

## Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [ 1 ] Segler, G. u. R. Scherer: Systematische Untersuchungen über einige physikalische Kenngrößen des Getreidekorns in Abhängigkeit vom Feuchtegrad am Beispiel der Maissorte Inra 258.  
Grundl. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 4, S. 121/28.
- [ 2 ] Scherer, R. u. H.D. Kutzbach: Mechanische Eigenschaften von Körnerfrüchten.  
Grundl. Landtechnik Bd. 28 (1978) Nr. 1, S. 6/12.
- [ 3 ] Kutzbach, H.D. u. R. Scherer: Das Reibverhalten von Körnerfrüchten.  
Grundl. Landtechnik Bd. 27 (1977) Nr. 6, S. 213/19.
- [ 4 ] Scherer, R. u. H.D. Kutzbach: Das Festigkeitsverhalten des Maiskorns.  
Grundl. Landtechnik Bd. 28 (1978) Nr. 6, S. 229/34.
- [ 5 ] Scherer, R. u. H.D. Kutzbach: Die Wärme- und Temperaturleitfähigkeit von Körnerfrüchten.  
Grundl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 1, S. 21/28.
- [ 6 ] Kustermann, M. u. H.D. Kutzbach: Einfluß thermischer Vorbehandlung auf die statische Festigkeit von Maiskörnern. Teil 1: Schrifttumsübersicht, Grundlagen und Methoden.  
Grundl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 5, S. 171/78.
- [ 7 ] Kustermann, M. u. H.D. Kutzbach: Einfluß thermischer Vorbehandlung auf die statische Festigkeit von Maiskörnern. Teil 2: Versuchsergebnisse und Diskussion.  
Grundl. Landtechnik Bd. 32 (1982) Nr. 1, S. 8/12.
- [ 8 ] •Mohsenin, N.N.: Physical properties of plant and animal materials. 2. Aufl.  
New York, London, Paris: Gordon u. Breach 1970.
- [ 9 ] Kustermann, M. u. H.D. Kutzbach: Young's modulus dependent on deformation velocity.  
ASAE-Paper No. 82-3055, 1982.
- [ 10 ] White, R.K.: Swelling stress in the corn kernel as influenced by moisture sorption.  
M.S. thesis, Penn. State Univ., University Park, Pa. 1966.
- [ 11 ] Kozma, H. u. H. Cunningham: Tables for calculating the compressive surface stresses and deflections in the contact of two elastic bodies whose principal planes of curvature do not coincide.  
J. Industr. Math. Bd. 12 (1962) S. 31/39.
- [ 12 ] Shelef, L. u. N.N. Mohsenin: Effect of moisture content on mechanical properties of shelled corn.  
Cereal Chemistry Bd. 46 (1969) S. 242/53.
- [ 13 ] Arnold, P. u. N.N. Mohsenin: Proposed techniques for axial compression tests on intact agricultural products of convex shape.  
Trans. ASAE Bd. 14 (1971) Nr. 1, S. 78/84.

---

## Fahrerinformation als Hilfsmittel der Optimierung beim Einsatz von Ackerschleppern

Von Gerhard Jahns, Hermann Speckmann und  
Rudolf Möller, Braunschweig-Völkenrode\*)

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

DK 631.372:681.518

Vorbedingung für die Wirtschaftlichkeit des Schleppereinsatzes ist die möglichst weitgehende Ausnutzung der Schlepperleistung. Fahrerinformationssysteme sollen die ausschlaggebenden Betriebsgrößen ermitteln und die damit verbundene Information so aufbereiten, daß dem Fahrer während des Schleppereinsatzes die Wahl und Einstellung der optimalen Betriebsbedingungen erleichtert wird.

Hier wird berichtet über die Möglichkeiten, die aktuelle Motorleistung zu ermitteln und in einer für den Fahrer nützlichen Form auf dem Display eines Fahrerinformationssystems darzustellen. Aus dem Vergleich des aktuellen Motorbetriebspunktes mit einem vergleichbaren Punkt bei optimalem Zustand des Motors sind gezielte Wartungshinweise zu gewinnen. Die Berechnung und Darstellung der Betriebspunkte für den nächsthöheren bzw. nächstniedrigeren Gang liefern zuverlässige Informationen zur Gangwahl.

---

Dr.-Ing. G. Jahns und Dipl.-Ing. H. Speckmann sind wiss. Mitarbeiter, Dipl.-Ing. R. Möller ist Versuchingenieur am Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

### 1. Einleitung

Eine optimale landwirtschaftliche Produktion ist das Ergebnis eingehender Planung und daran ausgerichteter optimaler Erledigung der einzelnen Arbeitsvorgänge. Die Planung nutzt schon seit längerem die Leistungsfähigkeit rechnerunterstützter Optimierungsverfahren, ebenso wie für eine optimale Durchführung spezieller komplexer Arbeitsverfahren, z.B. Mähdreschen oder Pflanzenschutz, elektronische Systeme zur Regelung und Überwachung eingeführt sind. Für die am häufigsten und vielseitigsten eingesetzte landwirtschaftliche Maschine, den Ackerschlepper, steht die Entwicklung geeigneter elektronischer Überwachungs- und Informationssysteme, die einen optimalen Einsatz der unterschiedlichen Schlepper-Gerät-Kombinationen ermöglichen, erst am Anfang. Von einer solchen Anwendung der Mikroelektronik in der Landtechnik ist aber eine Verringerung des Aufwandes an Betriebsmitteln, eine Verbesserung der Arbeitsqualität, eine Verminderung von Verlusten wie auch eine Entlastung des Fahrers bei der Arbeitsdurchführung zu erwarten.

Besonders unter dem Aspekt der Arbeiterleichterung ist von einem Fahrerinformationssystem zu fordern, daß es den Fahrer nicht mit einer Flut von Informationen überhäuft, sondern ihm durch Auswahl und Vorverarbeitung wenige, aber gezielte und nur die für die augenblickliche Tätigkeit relevanten Informationen – übersichtlich dargestellt – liefert.

Ausgangspunkt bei der Gestaltung eines Fahrerinformationssystems sind die Eingriffsmöglichkeiten, die dem Fahrer zur Beeinflussung des Arbeitsprozesses zur Verfügung stehen, und die Frage, ob und anhand welcher Kriterien der Fahrer den Erfolg seiner Eingriffe im Sinne einer optimalen Durchführung des Arbeitsverfahrens beurteilen kann. Im zweiten Teil des Beitrags wird dann untersucht, wie die erforderlichen Informationen gewonnen und dem Fahrer dargestellt werden können.

## 2. Einflußmöglichkeiten des Fahrers

Die Möglichkeiten, auf den erforderlichen Aufwand, insbesondere an Arbeitszeit und Kraftstoff, Einfluß zu nehmen, sind für den Landwirt über die Wahl der Arbeitsverfahren und -geräte prinzipiell sehr vielfältig [1]. Für eine gegebene Schlepper-Gerät-Kombination sind dagegen die Möglichkeiten schon stark eingeschränkt. Im wesentlichen wird hier der Kraftstoff- und Zeitbedarf für den entsprechenden Arbeitsvorgang durch die Wahl der Gangstufe und die Stellung des Fahrpedals, also durch den Betriebspunkt des Motors beeinflusst. Bei der Wahl des Betriebspunktes sind die Soll Drehzahl bzw. anzustrebende Geschwindigkeit und der Leistungsbedarf des Gerätes zu berücksichtigen, der wiederum durch Wartung, Einstellung und Abstimmung des Gerätes auf das Fahrzeug zu minimieren ist. Die vom Schlepper abgegebene Zugleistung hat unmittelbare Auswirkungen auf die Laufwerksverluste, die außerdem durch Parameter des Schleppers (Reifen, Ballastierung u.a.) und Parameter des Bodens beeinflusst werden. Die primäre Umsetzung von Kraftstoffenergie in mechanische Energie schließlich ist vom Wartungszustand des Motors abhängig.

Trotz der gering erscheinenden Einflußmöglichkeiten vor Ort – Gangwahl, Stellung des Fahrpedals – ist die Zahl der beeinflussten Parameter sehr groß, und die Tatsache, daß sich viele Parameter gegenseitig beeinflussen, erschwert eine sichere Beurteilung der vom Fahrer zu ergreifenden Maßnahmen. Es gilt daher, ihm zur Absicherung und Kontrolle seines Handelns die notwendigen Informationen zu liefern.

### 2.1 Wahl des Motorbetriebspunktes

Wie dargelegt, stellt die Wahl des Motorbetriebspunktes eine entscheidende Einflußgröße für den Kraftstoffbedarf dar. Da dieser bei einem Motor bei gleicher Leistung mit der Drehzahl ansteigt, sollte der Fahrer eine möglichst geringe Drehzahl wählen. Ein Fahrerinformationssystem hat hier die Aufgabe, den Fahrer darüber zu informieren, ob er die gleiche Leistung bei niedrigerer Drehzahl bereitstellen kann, welche Geräteeinstellungen er dafür zu wählen hat und wie groß die Kraftstoffersparnis dabei ist.

In der Praxis ist der Benutzer jedoch in der Wahl der Drehzahl infolge der verfügbaren Getriebeübersetzungen, der erforderlichen Zapfwelldrehzahlen u.ä. nicht völlig frei. So werden im Teillastbereich, z.B. bei Pflegearbeiten, bei leichten Transport- und Zapfwellearbeiten, die erforderliche Motorleistung und die Drehzahl häufig durch den Arbeitsprozeß und die verwendeten Geräte bestimmt und stehen damit nicht mehr zur freien Disposition des Fahrers. Aus diesem Grunde stellt sich bei Maßnahmen zur Drehzahlbegrenzung, die im englischen Sprachgebrauch unter dem Begriff "gear up – throttle down" propagiert werden, nur ein geringer Nutzen in Hinsicht auf den Treibstoffbedarf ein. Nach Untersuchungen von Zoerb [2] werden Kraftstoffersparnisse von etwa 1 % des Gesamtkraftstoffverbrauches im Teillastbereich erzielt.

Eine Erklärung für diesen relativ geringen Erfolg ist der kleine Zeitanteil und verhältnismäßig geringe Kraftstoffbedarf für einen derartigen Schleppereinsatz, wie aus Tafel 1 zu entnehmen ist, die Daten von Welschhof zum Einsatz von Ackerschleppern der Klasse 50–70 kW wiedergibt [3].

Wie die Tafel und andere Untersuchungen [4–7] belegen, nehmen dagegen Arbeiten, bei denen eine hohe Motorleistung gefordert

wird, wie z.B. das Pflügen, hinsichtlich Zeitanteil und Kraftstoffverbrauch eine dominierende Stellung ein, so daß bei dieser Art des Schleppereinsatzes eher Kosteneinsparungen durch Verringern des Kraftstoffverbrauches zu erwarten sind.

Da der Punkt minimalen spezifischen Kraftstoffverbrauches normalerweise nicht mit dem Punkt maximaler Leistung im Motorkennfeld zusammenfällt, stellt sich in diesem Zusammenhang für den Fahrer die Frage, ob es richtig und möglich ist, Kraftstoff oder Arbeitszeit zu sparen – oder ob beides möglich ist. Bei rein wirtschaftlicher Betrachtung gibt es allerdings keine Wahl: Wie Modellrechnungen für einen 42 kW-Schlepper mit Pflug zeigten, muß die Einsparung von 5 l Kraftstoff bei Betrieb im Punkt optimalen spezifischen Verbrauchs gegenüber dem Betrieb bei Nennleistung mit einer 1,5 Stunden längeren Einsatzzeit erkauft [8] werden.

Eine monetäre Bewertung von Kraftstoff und Einsatzzeit zeigt diesen Sachverhalt noch deutlicher. In Bild 1 sind in einem Diagramm Flächenleistung über der bezogenen Drehzahl Linien konstanter flächenbezogener Kosten für eine Schlepper-Pflug-Kombination dargestellt. Der Punkt minimalen spezifischen Kraftstoffverbrauches ist durch einen Kreis gekennzeichnet.

Die zeitbezogenen Kosten (Maschinen- und Lohnkosten) wurden mit 10 DM/h unrealistisch niedrig angesetzt, um den Einfluß der Drehzahl deutlich werden zu lassen. Je höher nämlich die zeitbezogenen Kosten im Vergleich zu den Kraftstoffkosten sind, um so mehr werden die Linien gleicher flächenbezogener Kosten zu Geraden parallel zur Abszisse, wobei das Kostenminimum stets bei maximaler Auslastung erreicht wird.

Erst wenn die zeitbezogenen Kosten (DM/h) etwa denen eines Liters Kraftstoffs entsprechen, beginnt das Kostenminimum in Richtung auf den Punkt optimalen spezifischen Verbrauchs zu wandern. Mit diesem fällt es schließlich, wie in Bild 2 dargestellt ist, zusammen, wenn die zeitbezogenen Kosten Null werden.

Bei der Optimierung des Schleppereinsatzes in einem Betrieb, dessen Lohn- und Maschinenkosten nicht Null sind, wird also beim Pflügen und bei schwerer Zapfwellearbeit das Minimum der flächenbezogenen Kosten nur bei maximaler Motorauslastung erreicht. Der Landwirt muß daher an einer möglichst hohen Auslastung seines Fahrzeuges interessiert sein. Wie verschiedene Untersuchungen übereinstimmend belegen [7, 9–12], wird dieses Ziel in der Praxis nicht erreicht. Es wurden Auslastungen von unter 70 %, in Ausnahmefällen sogar unter 50 % ermittelt. Es ist daraus zu schließen, daß der Fahrer über den Grad der Auslastung seines Motors nicht hinreichend informiert ist.

Aufgabe eines Fahrerinformationssystems muß es daher sein, den Fahrer über den Grad der Motorauslastung, besser noch über die Lage des Motorbetriebspunktes zu informieren und gegebenenfalls Gangempfehlungen zu geben, um eine bessere Auslastung zu erreichen. Bisher vorgeschlagene Fahrerinformationssysteme [13, 14] beachten die aufgezeigten wirtschaftlichen Gesichtspunkte nicht hinreichend.

### 2.2 Minimierung der Verluste

Die maximale Motorauslastung bei schwerer Bodenbearbeitung ist eine zwar notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung für die Minimierung der Kosten des Schleppereinsatzes. Weitere Voraussetzungen sind Minimierung des Zugkraft- und Leistungsbedarfs der Geräte und die Minimierung der Laufwerksverluste.

#### 2.2.1 Geräteeinstellung

Bisher ist der Landwirt bei der Einstellung der Geräte auf die Einstellhinweise der Hersteller und seine Erfahrungen angewiesen. Bei Kenntnis der Fahrgeschwindigkeit und des Motorbetriebspunktes könnte der Landwirt aber objektiv beurteilen, ob beispielsweise eine von ihm vorgenommene Korrektur der Einstellung den Leistungsbedarf verringert hat oder nicht.

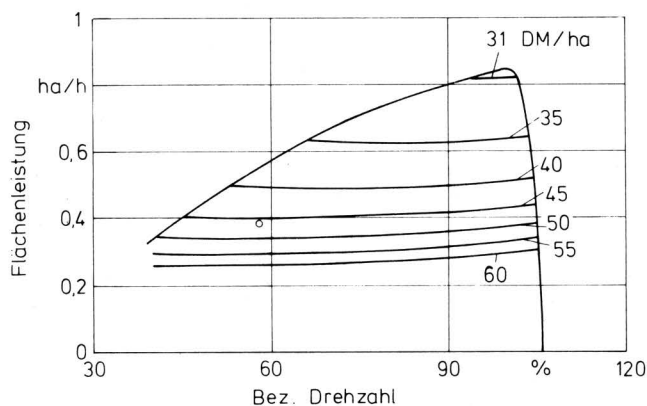
Laststufe	$\frac{10^6 l}{\text{Jahr}}$	Kraftst. Anteil %	Motor-* Auslastung %	Drehmoment* %	Drehzahl* %	Zeitanteil %	Art der Arbeiten
A	595	56	84	88	95	31	Pflügen und schwere Zapfwellenarbeiten
B	180	17	41	48	85	18	normale Zapfwellenarbeiten Transporte im Feld und auf Feldwegen
C	106	10	21	40	53	19	Pflegearbeiten ohne Zapfwelle langsame Arbeiten, teilweise mit Kriechgängen
D	159	15	15	15	100	20	Straßentransporte, Rangieren
E	21	2	0	0	40	12	Leerlaufanteile aus allen Arbeiten
Alle Arbeiten	Summe: 1061	Summe: 100	Im Mittel: 41	Im Mittel: 47	Im Mittel: 79	Summe: 100	

\* bezogen auf Nennwerte bei Nenndrehzahl

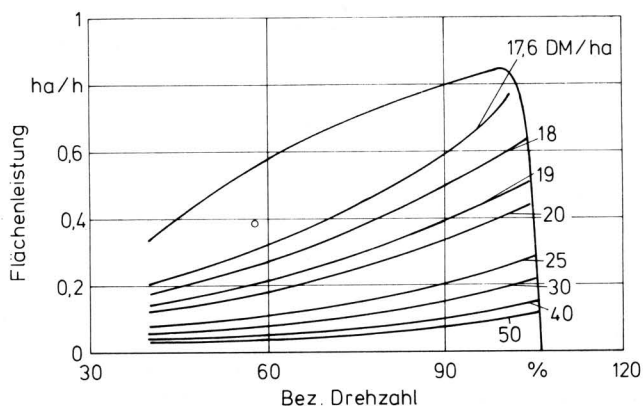
Verfügt der Schlepper bereits über eine elektronische Hubwerksregelung, so werden die Zugkräfte ohnehin gemessen. Eine Anzeige der Zugkräfte im linken und rechten Unterlenker wäre dann mit geringem Aufwand verbunden. Zusammen mit der Fahrgeschwindigkeit würde sich die Einstellung gezogener Geräte, z.B. eines Pfluges, besonders gut beurteilen lassen. Bei zapfwellengetriebenen Geräten wäre eine aufwendigere Messung des Zapfwelldrehmomentes erforderlich.

Wie diese Beispiele zeigen, ergeben sich für Fahrerinformationssysteme vielfältige Möglichkeiten bei der Aufgabe, die Funktion, insbesondere Zugkraft- bzw. Leistungsbedarf, von Anbaugeräten zu überwachen und in geeigneter Weise darzustellen.

**Tafel 1.** Kraftstoffverbrauch, Motorauslastung, Drehmoment und Drehzahl sowie Kraftstoff- und Zeitanteil für unterschiedliche Schlepperarbeiten, in Anlehnung an *Welsch* [3].



**Bild 1.** Drehzahl-Flächenleistung-Kennfeld mit Linien konstanter flächenbezogener Kosten für das Pflügen; zeitbezogene Kosten (Lohn- und Maschinenkosten 11 DM/h, Kraftstoffkosten 0,7 DM/l).



**Bild 2.** Drehzahl-Flächenleistung-Kennfeld mit Linien konstanter flächenbezogener Kosten für das Pflügen; zeitbezogene Kosten (Lohn- und Maschinenkosten) 0 DM/h, Kraftstoffkosten 0,7 DM/l.

## 2.2.2 Reifen

Auch die Verluste bei der Zugkraftübertragung der Reifen lassen sich anhand der Fahrgeschwindigkeit beurteilen. Mit dieser Beurteilung wird der Einfluß des Reifenzustandes und insbesondere des Reifennendruckes erfaßt. Bei dessen Wahl steht der Landwirt jedoch vor dem Problem, daß zur Verminderung des Verschleißes für Straßenfahrten ein hoher Innendruck, für die Erhöhung der Zugkraft auf dem Acker aber ein niedrigerer Innendruck wünschenswert ist. Technische Lösungen für die Überwachung von Luftdruckgrenzwerten, auch während des Betriebes, wurden bereits vorgeschlagen, sind aber relativ aufwendig [15].

Einen noch größeren Aufwand erfordern Einrichtungen zur Änderung des Innendruckes während der Fahrt, wie sie beispielsweise bei Sonderfahrzeugen und einigen Militärfahrzeugen eingesetzt werden. Die Kosten hierfür erscheinen derzeit für landwirtschaftliche Anwendungen zu hoch. Den Verschleiß der Reifen wird man auch weiterhin optisch beurteilen müssen, wobei eine die Verschleißgrenze signalisierende Markierung im Reifenprofil, wie bei einigen Pkw-Reifen bereits vorhanden, hilfreich sein könnte.

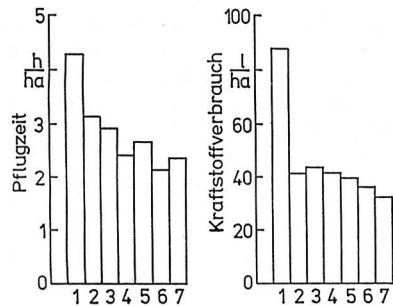
Um dem Fahrer Kriterien für die Minimierung der Laufwerksverluste zu liefern, sollte ein Fahrerinformationssystem zusätzlich zum jeweiligen Motorbetriebspunkt die wahre Fahrgeschwindigkeit und den Triebdruckschlupf anzeigen. Weitere Informationen z.B. über Zugkräfte in den Unterlenkern, Zapfwelldrehmoment und Reifennendruck wären nützlich.

## 2.3 Betriebszustand des Fahrzeuges – Wartungszustand

Zur Minimierung des Aufwandes beim Einsatz von Schlepper und Gerät gehört auch, daß die Verluste des Fahrzeuges selbst, vor allem des Motors, so gering wie möglich sind. Diese Verluste kann der Landwirt dadurch beeinflussen, daß er das Fahrzeug in einem einwandfreien Wartungszustand hält. Wie groß dieser Einfluß sein kann, zeigt eine Untersuchung aus den Niederlanden [12], deren Ergebnis in **Bild 3** wiedergegeben ist.

Auch wenn nicht anzunehmen ist, daß sich landwirtschaftliche Fahrzeuge grundsätzlich in einem derart schlechten Wartungszustand befinden, so belegt diese Untersuchung doch, daß der Zustand des Fahrzeuges eine wichtige Größe im Rahmen der Optimierung des Schleppereinsatzes darstellt.

Grundsätzlich sind bei der Überwachung des Fahrzeuges und der Geräte zwei Situationen zu unterscheiden, nämlich Veränderungen und Defekte, die ein sofortiges Eingreifen des Fahrers erforderlich machen, und solche, bei denen keine Unterbrechung der Arbeit erforderlich ist, deren Ursache aber möglichst bald durch entsprechende Wartungs- oder Änderungsmaßnahmen behoben werden sollten.



**Bild 3.** Einfluß verschiedener Maßnahmen an Schlepper und Gerät auf die Arbeitszeit und den Kraftstoffverbrauch beim Pflügen; Schlepper: JD 2130, Pflug: Ransomes Wendepflug TSR 107; nach [12].

- |                                    |  |
|------------------------------------|--|
| 1 Ausgangszustand                  | 5 nach Reifendruckerhöhung auf 3,5 bar |
| 2 nach der 1000 h-Wartung          | 6 nach Reifendruckabsenkung auf 1 bar  |
| 3 nach Pflugeinstellung            | 7 nach Wahl eines anderen Ganges       |
| 4 nach Einstellen der Vorwerkzeuge |  |

### 2.3.1 Überwachung und Darstellung kritischer Betriebszustände

Die Überwachung der wichtigsten Parameter auf kritische Betriebszustände geschieht seit jeher. Sinkende Preise und zunehmende Zuverlässigkeit elektronischer Sensoren und Bauelemente werden aber dazu führen, daß in Zukunft weitere, heute nur mit großem Aufwand meßbare Betriebsparameter kostengünstig überwacht werden können. Beispielsweise könnten die heute bereits für wenige Mark erhältlichen Drucksensoren für die Überwachung von Luftfiltern eingesetzt werden.

Die Anzeige für kritische Betriebszustände im Fahrerinformationssystem gehört natürlich in das unmittelbare Blickfeld des Fahrers, doch sollte sie so gestaltet sein, daß bei unkritischem Betrieb weder die Warnsignalleuchte noch der numerische Wert des Betriebsparameters sichtbar ist. Erreicht werden kann dies, indem man die Signalleuchten mit einer entsprechenden Folie abdeckt oder eine Multifunktionsanzeige für alle Warnungen verwendet. Andererseits sollte der numerische Wert der überwachten Betriebsparameter jederzeit vom Fahrer abgerufen werden können und im Falle einer Warnung unaufgefordert angezeigt werden.

### 2.3.2 Überwachung und Darstellung langsamer Betriebszustandsänderungen

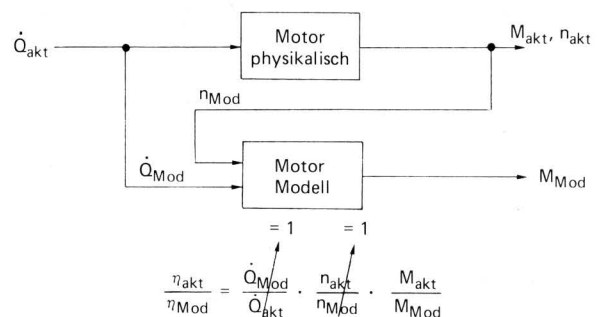
Nicht alle Abweichungen vom angestrebten optimalen Zustand erfordern ein sofortiges Eingreifen. Dies gilt besonders für langsam ablaufende Veränderungen, wie Verschmutzung des Schmieröls, Dejustierungen und Verschleiß von Motor und Arbeitsgerät, die sich in erhöhten Verlusten auswirken. Da vom Fahrer derartige Veränderungen nur sehr schwer oder gar nicht bemerkt werden, sind in bestimmten Intervallen Wartungen vorgesehen.

Zur Zeit macht man die Intervalle der Wartung überwiegend von der Einsatzzeit bzw. der zurückgelegten Fahrstrecke abhängig. Damit wird die Notwendigkeit einer Wartung von der durchschnittlich verrichteten Arbeit abgeleitet. Ein solches Vorgehen basiert damit auf statistischen Erfahrungen und kann dem tatsächlichen Zustand des einzelnen Fahrzeugs nicht Rechnung tragen.

Einige Pkw- und Nutzfahrzeughersteller sind deshalb in letzter Zeit zu flexiblen Wartungsintervallen übergegangen. Diese werden anhand mehrerer gemessener und unterschiedlich gewichteter Betriebsparameter des jeweiligen Fahrzeugs berechnet. Je mehr Bauteile und Baugruppen des Fahrzeugs in eine derartige Bewertung mit einbezogen werden, um so mehr kommt man zu einer von dem individuellen Zustand des jeweiligen Fahrzeugs abhängigen Diagnose, die beispielsweise das Fahrerinformationssystem als Grundlage für die durchzuführenden Wartungsarbeiten liefern kann.

Noch wirkungsvoller ist es, wichtige Baugruppen des Schleppers, an erster Stelle den Motor, nicht anhand einzelner Betriebsparameter, sondern unmittelbar anhand der aufgenommenen und abgegebenen Leistung zu beurteilen. Jede Verschlechterung des Betriebszustandes führt dazu, daß das Verhältnis zwischen abgegebener und aufgenommener Leistung ungünstiger, der Wirkungsgrad kleiner wird. Eine Möglichkeit, den Wartungszustand des optimal eingestellten Motors mit dem aktuellen Zustand zu vergleichen, zeigt Bild 4.

Der Motor in seinem einwandfreien Zustand stellt die Referenzgröße, das Modell, dar. Dieses Modell wird in Form eines Kennfeldes [8] gespeichert. Für die Beurteilung des Betriebszustandes des Schleppermotors wird am realen Motor die zugeführte und die abgegebene mechanische Energie gemessen, beispielsweise der dem Motor zugeführte Kraftstoffvolumenstrom einerseits und die Drehzahl und das Ausgangsdrehmoment andererseits. Die Meßgrößen Kraftstoffvolumenstrom und Drehzahl sind gleichzeitig Eingangsgrößen des Modells. Das Verhältnis der Momente, des gemessenen und des errechneten, ist gleich dem Verhältnis der Wirkungsgrade und kann somit der Zustandsbeurteilung dienen und dem Fahrer angezeigt werden.



**Bild 4.** Schaltbild zum Vergleich des aktuellen Wirkungsgrades eines Motors mit dem Wirkungsgrad im optimalen Zustand (Motor-Modell).

## 3. Aufbau des Systems

Meßwertaufnehmer, Signalverarbeitung und Anzeige bilden die Grundelemente eines jeden Fahrerinformationssystems. Der Übergang vom analogen Meßwert zum digitalen elektrischen Signal sollte dabei möglichst früh erfolgen, u.U. sogar schon durch das gewählte Meßprinzip, da sich hierdurch Vorteile hinsichtlich Meßtoleranz, Störsicherheit und Kosten ergeben. Letzteres besonders deshalb, weil durch die Verwendung von Mikrorechnern bzw. Ein-Chip-Mikrorechnern eine flexible und programmgesteuerte Signalverarbeitung möglich ist.

### 3.1 Meßwertaufnehmer

Die wichtigsten Meßgrößen bei der Realisierung eines Fahrerinformationssystems sind die Fahrgeschwindigkeit und von den Motoreingangs- bzw. Ausgangsgrößen der Kraftstoffvolumenstrom, die Motordrehzahl und das Drehmoment.

Die Fahrgeschwindigkeitsmessung über die Radbewegung bzw. Drehzahl von Vorder-, Meß- oder Geräterädern ist nicht immer möglich, ist ungenau und vielfach aus arbeitstechnischen Gründen unerwünscht bzw. problematisch. Berührungslose Meßverfahren nach dem Doppler-Prinzip, Korrelationsprinzip oder unter Verwendung optischer Gitter sind aus arbeitstechnischer Sicht unproblematisch. Der erforderliche Aufwand ist allerdings hoch. Auf dem Markt sind derzeit nur mit Mikrowellen nach dem Doppler-Prinzip arbeitende Geschwindigkeitsmeßsysteme.

Für die Messung von Motor- und Raddrehzahl eignen sich besonders induktive Verfahren. Die Verwendung der Frequenz der Drehstromlichtmaschine zur Bestimmung der Motordrehzahl ist nur möglich, wenn keine hohen Anforderungen an die Genauigkeit gestellt werden bzw. wenn der Antrieb des Generators formschlüssig, z.B. mit einem Zahnriemen, erfolgt. Bei Fahrzeugen mit einer elektronischen Regelung der Dieseleinspritzung kann die Motordrehzahl direkt als elektrisches Signal abgegriffen werden.

Größen, die bei der Überwachung des Motorzustandes zur Ermittlung der wichtigsten Ein- und Ausgangsgrößen des Motors (außer der Drehzahl) in Frage kommen, sind in Tafel 2 wiedergegeben. Die elastische Verformung der Motorausgangswelle ist ein Maß für das vom Motor abgegebene Drehmoment. Ihre Messung bereitet bei längeren Wellenabschnitten keine Schwierigkeiten und erfolgt dort z.B. mittels aufgesetzter Zahnräder, geschlitzter Manschetten oder anderer Markierungen, deren Winkelversatz induktiv oder optisch erfaßt wird [16].

ausgangsbezogene Größen	eingangsbezogene Größen
Verformung eines Wellenabschnittes Winkel Spannung (DMS) Magnetische Effekte	Kraftstoffstrom Durchfluß Regelstangenweg der E-Pumpe El.-Signal der E-Pumpe Druck und Zeitdauer des Einspritzvorganges
Dehnung an Motorbauteilen	
Verschiebung von Bauteilen Load Monitor (Ford) Schlupf Turbokupplung Motoraufhängung	indirekte Größen: Abgas Temperatur Druck CO <sub>2</sub> -Gehalt
Druck in den Zylindern	Schalldruck
Kurbelwellendrehbeschleunigung	Dehnung an Motorbauteilen

Tafel 2. Möglichkeiten der direkten und der indirekten Drehmomentenmessung am Schlepper.

Kürzere Wellenabschnitte können mit Dehnungsmeßstreifen versehen werden, die die Torsionsspannung ermitteln [17]. Das Signal muß jedoch von der drehenden Welle abgegriffen werden, wofür derzeit keine für den Einsatz auf landwirtschaftlichen Schleppern geeigneten Verfahren zur Verfügung stehen. Überhaupt ist der Raumbedarf aller bisher genannten Meßverfahren zu groß, so daß sie für Messungen an der Motorausgangswelle landwirtschaftlicher Schlepper ungeeignet sind.

Ohne Vorbehandlung der Welle und berührungslos arbeitet ein System, das den magnetoelastischen Effekt der Torsionsbeanspruchung des Wellenabschnitts ausnutzt [18]. Dieses Verfahren ist jedoch zur Zeit aus Kostengründen für den Einsatz in der Landwirtschaft noch nicht geeignet.

Auch die elastische Dehnung von Motorbauteilen — beispielsweise der festsitzenden Außenringe von Lagern — kann zur Bestimmung des Motordrehmomentes verwendet werden. Dabei ist natürlich Voraussetzung, daß in dem Lager Stützkkräfte auftreten, die in einem funktionalen Zusammenhang zum Motordrehmoment stehen. Dieser funktionale Zusammenhang muß keineswegs linear sein, da aufgrund der heute kostengünstig verfügbaren Signalverarbeitung eine u.U. auch umfangreiche Aufbereitung des Meßsignals möglich ist.

Alle Verfahren zur direkten Momentenmessung sind weder preisgünstig, noch ermöglichen ihre Abmessungen eine unproblematische Einbeziehung in bestehende Konstruktionen. Die Bemühungen, das Drehmoment vom Motor indirekt auf anderen Wegen zu ermitteln, sind daher vielfältig.

Eine sehr einfache indirekte Methode, das Motorausgangsdrehmoment zu bestimmen, ist die Schlupfmessung einer Turbokupplung [19]. Hier läßt sich das von der Kupplung abgegebene Moment ermitteln. Diese Messung ist vergleichsweise unproblematisch, ihr Einsatz jedoch auf Schlepper mit Turbokupplung beschränkt.

Für eine Momentenmessung mit dem Load-Monitor von Ford ist ein Auftrennen der Welle und Einfügen eines Meßgliedes mit schiefer Ebene erforderlich. Mit Hilfe eines Wegaufnehmers wird dann die Verschiebung des Meßgliedes in ein elektrisches Signal umgewandelt [20].

Die Messung der Reaktionskräfte oder der Verschiebung an der Motoraufhängung zur Bestimmung des vom Motor abgegebenen Moments ist nur bei Sonderbauarten, nicht aber bei der Großzahl der in Blockbauweise ausgeführten landwirtschaftlichen Schlepper möglich. Die erforderliche Signalaufbereitung ist aufwendig, und bei der Verwendung von Metall-Gummi-Elementen zur Motorlagerung treten bei der Meßwertauswertung zusätzlich Probleme durch die Alterung dieser Elemente auf.

Ein anderes Verfahren mißt den indizierten Druck in einem oder besser in allen Zylindern des Motors. Zur Auswertung ist eine exakte Zuordnung der Winkellage der Kurbelwelle erforderlich [21]. Wegen des hohen Aufwandes wird dieses Verfahren bisher nur bei großen Schiffsmaschinen angewandt.

Auch aus der Kurbelwellendrehbeschleunigung läßt sich das Motordrehmoment nach entsprechender elektronischer Signalaufbereitung ermitteln [22]. Die Messung selbst erfolgt dabei berührungslos und induktiv.

Betrachtet man alle genannten Verfahren zusammenfassend, so läßt sich festhalten, daß Meßverfahren, die umfangreiche konstruktive Änderungen erfordern, grundsätzlich kritisch beurteilt werden müssen, während solche, die umfangreiche Signalverarbeitungen erfordern, durch die sinkenden Kosten der elektronischen Signalverarbeitung günstig beurteilt werden können. Die Messung des Schlupfes an der Turbokupplung läßt sich bereits heute kostengünstig realisieren. Verfahren, die die elastische Verformung einer Welle messen, sind bei einigen Getriebekonstruktionen hinter der Kupplung einsetzbar. Mit ihnen könnte, ähnlich wie beim Schlupf der Turbokupplung, das von der Kupplung abgegebene Moment gemessen werden. Aussichtsreich erscheint auch das Verfahren, die Torsionsbeanspruchung der Motorwelle nach dem magnetoelastischen Effekt zu messen.

Für die Ermittlung der eingangsbezogenen Größen, d.h. der dem Motor zugeführten Energie, ist die Messung des Durchflusses (Kraftstoffvolumenstrom bzw. Einspritzvolumen) der naheliegendste Weg. Grundsätzlich sind dafür alle bekannten Durchflußmeßverfahren geeignet. Für den praktischen Einsatz auf landwirtschaftlichen Fahrzeugen ergeben sich jedoch einige Probleme. Zum einen muß der Rückfluß gesondert gemessen und subtrahiert oder durch andere Maßnahmen kompensiert werden. Darüber hinaus scheidet eine Reihe bekannter Durchflußmeßverfahren wegen der rauen Einsatzbedingungen aus. So sind Kolben- und Schwebkörperdurchflußmessungen wegen der auftretenden Schwingungen und Beschleunigungen nicht geeignet. Die temperaturbedingte Viskositätsänderung des Dieselmotorkraftstoffes, die siebenmal größer als die von Vergaserkraftstoffen [23] ist, führt beim Einsatz von Turbinendurchflußmessern zu Meßfehlern, falls diese nicht durch zusätzliche Maßnahmen kompensiert werden. Recht gute Ergebnisse sind mit Zahnradpumpen als Durchflußmeßgeber zu erzielen, besonders dann, wenn zur Verringerung von Meßfehlern der Druckunterschied zwischen Ein- und Ausgang auf Null geregelt wird. Nach diesem Prinzip arbeitende Meßgeber finden oft in Versuchsschleppern Verwendung [24]. Für den Serieneinsatz erscheint das System jedoch noch zu aufwendig.

Da die Einspritzpumpe eine Dosierpumpe ist, liegt es nahe, sie zur Messung des Durchflusses heranzuziehen. Die Position der Regelstange wird dabei als Maß für das Einspritzvolumen gemessen [25 bis 28]. Für hohe Drehzahlen ergibt sich dabei ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen der Position der Regelstange und dem

Einspritzvolumen. Die Abweichungen im unteren Drehzahlbereich sind jedoch erheblich.

Die Berechnung des Kraftstoffverbrauchs aus elektrischen Signalen, die im Rahmen einer elektronischen Einspritzregelung [29] ohnehin benötigt werden, ist mit einem Fehler kleiner als 1 % möglich [30]. Es ist dies ein Beispiel, wie bei Vorhandensein einer elektronischen Grundausrüstung interessierende Betriebsparameter aus anderweitig gemessenen Größen errechnet werden können und sozusagen gratis verfügbar sind.

Bei herkömmlichen Einspritzpumpen kann der Kraftstoffvolumenstrom aus Druck und Zeitdauer des Einspritzvorgangs errechnet werden. Die Ermittlung dieser Größen erfordert den Einbau zusätzlicher Sensoren, und ohne Messung und Berücksichtigung der Kraftstofftemperatur ist eine hinreichende Genauigkeit nicht erreichbar.

Die Messung der Abgastemperatur zur Bestimmung des Motordrehmomentes besticht durch ihren geringen meßtechnischen Aufwand. Bisherige Untersuchungen [31] zeigten, daß der Zusammenhang zwischen Abgastemperatur und Kraftstoffverbrauch durch eine Reihe von Größen beeinflusst wird, insbesondere von der Drehzahl. Gleiches gilt für den Zusammenhang zwischen Abgasdruck und Kraftstoffverbrauch [19]. Eine hinreichend genaue Bestimmung der Eingangsgröße des Motors ist mit Hilfe der aufgeführten indirekten Größen bisher nicht möglich.

### 3.2 Signalverarbeitung

Der Aufwand z.B. für die Speicherung eines Motorkennfeldes und die Berechnung des Momentes aus den gemessenen Größen war sicher noch vor einigen Jahren eine Aufgabe, die in den Bereich des Versuchs und des Labors gehörte. Heute ist dies mit den Mitteln der Mikroelektronik auf jedem Fahrzeug möglich und bei Pkw mit elektronischer Motorsteuerung bereits üblich.

Grundsätzlich sind bei der Entwicklung im Gebiet Sensoren und zugehörige Signalverarbeitung zwei Tendenzen zu beobachten:

1. Herstellung von Sensoren mit integrierter Signalverarbeitung [32]. Viele dieser Sensoren liefern ein zur Meßgröße proportionales und normiertes Ausgangssignal, das oft auch temperaturkompensiert ist. Ein automatischer Abgleich (vielfach mit Hilfe von Lasern) gewährleistet eine enge Tolerierung und Austauschbarkeit. Die Herstellung erfolgt mit den für die Halbleiterherstellung entwickelten Techniken — Ätz-, Dünnschicht- oder ähnliche Techniken —. Entwicklung und Produktion sind daher auf Firmen und Forschungseinrichtungen beschränkt, die die Halbleiterherstellung beherrschen. Wegen der hohen Kosten für Entwicklung und Produktionseinrichtungen sind für die Preiswürdigkeit dieser dem Einsatzzweck angepaßten Sensoren große Stückzahlen erforderlich.
2. Kostengünstige Meßwertempfänger mit einer getrennten nachgeschalteten u.U. sehr aufwendigen Signalverarbeitung sind die Alternative, die für kleine Stückzahlen geeignet ist. Unzulänglichkeiten des bewußt kostengünstig konzipierten Empfängers werden durch die Signalverarbeitung ausgeglichen, z.B. indem weitere Meßgrößen zur Kompensation, Linearisierung oder Berechnung des Meßwertes herangezogen werden. Auch gespeicherte Kennfelder lassen sich in eine derartige Meßverarbeitung mit einbeziehen. Die Kosten derartiger Systeme liegen im wesentlichen in der Softwareentwicklung für die Signalverarbeitung.

### 3.3 Anzeigen und Eingabelemente

Die Akzeptanz eines Fahrerinformationssystems wird entscheidend von der ergonomischen Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle, in erster Linie also von der Anzeige, abhängen. Die wichtigste Aufgabe eines Fahrerinformationssystems besteht darin, für den Fahrer eine Fülle von Informationen aufzuarbeiten und bereitzuhalten, aus diesen die für die jeweilige Aufgabe relevanten auszuwählen und diese dem Fahrer in plausibler und übersichtlicher

Form zu präsentieren. Das Informationssystem muß also verhindern, daß der Benutzer durch unnötige Informationen abgelenkt oder gar beansprucht wird. Die weiteren bereitgehaltenen Informationen sollte der Fahrer gezielt abfragen können. Diese Möglichkeit ist von besonderem Interesse, wenn im Fall einer Störung der augenblickliche Wert bestimmter Betriebsgrößen wie Öltemperatur, Spannung im Bordnetz o.ä. interessieren. Die Störmeldung selbst muß optisch und gegebenenfalls auch akustisch erfolgen.

Der Informationsaustausch, also der Dialog zwischen Mensch und Gerät, ist so zu gestalten, daß sich eine langwierige Schulung oder ein umfangreiches Studium von Handbüchern erübrigt. Um wenig Platz zu beanspruchen, Kosten zu sparen und das System übersichtlich zu gestalten, sind möglichst wenige Eingabetasten und Anzeigen zu installieren. Diese Vorgaben führen zur Verwendung von Softkeys und Menüführungen.

Die Gestaltung einer Menüführung ist vor allem deshalb von Bedeutung, weil der Benutzer anfänglich eine ausführliche Anleitung durch das System benötigt und auch akzeptiert. Mit zunehmender Kenntnis des Systems nimmt jedoch der Wunsch zu, Zwischenstufen zu überspringen, weil diese dem Benutzer inzwischen geläufig sind und den Ablauf verzögern. Derartige Probleme treten bei allen Dialogen zwischen Mensch und Maschine auf und lassen sich nicht allgemeingültig, sondern nur am Objekt lösen [33].

Die bisher genannten Anforderungen legen die Verwendung einer universellen, möglichst grafikfähigen Anzeige im unmittelbaren Blickfeld des Fahrers nahe. Auf einer solchen Anzeige lassen sich per Programm, also ohne mechanische Änderungen, beliebige Schriftzeichen und Bilder in unterschiedlicher Größe und Form darstellen. Dadurch ist die gleiche Anzeige auf verschiedenen Fahrzeugmodellen einsetzbar. Gleichzeitig könnte eine Reihe der heute verwendeten Anzeigen und Signalleuchten entfallen. Es ist durchaus denkbar, die universelle Anzeige durch eine nur für Schriftzeichen und Ziffern geeignete Anzeige mit entsprechenden Ein- und Ausgabeelementen zu ergänzen. Diese muß nicht im unmittelbaren Blickfeld des Fahrers angeordnet werden, sondern kann im Blick- und Greifbereich des Fahrers ihren Platz finden.

Derzeit gibt es noch keine grafikfähige Anzeige, die ohne Einschränkungen für den Einsatz auf landwirtschaftlichen Fahrzeugen geeignet ist. Wegen ihres guten Kontrastes bei großer Helligkeit, also beispielsweise bei direktem Sonneneinfall, besteht für Flüssigkristallanzeigen eine gewisse Präferenz. Daneben sind aber noch Elektrolumineszenz- und Plasmaanzeigen denkbar.

Alle diese Anzeigen werden bereits heute für graphische Darstellungen in Rechnern verwendet. Für Taschenfernseher sind derzeit farbige Flüssigkristalldisplays in der Entwicklung und Erprobung. Einfarbige sind bereits auf dem Markt. Da diese Displays für Fernsehgeräte — also für Massenartikel — entwickelt werden, ist mit vergleichsweise niedrigen Preisen für Displays und Ansteuerung zu rechnen.

## 4. Beispiel

Bild 5 zeigt, wie die Anzeige eines Fahrerinformationssystems aussehen könnte. Die Anzeige selbst besteht aus einem Flüssigkristalldisplay von 128 x 256 Bildpunkten. Auf der linken Seite des Displays ist das Motorkennfeld dargestellt, wobei es wichtig erscheint, daß hier Größen verwendet werden, die dem Landwirt geläufig sind, nämlich: Leistung, Drehzahl und stündlicher Kraftstoffverbrauch. In das Kennfeld mit Linien konstanten stündlichen Kraftstoffverbrauchs wird in Form eines Quadrates der aktuelle Betriebspunkt eingeblendet. Er kennzeichnet die vom Motor abgegebene Leistung und Drehzahl. Außerdem wird der über das Modell errechnete Betriebspunkt für den optimalen Motorzustand durch ein Rechteck bei gleicher Drehzahl dargestellt.

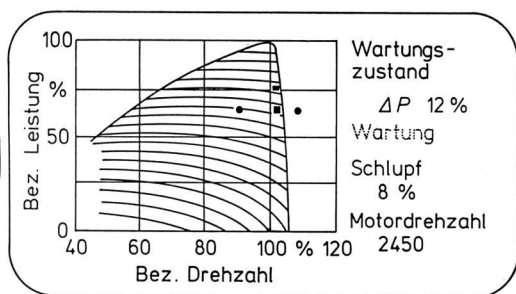
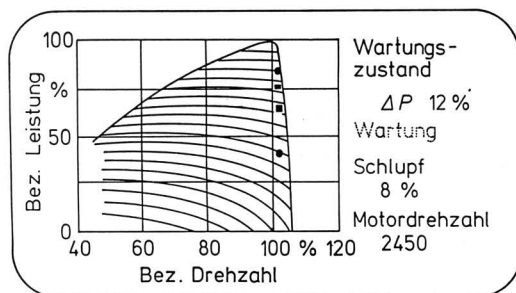
In einwandfreiem Betriebszustand des Motors decken sich beide Symbole. Je schlechter aber der Betriebszustand des Motors ist, umso größer wird der Abstand zwischen den Punkten. Entsprechend der Konzeption des Kennfeldes ist der Abstand ein Maß für

die Leistungsdifferenz bei gleichem stündlichen Kraftstoffverbrauch, der nur beim Symbol für den optimalen Motor abzulesen ist. Der Wert der Leistungsdifferenz (der Wirkungsgradänderung) wird im rechten Teil des Displays ( $\Delta P = 12\%$ ) angezeigt. Bei Überschreiten eines vorgegebenen Grenzwertes wird zusätzlich eine Warnung eingeblendet, wie hier durch den punktierten Schriftzug "Wartung" angedeutet. Da dieses System sämtliche Defekte am Motor erfasst, die zu einer Verschlechterung des Wirkungsgrades führen, ist es auch geeignet, den Effekt einzelner Wartungsmaßnahmen, beispielsweise der Reinigung des Luftfilters, quantitativ zu beurteilen.

Die Auslastung als ein wichtiges Kriterium zur Erzielung einer maximalen Flächenleistung läßt sich unmittelbar aus der Lage des Betriebspunktes im Motorkennfeld ablesen. Zusätzlich wird der auftretende Schlupf als Zahlenwert eingeblendet und ebenso die Motor- oder Zapfwellendrehzahl. Um den Fahrer bei der Wahl des Ganges zu unterstützen, errechnet das System die Lage der Betriebspunkte für den Betrieb im nächstkleineren und im nächstgrößeren Gang und zeigt diese an. Das kann für eine konstante Drehzahl geschehen (Bild 5), z.B. bei Zapfwellenarbeiten, oder für eine konstante abgegebene Leistung, Bild 6.

Daß während des Betriebs wichtige Betriebsgrößen des Motors, wie Kühlmitteltemperatur, Ölstand und Öldruck usw. überwacht werden, ist selbstverständlich. Angezeigt werden die Werte nur, wenn der Fahrer sie abrufen oder bei Überschreitung der vorgegebenen Grenzwerte. Die oben dargestellte Anzeige wird dann durch eine entsprechende Warnung überschrieben, z.B. indem auf der gesamten Bildfläche der Schriftzug "Öldruck" im Wechsel mit dem numerischen Wert (z.B. "0,8 bar") dargestellt wird.

Für Eingaben durch den Fahrer befindet sich eine Zeile von Softkeys unterhalb des zentralen Displays. Die augenblickliche Bedeutung der Tasten wird in einer gesonderten Schriftzeile eingeblendet. Ergonomisch günstiger kann eine Trennung der Ein- und Ausgabe-Einheit von dem zentralen Display sein [34].



**Bild 5 und 6.** Display eines Fahrerinformationssystems mit dem Drehzahl-Leistung-Kennfeld mit Linien konstanten stündlichen Kraftstoffverbrauchs und weiteren Anzeigen zur Einsatzoptimierung.

- momentaner Betriebspunkt des Motors
- aus dem Kraftstoffverbrauch ermittelter Betriebspunkt des optimal eingestellten Motors
- Betriebspunkte im nächstkleineren bzw. nächstgrößeren Gang bei konstanter Drehzahl (Bild 5) und konstanter abgegebener Leistung (Bild 6)

## 5. Zusammenfassung

Modellrechnungen zeigen, daß die flächenbezogenen Kosten umso geringer werden, je besser die Leistungsfähigkeit von Schlepper und Gerät genutzt wird. Andererseits lassen Untersuchungen in der Praxis erkennen, daß die Schlepperleistung auch bei Arbeiten mit hohem Leistungsbedarf nur selten voll genutzt wird. Soweit die unzureichende Auslastung auf mangelnde Information des Fahrers zurückzuführen ist, könnte ein Fahrerinformationssystem dazu dienen, den Schleppereinsatz unter Berücksichtigung der jeweils gegebenen Bedingungen wirtschaftlicher zu gestalten.

Durch Fortschritte in der Elektronik, insbesondere in der Entwicklung von Sensoren, wird es heute möglich, Informationen über eine große Zahl von Betriebsgrößen zu gewinnen und dem Fahrer anzuzeigen. Damit gewinnt die Auswahl und sinnvolle Aufarbeitung der Informationen an Bedeutung.

Es werden hier die Möglichkeiten zur Ermittlung der aktuellen Motorleistung eingehend dargestellt. Zur praxisnahen Information des Fahrers wird vorgeschlagen, auf dem Display des Informationssystems die aktuelle Motorleistung in einem Diagramm anzugeben, das die Flächenleistung über der Motordrehzahl zusammen mit Linien gleichen stündlichen Kraftstoffverbrauchs darstellt. Die Angabe des Betriebspunktes für den optimal eingestellten Motor (bei gleichem Kraftstoffverbrauch und gleicher Drehzahl) im selben Kennfeld macht es möglich, Verschlechterungen im Wirkungsgrad des Motors zu erkennen und durch gezielte Wartungsarbeiten abzustellen. Eine Berechnung und Anzeige der Betriebspunkte für den nächsthöheren und nächstniedrigeren Gang erleichtert die Gangwahl.

### Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [ 1 ] *Zach, M. u. H. Steinkampf:* Sprit sparen bei der Bodenbearbeitung und Bestellung. Agrar-Übersicht Bd. 31 (1980) Nr. 1, S. 12/26.
- [ 2 ] *Pang, S.N., G.C. Zoerb u. G. Wang:* Tractor monitor based on indirect fuel measurement. Trans. ASAE Bd. 28 (1985) Nr. 4, S. 994/98.
- [ 3 ] *Welschhof, G.:* Der Ackerschlepper, Mittelpunkt der Landtechnik. VDI-Bericht Nr. 407, S. 11/17. Düsseldorf: VDI-Verlag 1981.
- [ 4 ] *Biller, R.H.:* Einsatzzeiten von Schleppern auf Großbetrieben. Landtechnik Bd. 36 (1981) Nr. 1, S. 19/21.
- [ 5 ] *Auernhammer, H.:* Einsatzdaten größerer Ackerschlepper – Ergebnisse einer Erhebung. Landtechnik Bd. 38 (1983) Nr. 11, S. 458/63.
- [ 6 ] *Olfe, G. u. H. Schön:* Einsatzzeiten von Schleppern bei unterschiedlichen betrieblichen Verhältnissen. Intern. Tagung Landtechnik Braunschweig, 10./11. Nov. 1983.
- [ 7 ] *Kutzbach, H.D. u. H. Schrogl:* Kraftstoffverbrauch und Auslastung von Ackerschleppern – Ergebnis einer Umfrage in Baden-Württemberg. Landtechnik Bd. 36 (1981) Nr. 3, S. 123/27.
- [ 8 ] *Jahns, G. u. H. Steinkampf:* Einflußgrößen auf Flächenleistung und Energieaufwand beim Schleppereinsatz. Grundle. Landtechnik Bd. 32 (1982) Nr. 1, S. 20/27.
- [ 9 ] *Ohrmann, J., W.E. Larsen u. L.R. Erickson:* Four-wheel drive tractors: a field evaluation. Agr. Engineering Bd. 61 (1980) Nr. 12, S. 17/18.
- [ 10 ] Anonym: Optimal fahren – Diesel sparen. Agrartechnik international Bd. 59 (1980) Nr. 10, S. 16/17.
- [ 11 ] *Bonfig, R.:* Kraftstoffsparen beim Schlepperfahren. DLG-Mitteilungen Bd. 95 (1980) Nr. 19, S. 1101.
- [ 12 ] N.N.: Brandstoffbesparing door goed onderhoud van de trekker. Landbouwmecanisatie Bd. 33 (1982) Nr. 1, S. 33/36.

- [ 13 ] Schimmel, J. u. H. Hulla: Einsatzoptimierung von Ackerschleppern durch elektronische Fahrerinformation. Grundl. Landtechnik Bd. 33 (1983) Nr. 1, S. 5/10.
- [ 14 ] Mertins, K.-H.: Möglichkeiten der Bestimmung und Information des Motorbetriebsverhaltens. Intern. Tagung Landtechnik Braunschweig, 5./6. Nov. 1981.
- [ 15 ] Bartels, M.: Elektronik im Kraftfahrzeug: VDI stellt neueste Entwicklungen vor. Automobiltechn. Z. — ATZ Bd. 85 (1983) Nr. 2, S. 77/80.
- [ 16 ] Schuh, W.: Impulsverfahren für Verdrehmessungen an umlaufenden elastischen Wellen. Werkstatt und Betrieb Bd. 91 (1958) H. 3, S. 132/36.
- [ 17 ] Kreuzer, M.: Vergleichende Betrachtung verschiedener Schaltungsarten für das Messen mit Dehnungsmeßstreifen. Hottinger-Baldwin Meßtechnik GmbH, Darmstadt.
- [ 18 ] Winterhoff, H. u. E.A. Heidler: Berührungslose Drehmomentenmessung. Internationale Fluggeräte und Motoren GmbH, Weinheim.
- [ 19 ] Fischer, J.: Untersuchung indirekter Meßmethoden zur Ermittlung des Motordrehmomentes bei Dieselmotoren. Grundl. Landtechnik Bd. 35 (1985) Nr. 3, S. 71/76.
- [ 20 ] Load Monitor, Ford Werke AG.
- [ 21 ] •Ricardo, H.R.: Der schnellaufende Verbrennungsmotor. 3. Aufl. Berlin/Heidelberg: Springer 1954.
- [ 22 ] Ribbens, W.B.: A Non-Contacting Torque Sensor for the Internal Combustion Engine. SAE-Paper 810155, Warrendale 1981.
- [ 23 ] Clark, J.H. u. J.R. Gillespie: Development of a tractor performance meter. ASAE-Paper 79-1616, St. Joseph 1979.
- [ 24 ] Pierburg, Düsseldorf.
- [ 25 ] Coenenberg, H.H.: Zählverfahren für rauhe Einsatzbedingungen. Landt. Forschung Bd. 8 (1958) H. 6, S. 152/57.
- [ 26 ] Ryan, J.J.: Die automatische Regelung stufenloser Schleppergetriebe. Landt. Forschung Bd. 18 (1970) H. 5, S. 125/31.
- [ 27 ] Drexl, H.J.: Ein Beitrag zur Leistungsübertragung von Ackerschleppern bei schwerem Zug. Diss. TU Berlin, 1970.
- [ 28 ] Lindecke, B.: Auslastungsgrad der Antriebsmotoren von schweren Fahrladern. Kali und Steinsalz Bd. 7 (1978) H. 6, S. 223/33.
- [ 29 ] Mischke, A. u. G. Fränkle: Elektronische Dieselregelung EDR für Nutzfahrzeuge. Automobiltechn. Z. — ATZ Bd. 85 (1983) Nr. 9, S. 539/48.
- [ 30 ] Schwarz, H.: Elektronische Motorsteuerung. Vortrag VDI-Arbeitskreis Fahrzeugtechnik, Braunschweig 30.1.1986.
- [ 31 ] Kipp, C. u. E. Bergmann: Die Abgastemperatur als Maß für die Motorauslastung und den Kraftstoffverbrauch von Dieselmotoren. Grundl. Landtechnik Bd. 35 (1985) Nr. 5, S. 170/76.
- [ 32 ] Bethe, K.: Zur Situation auf dem Sensor-Markt. Regelungstechnische Praxis — rtp Bd. 26 (1984) Nr. 2, S. 51/55.
- [ 33 ] Heinzl, J.: Entwicklungsmethodik für Geräte mit Steuerung durch Mikroelektronik. 42. Intern. Tagung Landtechnik, Neu-Ulm, 25./26. Okt. 1984.
- [ 34 ] Jahns, G. u. H. Speckmann: Ein Bordcomputerkonzept für Schlepper und angekoppelte Geräte zur Optimierung landwirtschaftlicher Produktionsprozesse. Grundl. Landtechnik Bd. 35 (1985) Nr. 2, S. 47/54.

---

## Notizen aus Forschung, Lehre, Industrie und Wirtschaft

---

### Betriebseigenschaften von Ackerschlepperreifen in Katalogform — eine Datensammlung

Der Gesamtwirkungsgrad von Ackerschleppern und damit letztlich auch der Kraftstoffverbrauch und Arbeitszeitbedarf ist in entscheidendem Maße von den Betriebseigenschaften der Ackerschlepperreifen abhängig. Die wesentlichen Kenngrößen dieser Betriebseigenschaften, vor allem für die zwischen Reifen und Fahrbahn auftretenden Verluste, sind Schlupf-, Rollwiderstands- und Triebkraftbeiwert. Diese Kenngrößen sind nicht nur von der Konstruktion des Reifens selbst, sondern auch in hohem Maße von den jeweiligen Einsatzbedingungen abhängig.

Unter praktischen Einsatzbedingungen gemessene Betriebseigenschaften bilden daher eine wichtige Grundlage für die richtige Auswahl von Ackerschlepperreifen durch den Landwirt und Schlepperhersteller einerseits sowie für die Weiterentwicklung der Ackerschlepperreifen. So ermöglichen sie z.B. quantitative Vergleiche unterschiedlicher Reifen unter gleichen Einsatzbedingungen.

Die Ergebnisse langjähriger Messungen der Betriebseigenschaften von Ackerschlepperreifen unter verschiedensten Einsatzbedingungen wurden datenverarbeitungsgerecht aufgearbeitet, mittels Ausgleichsfunktionen beschrieben, quantifiziert und systematisch geordnet in Form eines Kataloges\*) vorgelegt. Das Bild zeigt exemplarisch Ergebnis und Beschreibung eines der ca. 800 Einsatzversuche.

Den Ergebnissen ist ein kurzer Überblick über die Theorie der Zugkraft- und der Leistungsübertragung, eine Darstellung der Versuchsdurchführung und Meßvorrichtung sowie die Vorgehensweise bei der numerischen Beschreibung der Betriebseigenschaften von Ackerschlepperreifen vorangestellt. Die Darstellung dieser methodischen Einzelheiten soll es dem interessierten Leser ermöglichen, den Gültigkeitsbereich der vorliegenden Ergebnisse und deren Verwendbarkeit im Rahmen seiner speziellen Fragestellung sicher zu beurteilen.

Da sowohl die Ausgangsdaten für die numerische Beschreibung als auch die Ergebnisse in datenverarbeitungsgerechter Form aufgearbeitet und gespeichert wurden, sind die Voraussetzungen für eine Einbeziehung dieser Ergebnisse in Simulationsmodelle und für weitergehende quantitative Analysen einzelner Einflußgrößen gegeben.

---

\*) Jahns, G. u. H. Steinkampf: Betriebseigenschaften von Ackerschlepperreifen in Katalogform — eine Datensammlung. Institutsbericht 125/1985 des Instituts für Betriebstechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.