

# Aspekte der Automatisierung von Traktor-Bodenbearbeitungsaggregaten

Dipl.-Ing. V. Lindemann/Dipl.-Ing. H. Beckmann

Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

## Verwendete Formelzeichen

$k$	Bodenwiderstand
$k_0$	mittlerer Bodenwiderstand auf der Bezugsfläche
$\Delta k$	Bödenwiderstandsänderung
$t$	Zeit
$\kappa$	Kraftschlußbeiwert
$\kappa_0$	mittlerer Kraftschlußbeiwert auf der Bezugsfläche
$\Delta \kappa$	Kraftschlußbeiwertsänderung
$\sigma$	Schlupf
$\sigma_{opt}$	Schlupf für max. Flächenleistung

## 1. Stand

Auch auf dem Gebiet der mobilen Landtechnik ist unverkennbar, daß die Erzeugnisse mit steigendem Anteil am Gesamtwert Elektronikausrüstungen zur Realisierung automatisierungstechnischer Funktionen aufweisen. Die bisherige Entwicklung der Automatisierungstechnik im Maschinenbau deutet mit ihrem erreichten Ziel- und Funktionsniveau die Möglichkeiten an, die für die mobile Landtechnik noch auszuschöpfen sind. Entwicklung bzw. Einführung von Automatisierungslösungen sind unabhängig vom Einsatzfall durch zwei Ziele motiviert:

- Steigerung der Effektivität
- Gewährleistung der Betriebssicherheit.

Wesentliche Effektivitätssteigerungen in der Landwirtschaft, vor allem der Pflanzenproduktion, die bisher vor allem durch die Entwicklung der Mechanisierungsmittel gesichert wurden, sind perspektivisch durch die gezielte Anwendung der Mikroelektronik in Form von Automatisierungslösungen zu realisieren [1]. Effektivitätssteigerung bedeutet für den Traktoreinsatz in der Bodenbearbeitung, daß die Flächenleistung zu steigern und der spezifische DK-Verbrauch zu senken ist. Neben der Arbeitsqualität sind Flächenleistung und DK-Verbrauch die wesentlichen Zielfunktionen für den Einsatz des Traktor-Bodenbearbeitungsaggregats (TBA) und damit auch für entsprechende Automatisierungslösungen für TBA.

Die Entwicklung von Automatisierungslösungen an TBA erweist sich aus verschiedenen Gründen als problematisch:

- Die Zielfunktionen gehören verschiedenen Prozessebenen an.
- Arbeitsqualität, Flächenleistung und DK-Verbrauch sind von traktor-, pflug- und bodenspezifischen Parametern abhängig und nicht unabhängig voneinander beeinflussbar.
- Entscheidende Größen sind der meßtechnischen Erfassung schwer zugänglich bzw. derzeit unzugänglich.
- An vorhandenen TBA ist die Anzahl der beeinflussbaren Größen gering (im Gegensatz zur Vielzahl der Einflußgrößen und -faktoren auf die Leistungsfähigkeit des Aggregats [2]).
- Die Prozeßkenntnis im Hinblick auf die Automatisierung ist unvollständig (z. B. Kenntnis über Charakter und Ausprägung von Störgrößen).

Trotz der bestehenden Schwierigkeiten ist der Trend zur Automatisierung am Traktor

und am TBA international deutlich sichtbar. Eine große Anzahl von Veröffentlichungen hat sich in den letzten Jahren mit verschiedenen Problemen der Leistungsfähigkeit von Traktoren und TBA und deren Ausschöpfung aus unterschiedlicher Sicht befaßt und so Automatisierungslösungen vorbereitet (in Form prozeßanalytischer Vorleistung) bzw. gezielt gefordert. Neben der Diskussion fahrmechanischer Zusammenhänge [3, 4], von Problemen der Leistungsumwandlung [5, 6] und der Energieeinsparung [7, 8, 9, 10] sind analytische Arbeiten zum Arbeitszeit- und Energiebedarf [11, 12, 13, 14, 15] sowie Veröffentlichungen über Meßwerterfassungssysteme [16], Fahrerinformationssysteme [17, 18, 19, 20] und Bordcomputerkonzepte [21] zu nennen.

## 2. Problemstellung

Aus Untersuchungen an der TU Dresden [22] ist bekannt, daß die Motorleistung des Traktors bei den verschiedenen Arbeitsgängen in der Pflanzenproduktion nicht ausgeschöpft wird, daß selbst bei der Grundbodenbearbeitung die mittlere Auslastung kleiner als 80% ist. Teilweise wurden in anderen Veröffentlichungen für die Auslastung beim Pflügen noch geringere Werte ermittelt [11]. Die schwankende Motorauslastung als Folge des realen Bearbeitungsprozesses, d. h. der Wechselwirkungen zwischen Traktor, Pflug und Boden, ist als wesentliche Prozeßeigenschaft bei der Konzeption einer Automatisierungseinrichtung für TBA zu berücksichtigen.

Zielstellung sei eine Automatisierungslösung, die es gestattet, das TBA unter der Zielfunktion maximaler Flächenleistung oder minimalen DK-Verbrauchs bei Erfüllung der Qualitätsanforderungen an den Arbeitsgang Pflügen zu betreiben.

Um diese Zielstellung zu verwirklichen, ist das TBA bezüglich seines augenblicklichen energetischen Zustands (Betriebszustand) zu erfassen und im Hinblick auf Reserven und Möglichkeiten zu deren Ausschöpfung zu beurteilen. Dazu ist eine Klassifizierung der Betriebszustände zu entwickeln, die sowohl Aussagen über das „zugriffsfähige Einsparungspotential“ (an Arbeitszeit und/oder DK) am konkreten Aggregat zuläßt als auch eine Grundlage für die Schaffung eines Algorithmus zur Beeinflussung des Aggregats darstellt.

## 3. Lösungsweg

Die Aufgabe wird durch den Entwurf einer Betriebszustandsklassifizierung gelöst, die auf vier Betriebszustandstypen führt. Die Betriebszustandstypen werden qualitativ als Grenzfälle der Betriebsweise des TBA mit charakteristischen Merkmalen verstanden. Die Betrachtung geht von folgenden Annahmen aus:

- Das TBA wird unter Berücksichtigung der Konstruktionsparameter für Traktor und Pflug, der agrotechnischen Bearbeitungsanforderungen bezüglich Arbeitstiefe und

Qualität und bei Unterstellung bestimmter Eigenschaften des zu bearbeitenden Schlages gebildet.

- Mit der Aggregatbildung wird eine Auslastungsannahme und Flächenleistungserwartung verbunden.
- Der Boden weist mit dem Aggregat zwei Wechselwirkungsbereiche auf: einen ersten mit dem Pflug in Form des Bodenwiderstands  $k$ , dargestellt als

$$k = k_0 + \Delta k,$$

einen zweiten mit dem Fahrwerk des Traktors in Form des Kraftschlußbeiwerts  $\kappa$ , dargestellt als

$$\kappa = \kappa_0 + \Delta \kappa.$$

- Bei der Aggregatbildung kann nur der Mittelwert (exakt: der vermutliche bzw. angenommene Mittelwert) für Bodenwiderstand  $k_0$  und Kraftschlußbeiwert  $\kappa_0$  zugrunde gelegt werden.

Wird davon ausgegangen, daß das Aggregat nur für eine Parameterkombination von Geschwindigkeit, Schlupf und Arbeitsbreite bei gegebenen Bedingungen für Traktor (Betriebslast und Nennleistung), Pflug (Konstruktion, Arbeitstiefe) und Boden (Bodenwiderstand und Oberflächenzustand) die maximale Flächenleistung erreicht [16, 17, 18] und betrachtet man diese Parameterkonstellation des TBA als angepaßten Zustand, so lassen sich folgende Aussagen ableiten:

- Bedingt durch die stufenweise Verstellbarkeit von Arbeitsbreite und Geschwindigkeit am TBA, gibt es in bezug auf die zu bearbeitenden Flächen nur eine begrenzte Anzahl von Fällen, in denen der angepaßte Zustand unter den gegebenen Stellbedingungen erreichbar ist [23, 24].

- Da die maximale Flächenleistung (bezogen auf ein bestimmtes Auslastungsniveau) mit der jeweils ermittelten Parameterkombination für Geschwindigkeit und Arbeitsbreite nur für die angenommenen Bodenverhältnisse auch tatsächlich erreicht wird, ist zu erwarten, daß die realisierte Flächenleistung, bedingt durch Abweichungen der realen Bodenverhältnisse von der „Annahme“ bei der Aggregatbildung, kleiner als die maximale Flächenleistung ist. Die Abweichungen können folgende Ursachen haben:

*Erstens:* Die Annahme über den mittleren Bodenwiderstand bzw. den mittleren Kraftschluß war von vornherein fehlerhaft.

*Zweitens:* Bodenwiderstand und Kraftschluß unterliegen zeitlichen und örtlichen Änderungen:

- Die zeitliche Veränderung der Bodenfeuchte führt zu einer zeitlichen Änderung von Bodenwiderstand und Kraftschlußbeiwert:

$$k(t), \kappa(t).$$

- Die örtliche Veränderung beinhaltet  $k(x)$  und  $\kappa(x)$  infolge Inhomogenitäten des Bodens auf einem Schlag und Veränderungen durch Schlagwechsel. Bodenwiderstand und Kraftschlußbeiwert sind dann

stationäre Kraftschlußverhältnisse ( $\kappa(\sigma) \approx \text{const.}$ )	$k(t_2) < k(t_1)$ Bodenwiderstand sinkt Zugkraftreserve	1. 2. Aggregat im angepaßten Zustand	$k(t_2) > k(t_1)$ Bodenwiderstand steigt Zugkraftdefizit
	· Arbeitsbreitenänderung · Gangwechsel		· Arbeitsbreitenänderung · Gangwechsel · Unterlaststufe
stationäre Bodenwiderstandsverhältnisse ( $k \approx \text{const.}$ )	· Achslaständerung · Arbeitsbreitenänderung (Gangwechsel)	3. 4.	· Gangwechsel · Arbeitsbreitenänderung · Achslaständerung
	$\kappa(t_2) < \kappa(t_1; \sigma_{\text{opt}})$ $t_2: \sigma > \sigma_{\text{opt}}$ Kraftschlußdefizit		$\kappa(t_2) > \kappa(t_1; \sigma_{\text{opt}})$ $t_2: \sigma < \sigma_{\text{opt}}$ Kraftschlußreserve

Bild 1  
Betriebszustandstypen

für einen konkreten Schlag wie folgt darstellbar:

$$k = k_0(t, \text{Schlag}) + \Delta k(x, t)$$

$$\kappa = \kappa_0(t, \text{Schlag}) + \Delta \kappa(x, t)$$

Aus der stufenweisen Einstellbarkeit von Geschwindigkeit und Arbeitsbreite und aus den Differenzen zwischen den Annahmen bei der Aggregatbildung und den tatsächlichen Bearbeitungsbedingungen ergeben sich bei der Beurteilung des Betriebszustands des Aggregats vom angepaßten Zustand (Optimum) in charakteristischer Weise abweichende Betriebszustände (Bild 1).

Entsprechend dem Charakter der verursachenden Größen können diese vier Betriebszustandstypen entweder ausgehend vom angepaßten Zustand zeitweilig oder von vornherein als „Vorzugslage“ auftreten. Diese beiden Möglichkeiten führen zu Strategievarianten bei der Beeinflussung des TBA, um den angepaßten Zustand zu realisieren, wobei das generelle Ziel der Einflußnahme auf das TBA die ständige bzw. zeitweilige Anpassung (in diesem Fall mit steigendem Zeitanteil in angepaßtem Zustand) ist. Bild 1 verdeutlicht auch die Stellmöglichkeiten, die im jeweiligen Betriebszustand bestehen, um das Aggregat in den angepaßten Zustand zu führen.

#### 4. Zusammenfassung

Der aktuelle Betriebszustand von Traktor-Bodenbearbeitungsaggregaten ist anhand von vier Grenzfällen vergleichend beurteilbar. Modellrechnungen zu Betriebszuständen

außerhalb des angepaßten Zustands und deren „Korrektur“ durch Simulation der Rückführung des Aggregats in den angepaßten Zustand weisen ein nennenswertes Einsparungspotential nach.

#### Literatur

- [1] Eifer, R.: Technisch-technologische Probleme rationeller Energieanwendung in der Bodenbearbeitung. agrartechnik, Berlin 30 (1980) 11, S. 511–514.
- [2] Schulz, H.; Queitsch, K.: Methoden zur energetischen Analyse von Maschinen-Traktor-Aggregaten. agrartechnik, Berlin 35 (1985) 2, S. 88–90.
- [3] Hofmann, K.: Fahrmechanischer Vergleich verschiedener Traktorkonstruktionen. TU Dresden, Habilitation 1969.
- [4] Kutzbach, H. D.: Ein Beitrag zur Fahrmechanik des Ackerschleppers. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 32 (1982) 2, S. 41–48.
- [5] Steinkampf, H.: Probleme der effizienten Umwandlung der Motorleistung in Zugleistung bei leistungsstarken Schleppern. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 24 (1974) 1, S. 14–20.
- [6] Drexler, H.-J.: Ein Beitrag zur Leistungsübertragung von Ackerschleppern bei schwerem Zug. TU Berlin (West), Dissertation 1970.
- [7] Hofmann, K.: Eine Möglichkeit der Kraftstoffeinsparung beim Einsatz des Traktors ZT 300. agrartechnik, Berlin 32 (1982) 10, S. 450–452.
- [8] Steinkampf, H., u. a.: Möglichkeiten der Energieeinsparung beim Schleppereinsatz, insbesondere der Bodenbearbeitung. Landbauforschung, Völknerode (1979) Sonderheft 49, S. 42–55.

- [9] Zeltner, E.: Energiesparen beim Schleppereinsatz. die landtechnische Zeitschrift, München 32 (1981) 2, S. 128–132.
- [10] Sitkei, G.: Einsparen von Energie durch Optimierung des Systems „Boden-Schlepper-Gerät“. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 33 (1983) 3, S. 65–68.
- [11] Jahns, G.; Steinkampf, H.: Einflußgrößen auf Flächenleistung und Energieaufwand beim Schleppereinsatz. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 32 (1982) 1, S. 20–27.
- [12] Stroppel, A.: Energie- und Arbeitszeitbedarf für gezogene Geräte der Bodenbearbeitung bei unterschiedlicher Schleppermotorauslastung. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 30 (1980) 4, S. 135–139.
- [13] Schäfer, W.: Theoretische Untersuchungen zur optimalen Kombination von Allradsschleppern und gezogenen Geräten zur Bodenbearbeitung. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 33 (1983) 1, S. 20–28.
- [14] Queitsch, K.; Schulz, H.; Kobelt, P.: Energetische Analyse am Maschinen-Traktor-Aggregat bei Zugarbeit. agrartechnik, Berlin 34 (1984) 10, S. 437–440.
- [15] Kalk, W.-D.; Bosse, O.: Betrachtungen zu optimalen Geschwindigkeiten beim Pflügen. agrartechnik, Berlin 31 (1981) 8, S. 373–376.
- [16] Biller, R. H.: Aufbau und Einsatz eines Datenerfassungssystems für Ackerschlepper. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 35 (1985) 4, S. 97–103.
- [17] Schimmel, J.; Hulla, H.: Einsatzoptimierung von Ackerschleppern durch elektronische Fahrerinformation. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 33 (1983) 1, S. 5–10.
- [18] Mertins, K.-H.: Zum Stand der Entwicklung von Fahrerinformationssystemen bei Ackerschleppern. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 34 (1984) 4, S. 163–169.
- [19] Mertins, K.-H.: Theoretische und apparative Voraussetzungen zur Traktoreinsatzoptimierung mit Hilfe von Fahrerinformationssystemen. VDI-Zeitschrift, Düsseldorf (1984), 14/25.
- [20] Jahns, G.; Speckmann, H.: Fahrerinformation als Hilfsmittel der Optimierung beim Einsatz von Ackerschleppern. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 35 (1985) 6, S. 195–202.
- [21] Jahns, G.; Speckmann, H.: Ein Bordcomputerkonzept für Schlepper und angekoppelte Geräte zur Optimierung landwirtschaftlicher Produktionsprozesse. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 35 (1985) 2, S. 47–54.
- [22] Brunner, H.: Kraftstoffeinsparung durch optimale Fahrweise. agrartechnik, Berlin 34 (1984) 1, S. 32–34.
- [23] Sommerburg, H.: Effektivitätssteigerung durch optimale Zuordnung von Traktor und Bodenbearbeitungsgerät am Beispiel des Pfluges. agrartechnik, Berlin 35 (1985) 10, S. 446–449.
- [24] Stroppel, A.; Schäfer, W.: Maximierung der Schlagkraft beim Pflügen durch stufenlose Arbeitsbreitenverstellung. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 31 (1981) 6, S. 205–210.

A 4786

## Hinweis für unsere Leser im Ausland

Wir bitten alle Bezieher unserer Zeitschrift außerhalb der DDR, die Erneuerung des Abonnements für das Jahr 1987 rechtzeitig vorzunehmen. Die Zeitungsvertriebsstellen Ihres Landes finden Sie auf Seite 576.

Redaktion agrartechnik