entwicklungsoptionen.
2004	62	Matthias Schick (Redaktion)	14. Arbeitswissenschaftliches Seminar. VDI-MEG-Arbeitskreis, Arbeitswissenschaften im Landbau.
2004	63	Anken T. et al.	Pflanzenentwicklung, Stickstoffdynamik und Nitratauswaschung gepflügter und direktgesäter Parzellen.
2004	64	Mann S. und Mack G.	Wirkungsanalyse der Allgemeinen Direktzahlungen.

Der Treibstoffverbrauch in der Landwirtschaft ist ein Kostenfaktor und wurde lange Zeit nur unter diesem Gesichtspunkt betrachtet. Mit wachsendem Umweltbewusstsein stieg jedoch auch das Interesse breiter Bevölkerungskreise an der Sauberkeit und Nachhaltigkeit von landwirtschaftlichen Produktionsverfahren. Neben möglicher Freihaltung von Boden, Wasser und Luft von Kunstdünger und Pflanzenschutzmitteln tritt der effiziente Energieeinsatz für landwirtschaftliche Produktionsverfahren in den Blickpunkt des Interesses. Denn damit verbunden ist der verringerte Ausstoss von motorischen Abgasen und Partikeln.

Bis heute gibt es keine grossflächig angelegten Messungen des Dieselölverbrauchs und des Abgasausstosses von einzelnen landwirtschaftlichen Arbeiten.

Die vorliegende Arbeit soll dazu beitragen, diese Lücke etwas zu schliessen.

2005