

# Automatische Lenkung landwirtschaftlicher Maschinen mit optischem Sensor

Prof. Dr. sc. techn. L. Kollar, KDT/Dr.-Ing. K. Hartenstein, KDT

Dipl.-Ing. G. Lüth, Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Traktoren- und Dieselmotorenwerk Schönebeck

## 1. Problemsituation

Die Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion wird wesentlich durch die Automatisierung bestimmt. Dabei kommt der Automatisierung mobiler landwirtschaftlicher Maschinen für die Pflanzenproduktion besonders große Bedeutung zu. Die Probleme und Möglichkeiten der automatischen Lenkung mobiler Landmaschinen werden an der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg untersucht [1, 2, 3]. Von besonderem Interesse ist dabei die Orientierung des Mechanisators im Nahbereich (Entfernungen bis zu 10 m). Diese Entfernungen resultieren aus den technologisch möglichen Arbeitsbreiten der landwirtschaftlichen Maschinen und dem für das Lenken erforderlichen Vorhalt. Zur Orientierung im Nahbereich werden i. allg. markante Strukturen (z. B. Bearbeitungs-, Bestandsgrenzen, Pflanzenreihen) genutzt, die als Leitlinien dienen. Unter den bisher angewendeten Meßverfahren dominieren die mit berührenden Meßfühlern. Sie sind in ihrer Anwendbarkeit jedoch aus folgenden Gründen begrenzt:

- erfordern strukturell signifikante, mechanisch feste Meßobjekte
- können Pflanzenkulturen beschädigen
- unterliegen dem Verschleiß.

Berührungslose Meßprinzipie gestatten eine multivalente Nutzung. Speziell optische Meßprinzipie verfügen dabei über eine Reihe von Vorteilen.

Für die automatische Lenkung mobiler Landmaschinen sind neben entsprechenden Sensoren zur Erfassung der Leitlinien Geräte zur Informationsverarbeitung und -nutzung eine wesentliche Voraussetzung. Da die Stellantriebe mobiler Landmaschinen meist hydrostatisch betrieben werden, eignen sich als Stellglieder elektrohydraulische Proportionalwegeventile. In Verbindung mit einer elektronischen Steuereinheit können die Vorzüge moderner mikroelektronischer Baugruppen mit den Vorzügen der Hydraulik verbunden werden und Voraussetzungen für gute Regeleigenschaften schaffen. Für die Informationsverarbeitung werden verstärkt auch im mobilen Bereich Mikrorechner eingesetzt, die bei unveränderlicher Hardware die Möglichkeit bieten, Anpassungen an den konkreten Prozeß und an sich verändernde Bedingungen über die Software vorzunehmen. Dabei können kostengünstig auch völlig neue Regelstrategien realisiert werden. Für den Einsatz auf mobilen Landmaschinen wurde an der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg ein Einplatinenprozeßrechner auf der Basis eines Einchipmikrorechners entwickelt [2].

## 2. Kompaktsensor zur Informationsgewinnung

2.1. Anforderungen und Sensorkonzeption  
Randbedingungen, wie z. B. die perspekti-

visch multivalente Nutzbarkeit der Lösung und der Einsatz hochintegrierter Mikrorechner zur Informationsverarbeitung und -nutzung, begünstigen für die optisch-elektrische Wandlung die hochauflösenden mikroelektronischen CCD-Sensorelemente (ladungsgespeistes Bauelement). Sie sind im Hinblick auf die multivalente Nutzbarkeit wegen ihrer hohen Auflösung ausreichend flexibel sowie im Hinblick auf die Realisierung der Informationsverarbeitung mit Mikrorechner gut paßfähig zu den übrigen Teilen des Automatisierungsmittels.

Besondere funktionelle Anforderungen an den Sensor ergeben sich aus der hohen Dynamik des Meßsignals (1:300) infolge der Beleuchtungsänderungen im Tagesverlauf und bei wechselnder Bewölkung sowie aus dem Echtzeitbetrieb. Die damit erforderliche ständige Arbeitspunktoptimierung des Sensors sowie die Meßwertermittlung und -übergabe zur Informationsverarbeitung werden zweckmäßigerweise von einem Mikrorechner vorgenommen. Das dazu erforderliche Anwenderprogramm ist aufgabenspezifisch und wird in einem zum Mikrorechner gehörenden programmierbaren Lesespeicher abgelegt, wodurch die multivalente Nutzbarkeit des Sensors gesichert wird.

Neben der funktionellen Eignung des Sensors werden von der landwirtschaftlichen Praxis zuverlässiger Betrieb unter den rauen Umgebungsbedingungen auf mobilen Landmaschinen und konstruktive Einbindung in das Gesamtsystem der Landmaschine gefordert, was durch einen robust aufgebauten Kompaktsensor (Objektiv, Sensorelement, Ansteuer- und Auswertelektronik als Geräteeinheit zusammengefaßt) erreicht wird.

### 2.2. Aufbau und Funktionsweise

Ein an der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg gemeinsam mit dem VEB Traktoren- und Dieselmotorenwerk Schönebeck entwickelter CCD-Kompaktsensor wurde in seiner Grobkonzeption vorgestellt [4]. Er berücksichtigt mit folgenden Merkmalen die Bedingungen des Einsatzes auf mobilen Landmaschinen:

- kompakte und robuste Ausführung
- geringe Abmessungen und Masse
- staubgeschütztes Gehäuse
- Spannungsversorgung aus dem Bordnetz
- minimaler Bauelementeaufwand.

Die optische Abbildung des Meßobjekts auf das CCD-Sensorelement erfolgt über Objektive der „Practika“-Reihe mit Schraubanschluß oder der „Tevidon“-Reihe mit Bajonettanschluß. Für die vorliegende Aufgabe geeignete Objektivbrennweiten sind 35 bis 50 mm.

Der elektrisch-elektronische Teil enthält folgende Baugruppen (Bild 1):

- CCD-Sensorelement
- Meß- und Steuerrechner
- Vorverarbeitungssystem

- Aufbereitungssystem
- Stromversorgungssystem
- Inbetriebnahme- und Betriebsanzeige.

Konstruktions- und Schaltungsunterlagen sind in einer nachnutzungsfähigen technischen Dokumentation zusammengestellt [5].

Die von der Oberfläche des Meßobjekts reflektierte Lichtstrahlung wird über das Objektiv auf das CCD-Sensorelement L133C abgebildet und erzeugt an den 1024 zeilenförmig angeordneten optisch-elektrischen Wandlerelementen proportional der Beleuchtungsstärke und Belichtungszeit elektrische Ladungen. Diese werden zyklisch mit einem Transporttakt GT konstanter Frequenz seriell als ladungsproportionale Spannungsänderungen ausgegeben. Der jeweilige Beginn der Ausgabe wird durch einen zum Transporttakt synchronen Übertragungstakt GX bestimmt, so daß die Zeit zwischen zwei Übertragungstakten der jeweiligen Belichtungszeit entspricht. Die Spannungsänderungen werden aufbereitet, verstärkt, binärisiert, formatiert und von einem Meß- und Steuerrechner übernommen. Dieser ermittelt in Abhängigkeit von einem Anwenderprogramm schritt haltend (on-line) aus der aktuellen Datenfolge sowohl den Meßwert als auch einen Freigabetakt für die Erzeugung von Übertragungstakten zur Adaption der Belichtungszeit an Beleuchtungsänderungen. Die dazu erforderlichen Algorithmen sind aufgabenspezifisch ausgeführt und berücksichtigen Anteil sowie örtliche Verteilung der Daten mit L-Pegel der das Meßobjekt charakterisierenden aktuellen Datenfolge. Der Meßwert wird als serielles, paralleles und frequenzanaloges Signal der Informationsverarbeitung bereitgestellt.

### 2.3. Erprobung des Sensors

Der CCD-Kompaktsensor wurde speziell für die Erfassung des Verlaufs von Pflugfurchen erprobt [2, 3]. Dabei wurden zunächst Aussagen zur Auflösung bzw. zum erforderlichen Steuerbereich der Belichtungszeit gewonnen. Die funktionelle Eignung des Sensors zur Erfassung von Pflugfurchen wurde durch die Untersuchung folgender wichtigster Einflußgrößen des Meßobjekts und der einfallenden Lichtstrahlung (Prüffaktoren) auf das Prüfmerkmal „Binärbild des erfaßten Bodenausschnittes“ nachgewiesen:

- Feuchte
- Bewuchs
- Sonnenstand
- Bewölkung.

Aus den mit einer speziellen Versuchseinrichtung reproduzierbar durchgeführten Versuchen wurden heuristisch die Vorgaben für das aufgabenspezifische Anwenderprogramm zur Meßwertberechnung und Belichtungszeitsteuerung ermittelt. Der durch das Anwenderprogramm spezifizierte Sensor

wurde unter Berücksichtigung der derzeitigen gerätetechnischen Möglichkeiten zur Prozedatenerfassung und der Anforderungen zur Montage des Sensors am Traktor ZT 323 unter Praxisbedingungen erprobt. Dazu wurden zeitgleich dieselben Pflugfurchen von dem CCD-Kompaktsensor und einer erprobten elektromechanischen Tasteinrichtung [6, 7] erfaßt und miteinander verglichen. Im Ergebnis der Experimente wurden sowohl der aufgabenspezifische CCD-Kompaktsensor als auch Anbauort und Montageelement als geeignet eingeschätzt.

### 3. Betrachtungen zum Regelkreis

Die Leitlinie wird durch den optischen Sensor erfaßt (Bild 2). Durch die mechanische Kopplung des Sensors mit der Maschine überlagern sich die aus den Lenkbewegungen und Störeinflüssen resultierenden Veränderungen des Fahrkurses mit den Veränderungen der Lage der Leitlinie. Als zusätzliche Hilfsgröße wird der Winkel der gelenkten Räder aufgeschaltet, der mit Hilfe eines Lenkwinkelgebers gemessen wird. Optischer Sensor und Lenkwinkelgeber sind so ausgelegt, daß die gemessenen Signale noch im Sensor in direkt im Mikrorechnerregler verarbeitbare, digitale Signale gewandelt werden. Der Lenkregler, der als Softwarepro-

gramm einen digitalen Regler darstellt, hat die Aufgabe, ein Stellsignal an das Stellorgan auszugeben, daß entstandene Abweichungen des Fahrkurses der Maschine in bezug auf die Leitlinie ausgleicht. Dieses Stellsignal wird über einen speziell ausgelegten Leistungsverstärker dem Stellorgan zugeführt. Das Stellorgan ist ein modifizierter Block für die automatische Lenkung (Hersteller: VEB Kombinat ORSTA-Hydraulik), bestehend aus einem Proportionalweventil, einem Ventil mit ODER-Funktion und einem Druckdifferenzventil. Die Lenkeinrichtung läßt sich in den elektromechanischen Wandler (Proportionalmagnet) und den hydraulischen Verstärker (Steuerkolben und Hydroschwenktrieb bzw. Lenkzylinder) unterteilen. Die Position des Kolbenlängsschiebers (Vierkantenschieber) wird durch einen Positionssensor erfaßt und mit dem durch den Lenkregler vorgegebenen Sollwert verglichen, wobei die Differenz aus beiden Werten einem Positionssensor zugeführt wird. Die somit realisierte unterlagerte Regelung führt dazu, daß das Stellorgan nahezu proportionales Verhalten aufweist und eine gut Regeldynamik erreicht wird. Die Messung der Position des Steuerkolbens erfolgt frequenzanalog mit einer hohen Auflösung.

Alle Baugruppen des Prozeßrechners und

der Steleinrichtung wurden so ausgelegt, daß die Stromversorgung direkt aus dem Bordnetz erfolgen kann und sie gegen Verpolung geschützt sind. Die gewählte Form der Signalübertragung ermöglicht einen stör-sicheren Betrieb auf der mobilen Landmaschine. Das Konzept der Automatisierungseinrichtung ist so ausgelegt, daß die Kompatibilität zum in der Entwicklung befindlichen modularen Rechnersystem für mobile Maschinen des VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen gegeben ist.

### 4. Schlußfolgerungen und Ausblick

Neben der Versorgung mechanischer Tastvorrichtungen eignen sich besonders optische Sensoren in Form von CCD-Kameras als Meßfühler zur Erfassung von Leitlinien in Systemen der automatischen Lenkung. Der im Wissenschaftsbereich Automatisierung der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg entwickelte CCD-Kompaktsensor bietet gute Voraussetzungen für die Erfassung anderer Prozeßkenngrößen, wie z. B. Ährenhorizont, Bestandsdichte, Fahrtgeschwindigkeit. Die erarbeiteten Lösungen zum Prozeßrechner und zum Stellorgan können ebenfalls als universelle Lösungen betrachtet werden, wobei zu beachten ist, daß Sensoren, Aktoren und Rechnersoftware an entsprechende Prozeßbedingungen angepaßt werden müssen. Im Auftrag des VEB Traktoren- und Dieselmotorenwerk Schönebeck werden sich die weiterführenden Forschungsaufgaben hauptsächlich auf das automatische Lenken des Feldhäckslers konzentrieren.

Bild 1  
Blockschaltbild des  
CCD-Kompaktsensors

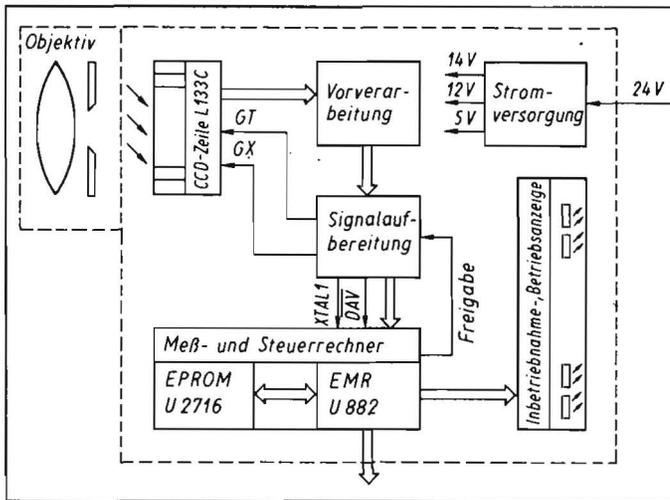
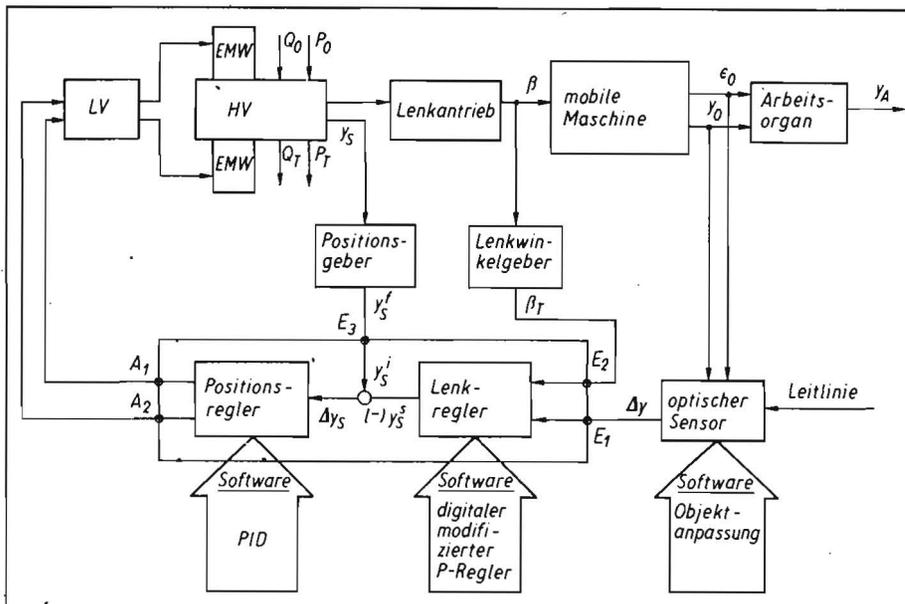


Bild 2  
Prinzipdarstellung der  
automatischen Lenkung  
mit optischem Sensor;  
LV Leistungsverstärker,  
EMW elektromechanischer  
Wandler, HV hydraulischer  
Verstärker



### Literatur

- [1] Kollar, L.: Untersuchungen der Eigenschaften mobiler landwirtschaftlicher Aggregate hinsichtlich der Automatisierung der Lenkung. Technische Universität Dresden, Dissertation B 1986.
- [2] Automatisierungseinrichtung zur Steuerung von Werkzeugen und Aggregaten. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Bericht G4 1988.
- [3] Lüth, G.: Untersuchung einer Pflugfurchen erfassenden optischen Meßeinrichtung zur automatischen Lenkung mobiler landwirtschaftlicher Aggregate. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Dissertation A 1988.
- [4] Ahrens, F.: Kompaktkameras mit Festkörpersensorelementen zur Steuerung von mobilen Aggregaten und Werkzeugen. agrartechnik, Berlin 38(1988)4, S. 160-163.
- [5] Lüth, G.; Brümmer, N.; Hoyer, H.: CCD-Linienkamera S. 133.1. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Technische Dokumentation 1988.
- [6] Entwicklung von Meß-, Regel- und Steleinrichtungen zur automatischen Lenkung von Traktoren. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Bericht A4 1984.
- [7] Patent DD 238 520 Meßeinrichtung zur berührenden Erfassung von Leitlinien mobiler Aggregate. Anmeldung: 1985. A 5744