

Schaltanzeigen für Traktoren – Strategien, Aufbau, Feldversuch

Von Carsten Kipp und Egon Bergmann, Berlin*)

DK 631.372:681.518

Die steigende Komplexität des Systems Schlepper – Gerät stellt an die Aufmerksamkeit des Bedieners ständig wachsende Anforderungen, denen er besonders in bezug auf eine Systemoptimierung nur noch unzureichend gerecht werden kann. Als Orientierungshilfe und Vorstufe zur Automatisierung bieten Fahrerinformationssysteme die Möglichkeit, den Fahrer zu entlasten sowie die Effektivität des Systems zu steigern.

Zwei am Institut für Landtechnik der TU Berlin entwickelte Anzeigesysteme werden vorgestellt. Von den Einsatzerfahrungen speziell beim Pflügen wird berichtet.

1. Einleitung

Produktivität und Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Maschinen waren in den vergangenen Jahren in erster Linie geprägt durch ihre Größe und die damit verbundene installierte Motorleistung sowie durch die konstruktive Ausführung. Steigerungen der Leistungsfähigkeit wurden im Wechselspiel von Vergrößerung der Einheiten und Änderung der Konstruktion erreicht.

Diese Entwicklung führte insbesondere im Schlepperbau zu ausgereiften Konzeptionen, die ohne erheblichen technischen und finanziellen Aufwand nicht mehr sonderlich optimierbar sind. Auch die Größe der Fahrzeuge erreicht zunehmend die durch zulässigen Bodendruck und Manövrierbarkeit gegebene natürliche Grenze.

Eine Möglichkeit, trotz dieser Situation weitere Steigerungen der Produktivität und Wirtschaftlichkeit zu erreichen, besteht in der Ausnutzung der durch die Unzulänglichkeiten des Fahrers gegebenen "Systemreserven". Unter den zahlreichen Einflußmöglichkeiten des Fahrers auf die Effektivität seiner Arbeitsmaschine (Fahrerleistung, Geräteeinstellung, Ballastierung usw.) ist die Wahl von "Gas" und "Gang" und damit der sich einstellende Betriebspunkt der Antriebsmaschine von erheblicher Bedeutung.

Mangelhafte Fahrerschulung und die hierin begründete Angst vor einer "Motorüberlastung" führen so z.B. zu Betriebspunkten weit unterhalb der maximalen Motorleistung bei gleichzeitig maximaler Motordrehzahl. Wie Bild 1 zeigt, bewirkt bei Betrieb auf der Abregellinie eine Drehzahlerhöhung des Motors von 2 % bereits einen Leistungsabfall von nahezu 20 % bei gleichzeitiger nicht unerheblicher Steigerung des spezifischen Kraftstoffverbrauches. Noch drastischer verschlechtert sich das System, wenn bei Betrieb im Teillastbereich die geforderte Leistung bei hoher oder gar höchster Motordrehzahl erzeugt wird.

Zu der ohnehin schwierigen Beurteilung des optimalen Betriebspunktes kommt die für den Bediener schwierige Auswahl der Hebelstellungen bei vielstufigen Gruppengetrieben hinzu. So sind, wie Tafel 1 zeigt, gerade im Hauptarbeitsbereich von üblichen 16-Gang-Getrieben oftmals 3 Schalteroperationen notwendig, um in den nächstliegenden Gang zu gelangen. Über die Nachteile dieser Getriebe, das Fehlen geeigneter Hilfsmittel für den Fahrer und die Möglichkeiten zur Verbesserung ist in der Vergangenheit vielfach berichtet worden [1, 2, 3, 4].

Fazit dieser Untersuchungen ist die Tatsache, daß eine sinnvolle Auslastung des vorhandenen Leistungspotentials sowie ein ökonomischer Betrieb allein aus Gründen einer unzweckmäßigen Gangwahl nicht immer gewährleistet ist.

Zur Abhilfe vorgeschlagen werden in einem ersten Schritt Anzeigen, die dem Fahrer explizite Handlungsanweisungen geben, um das Gesamtsystem nahe dem Optimum zu betreiben und den Fahrer von zusätzlichen Aufgaben zu entlasten. Die Vorschläge reichen von einfachen einparametrischen Anzeigen, die den Fahrer zum "hoch-" bzw. "runterschalten" anhalten sollen [1], über zweiparametrische Anzeigen mit "Zielscheibencharakter" [2, 1] bis hin zur Sprachausgabe [5]. Ebenso ist der zweite Schritt, die Fahrzeugautomatisierung, in Ansätzen bereits verwirklicht [6].

Auch die Schlepperhersteller erkennen mehr und mehr den Nutzen dieser Systeme. So stellte die Fa. Steyr-Daimler-Puch 1984 die Entwicklungsstudie eines Fahrerinformationssystems vor [7], Bild 2. Ein ähnliches Konzept wurde auch von Geiger [8] vorgeschlagen. Die Fa. Renault entwickelte ein vergleichbares Gerät "ACET", welches im wesentlichen eine Weiterentwicklung des schon bekannten "ECOCONTROL" Anzeigers ist [9], Bild 3.

Im folgenden soll über die Strategie und den Aufbau zweier an der TU Berlin entwickelter Systeme zur Fahrerinformation und über die Erfahrungen im Feldeinsatz berichtet werden.

Nr.	Reduziergetriebe	Gruppe	Gang	Übersetzung	Stufe	Anzahl der Schaltg.	Fahrgeschwindigkeit
1	CS	A	1	412,15			1,57
2	N	A	1	337,16	1,22	1	1,92
3	CS	A	2	236,51	1,43	2	2,73
4	N	A	2	193,48	1,22	1	3,34
5	CS	A	3	140,83	1,37	2	4,59
6	CS	S	1	118,63	1,19	2	5,45
7	N	A	3	115,21	1,03	3	5,61
8	N	S	1	97,04	1,19	2	6,66
9	CS	A	4	91,09	1,07	3	7,09
10	N	A	4	74,52	1,22	1	8,67
11	CS	S	2	68,08	1,09	3	9,49
12	N	S	2	55,69	1,22	1	11,60
13	CS	S	3	40,54	1,37	2	15,94
14	N	S	3	33,16	1,22	1	19,48
15	CS	S	4	26,22	1,26	2	24,64
16	N	S	4	21,45	1,22	1	

Tafel 1. Schaltstellungen und Abstufungen für ein konventionelles 16-Gang-Schleppergetriebe.

*) Dipl.-Ing. J.-C. Kipp und Dipl.-Phys. E. Bergmann sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Institut für Maschinenkonstruktion, Bereich Landtechnik und Baumaschinen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. H. Göhlich) der TU Berlin.

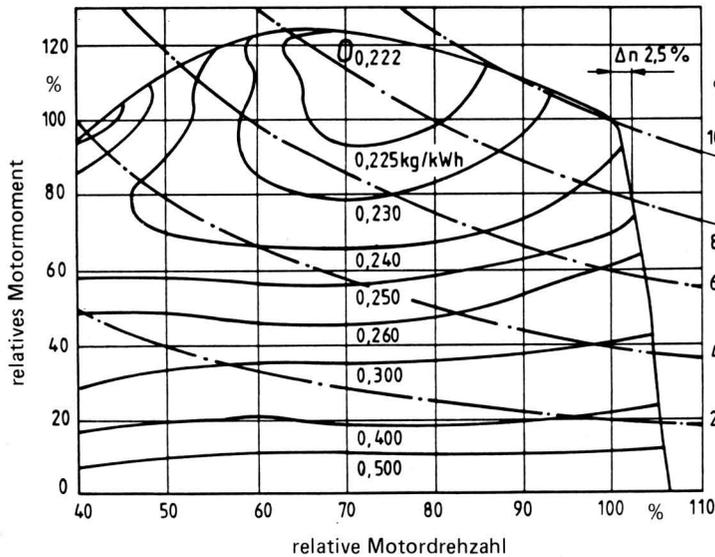


Bild 1. Kennfeld eines Schlepper-Dieselmotors zur Darstellung des Leistungs- und Verbrauchsverhaltens bei Arbeiten auf der Abregelkennlinie.

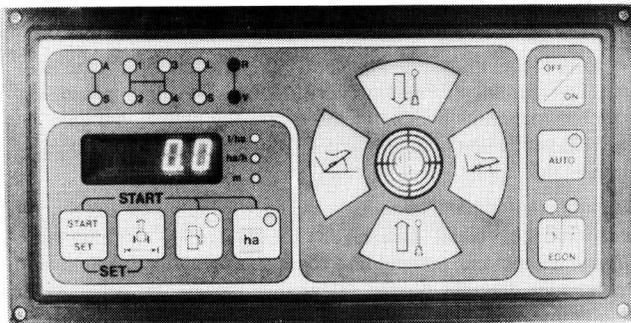


Bild 2. Entwicklungsstudie eines Informationssystems für Schlepper der Fa. Steyr-Daimler-Puch.



Bild 3. Fahrerinformationssystem für Schlepper der Fa. Renault.

2. Optimierungsstrategien

Ausgangspunkt aller Betrachtungen zur Optimierung des Betriebes von Schleppern ist das Motorkennfeld mit seinen muschelförmigen Verbrauchskennlinien. Durch Wahl von Reglerstellung und Übersetzung kann der Motorbetriebspunkt innerhalb der Grenzen des Kennfeldes relativ frei gewählt werden. Lediglich bei Zapfwellenbetrieb ist durch die konstante Motordrehzahl die Lage des Betriebspunktes auf eine oder zwei senkrechte Arbeitsgeraden beschränkt. Alle bekannten Informationssysteme beziehen sich daher weitgehend auf die Optimierung von Zugarbeiten.

Die aus dem nordamerikanischen Raum bekannten Systeme [5, 6, 10, 11] arbeiten nach dem Prinzip "Shift up – throttle back", d.h. es wird angestrebt, die geforderte Leistung bei jeweils minimalem Kraftstoffverbrauch bereitzustellen. Bild 4 zeigt das Kennfeld eines 125 kW-ATL-Motors mit den Linien konstanten spezifischen Kraftstoffverbrauchs und einer stark ausgezogenen Linie, auf der die jeweilige Leistung mit minimalem spezifischem Verbrauch zu erreichen ist. Durch entsprechende Anzeigen wird der Fahrer aufgefordert, den Motorbetriebspunkt in die Nähe dieser Kurve zu bringen, soweit das gestufte Getriebe dieses erlaubt.

Schimmel u. Hulla [2] und Mertins [1] versuchen in einem weiteren Schritt durch Modellrechnungen Punkte im Motorkennfeld zu finden, die hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems Schlepper-Gerät-Boden ein Optimum darstellen. Zur Ermittlung herangezogen werden dabei – neben dem Motorkennfeld – Einflüsse wie Getriebewirkungsgrad, Laufwerkwirkungsgrad, Geräte-kennlinien sowie die Kosten für Fahrer, Maschine und Betriebsmittel.

Problematisch gestaltet sich bei dieser Betrachtungsweise jedoch die Wertung von Zeit- und Kraftstoffkosten, die je nach Einsatzfall stark unterschiedlich ausfallen kann.

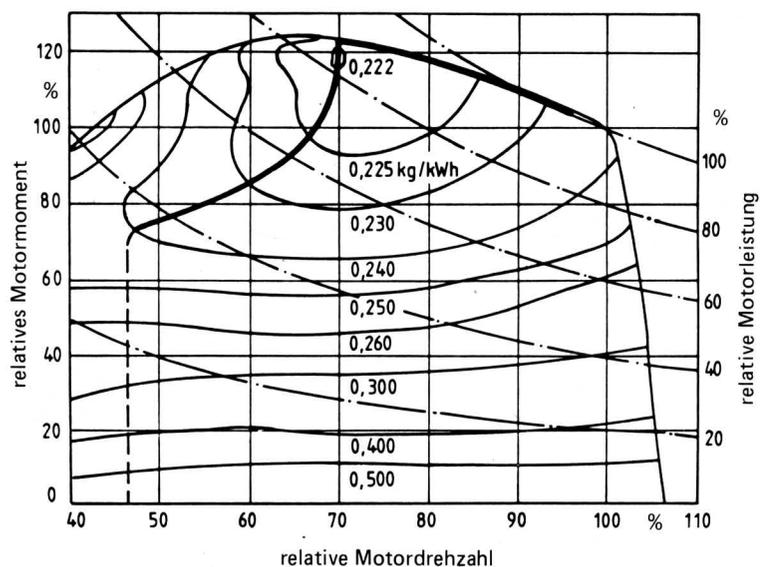


Bild 4. Kurve des minimalen leistungsbezogenen Kraftstoffverbrauchs im Kennfeld eines 125 kW-ATL-Schleppermotors.

Bild 5 zeigt nach [2] Bereiche des optimalen Betriebs für eine gegebene Kombination von Schlepper, Gerät und Boden bei hoher Wertung der Zeitkosten einerseits und bei hoher Wertung der Kraftstoffkosten andererseits. Die Ergebnisse weisen darauf hin, daß innerhalb des Motorkennfeldes Bereiche existieren, die es sich lohnt hinsichtlich einer Betriebsoptimierung anzusteuern. Sie zeigen jedoch auch, daß für diese Strategie die Möglichkeit zur Eingabe der Wertung von Zeit- und Kraftstoffkosten von außen vorgesehen werden sollte.

Am Institut für Landtechnik der TU Berlin wurden zwei unterschiedliche Informationssysteme verwirklicht:

1. Das Anzeigesystem "OPTDISP" für einen 52 kW-Schlepper mit konventionellem 16-Gang-Gruppengetriebe und
2. das System "OPTPS" für einen 125 kW-Schlepper mit einem 15-Gang-Powershiftgetriebe.

Bedingt durch die unterschiedlichen Getriebeeigenschaften und die daraus resultierenden Anforderungen an die Anzeige, wurden in beiden Systemen unterschiedliche Optimierungsalgorithmen eingesetzt.

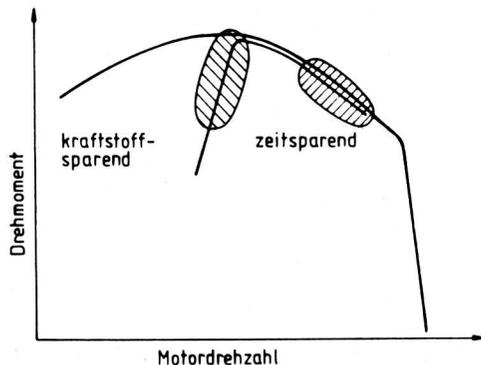


Bild 5. Bereiche des wirtschaftlichen Betriebs im Motorkennfeld bei unterschiedlicher Wertung von Treibstoff- und Zeitkosten, nach Schimmel u. Hulla [2].

2.1 OPTDISP

Auf den Erkenntnissen von [1, 2] beruhend, wurden im Motorkennfeld mit Hilfe von Modellrechnungen Punkte maximaler Wirtschaftlichkeit ermittelt. Aus den Rechnungen geht hervor, daß der optimale Betriebsbereich bei hoher Wertung der Zeitkosten nahe der maximalen Motorleistung, der für höhere Wertung der Kraftstoffkosten aber nahe dem Punkt minimalem spezifischen Kraftstoffverbrauchs liegt. Diese Bereiche kann der Fahrer nach Einschätzung des für ihn günstigsten Bereichs anwählen. Ein zunächst vorgesehener dritter Bereich zwischen den beiden Extrema erwies sich in der Praxis als unnötig. Der Algorithmus prüft dann zunächst, ob die erforderliche Solldrehzahl eingestellt ist, und gibt gegebenenfalls eine Anweisung das "Gas" betreffend. Eine hierauf folgende Abfrage nach einem stationären Betriebszustand stellt sicher, daß bei Stillstand des Fahrzeugs, Beschleunigungsvorgängen und Wendemanövern keine unsinnigen Anzeigen erfolgen.

Der Betriebspunkt wird als stationär angesehen, wenn das Motormoment 30 % und die Motordrehzahl 60 % des Nennwertes überschritten haben.

Nachdem darauf hin ermittelt wurde, wie weit und in welcher Richtung Soll- und Istmoment voneinander abweichen, erfolgt eine Extrapolation der Betriebspunkte für den nächsten und übernächsten Gang. Hierbei führt, Bild 6, eine Berechnung mit $P = \text{const.}$ nicht immer zu einer sicheren Vorhersage.

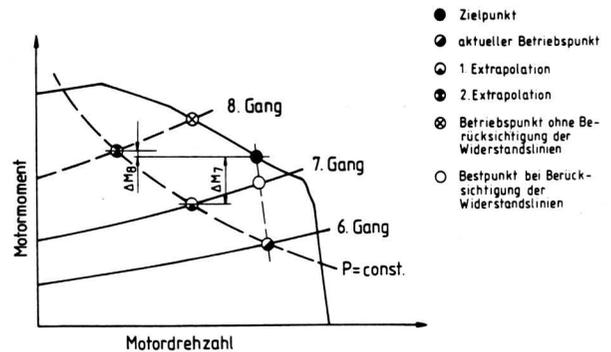


Bild 6. Problematik der Ermittlung des Betriebspunktes in den nächsten Gängen durch Extrapolation nach der Methode $P = \text{const.}$

Zur exakten Bestimmung des nächsten Betriebspunktes müßte eigentlich die Gerätekennlinie bekannt sein. Untersuchungen mit Hilfe eines Simulationsprogrammes [12] ergaben, daß für eine Extrapolation über bis zu zwei Stufensprünge die Annahme einer mittleren Steigung der Widerstandslinien für alle realen Einsatzfälle ausreichend ist. Der Gang mit der geringsten rechnerischen Momentendifferenz wird dann zur Mittelwertbildung herangezogen. Weicht der Mittelwert der letzten n Gangvorschläge von der aktuellen Übersetzung ab, erfolgt eine entsprechende "Ganganweisung".

Das vollständige Flußdiagramm für OPTDISP ist in Bild 7 dargestellt. Die einzelnen Programmschritte können wiederum komplexe Unterprogramme beinhalten. So wird z.B. durch "Find best gear" die beschriebene Extrapolation der optimalen Übersetzung durchgeführt.

Mit Hilfe eines dynamischen Simulationsprogramms für das System Schlepper-Gerät-Boden [12] konnte der Algorithmus der Anzeige weitgehend getestet und abgesichert werden. Im Feldversuch wurden dann die für den praktischen Betrieb sinnvollen Parameter und Meßfrequenzen bestimmt.

Alternativ zu dem beschriebenen Algorithmus ist vorgesehen, die optimale Übersetzung nicht über die Zeit, sondern über die Schlaglänge zu mitteln, da sich bei rasch ändernden Bodenverhältnissen aufgrund der unzureichenden "Voraussicht" des Systems oft unsinnige Schaltaufforderungen ergaben. Ebenso könnte es sinnvoll sein, den Widerstandsverlauf eines Schlages abzuspeichern und diesen nach dem Wenden in umgekehrter Reihenfolge zur Optimierung heranzuziehen, so daß die Anzeige eine gewisse "Intelligenz" erhält.

2.2 OPTPS

Entspricht das grundsätzliche Optimierungsziel beim Einsatz von Schaltanzeigen für Schlepper mit volllastschaltbaren Getrieben weitgehend dem für konventionelle Schlepper, so existieren doch systembedingte Unterschiede. So können zum einen auch kurzfristige Belastungsänderungen ausgeglichen werden, zum anderen ist es möglich, die Momentenreserve des Motors vollständig auszunutzen, da jederzeit ohne Fahrtunterbrechung die Übersetzung geändert werden kann. Dieser Vorteil kommt besonders in der Genauigkeitsanforderung an die Gangextrapolation zum Tragen. Es ist allenfalls eine entsprechende Hysterese vorzusehen, um ständiges Hin- und Herschalten zu verhindern.

Erste Versuche mit dem Anzeigesystem OPTDISP zeigten, daß das Ansteuern bestimmter Punkte im Motorkennfeld sowie die hierzu erforderliche Eingabe der Optimierungsstrategie im praktischen Einsatz nicht immer sinnvoll ist. Im System OPTPS gibt der Fahrer die Optimierungsstrategie daher durch Wahl der Fahrgeschwindigkeit indirekt vor. Die Anzeige führt den Betriebspunkt mög-

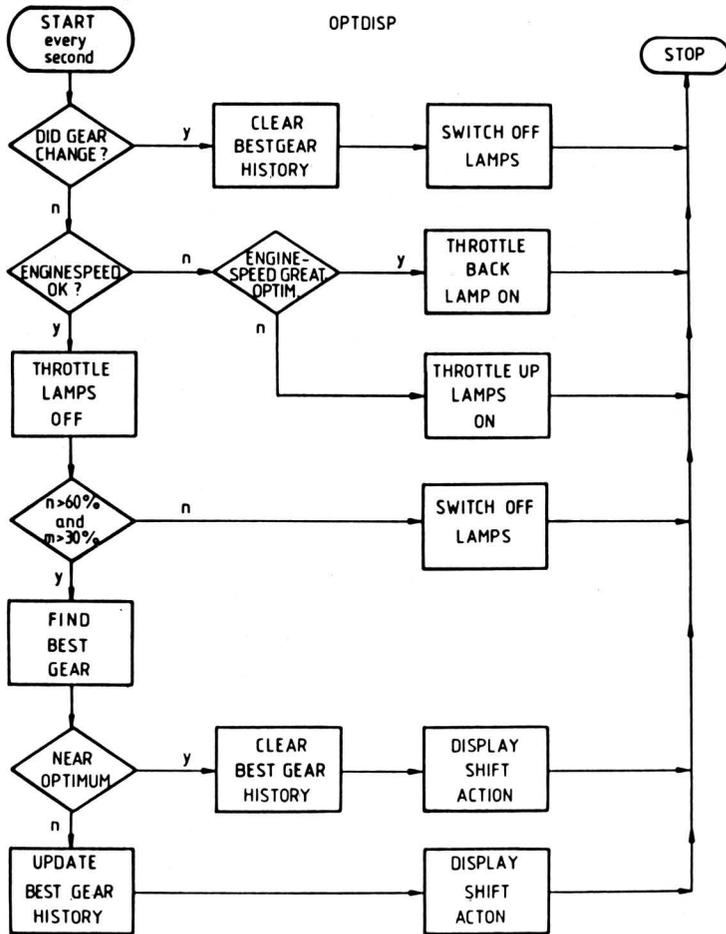


Bild 7. Flußdiagramm des Informationssystems "OPTDISP".

licht auf die stark ausgezogene Linie des minimalen leistungsbezogenen Kraftstoffverbrauchs, Bild 8. Der Verlauf dieser Kurve wurde so linearisiert (gestrichelte Linie), daß der Punkt maximaler Leistung bei minimalem Kraftstoffverbrauch geschnitten wird.

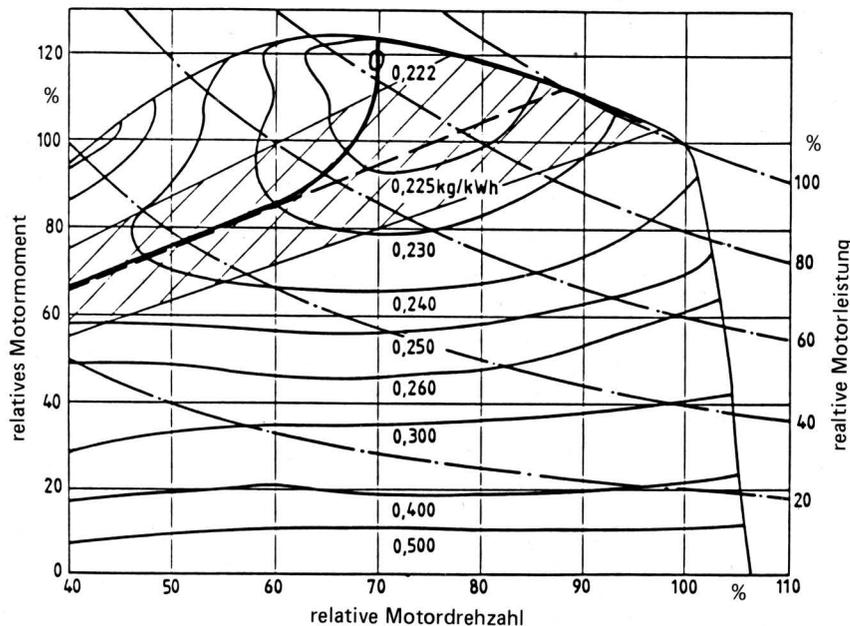


Bild 8. Motorkennfeld und optimaler Betriebsbereich eines 125 kW-Schleppers mit voll lastschaltbarem Getriebe.

Durch diese Näherung ergeben sich im ungünstigsten Fall 2 % Abweichung in bezug auf den geringstmöglichen Kraftstoffverbrauch, gleichzeitig wird hierdurch eine für den praktischen Betrieb notwendige Momentenreserve geschaffen.

Durch die im Hauptarbeitsbereich nahezu geometrische Stufung der Übersetzungen des Versuchsfahrzeuges konnte ein dem Stufen sprung entsprechender, optimaler Bereich definiert werden, der symmetrisch zur optimalen Arbeitsgeraden angeordnet ist. Um eine für den praktischen Fahrbetrieb notwendige Hysteresis zu erhalten, wurde der Arbeitsbereich entsprechend erweitert.

Der Ablauf des Optimierungsprozesses gestaltet sich dann, wie in Bild 9 dargestellt. Zunächst erfolgt, wie auch bei OPTDISP, die Abfrage nach einem stationären Betriebszustand. Hat sich dieser eingestellt, wird der Betriebspunkt so lange in Richtung maximale Flächenleistung geführt, bis der Fahrer die Fahrgeschwindigkeit nicht weiter erhöht oder der Schlupf seinen festgelegten Grenzwert übersteigt. Liegt der Betriebspunkt nicht innerhalb des optimalen Bereiches, kommt dieses durch die Ganganweisung zum Ausdruck.

Auch OPTPS wurde mit Hilfe von Simulationsprogrammen zur Einsatzreife entwickelt und im Feldeinsatz durch entsprechende Parametervariation optimiert. Eine Erweiterung von OPTPS auf andere Betriebsbereiche zum Zwecke der Fahrzeugautomatisierung ist vorgesehen.

3. Aufbau der Systeme

Ein Fahrerinformationssystem läßt sich prinzipiell in die Gruppen

- Sensoren
- Aufbereitungselektronik
- Rechner und
- Anzeige

untergliedern, wobei Aufbereitungselektronik und Rechner als Einheit zusammengefaßt sein können.

Die durch entsprechende Sensoren bereitzustellenden Eingangsgrößen für die Systeme OPTDISP und OPTPS sind:

- Motordrehzahl
- Motormoment
- Getriebeausgangsdrehzahl und
- wahre Fahrgeschwindigkeit (nur OPTPS).

Motordrehzahl und Motormoment stellen den momentanen Arbeitspunkt dar, aus Motordrehzahl und Getriebeausgangsdrehzahl wird der eingelegte Gang ermittelt und aus der Getriebeausgangsdrehzahl und der wahren Fahrgeschwindigkeit der vorhandene Schlupf bestimmt.

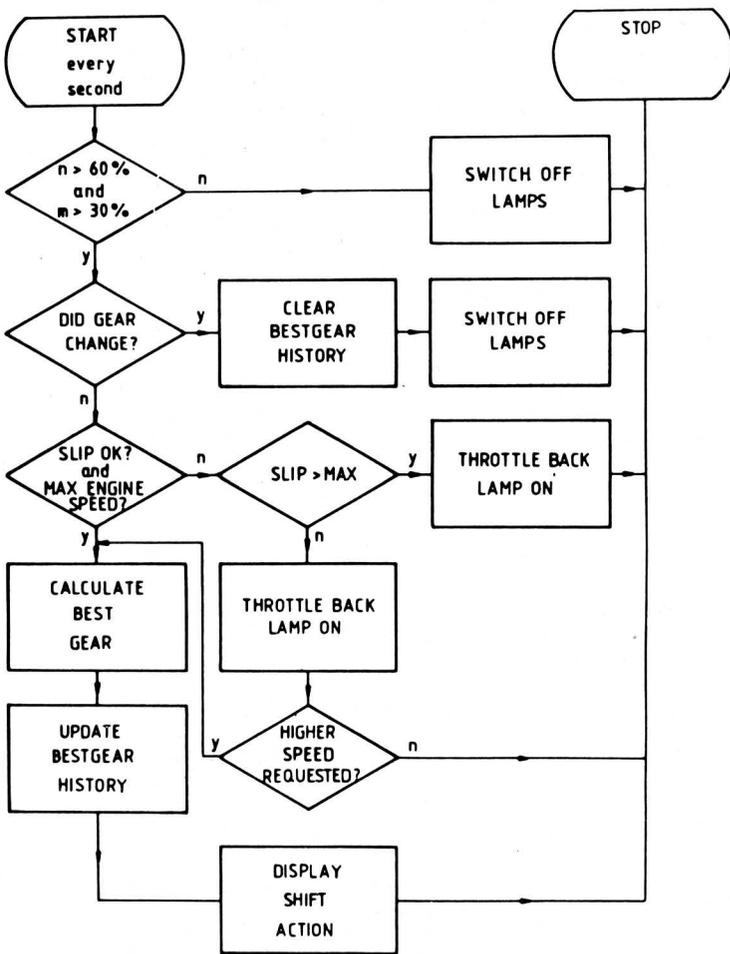


Bild 9. Flußdiagramm des Informationssystems "OPTPS".

Während die Erfassung der Drehzahlen am Serienfahrzeug entweder schon installiert ist oder zumindest durch Anbringen bekannter Drehzahlaufnehmer einfach zu realisieren ist, gestaltet sich die Ermittlung des Motormomentes relativ schwierig. Über Möglichkeiten aus dritten Größen auf das Moment rückzuschließen, ist in der Vergangenheit des öfteren berichtet worden. Die wichtigsten Größen hierfür sind:

- Kraftstoffverbrauch [13]
- Abgastemperatur [1, 14]
- Düsennadelhub [15]
- Regelstangenweg [1, 16] und
- Abgasgegendruck [16].

Zahlreiche Prüfstands- und Feldversuche zeigten [17], daß die Ableitung aus dem Düsennadelhub hinsichtlich Genauigkeit, Robustheit, Zuverlässigkeit und Preis eine geeignete Methode ist. Zur Anwendung kam der Timing-Sensor der Fa. Wolff, Bild 10, der Einspritzbeginn und Einspritzende markiert, so daß aus der zeitlichen Differenz Einspritzzeit und -winkel abgeleitet werden können. Bild 11 zeigt die so gewonnenen Linien gleichen Einspritzwinkels für einen 125 kW-ATL-Motor.

Im relevanten Betriebsbereich können Motormoment und Kraftstoffverbrauch mit ausreichender Genauigkeit als Funktion von Einspritzwinkel und Motordrehzahl approximiert werden. Die als Eingangsgröße für OPTPS notwendige Fahrgeschwindigkeit wurde mit einem serienmäßigen für den landtechnischen Einsatz konzipierten Radargerät erfaßt.

Die Aufbereitung der Sensorsignale, die Verrechnung der Daten sowie die Ansteuerung der Anzeigen erfolgt durch das am Institut entwickelte Meßdatenerfassungs- und Reglerentwicklungssystem

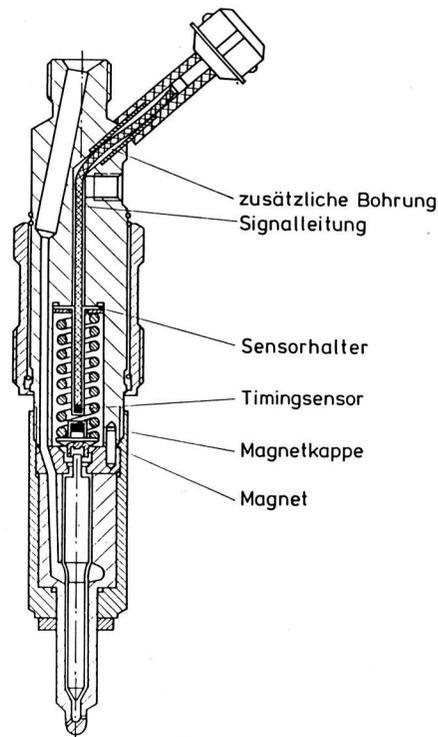


Bild 10. Einspritzdüse für 125 kW-Dieselmotor mit "Timing"-Nadelhubsensor zur Ermittlung von Motordrehzahl, Motormoment und Kraftstoffverbrauch.

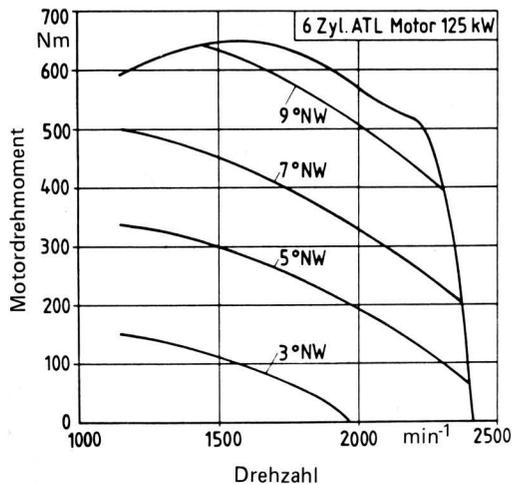


Bild 11. Motorkennfeld mit Linien gleichen Einspritzwinkels.

MDES [18]. Dieses System übernimmt gleichzeitig die für die Felduntersuchungen notwendigen Meßaufgaben, da die begrenzten Platzverhältnisse, die rauen Umgebungsbedingungen und die gewünschte Meßdauer eine Verwendung herkömmlicher Klein- und Mikrorechnersysteme oder Datenlogger verbieten.

MDES besteht aus einer für den speziellen Anwendungsfall konfigurierten Sensoranpaßeinheit und einem Einplatinencomputer. Der auf der Arbeitsmaschine fest installierte Rechner wird mit Hilfe eines transportablen Kleinrechners mit dem jeweiligen Meß- und Kontrollprogramm geladen und führt dann autonom und automatisch die Steuerung der Anzeige, die Datenerfassung und die Datenreduktion durch. Nach einer von der jeweiligen Meßaufgabe abhängigen Betriebszeit (10-1000 h) können mit dem Kommunikationsrechner die aquirierten Daten protokolliert oder zur weiteren Analyse auf Mikrokassette abgespeichert werden.

Bei angeschlossenem Kommunikationsrechner ist der Meßprozeß transparent, d.h. die Funktion der Sensoren sowie die akuten Ergebnisse können bei laufender Messung überwacht und Parameter im Meß- oder Kontrollprogramm gegebenenfalls variiert werden.

Das Bindeglied zum Fahrer, die Anzeige- und Eingabeeinheit, wurde entsprechend den durch die unterschiedlichen Getriebebauarten gestellten Anforderungen gestaltet. Beide Systeme geben dem Fahrer direkt umsetzbare Handlungsanweisungen.

Das in Bild 12 dargestellte System OPTDISP ermöglicht es dem Fahrer, durch Tastendruck die gewünschte Optimierungsstrategie vorzugeben. Ausgewählt werden kann zwischen den Betriebsarten: Kraftstoffsparend, zeitsparend sowie einem Zwischenwert, der unter realistischen Verhältnissen von Zeit- und Kraftstoffkosten ein Optimum darstellt. OPTDISP berechnet darauf hin selbständig die optimale Übersetzung und Einspritzmenge. Der eingelegte Gang wird durch konstant leuchtende, der optimale durch blinkende Lampen gekennzeichnet. Eine sinnfällige Anordnung der Lampen ermöglicht es, die Anzeige ohne Schwierigkeiten in die entsprechende Stellung der Schalthebel umzusetzen. Die Motor-drehzahl, bzw. bei Arbeiten mit der Zapfwelle deren Drehzahl, wird durch Leuchtpfeile als "zu hoch" oder "zu niedrig" ausgewiesen.

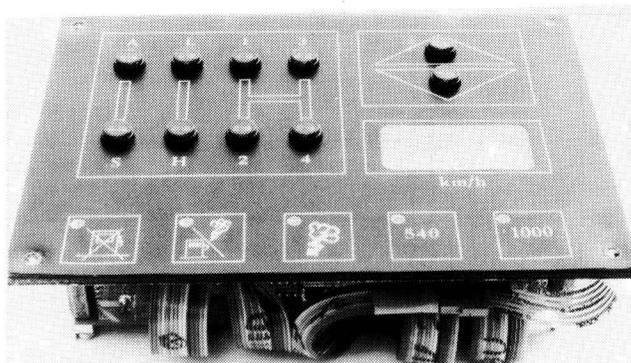


Bild 12. Fahrerinformationssystem "OPTDISP" für den Einsatz in Schleppern mit konventionellem Schaltgetriebe.

Die Leuchten sind als konventionelle 1 W-Glühbirnen ausgeführt, da sich die Ausführung mit Leuchtdioden aufgrund der in Schlepperkabinen zeitweise sehr hohen Sonneneinstrahlung nicht bewährte. Die Eingabetastatur ist in Folientechnik ausgeführt, die sich in der landwirtschaftlichen Praxis immer mehr einführt.

Bild 13 zeigt die Anzeige- und Eingabeeinheit von OPTDISP eingebaut im Fahrzeug.

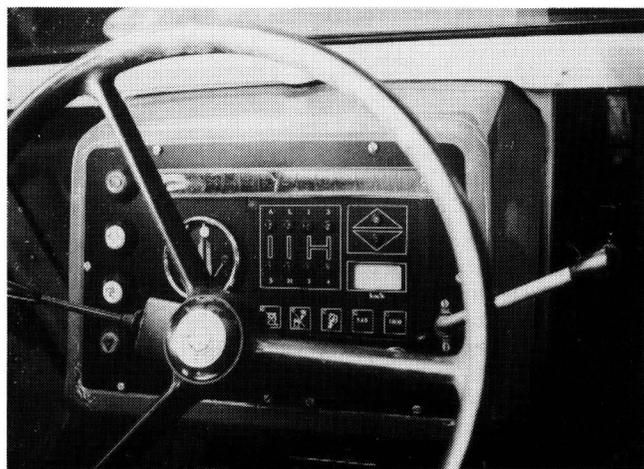


Bild 13. Informationssystem "OPTDISP" eingebaut in der Fahrerkabine.

Die Anzeige des Systems "OPTPS" für das voll lastschaltbare Fahrzeug konnte einfacher gestaltet werden, da die 15 Gänge mit einem Hebel eindimensional durchschaltbar sind. Sowohl die Gas- als auch die Ganganweisung sind durch einfache Leuchtpfeile ausgeführt, Bild 14. Die Anweisung "Gas geben" blinkt hierbei solange, bis Vollgas erreicht ist, der Schlupf den zulässigen Maximalwert überschritten hat oder der Fahrer durch 15 s dauerndes Nichtbefolgen der Gasanweisung zu erkennen gibt, daß er eine Steigerung der Fahrgeschwindigkeit nicht wünscht, mithin die Schlepperleistung nicht vollständig ausnutzen möchte. Die Gasanweisung erlischt dann oder geht bei nicht ausgelastetem Motor in konstant leuchtenden Zustand über.

Dann prüft OPTPS, ob der Motorbetriebspunkt im optimalen Bereich liegt, und gibt ggf. entsprechende Anweisung zum "hoch-" oder "runterschalten". Die Konzeption von OPTPS erlaubt es, die Ausgangssignale direkt zur Ansteuerung einer elektrischen Einspritzpumpe und eines automatischen Getriebes zu verwenden.

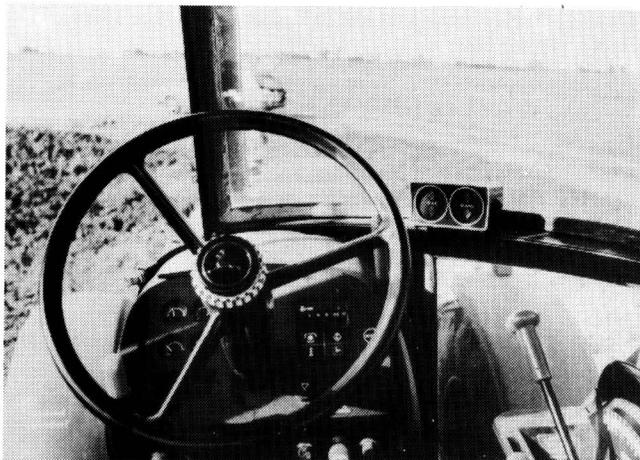


Bild 14. Fahrerinformationssystem "OPTPS" im voll lastschaltbaren 125 kW-Versuchsschlepper.

4. Feldversuch

Aufgabe der Felderprobung war es, die theoretischen Erkenntnisse sowie die daraus erwachsene "hard- und software" unter realen Einsatzbedingungen zu untersuchen. Folgende Fragestellungen bildeten hierbei die Schwerpunkte:

- Feldtauglichkeit der Sensoren
- Feldtauglichkeit des Bordrechners
- Sinnfälligkeit der Anzeigen
- Vergleichende Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit
- Akzeptanz der Systeme durch den Fahrer
- Langzeitmessungen zur Ermittlung der mittleren Schlepperauslastung (proj. Versuchsdauer 1 Jahr).

Zum Einsatz kamen die schon genannten Schlepper mit 52 kW (konv. Getriebe) und 125 kW (Powershiftgetriebe) mit den entsprechenden Anzeigesystemen OPTDISP und OPTPS. Zusätzlich wurde ein 97 kW-Fahrzeug mit konventionellem 16-Gang-Getriebe für die Langzeitmessungen im Alltagsbetrieb ausgerüstet.

Bei der Untersuchung der Feldtauglichkeit der eingesetzten Sensoren stand die Erfassung des Motorbetriebspunktes mit Hilfe des "Timing"-Nadelhubensors im Vordergrund. Zu diesem Zweck wurde der 125 kW-Schlepper zusätzlich mit einem Kraftstoffverbrauchsmeßgerät ausgerüstet, das hinsichtlich des Motormomentes als Vergleichsmeßstelle diente. Beide Meßstellen lieferten die mit Hilfe von Approximationsfunktionen unter Berücksichtigung des Drehzahleinflusses ermittelten relativen Motormomente. Die Differenz der Momente betrug im Mittel nicht mehr als 2 %.

Alle Fahrzeuge wurden mit dem Meß- und Regelsystem MDES ausgerüstet, wobei das Gerät entweder innerhalb oder auch außerhalb der Kabine, Bild 15, installiert wurde. Durch Wasserdichtheit von Gehäuse und Steckverbindungen war auch die Außenmontage ohne Probleme. Rechner und Anpaßelektronik sind in CMOS-Technik ausgeführt, die Betriebstemperaturen von 85 °C ermöglicht, Temperaturbedingungen, die bei geeigneter Anordnung ohne weiteres eingehalten werden können.

Mechanische Probleme als Folge von Fahrzeugschwingungen und Vibrationen konnten bislang nicht festgestellt werden.

Nach Aussage der Fahrer waren beide Anzeigen gut ablesbar und eindeutig zu interpretieren. Während beim lastschaltbaren Fahrzeug jede Schaltanweisung direkt ausführbar ist, muß beim konventionellen Fahrzeug der Fahrer zunächst abschätzen, ob der vorgeschlagene Gang auch ausreichend lange zu nutzen ist. Für Anhalten, Schalten und Anfahren sind 15–20 s zu veranschlagen, das bedeutet, daß bei einer Fahrgeschwindigkeit von 7 km/h und einem Stufenprung von 10 % erst nach einer Wegstrecke von über 300 m die Flächenleistung durch einen Gangwechsel ansteigt. Schlaglängen dieser Größenordnung sind erst in Betrieben von über 100 ha häufiger zu finden [19].

Als sinnvolle Anzeigintervalle wurden für das konventionelle Fahrzeug 10 s, für das lastschaltbare 5 s ermittelt.

Die aufgrund der Anzeige erhöhte Zahl der Schalteroperationen wurde von den Fahrern bei beiden Fahrzeugen als lästig empfunden. Insbesondere wenn zusätzlich die Motordrehzahl variiert werden sollte, wurde die Forderung nach einer Automatisierung laut, da die komplexen Gerätekombinationen den Fahrer ohnehin schon stark auslasten.

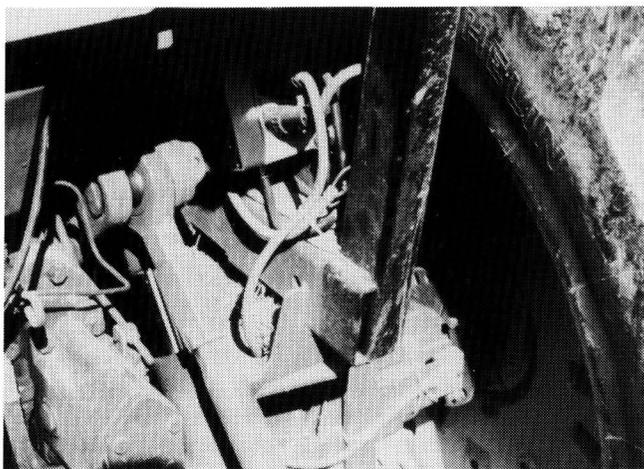


Bild 15. Meßdatenerfassungssystem MDES außerhalb der Fahrerkabine montiert an einem 97 kW-Standardschlepper.

Die vergleichenden Untersuchungen zeigten, Bild 16, daß ausgehend vom konventionellen Schlepper über den lastschaltbaren Schlepper bis hin zum lastschaltbaren Schlepper mit Anzeige (Automatik) eine stetige Steigerung der Flächenleistung bei gleichzeitiger Reduktion des Kraftstoffverbrauches möglich ist. Das Ausmaß der Steigerung der Wirtschaftlichkeit hängt dabei, wie ersichtlich, auch vom Geschick des Fahrers ab. Insbesondere bei lastschaltbaren Fahrzeugen kann schon durch entsprechende Fahrerschulung ein hohes Maß an Wirtschaftlichkeit erreicht werden.

Inwieweit sich ein voll lastschaltbares Getriebe mit entsprechender Anzeige in der Auslastung der einzelnen Gänge niederschlägt, zeigt Bild 17. Wenn die Schlepper auch wegen der unterschiedlichen Motorleistung nicht direkt vergleichbar sind, ist doch zu erkennen, daß die Hauptarbeitszeit des lastschaltbaren Schleppers über 3 Gänge verteilt ist, während das konventionelle Fahrzeug bei gleichen Arbeits- und Bodenverhältnissen fast ausschließlich in einem Gang betrieben wird.

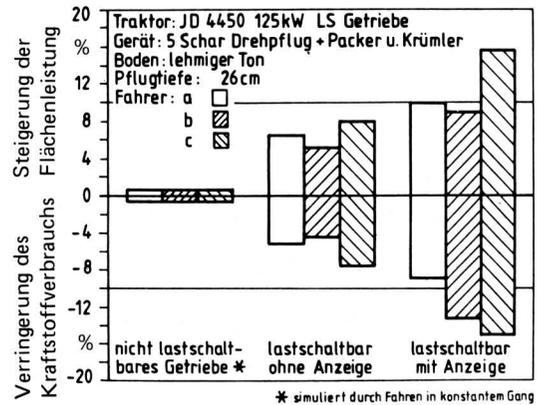


Bild 16. Verringerung des Kraftstoffverbrauches und Steigerung der Flächenleistung eines konventionellen und eines lastschaltbaren Schleppers mit und ohne Schaltanzeige im Vergleich.

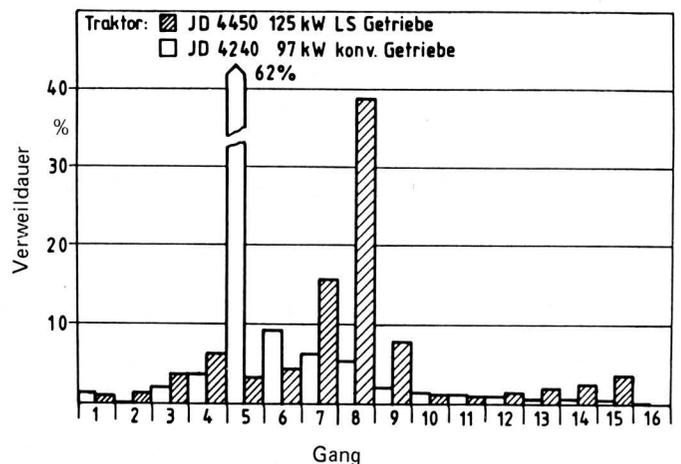


Bild 17. Zeitanteile der einzelnen Gänge eines konventionellen und eines voll lastschaltbaren Schleppers bei Pflugarbeiten auf gleichen Böden.

Ursache für diese im Normalfall unwirtschaftliche Betriebsweise sind zum einen die bekannten Probleme nichtlastschaltbarer Getriebe, ist aber zum anderen die Scheu, den Motor in der Drehmomentenüberhöhung zu betreiben. Durch die dann abfallende Motordrehzahl kommt das subjektive Gefühl von sinkender Fahrgeschwindigkeit und Leistung auf. In Bild 18 sind die zeitlichen Verläufe des Drehmomentes für den lastschaltbaren Schlepper bei Betrieb mit und ohne Anzeige dargestellt. Es ist zu erkennen, daß das mittlere Drehmoment bei Betrieb mit Anzeige deutlich höher liegt. Ohne Anzeige verläßt der Fahrer nach einem Schaltversuch in die Motordrückung diesen Betriebspunkt sofort wieder. Hier kann u.U. schon eine farbige Bereichsmarkierung des Drehzahlmessers Abhilfe schaffen.

Um die Fahrzeugauslastung ausreichend beurteilen zu können, wurden die Betriebspunkte zweidimensional (nach Drehzahl und Moment) für jeden Gang getrennt klassiert. Bild 19 zeigt die so gewonnene Häufigkeitsverteilung der Verweildauer (alle Gänge) für den 125 kW-Schlepper mit Anzeige nach einem 10tägigen Pflugeinsatz. Auffallend ist besonders der hohe Zeitanteil im untersten Lastbereich bei niedriger Motordrehzahl sowie der durch die Anzeige erwirkte Betrieb in der Motordrückung.

Im Vergleich hierzu ist in Bild 20 die nach der gleichen Methode ermittelte Verteilung für einen konventionellen Schlepper dargestellt. Der Schwerpunkt der Betriebspunkte liegt hier deutlich im Bereich der Abregelkennlinie.

Es ist vorgesehen, den Betrieb des 97 kW-Schleppers mit dem System MDES über 1 Jahr im landwirtschaftlichen Einsatz zu verfolgen. Hierdurch sollen zum einen Möglichkeiten für weitere Effektivitätssteigerungen aufgefunden werden, zum anderen neue Erkenntnisse über die Lastkollektive des Antriebssystems gewonnen werden.

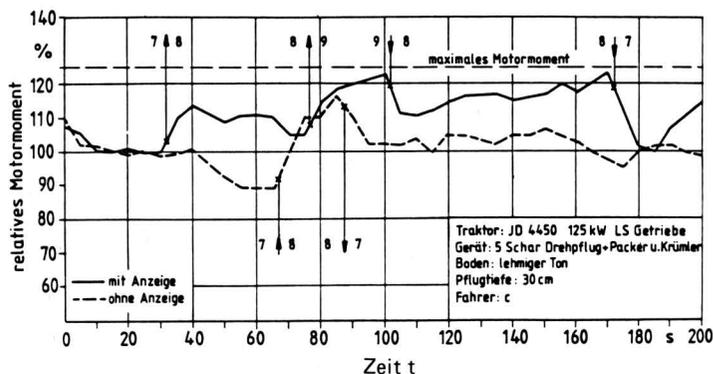


Bild 18. Zeitlicher Verlauf des Drehmomentes eines voll lastschaltbaren 125 kW-Schleppers beim Pflügen mit bzw. ohne Schaltanzeige.

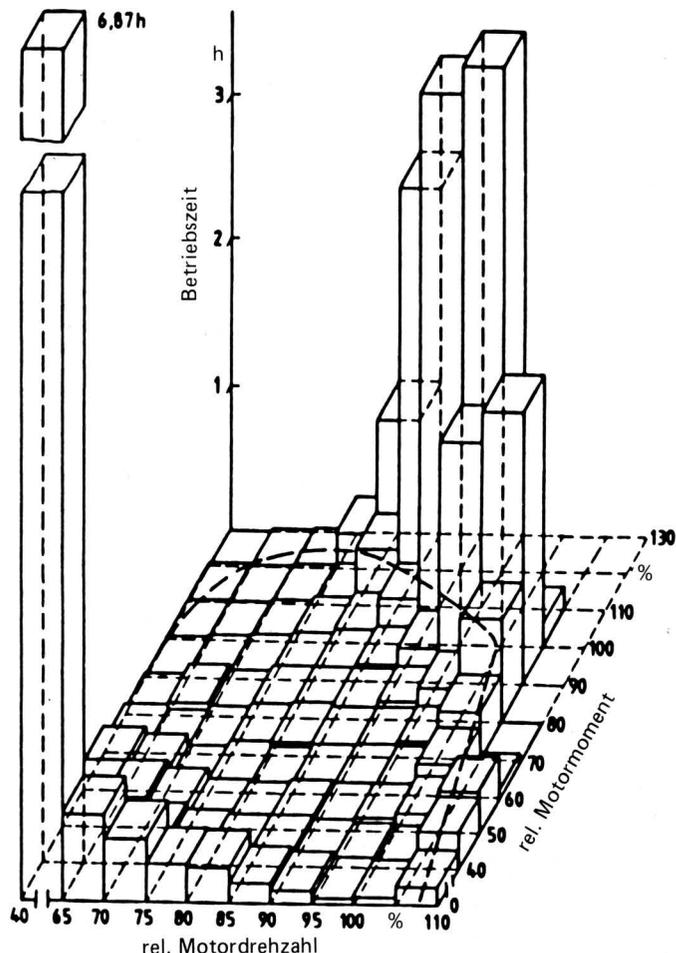


Bild 19. Verteilung der Nutzungsdauer von Motordrehzahl und -moment eines voll lastschaltbaren 125 kW-Schleppers mit Schaltanzeige bei 10tägigem Pflugeinsatz.

Traktor: JD 4450 - 125 kW LS Getriebe
Gerät: 5 Schar-Drehpflug + Packer u. Krümmer
Boden: lehmiger Ton
Zeit: 14.9.85 - 26.9.85 - 49 h
----- Kennfeldbegrenzung

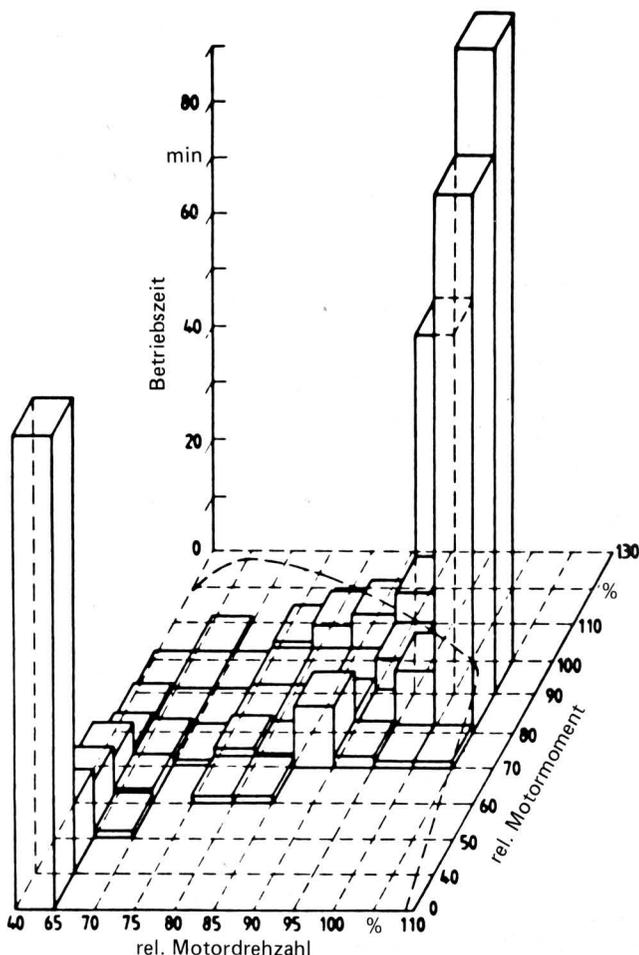


Bild 20. Verteilung der Nutzungsdauer von Motordrehzahl und -moment eines 94 kW-Schleppers mit konventionellem Schaltgetriebe beim Pflügen.

Traktor: JD 4240 - 94 kW
Gerät: 4 Schar-Drehpflug + Packer
Boden: lehmiger Ton
Zeit: 11.9.85 - 18.9.85 - 10,4 h
----- Kennfeldbegrenzung

5. Zusammenfassung

Die am Institut für Landtechnik der TU Berlin durchgeführten und durch ausführliche Feldversuche untermauerten Untersuchungen zeigten, daß der Einsatz elektronischer Hilfsmittel zur Prozeßoptimierung sinnvoll und unter Verwendung von handelsüblichen Bauteilen zu verwirklichen ist.

Durch den Einsatz von Fahrerinformationssystemen an einem konventionellen und einem lastschaltbaren Schlepper konnten für schwere Zugarbeit Steigerungen der Flächenleistung bei gleichzeitiger Reduktion des Kraftstoffverbrauches nachgewiesen werden.

Der praktische Betrieb zeigte jedoch auch, daß die Akzeptanz dieser Anzeigen durch den Bediener unbefriedigend ist, vor allem im Teillastbereich, der eine Reaktion sowohl auf die "Gas-" als auch auf die "Ganganweisung" erfordert. Der Fahrer wünscht hier eine weitgehende Automatisierung, so daß die Anzeigesysteme nur einen Zwischenschritt darstellen. Eine Weiterführung der Untersuchungen unter dem Gesichtspunkt der Fahrzeugautomatisierung ist daher vorgesehen.

Um weitere, zur Optimierung prädestinierte Betriebszustände aufzufinden zu machen, wurde ein Meßsystem entwickelt, mit dessen Hilfe man in der Lage ist, charakteristische Einsatzdaten von Schleppern über mehrere Monate zu sammeln.

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] •Mertins, K.-H.: Theoretische und apparative Voraussetzungen zur Traktoreinsatzoptimierung mit Hilfe von Fahrerinformationssystemen. 1. Aufl. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, 1984.
- [2] Schimmel, J. u. H. Hulla: Einsatzoptimierung von Acker-schleppern durch elektronische Fahrerinformation. Grndl. Landtechnik Bd. 33 (1983) Nr. 1, S. 5/10.
- [3] Mertins, K.-H., Bergmann, E. u. J.-C. Kipp: Zum Stand der Entwicklung von Fahrerinformationssystemen bei Acker-schleppern. Grndl. Landtechnik Bd. 34 (1984) Nr. 4, S. 163/69.
- [4] Kipp, J.-C.: Fahrerinformationssysteme für Traktoren. Landwirtschaftliches Unternehmer-Seminar Gut Schlüterhof Nr. 8 (1984) S. 81/101.
- [5] Grogan, J., D.A. Morris, S.W. Searcy, H.T. Wiedemann u. B.A. Stout: Microcomputer-based information feedback system for improving tractor efficiency. ASAE Paper 84-1594, St. Joseph, Michigan 1984.
- [6] Chancellor, W.J. u. N.C. Thai: Controlling tractor engine and transmission automatically. ASAE Paper 83-1061, St. Joseph, Michigan 1983.
- [7] Steyr-Daimler-Puch AG, Österreich, Firmenunterlagen.
- [8] •Geiger, F.: Energiekonzept für die Landwirtschaft am Beispiel Österreichs. Wien: Metrica Fachverlag Bartatz 1982.
- [9] Renault, Frankreich, Firmenunterlagen.
- [10] Morris, D.A., J. Grogan, S.W. Searcy, H.T. Wiedemann, A.M. Low u. B.A. Stout: Potential fuel savings using a tractor-operator feedback system. ASAE Paper 84-1077, St. Joseph, Michigan 1984.
- [11] Schrock, M.D., D.K. Matteson u. J.G. Thomson: A gear selection aid for agricultural tractors. ASAE Paper 82-5515, St. Joseph, Michigan 1982.
- [12] Bergmann, E. u. J.-C. Kipp: Programm zur dynamischen Simulation des Systems Traktor—Gerät—Boden, OPTDISP (CSMP). Unveröffentl. Bericht Inst. f. Landtechnik, TU Berlin, August 1983.
- [13] Jahns, G.: A method of describing diesel engine performance maps. ASAE Paper 83-103, St. Joseph, Michigan 1983.
- [14] Kipp, J.-C. u. E. Bergmann: Die Abgastemperatur als Maß für die Motorauslastung und den Kraftstoffverbrauch von Dieselmotoren. Grndl. Landtechnik Bd. 35 (1985) Nr. 5, S. 170/76.
- [15] Kipp, J.-C. u. E. Bergmann: Einsatz von Nadelhubsen-soren zur Bestimmung von Motormoment und Kraftstoff-verbrauch in Nutzfahrzeugdieselmotoren. Unveröffentl. Bericht Inst. f. Landtechnik, TU Berlin, Januar 1986.
- [16] Fischer, J.: Untersuchung indirekter Meßmethoden zur Er-mittlung des Motordrehmomentes bei Dieselmotoren. Grndl. Landtechnik Bd. 35 (1985) Nr. 3, S. 71/76.
- [17] Kaplick, C.: Ableitung von Motorauslastung und Kraft-stoffverbrauch aus dem Regelstangenweg und dem Einspritz-winkel am Beispiel eines 6-Zyl.-ATL-Dieselmotors für Nutzfahrzeuge. Studienarbeit Inst. f. Landtechnik, TU Berlin, 1986.
- [18] Bergmann, E. u. J.-C. Kipp: Flexibles Mikrocomputerkon-zept für den rauen, mobilen Einsatz. Veröffentlichung in Grundlagen der Landtechnik vor-gesehen.
- [19] Schön, H., G. Jahns, G. Olfe u. H. Steinkampf: Einfluß von Agrarparametern auf Zeit- und Energiebedarf einiger Schlepperarbeiten. Vortrag 40. Internationale Tagung Landtechnik, Neu-Ulm 28./29. Okt. 1982.

Schwingungsbelastung und Schwingungsbeanspruchung bei der Handhabung vibrierender Arbeitsgeräte

Von Heinrich Dupuis, Mainz*)

DK 613.644:621.936.6

Schwingungsbelastungen des Hand-Arm-Systemes entstehen bei der Handhabung vibrierender Arbeitsgeräte. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der schwingungsphysikalischen Parameter und der erforderlichen Greif- und Andruckkräfte. Die akute Beanspruchung des Menschen wird durch das biomechanische Übertragungsverhalten, die Muskelaktivität, die Hauttemperatur und die subjektive Stärke der Vibrationswahrnehmung gekennzeichnet. Chronische Auswirkungen können vorzeitigen Knochen- und Gelenkverschleiß und Störungen der peripheren Durchblutung und der Nervenfunktion betreffen. Unter den Schutzmaßnahmen stehen technische Verbesserungen an erster Stelle.

*) Prof. Dr. agr. H. Dupuis ist Leiter der Arbeitsgruppe Ergonomie am Institut für Arbeits- und Sozialmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

1. Einleitung

In zunehmendem Maße werden zur Erfüllung bestimmter Arbeitsaufgaben von Hand geführte, vibrierende Arbeitsgeräte eingesetzt. Schwarzlose [1] ermittelte, daß in der Bundesrepublik Deutschland etwa 0,5 Mill. Erwerbstätige täglich mehr als 2 Stunden mechanischen Schwingungen durch solche Arbeitsgeräte ausgesetzt sind. Schon unmittelbar während der beruflichen Arbeiten kommt es zu bestimmten physiologischen Veränderungen, aber auch zu Mißempfindungen und möglicherweise zu Leistungsminderungen. Bei langjähriger beruflicher Einwirkung solcher Schwingungen kann es zu degenerativen Veränderungen der Knochen und Gelenke des Hand-Arm-Systemes und zu Störungen der peripheren Hautdurchblutung und der Nervenfunktion kommen. Beide Erkrankungsgebiete sind offiziell anerkannte Berufserkrankungen.

Die notwendige Verbesserung solcher Handgeräte setzt Kenntnisse über die frequenzabhängigen Wirkungen sowie über mitwirkende Faktoren voraus. Diese Kenntnisse müssen bei der Entwicklung entsprechender Prüfverfahren für das Schwingungsverhalten dieser Geräte berücksichtigt werden. Der folgende Bericht stützt sich auf Ergebnisse von Forschungsprojekten, die mit finanzieller Unterstützung durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie und den Hauptverband der Gewerblichen Berufsgenossenschaften, Bonn, durchgeführt wurden.