

Grundlagen der Landtechnik

Herausgegeben mit Unterstützung durch die
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
Braunschweig-Völkenrode (FAL)

Schriftleitung: Dr. F. Schoedder, Institut
für landtechnische Grundlagenforschung

Grundl. Landtechnik Bd. 35 (1985) Nr. 4, S. 97 bis 136

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

Aufbau und Einsatz eines Datenerfassungssystems für Ackerschlepper

Von Rainer H. Biller, Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus dem Institut für Betriebstechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

DK 631.372:531.76/.78:629.1.05

Grundlage für eine Optimierung des Schleppereinsatzes ist die Kenntnis der Werte aller relevanten technischen Kenngrößen. Mit Hilfe des hier vorgestellten Datenerfassungssystems und geeigneter Sensoren ist es möglich, alle wesentlichen Daten kontinuierlich aufzunehmen und zu speichern, ohne die durchgeführte Arbeit zu beeinträchtigen. Auf diese Weise kann auch die Effizienz elektronischer Hilfsmittel überprüft werden, wie am Beispiel der Bodenbearbeitung mit einer Fräse gezeigt wird.

1. Einleitung

Steigende Kosten für Arbeitskräfte und Betriebsmittel sowie die Forderung nach Produktivitätserhöhung und der Zwang zur wirtschaftlichen Konkurrenzfähigkeit, aber auch sich verändernde betriebliche und agrarstrukturelle Gegebenheiten stellen zunehmende Anforderungen in allen Bereichen der landwirtschaftlichen Produktion. So sind auch für den Ackerschlepper als zentrale Arbeitsmaschine in der Landwirtschaft weitere Verbesserungen technischer, ökonomischer, arbeitswirtschaftlicher und ergonomischer Art zu erarbeiten.

Dies erfordert die möglichst umfassende und genaue Kenntnis der Daten der für den Schleppereinsatz relevanten technischen Kenngrößen, die nur teilweise theoretisch bestimmt werden können und deshalb meist im praktischen Einsatz zu ermitteln sind. Diese Daten dienen einmal dazu, Modelle des Schleppereinsatzes zu bilden sowie Ansätze für neue Schlepperkonzepte zu entwickeln; zum anderen liefern sie die Grundlagen für eine Verbesserung der konstruktiven Gestaltung von Bauteilen und Baugruppen des Schleppers. Nicht zuletzt — und dieser Punkt gewinnt mehr und mehr an Bedeutung — kann anhand der Einsatzdaten überprüft werden, welche Auswirkungen einzelne technische Verbesserungen, also z.B. auch elektronische Hilfsmittel, auf den Einsatz des Schleppers haben.

Herkömmliche Methoden der Datenerfassung arbeiten überwiegend mit Analog-Bandgeräten. Die Daten werden dabei vom Meßwertaufnehmer über Kabel oder mittels Telemetrie auf ein in einem Meßwagen befindliches Bandgerät übertragen. Der hohen Datenübertragungssicherheit stehen als Nachteile gegenüber die begrenzte Anzahl von Meßkanälen, die mehr oder weniger große Beeinträchtigung der durchgeführten Arbeit durch den Meßvorgang sowie die Erfordernis von geschultem Personal.

Diese Nachteile sind überwiegend ausgeräumt, wenn speziell entwickelte Datenerfassungssysteme verwendet werden, die, auf dem Ackerschlepper installiert, zusammen mit den entsprechenden Sensoren die Werte aller relevanten Kenngrößen kontinuierlich aufnehmen und speichern können. In diesem Beitrag wird ein solches Datenerfassungssystem vorgestellt und werden anhand erster Versuchsergebnisse die Einsatzmöglichkeiten und die damit verbundenen Probleme erläutert.

2. Anforderungen an das Datenerfassungssystem und technische Ausführung

Erschwerend wirken sich bei der Konzeption eines geeigneten Datenerfassungssystems die überwiegend rauen Einsatz- und Umweltbedingungen für einen Ackerschlepper aus. Außerdem sollte der Arbeitsablauf nicht gestört werden und die Bedienung des Systems möglichst einfach gestaltet sein. Daraus ergeben sich die folgenden Anforderungen:

vom Versuch:

- Stromversorgung über die Schlepperbatterie
- Pufferbatterie für Standzeiten
- geeignet für analoge und digitale Meßgrößen
- einstellbare Aufzeichnungsfrequenz
- unterschiedliche Meßstellenanzahl
- aktuelles Datum und Uhrzeit
- einfache Eingabe der Versuchsparameter
- problemloses Wechseln des Datenspeichers
- optische und akustische Bandendeanzeige,

durch die Umgebung:

- staubgeschützt
- spritzwassergeschützt
- Temperaturbereich von - 10 °C bis + 50 °C
- schwingungsgedämpft bis 200 Hz,

sonstige Anforderungen:

- einfache Bedienung
- wartungsfreundlich.

*) Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. R.H. Biller ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Betriebstechnik (Leiter: Prof. Dr. agr. H. Schön) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

Zusammen mit einer Elektronik-Firma wurde ein Daten-Logger entwickelt, der den gestellten Anforderungen genügt.

Das verwendete Datenerfassungssystem arbeitet nach dem PCM (Pulse Code Modulation)-Verfahren und besteht aus den folgenden Komponenten, Bild 1:

- a Encoder (Daten-Logger)
- b Eingabe- und Steuereinheit
- c Bandgerät
- d Wordselector
- e Decoder (Band-Lesegerät).

Mit diesem System können 16 analoge und 32 digitale Meßgrößen erfaßt werden. Über die Steuereinheit wird der Logger ein- bzw. ausgeschaltet und versuchsspezifische Daten wie Arbeitsgerät, Feldbezeichnung, Arbeitstiefe und -breite, Versuchsnummer u.a.m. eingegeben.

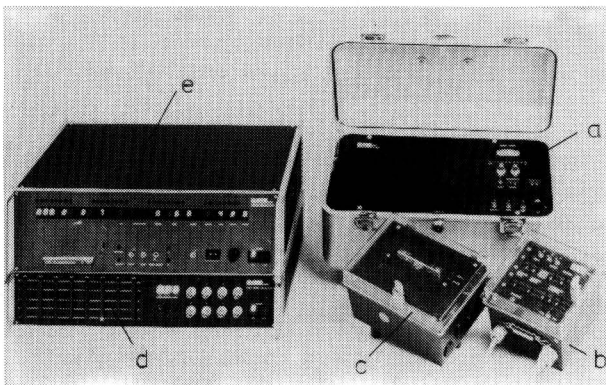


Bild 1. Systemkomponenten des Datenlogger 2450 T.

- a Encoder
- b Eingabe- und Steuereinheit
- c Bandgerät
- d Wordselector
- e Decoder (Band-Lesegerät)

Die aufgenommenen analogen Meßwerte werden, Bild 2, hinter dem Multiplexer im A/D-Wandler in einen seriellen Bitstrom umgewandelt und zusammen mit den digitalen Daten und einem seriellen Datenstrom, der Datum und Uhrzeit beinhaltet, in einen Wechselspeicher (Wechselbuffer) geschrieben. Nach Erreichen des maximalen Speicherinhaltes von 256 Byte erfolgt von der Bandsteuerung das Signal zum Auslesen der Daten, und der Inhalt des Wechselspeichers wird mit 48 kbit/s auf ein Digitalband vom Typ DC 100 A geschrieben. Ein eingebauter Quick-Look ermöglicht die digitale und analoge Anzeige des gerade selektierten Meßkanals. Auf diese Weise ist jederzeit eine Überprüfung der gesamten Meßstrecke möglich.

Die aufgenommenen Meßwerte werden in einen Datenrahmen eingefügt, der auch die Zeitinformation und den Versuchscode beinhaltet. Datum und Uhrzeit werden extern über Taster gesetzt und über ein LED-Display angezeigt. Bei ausgeschaltetem Logger wird die Zeitcode-Platine über eine Puffer-Batterie gespeist, so daß die aktuelle Zeitinformation mindestens 4 Wochen erhalten bleibt. Der Versuchscode wird an der Eingabe- und Steuereinheit eingestellt. Er beinhaltet die laufende Versuchsnummer, die Nummer des Datenloggers, Arbeitsbreite, Arbeitstiefe, Fahrererkennung, Arbeitsgerät und Feldbezeichnung.

Der Rahmenbeginn ist immer mit einem Synchronisierzeichen, dem Rahmenzähler und der Zeitinformation ausgestattet. Anschließend folgen der Versuchscode, die Daten der Digitalkanäle 1 bis 4 und der 16 Analogkanäle.

Für unterschiedliche Meßprobleme sind 8 Programme mit verschiedenem Rahmenaufbau wählbar. Damit kann bei gleicher Abtastfrequenz die Aufzeichnungszeit je Band variiert werden. Da unterschiedliche Meßprobleme auch unterschiedliche Abtastfrequenzen erfordern können, ist im Datenlogger eine Programmwahl für 8 Bitraten (von 0,25 Hz bis 32 Hz) vorhanden.

Eine solche automatische Datenerfassung, bei der eine Vielzahl von Meßstellen mit hoher Bitrate abgefragt werden kann und die es erlaubt, kontinuierlich bei 0,5 Hz bis zu vier Stunden, bei anderen Bitraten auch länger, Daten aufzuzeichnen, erfordert auch eine weitgehend automatisierte Auswertung.

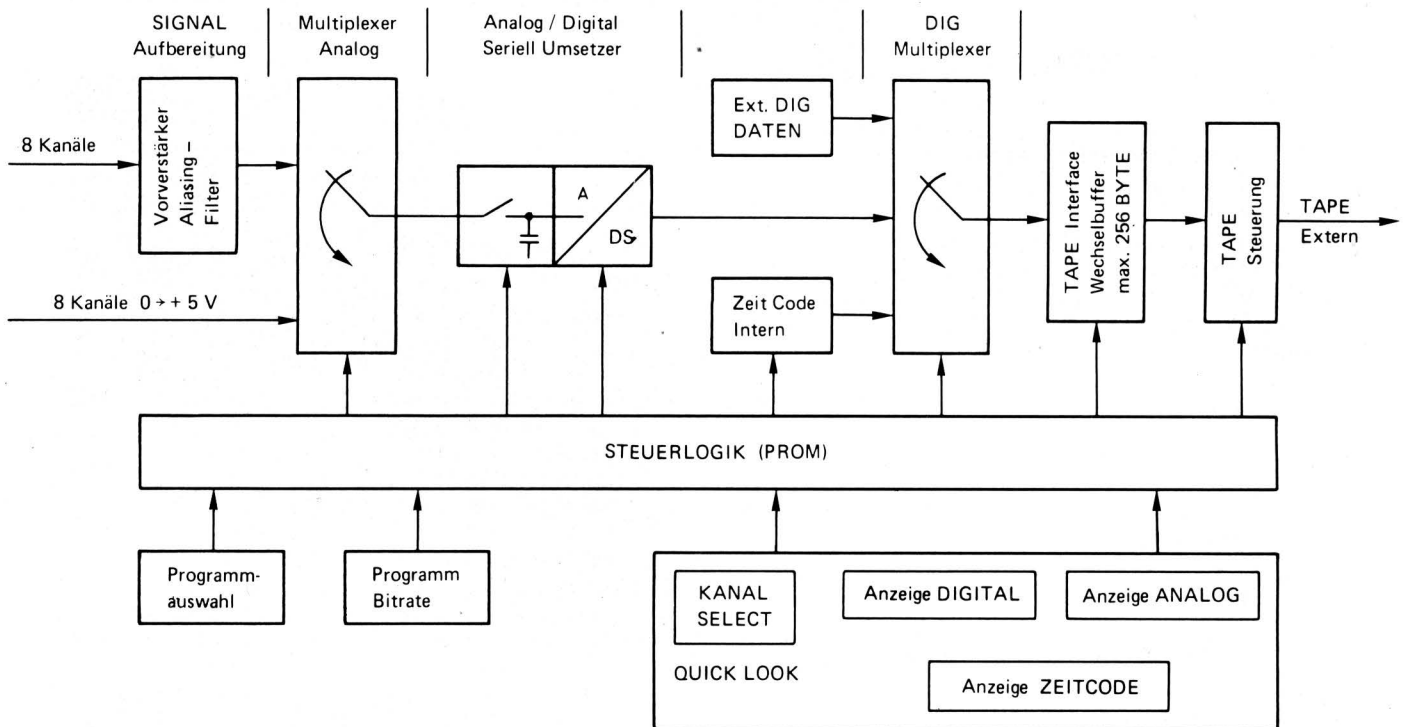


Bild 2. Blockschaltbild des Datenlogger 2450 T.

Dazu wird das Digitalband in einem Decoder gelesen und werden die Daten in einen parallelen Daten- und Adreß-BUS umgewandelt, **Bild 3**. Uhrzeit und Versuchscode werden digital angezeigt. Mit einem Wordselector können 8 Kanäle selektiert und analog angezeigt bzw. über Koaxial-Steckverbindung zur Darstellung (z.B. über einen Analogschreiber) gebracht werden.

An der Datenschnittstelle des Decoders werden die Daten parallel abgegriffen und über ein Interface und einen Rechner entweder auf Floppy Disk oder Hard Disk gespeichert und stehen für die weitere Auswertung zur Verfügung. Das bis heute existierende Programmpaket gestattet es, die Daten der direkt und indirekt ermittelten Größen in digitaler Form auf dem Drucker auszugeben, Häufigkeit und Dauer bestimmter Werte der digital aufgezeichneten Größen sowie Mittelwerte und Standardabweichung der analog aufgezeichneten Größen zu berechnen, Tests auf Normalverteilung und Gleichheit der Mittelwerte durchzuführen und Zeichnungen des Verlaufs beliebiger Meßgrößen mit einem Plotter zu erstellen.

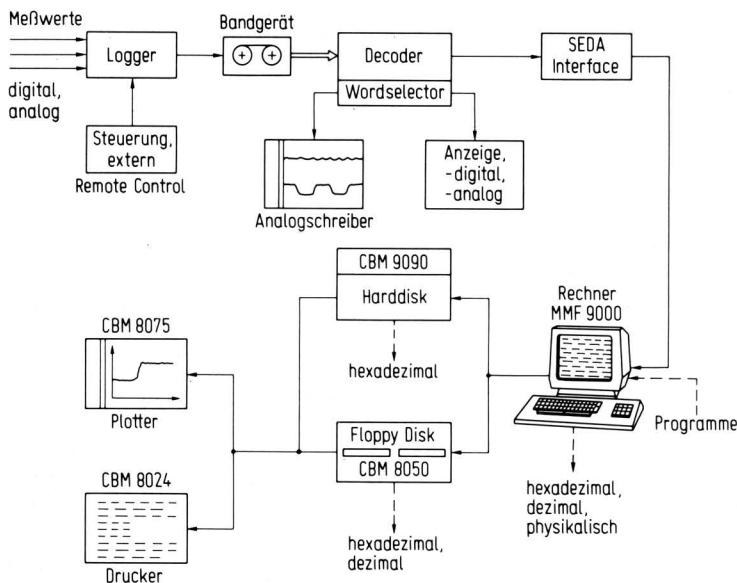


Bild 3. Blockschaltbild für Datenerfassung und Datenauswertung.

3. Einsatz des Datenerfassungssystems

3.1 Versuchsschlepper und Meßtechnik

Bisher wurden zwei Ackerschlepper mit dem beschriebenen Datenerfassungssystem und den entsprechenden Meßwertaufnehmern ausgerüstet. Dabei interessierten die folgenden direkten und abgeleiteten Größen:

direkt:

- Drehzahl von Motor
- Antriebsrädern und Zapfwelle
- Zapfwelldrehmoment
- tatsächliche Fahrgeschwindigkeit
- Kraftstoffverbrauch
- Einschalthäufigkeit und -dauer von
 - Kupplung Regelhydraulik
 - Bremse Zapfwelle (540/1000 min⁻¹) und den
 - Allradantrieb Gruppengetriebegehängen

abgeleitet:

- Motorleistung (Motorauslastung)
- Zapfwellenleistung
- Schlupf
- Einschalthäufigkeit und -dauer der Hauptgetriebegehänge.

Die Drehzahl des Motors wurde magnetisch-induktiv aufgenommen, der Kraftstoffverbrauch mit Hilfe einer Zahnradmeßpumpe ermittelt. Aus Motordrehzahl und Kraftstoffverbrauch wurde mittels eines vorher im Labor aufgenommenen Verbrauchskennfeldes die Motorleistung berechnet.

Die Drehzahl der hinteren Antriebsräder wurde opto-elektronisch ermittelt. Aus Raddrehzahl und Motordrehzahl wurde der gerade benutzte Hauptgetriebegehäng bestimmt.

Die tatsächliche Fahrgeschwindigkeit wurde mit Hilfe eines Radargerätes ermittelt. Aus dieser Größe und der Raddrehzahl wurde der Schlupf berechnet.

Die Häufigkeit und Dauer der Bedienung von Hebeln und Pedalen sowie der Nutzung der Gruppengetriebegehänge wurden über Mikroschalter erfaßt. Für Drehzahl und Drehmoment an der Zapfwelle stand eine Meßnabe zur Verfügung, die nach dem Hall-Effekt arbeitet.

Aus der Vielzahl der Einsatzmöglichkeiten, die sich für einen mit einem solchen Datenerfassungssystem ausgerüsteten Schlepper ergibt, wurden drei Bereiche ausgewählt:

1. Dauereinsatz auf landwirtschaftlichen Betrieben – hierbei sollen alle Arbeiten erfaßt werden, die von einem Schlepper in einem längeren Zeitraum durchgeführt werden.
2. Gezielter Einsatz unter definierten Versuchsbedingungen – zur Gewinnung von Daten für Modelle des Schleppereinsatzes mit dem Ziel einer Einsatzoptimierung.
3. Überprüfung der Auswirkungen technischer Verbesserungsmaßnahmen und der Effizienz elektronischer Hilfsmittel beim Schleppereinsatz.

3.2 Dauereinsatz auf einem landwirtschaftlichen Betrieb

Ziel war die Ermittlung von Einsatzprofilen für Ackerschlepper im landwirtschaftlichen Produktionsprozeß bei unterschiedlicher Betriebsgröße, Bodennutzung und Agrarstruktur. Dabei sollten auch Daten gewonnen werden über Nebenzeiten, also Rüstzeiten, Ausfallzeiten u.a.m.

Hierfür wurde zunächst einer der Schlepper eines landwirtschaftlichen Betriebes mit dem Datenerfassungssystem, **Bild 4**, und den entsprechenden Meßwertgebern ausgerüstet.

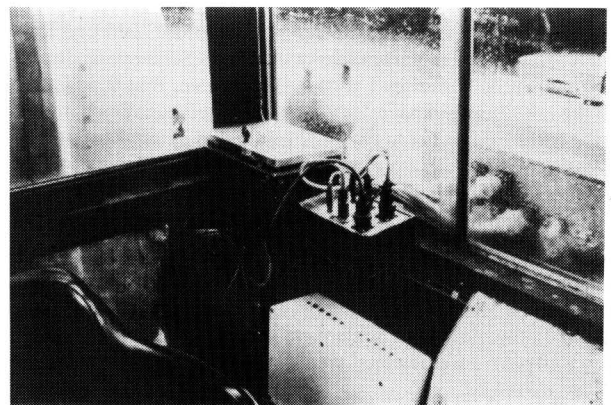


Bild 4. Datenlogger auf dem Schlepper J. Deere 2030.

Dieser Schlepper wurde vorwiegend für leichte Arbeiten wie Spritzen, Düngen und Drillen eingesetzt. Im ersten Versuchsjahr konnten dabei etwa 80 Einsatzstunden aufgezeichnet werden. Da zu diesem Zeitpunkt die Entwicklung der erforderlichen Auswerteprogramme noch nicht abgeschlossen war, wurde zur Kontrolle, und um einen ersten Überblick über die Versuchsergebnisse zu gewinnen, von den aufgezeichneten Daten ein Analogschrieb angefertigt. Ein Beispiel einer derartigen Versuchsauswertung für die Arbeit "Flüssigdünger spritzen" zeigt **Bild 5**.

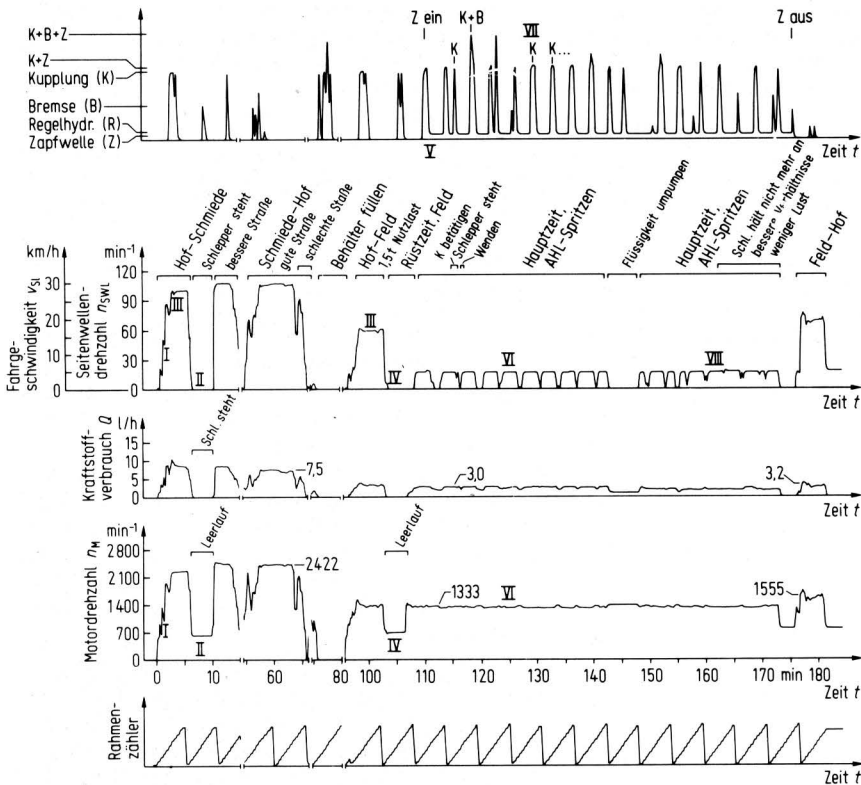


Bild 5. Beispiel der Datenerfassung für das Spritzen von Flüssigdünger (Ammonnitrat-Harnstoff-Lösung).

Daraus lassen sich ablesen z.B. die mittleren Drehzahlen von Motor und Antriebsrädern bei Straßenfahrt (I, III) und bei der eigentlichen Arbeit (Flüssigdünger spritzen) (VI) sowie der zugehörige Kraftstoffverbrauch, aber auch Rüstzeiten (IV) und Arbeitsunterbrechungen bei laufendem Motor (II) und die Betätigungen von z.B. Kupplung (VII) und Zapfwelle (V) sind zu erkennen.

Geht man mit den mittleren Werten von Motordrehzahl und Kraftstoffverbrauch in das Verbrauchskennfeld des Schleppers, dieses Kennfeld wurde vorher im Labor aufgenommen, **Bild 6**, so läßt sich die jeweils abgegebene Motorleistung ermitteln. Es ergibt sich für die Straßenfahrt bei $n_M = 2422 \text{ min}^{-1}$ und einem Kraftstoffverbrauch von $Q = 7,5 \text{ l/h}$ eine Motorleistung von $15,5 \text{ kW}$ und für die Arbeit Flüssigdünger spritzen bei $n_M = 1333 \text{ min}^{-1}$ und einem Kraftstoffverbrauch von 3 l/h eine Motorleistung von $6,5 \text{ kW}$.

Während des mehr als 1 1/2-jährigen Einsatzes des Datenerfassungssystems auf diesem landwirtschaftlichen Betrieb zeigte sich, daß eine Langzeit-Meßwerterfassung bei einem Schlepper in der Form, daß alle Einsatzdaten des Schleppers kontinuierlich über einen längeren Zeitraum aufgezeichnet werden, noch nicht störungsfrei durchzuführen ist.

Zum einen ergaben sich technische Schwierigkeiten. So traten durch Vibrationen und Erschütterungen Fehler bei der Bandaufzeichnung sowie Ausfälle bei den Meßwertaufnehmern auf, die erst später bei der Kontrollauswertung festgestellt wurden. Reparaturen konnten dann nicht immer umgehend durchgeführt werden, da der Schlepper meist gerade dann dringend eingesetzt werden mußte.

Zum anderen zeigte sich, daß die Bedienung des Datenerfassungssystems durch den Schlepperfahrer, dessen Hauptaufgabe in der Verrichtung landwirtschaftlicher Arbeiten und nicht in der Durchführung von Versuchen besteht, doch mehr Probleme aufwirft als zunächst angenommen wurde.

Obwohl seine Aufgabe lediglich darin bestand, an der Remote Control einen Code für die durchgeführte Arbeit (also Gerät, Arbeitsbreite und -tiefe und Nr. des Feldes) einzustellen und gegebenenfalls nach vier Stunden Aufzeichnungsdauer das Band zu wechseln — hierzu wurde optisch und akustisch aufgefordert — kam es häufig zu Fehlbedienungen. Infolgedessen gingen Aufzeichnungen verloren oder konnten nicht mehr einer bestimmten Arbeit zugeordnet werden. Dies trat besonders dann auf, wenn unter Zeitdruck gearbeitet wurde.

Ein weiteres Problem berührt die Privatsphäre des Schlepperfahrers. Eine Erfassung und Aufzeichnung der wichtigsten Schlepperfunktionen bedeutet gleichzeitig eine weitgehende Überwachung des Schlepperfahrers, die von ihm mit zunehmender Zeitdauer mehr und mehr als störend und unangenehm empfunden wurde.

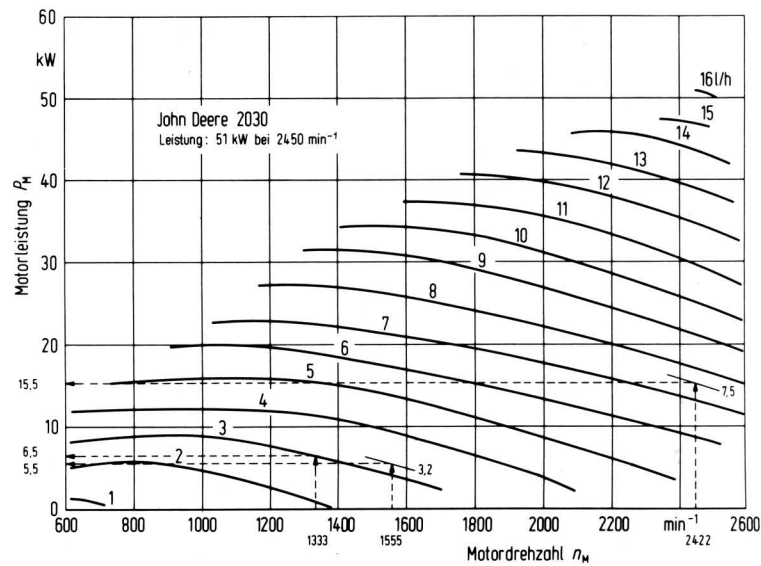


Bild 6. Verbrauchskennfeld des J. Deere 2030.

3.3 Gezielter Einsatz zur Datenermittlung

Aus diesen Gründen wurde der Schwerpunkt der Arbeiten auf den zweiten Verwendungsbereich des Datenerfassungssystems gelegt: den Einsatz auf institutseigenen Schleppern bei gezielten Versuchen mit definierten Versuchsbedingungen. Nur so konnte eine möglichst genaue Kontrolle über den tatsächlichen Arbeitsablauf und die bestehenden Einsatzbedingungen gewährleistet werden. Dafür wurde ein 70 kW-Schlepper mit dem Datenerfassungssystem ausgerüstet und eingesetzt, **Bild 7**. Ziel war es, auf diese Weise bei ausgewählten Arbeiten exakte Daten zu gewinnen, die dann in Modelle des Schleppereinsatzes übertragen werden können.

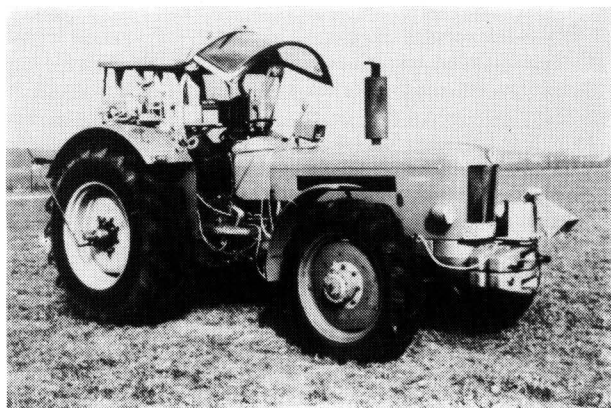


Bild 7. Mit Datenerfassungssystem ausgerüsteter Versuchsschlepper (Schlüter 70 kW).

3.3.1 Beispiel: Pflügen

Erste Versuche wurden im Bereich der Bodenbearbeitung mit einem 3-Schar-Drehpflug durchgeführt. Dabei wurde die Arbeitsgeschwindigkeit variiert durch Wechsel der Getriebegänge (Z3 bis N5, d.h. 4,3 bis 13,6 km/h konstruktiv). In **Bild 8** und **9** sind die wichtigsten Kenngrößen (Motorleistung, Kraftstoffverbrauch, Schlupf sowie konstruktive und tatsächliche Fahrgeschwindigkeit) aufgetragen.

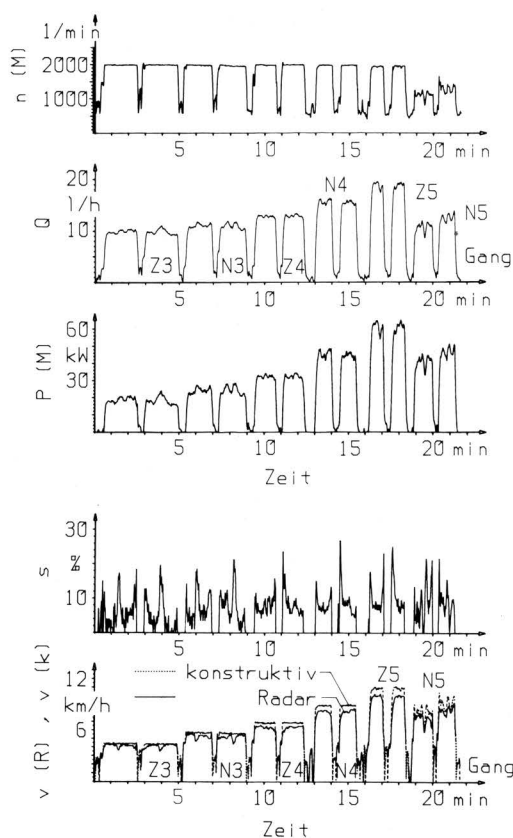


Bild 8

Bild 9

Bild 8 und 9. Ausgewählte Versuchsergebnisse für das Pflügen mit verschiedenen Getriebeängen (Z3 bis N5); 3-Schar-Drehpflug, lehmiger Sand (IS), Arbeitstiefe 25 cm, Bodenfeuchte 9–12 %; **Bild 8:** Motordrehzahl $n(M)$, Kraftstoffverbrauch Q und Motorleistung $P(M)$; **Bild 9:** Schlupf s sowie konstruktive $v(k)$ und tatsächliche Fahrgeschwindigkeit $v(R)$.

Für jeden Gang sind zwei Meßfahrten dargestellt. Es wurde ein Maisstoppelacker (lehmiger Sand, IS) gepflügt. Bei konstanter Motordrehzahl steigen Kraftstoffverbrauch und Motorleistung mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit überproportional an, da der Zugwiderstand überproportional wächst. Im höchsten Gang (N5) erreichte der Motor nicht die gewünschte Drehzahl und drohte abgewürgt zu werden. Es ist ein deutlicher Rückgang der Fahrgeschwindigkeit festzustellen, so daß ein Arbeiten in diesem Gang unter den gegebenen Verhältnissen nicht sinnvoll ist.

In **Tafel 1** sind die errechneten Mittelwerte der wichtigsten Kenngrößen für die verschiedenen Fahrgeschwindigkeitsstufen zusammengefaßt. Eine Steigerung der tatsächlichen Arbeitsgeschwindigkeit (v_R) auf das etwa Zweieinhalbfache bewirkt etwa eine Verdoppelung des Kraftstoffverbrauches. Der flächenbezogene Kraftstoffverbrauch (proportional dem Quotienten Q/v_R) nimmt demnach auf etwa 4/5 ab. Daß die vom Motor abgegebene Leistung bei einer Verdoppelung des zeitbezogenen Kraftstoffverbrauches etwa 3,5mal so groß ist, zeigt eine wesentliche Verbesserung im Energieumsatz an. Der Schlupf liegt mit Werten zwischen 5 % und etwa 10 % aufgrund der günstigen Bodenverhältnisse insgesamt relativ niedrig. Lediglich beim Einziehen des Pfluges können kurzzeitig Schlupfwerte bis etwa 20 % auftreten (**Bild 9**). In der Mitte des Feldes war eine sehr feuchte Stelle, so daß auch hier der Schlupf auf etwa 15–20 % anstieg (**Bild 9**).

Technische Daten dieser Art werden benötigt, um Modelle des Schleppereinsatzes zu bilden und den Einsatz zu optimieren. Zur Optimierung des Schleppereinsatzes sind verschiedene Strategien möglich, z.B. Minimierung des Arbeitszeitaufwandes oder Minimierung des Kraftstoffverbrauches. Eine dritte Strategie ist die Minimierung der Kosten.

verwendeter Getriebeang	tats. Fahrgeschw. v_R km/h	Kraftstoffverbrauch Q l/h	Motorleistung P kW	Schlupf s %	Motordrehzahl n_{M_1} min ⁻¹
Z3	4,14	9,65	17,40	5,17	1978
N3	5,30	10,95	23,84	7,14	1971
Z4	6,35	12,52	31,74	8,00	1981
N4	8,18	15,40	44,67	8,56	1973
Z5	9,80	18,85	66,26	9,65	1929

Tafel 1. Mittelwerte wichtiger Betriebsgrößen in Abhängigkeit vom verwendeten Getriebeang beim Pflügen; lehmiger Sand, 3-Schar-Drehpflug, Arbeitstiefe 25 cm, Bodenfeuchte 9–12 %.

Am Beispiel Pflügen soll nun eine vereinfachte Rechnung durchgeführt werden, welche die flächenbezogenen Kosten für Arbeit und Kraftstoff berücksichtigt. Wie aus **Bild 10** ersichtlich, nehmen die Kosten für Arbeit stetig ab bis zum maximal möglichen Gang – im Gang N5 war eine Durchführung der Arbeit nicht mehr sinnvoll (s. Besprechung der Ergebnisse in **Bild 8**), d.h. hierfür würden die Kosten K_A wieder ansteigen –. Die Kosten für Kraftstoff weisen bei $v_R = 8$ km/h ein Minimum auf.

In **Tafel 2** sind die relativen Kosteneinsparungen dargestellt, die sich ergeben für den im Kopf der Tafel beschriebenen Wechsel in den jeweils nächsthöheren Gang. Es ist unter den vorliegenden Bedingungen am kostengünstigsten, mit der höchstmöglichen Fahrgeschwindigkeit zu pflügen, vorausgesetzt, der Arbeitseffekt wird nicht beeinträchtigt.

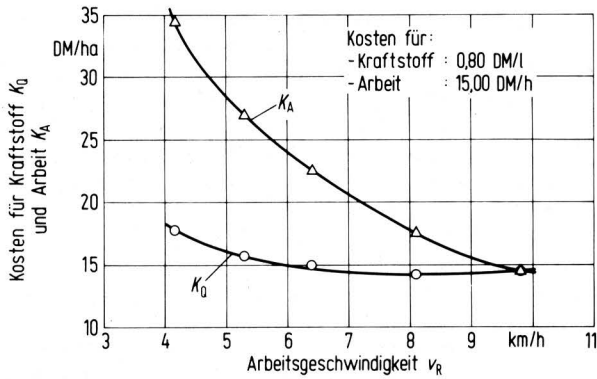


Bild 10. Kosten für Arbeitszeitaufwand und Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit.

Gangwechsel	Veränderung der flächenbezogenen Kosten in %		
	Arbeitskosten	Kraftstoffkosten	gesamt
Z3/N3	- 22	- 11	- 18
N3/Z4	- 17	- 5	- 12
Z4/N4	- 23	- 5	- 16
N4/Z5	- 16	+ 2	- 8

Tafel 2. Veränderung der flächenbezogenen Kosten für das Pflügen beim Wechsel in den jeweils nächsthöheren Gang.

3.3.2 Beispiel: Fräsen

Als zweites Beispiel für den Einsatz des Datenerfassungssystems bei gezielten Versuchen soll die Bodenbearbeitung mit einer Fräse untersucht werden. Bei der betrachteten Arbeit wurde auf einem Maisstoppelacker (schluffiger Sand, uS) Stallung eingearbeitet. Als Versuchsparameter wurde wiederum die Arbeitsgeschwindigkeit variiert, indem verschiedene Getriebegänge (Z3 bis Z5) verwendet wurden.

Bei praktisch konstanter Motordrehzahl steigen Kraftstoffverbrauch und erforderliche Motorleistung mit steigender Arbeitsgeschwindigkeit zunächst an, um dann wieder abzufallen, **Bild 11**. Die gleiche Tendenz ist beim Drehmoment und demzufolge auch bei der Leistung an der Zapfwelle zu erkennen, **Bild 12**. Die Ursachen hierfür liegen in der Arbeitsweise der Fräse begründet. Bei kleiner Arbeitsgeschwindigkeit – konstante Zapfwelldrehzahl vorausgesetzt – sind die Bissen, welche die Messer der Fräse vom festen Boden abtrennen, klein. Mit steigender Fahrgeschwindigkeit werden sie größer und damit auch das zu bearbeitende Bodenvolumen. Dadurch erhöht sich der erforderliche Leistungsbedarf (bzw. Drehmomentbedarf). Übersteigt die Arbeitsgeschwindigkeit einen bestimmten Wert, so ist die Bissenlänge größer als der theoretische Weg des Messers im Boden. Dadurch werden wieder weniger Bodenaggregate getroffen und zerkleinert, und das erforderliche Drehmoment fällt ab. Dieser Bereich ist vom Arbeitseffekt her unbefriedigend und wird deshalb vermieden.

Konstruktive und tatsächliche Fahrgeschwindigkeit, **Bild 13**, unterscheiden sich praktisch nicht, da die Fräse den Schlepper teilweise schiebt. Lediglich bei der Fahrt auf dem Vorgewende und beim Einziehen des Gerätes treten kurzzeitig Schlupfwerte zwischen 5 % und 20 % auf, ansteigend mit größer werdendem Gang. In **Bild 13** sind ebenfalls dargestellt die Betätigungen der Getriebegehäusel (a bzw. b) sowie von Kupplung (c), Bremse (d), Allradantrieb (e), Regelhydraulik (f) und Zapfwelle (g). Aufgrund zu niedriger Abtastfrequenz (0,6 Hz) wurden nicht alle Betätigungen der Regelhydraulik erfasst. Es zeigte sich, daß eine Abfragefrequenz von mindestens 1 Hz erforderlich ist.

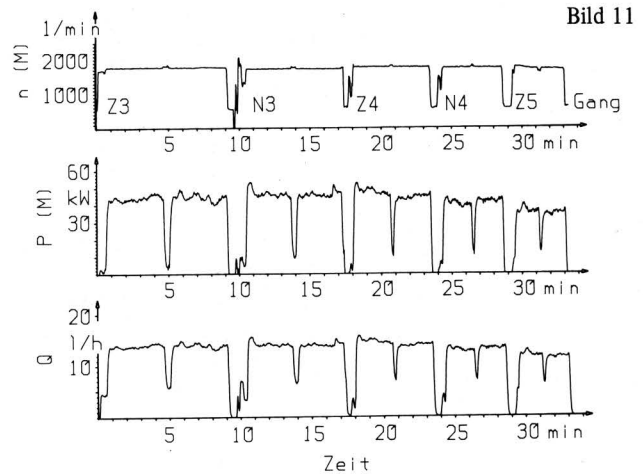


Bild 11

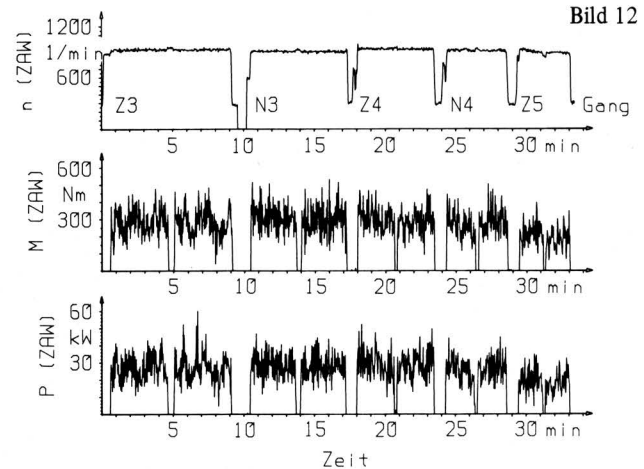


Bild 12

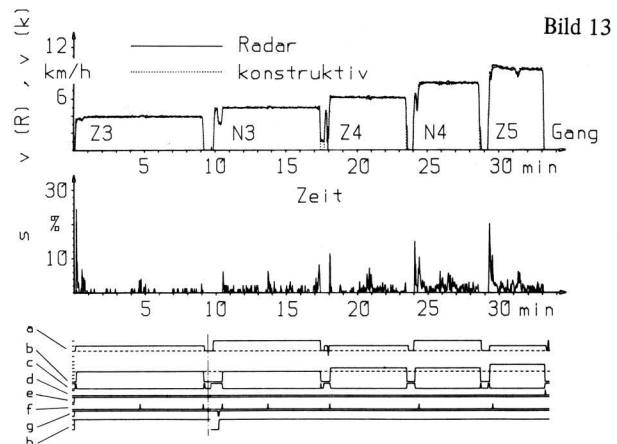


Bild 13

Bild 11 bis 13. Ausgewählte Versuchsergebnisse für das Fräsen bei konstanter Zapfwelldrehzahl und verschiedenen Getriebeängen (Z3 bis Z5); Einarbeiten von Stallung in einen Maisstoppelacker, Arbeitsbreite 2,10 m, Arbeitstiefe 8–10 cm, Bodenfeuchte 13 bis 15 %, schluffiger Sand (uS);

Bild 11: Einfluß des Ganges auf Motordrehzahl $n(M)$, Motorleistung $P(M)$ und Kraftstoffverbrauch Q

Bild 12: Einfluß des Ganges auf Drehzahl $n(ZAW)$, Drehmoment $M(ZAW)$ und Leistung $P(ZAW)$ der Zapfwelle

Bild 13: Einfluß des Ganges auf konstruktive $v(k)$ und tatsächliche Geschwindigkeit $v(R)$ sowie auf den Schlupf s ; unteres Diagramm: Betätigung von Hebeln und Pedalen:

- a Gruppengetriebe, von oben nach unten Gänge N, Z, O, R
- b Hauptgetriebe, von unten nach oben Gänge 1 bis 6
- c Kupplung
- d Bremse
- e Allradantrieb
- f Regelhydraulik
- g Zapfwelle ein/aus
- h Zapfwelldrehzahl, von unten nach oben $0/540/1000 \text{ min}^{-1}$

Analog zum Beispiel Pflügen soll nun vereinfacht nach Kosten optimiert werden. Wie in Bild 14 dargestellt, nehmen die Kosten für Arbeit und Kraftstoff mit steigender Fahrgeschwindigkeit stetig ab. Bei isolierter Betrachtungsweise wäre es also am kostengünstigsten, so schnell wie möglich zu fräsen. Wie schon erwähnt, ist hier jedoch der Arbeitseffekt mit zu berücksichtigen. Die in Bild 14 den einzelnen Arbeitseffektgeschwindigkeiten zugeordnete Charakterisierung des Arbeitseffektes wurde aus der subjektiven Beurteilung des erfahrenen Schlepperfahrers abgeleitet. Danach ist vom Arbeitseffekt her eine Geschwindigkeit von 6 km/h noch tragbar. Es liegt nun am Schlepperfahrer zu entscheiden, ob eine Kosteneinsparung von etwa 11 DM/ha – bei den angenommenen Preisen für Arbeit und Kraftstoff – eine Verschlechterung des Arbeitseffektes von "sehr gut" auf "gut bis tragbar" rechtfertigt.

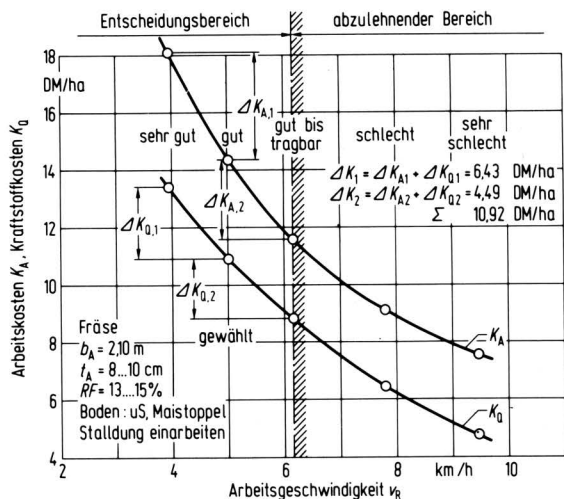


Bild 14. Arbeits- und Kraftstoffkosten sowie Arbeitseffekt beim Fräsen in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit (angenommene Preise: Arbeit: 15,- DM/h; Kraftstoff: -, 80 DM/l).

3.4 Überprüfung der Effizienz elektronischer Hilfsmittel

Technische Daten, wie in Abschn. 3.2 und 3.3 diskutiert, sind Grundlagenwissen für einen energie- und kostensparenden Schleppereinsatz, aber auch für eine arbeits- und funktionsgerechte Gestaltung des Schleppers. So sind z.B. Angaben über die Gangbenutzung unerlässlich für eine ausgefeilte Dimensionierung von Antriebs-elementen.

Problematisch jedoch bei einer Optimierung des Schleppereinsatzes ist die Bewertung von Verbesserungsmaßnahmen, beispielsweise des Einsatzes von elektronischen Hilfsmitteln, die zunehmend entwickelt und angeboten werden. Dabei ist wenig bekannt darüber, wie diese Hilfsmittel vom Schlepperfahrer akzeptiert und benutzt werden und ob sie letztlich den gewünschten Erfolg erbringen und damit den zusätzlich erforderlichen Kostenaufwand rechtfertigen.

Mit dem vorgestellten Datenerfassungssystem kann durch einen Vorher/Nachher-Vergleich festgestellt werden, ob und in welcher Quantität sich die Zielgrößen nach Einführung einer technischen Verbesserung verändern.

Am Beispiel der Bodenbearbeitung mit einer Fräse läßt sich ein Einsatzbereich für ein elektronisches Hilfsmittel abgrenzen.

Für die Fräse ist der optimale Arbeitseffekt dann gegeben, wenn der Schlepper sehr langsam fährt und damit die Bissenlänge kurz ist. Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit vergrößert sich die Bissenlänge und damit auch das erforderliche Drehmoment an der Zapfwelle. Ab einer bestimmten Geschwindigkeit werden wieder weniger Bodenaggregate getroffen und zerkleinert, der Arbeitseffekt wird schlechter, und das Drehmoment an der Zapfwelle fällt wieder ab.

In Bild 15 ist für die wichtigsten technischen Größen die Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit dargestellt. Gleichzeitig ist die visuell gestützte Beurteilung des Arbeitseffektes durch den Schlepperfahrer eingetragen. Der Fahrer sollte zunächst den für sein Empfinden richtigen Getriebegang wählen. Er entschied sich für Gang N3 ($v_K = 5,5$ km/h konstruktiv und beurteilte den Arbeitseffekt mit "gut". Danach sollte die Arbeitsgeschwindigkeit variiert werden und ebenfalls der Arbeitseffekt beurteilt werden.

Vergleicht man diese Beurteilung des Arbeitseffektes mit dem Drehmomentverlauf, so war ein guter Arbeitseffekt demnach vorhanden, solange das Drehmoment an der Zapfwelle mit zunehmender Arbeitsgeschwindigkeit ansteigt. Unter dieser Voraussetzung könnte man die Anzeige des Zapfwellenmoments dazu verwenden, auch einem ungeübten Schlepperfahrer ein Hilfsmittel für die Wahl des richtigen Ganges des Schleppergetriebes an die Hand zu geben, konstante Übersetzung bei der Fräse vorausgesetzt.

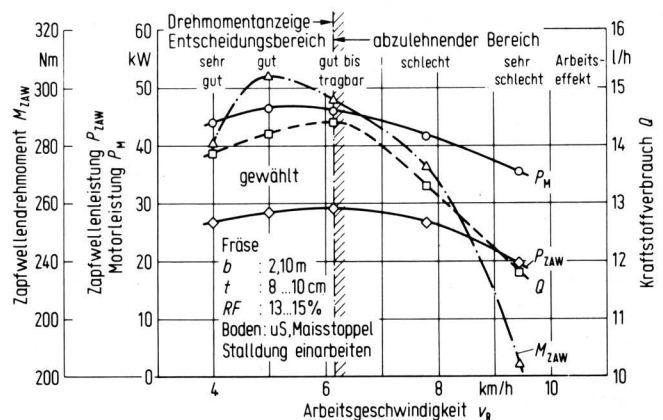


Bild 15. Motor- und Zapfwellenleistung, Kraftstoffverbrauch und Drehmoment an der Zapfwelle sowie Arbeitseffekt der Fräse bei konstanter Zapfwelldrehzahl in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit.

Als Meßwertaufnehmer ist dann eine Meßnabe ähnlich der hier verwendeten erforderlich, zusammen mit einer entsprechenden Anzeigeeinheit für das Drehmoment. Zusätzlich könnte ein Rechner die Mehr- oder Minderkosten ermitteln und dem Fahrer mitteilen.

Der Schlepperfahrer müßte sich von niedrigem Gang aus an den Punkt des maximalen Drehmomentes herantasten und dann, wenn ein weiterer Gangwechsel einen Drehmomentrückgang bewirkt, den nächstniedrigeren Gang wählen. Bis zu diesem Gang liegt die Gangwahl in der Entscheidung des Fahrers, wobei eine Kostenbetrachtung nützlich sein und den Fahrer davon abhalten könnte, den Gang bzw. die Arbeitsgeschwindigkeit zu niedrig zu wählen.

Dies sind erste Überlegungen, die noch hinreichend genau untersucht werden müssen, vor allem bezüglich der Abhängigkeit zwischen Arbeitseffekt und Zapfwelldrehmoment, auch bei unterschiedlichen Arbeitsaufgaben der Fräse und unterschiedlichen Einsatzbedingungen.

Mit Hilfe des Datenerfassungssystems kann dann kontrolliert werden, ob der Schlepperfahrer ein solches Hilfsmittel nutzt und in welcher Größenordnung sich die Auswirkungen auf z.B. Arbeitszeit und Energiebedarf durch die Nutzung einer solchen Anzeige bewegen.

4. Zusammenfassung

Die Ermittlung technischer Daten bei Schlepperarbeiten ist unerläßlich für die Bildung von Modellen des Schleppereinsatzes und hilft dabei, Ansatzpunkte für Verbesserungen zu finden. Im Vergleich mit der herkömmlichen Datenerfassung mit Analogbandgeräten versprechen Datenerfassungssysteme, die autark auf dem Schlepper installiert sind, vorteilhafter zu sein. Im Rahmen dieses Beitrages wurde ein solches System vorgestellt und anhand von Versuchsergebnissen über die bisherigen Erfahrungen beim praktischen Einsatz berichtet.

Es zeigte sich, daß Systeme dieser Art noch nicht sicher genug sind, um im Dauereinsatz auf landwirtschaftlichen Betrieben ge-

nutzt zu werden. Erfolgreicher ist der Einsatz bei gezielten Versuchen unter kontrollierten Bedingungen. Die dort noch auftretenden Probleme sind überwiegend in der Sensortechnik begründet.

Erste Versuche wurden bei den landwirtschaftlichen Arbeiten Pflügen und Fräsen durchgeführt. Es wurde der Einfluß der Arbeitsgeschwindigkeit untersucht und Möglichkeiten für eine Kostenreduzierung dargestellt.

Erfolgversprechend scheint der Einsatz des Datenerfassungssystems zu sein bei der Überprüfung der Wirksamkeit technischer Verbesserungen wie z.B. dem Einsatz elektronischer Hilfsmittel. Bei der Arbeit mit einer Fräse zeigen sich Ansatzpunkte, die Anzeige des Drehmoments an der Zapfwelle zu nutzen, um bei befriedigendem Arbeitseffekt kostengünstig zu arbeiten.

Meßwerterfassungs- und -verarbeitungssysteme für den mobilen Feldeinsatz

Von Syed Ismail, Otto Balcarek und Klaus Burkhardt, Stuttgart-Hohenheim*)

DK 631.372:531.76/.78:681.3

Bei Feldversuchen ist die sofortige Verfügbarkeit von Ergebnissen wichtig, da hiervon oft die nächste Versuchseinstellung oder Wiederholung abhängt. Seitherige Meßwerterfassungs- und -verarbeitungssysteme sind aber für den mobilen Einsatz auf dem Schlepper ungeeignet.

Hier werden drei Varianten eines neu entwickelten digitalen Meßwerterfassungs- und -verarbeitungssystems beschrieben, das die obigen Forderungen erfüllt und durch Anpassung der Software für die verschiedensten Untersuchungen eingesetzt werden kann.

1. Einleitung

Bei der Untersuchung von landwirtschaftlichen Geräten im Feldeinsatz müssen oft sehr unterschiedliche physikalische Größen gemessen werden. Dazu werden verschiedene Meßwertaufnehmer (Sensoren) verwendet, die die jeweiligen Größen entweder in analoge elektrische Signale (z.B. Dehnungsmessstreifen für die Kraftmessung) oder in digitale Signale (z.B. Impulsgeber für die Geschwindigkeitsmessung) umwandeln. Die Meßwerte müssen erfaßt, weiterverarbeitet und ausgewertet werden. Häufig ist das Erfassen, Weiterverarbeiten und Auswerten von Meßdaten der aufwendigste Teil einer Forschungsarbeit, insbesondere wenn es sich um Untersuchungen bei Feldarbeiten handelt.

Gegenwärtig werden die anfallenden Daten zumeist nicht sofort auf dem Feld weiterverarbeitet und ausgewertet, da die verfügbaren Meßwertverarbeitungssysteme zu umfangreich und deshalb für einen mobilen Einsatz z.B. auf dem Schlepper ungeeignet sind. Die Meßwerte werden daher üblicherweise mit Registriergeräten aufgezeichnet und später im Labor weiterverarbeitet und ausgewertet.

*) Dr.-Ing. S. Ismail und Dipl.-Ing. O. Balcarek sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl für Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion (Leiter: Prof. Dr.-Ing. A. Stroppel) des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim; Dipl.-Ing. K. Burkhardt ist Leiter der Meßabteilung am gleichen Institut.

Da die Feldversuche mit landwirtschaftlichen Geräten im allgemeinen sehr zeitaufwendig, nicht beliebig wiederholbar und witterungsabhängig sind, wäre es sehr vorteilhaft, die Daten schon vor Ort weiterverarbeiten und gegebenenfalls auswerten zu können, um so fehlerhafte Messungen und Versuchseinstellungen sofort zu erkennen und eventuell durch Wiederholungen zu korrigieren. Deshalb wurden im Rahmen zweier DFG-Projekte¹⁾ drei einfach zu handhabende Meßwertverarbeitungssysteme entwickelt, die für landtechnische Forschungsarbeiten auf dem Feld eingesetzt werden können.

Bei den angesprochenen Forschungsprojekten werden unter anderem die wahre und theoretische Geschwindigkeit des Schleppers, der Kraftstoffverbrauch, die Kräfte zwischen Schlepper und Pflug und die Arbeitsbreite des Pfluges gemessen. Die Meßwerte können mittels der entwickelten Meßwertverarbeitungssysteme sofort weiterverarbeitet und ausgewertet werden, so daß man beispielsweise an den entsprechenden Anzeigegeräten den Schlupf, die Flächenleistung, den flächenbezogenen Kraftstoffverbrauch, die mittleren Kräfte, die spezifischen Pflugwiderstände usw. ablesen kann. Natürlich können diese Werte auch registriert werden.

Die in diesem Aufsatz vorgestellten Meßwertverarbeitungssysteme wurden unter folgenden Gesichtspunkten entworfen:

1. Möglichkeit der Erfassung analoger und digitaler Signale
2. Möglichkeit der Durchführung einer statistischen und dynamischen Meßwertanalyse
3. Flexibilität hinsichtlich der Verarbeitung und Auswertung der Meßwerte und der Darstellung der Ergebnisse
4. Möglichkeit zur Speicherung und Wiedergewinnung der Ergebnissdaten
5. Möglichkeit des Datenaustausches mit anderen Computersystemen
6. Möglichkeit der Stromversorgung durch die Schlepperbatterie.

¹⁾ Die Entwicklungsarbeiten wurden mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen der DFG-Forschungsprojekte "Optimierung Schlepper-Pflug" und "Frontpflug" durchgeführt. Dafür sei auch an dieser Stelle gedankt.