

Zur automatischen Lenkung mobiler landwirtschaftlicher Aggregate mit großen Arbeitsbreiten und -geschwindigkeiten

Dr.-Ing. M. Gawendowicz, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

1. Einleitung

Die aus ökonomischen Gründen erforderliche Steigerung der Leistungsfähigkeit mobiler Aggregate führt zu immer größeren Arbeitsbreiten und/oder Arbeitsgeschwindigkeiten. Daraus ergeben sich u. a. Auswirkungen auf die Lenkung der mobilen Aggregate. Während zunächst die Verbesserung der Arbeitsbedingungen des Fahrers und die Stabilisierung der Betriebsparameter der Aggregate durch automatische Lenkhilfen im Vordergrund standen, wird unter den genannten Bedingungen die automatische Lenkung zunehmend zur Voraussetzung für einen ökonomischen Einsatz der Aggregate. Damit ist es notwendig, solche Verfahren der automatischen Lenkung mobiler Aggregate auszuwählen bzw. zu entwickeln, die den höheren Anforderungen genügen.

2. Auswahlgesichtspunkte

Eine Vielzahl der bekannt gewordenen Verfahren der automatischen Lenkung mobiler Aggregate wird in [1, 2] erläutert und kritisch bewertet. Für Verfahren, die während der Bearbeitung erzeugte, natürliche oder zusätzlich geschaffene Leitlinien als Führungsgröße verwenden, sind als erreichbare Grenzwerte für die Arbeitsbreite und -geschwindigkeit rd. 10 m bzw. 6 bis 8 km/h genannt worden. Die Ursache liegt hauptsächlich in der Übertragung der Regelabweichung auf die Führungsgröße des folgenden Arbeitsspiels. Bei großen Arbeitsbreiten werden Gier- und Rollbewegungen des Aggregats durch die geometrischen Bedingungen unzulässig auf den Meßfühler übertragen. Aus diesem Grund sind für große Arbeitsgeschwindigkeiten und -breiten als Führungsgrößen nur aggregatunabhängige reale Leitlinien oder virtuell vorgegebene Bewegungsbahnen geeignet (Tafel 1).

2.1. Aggregatunabhängige Leitlinien

Die charakteristischen Merkmale der Verfahren, die aggregatunabhängige reale Leitlinien als

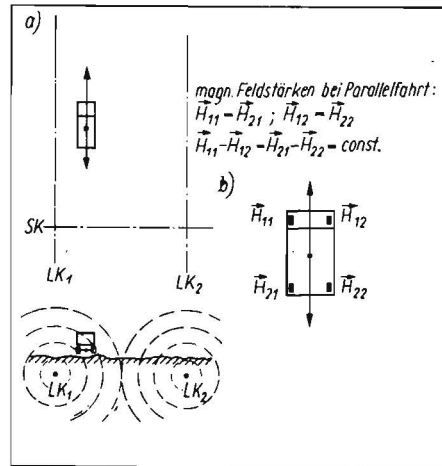


Bild 1. Schema der automatischen Lenkung mit Hilfe eines Leitkabels;
a) Anordnung des Leitkabels
b) Anordnung der Meßfühler auf dem Aggregat
LK Leitkabel, SK Steuerkabel

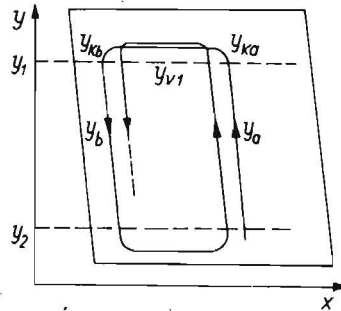


Bild 2. Vorgabe einer virtuellen Bewegungsbahn durch analytische Definition

Führungsgröße verwenden, sollen am Beispiel der automatischen Lenkung mit Hilfe eines Leitkabels dargestellt werden. Unter Ausnutzung des elektromagnetischen Feldes eines unterirdisch verlegten Leitkabels (Bild 1) ist die Führung des Aggregats über dem Kabel möglich. Die Messung der Feldstärkedifferenz ermöglicht die parallele Führung des Aggregats zum Leitkabel und unterschiedliche Leitkabelabstände oder Arbeitsbreiten der Aggregate [3]. Es ist jedoch nicht möglich, mit einem

Leitkabel die vollständige Bewegungsbahn vorzugeben, ohne dabei die universelle Anwendbarkeit für unterschiedliche oder mehrere Aggregate auszuschließen. Die automatische Lenkung kann sich deshalb nur auf die Arbeitsstellung des Aggregats beziehen. Dies gilt für alle in Tafel 1 genannten aggregatunabhängigen realen Führungsgrößen. Bei Verwendung von gerichteten Strahlungsfeldern kommt noch einschränkend hinzu, daß die Bewegungsbahn in der Arbeitsstellung nur geradlinig vorgebar ist. Somit ist unter diesen Bedingungen eine automatische Lenkung nur durch die Einführung verfahrensfremder Lösungen für den Wendevorgang möglich. Alle Verfahren mit unabhängigen realen Leitlinien erfordern ferner die Ausrüstung der landwirtschaftlichen Nutzfläche mit relativ umfangreichen stationären bzw. quasistationären Anlagen oder Vorrichtungen.

2.2. Vorgabe einer virtuellen Bewegungsbahn

Bei der Methode der Vorgabe einer virtuellen Bewegungsbahn für das mobile Aggregat wird die Führungsgröße auf geeigneten Datenträgern gespeichert. Hierzu ist der Einsatz der elektronischen Rechentechnik nötig. Einige Möglichkeiten zur eindeutigen Beschreibung der Führungsgröße werden in Tafel 1 genannt. Hauptmerkmal dieser Methode ist die nicht materiell existierende Führungsgröße. Es ist vor allem keine materielle Verkörperung der Führungsgröße auf oder in der landwirtschaftlichen Nutzfläche vorhanden. Damit ist eine maximale Flexibilität in der Vorgabe der Bewegungsbahn erreichbar, ohne daß hierbei zusätzliche materielle Aufwendungen erforderlich werden. Ein Beispiel einer vollständigen Bewegungsbahn ist im Bild 2 dargestellt. Die analytischen Definitionen der Abschnitte (Gerade und Kreis) dieser Bewegungsbahn lauten:

$$y_a = m_a x + n_a; y_1 \geq y_a \geq y_2$$

$$y_{ka} = \sqrt{r^2 - (x - x_{Ma})^2} + y_{Ma}; \text{Tangente } y_a, y_{1a}$$

$$y_{va} = y_1; \text{Tangente } y_{ka}, y_{kb}$$

$$y_{kb} = \sqrt{r^2 - (x - x_{Mb})^2} + y_{Mb}; \text{Tangente } y_{va}, y_b$$

$$y_b = m_b x + n_b; y_1 \geq y_b \geq y_2$$

usw.

Fortsetzung von Seite 100

- [12] Kästner, E.: Möglichkeiten unterschiedlicher Positionierverfahren für automatisch spurgeführte innerbetriebliche Transporte. Tagungsmaterial der Mechanisierungstagung der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg 1979.
- [13] Prospekt Laserplane Corporation. Dayton, Ohio (USA)
- [14] Kochrube, F.; Püschel, K.; Garbrecht, I.: Anwendung der Lasertechnik in der Braunkohle. Jenaer Rundschau 20 (1975) H. 6, S. 307—309.
- [15] Gawendowicz, M.: Zur automatischen Lenkung mobiler landwirtschaftlicher Aggregate mit großen Arbeitsbreiten und -geschwindigkeiten. agrartechnik 30 (1980) H. 3, S. 101—104.

A 2635

Tafel 1. Führungsgrößen der automatischen Lenkung mobiler Aggregate

	reale Leitlinien	virtuelle Bewegungsbahn	
während der laufenden Bearbeitung erzeugt	während der vorangegangenen Bearbeitung erzeugt	aggregatunabhängige	
Bearbeitungsgrenzen	Erddamm	Leitkabel	in Dateien gespeicherte
● Furche	Pflanzenreihe	Leitschiene	Koordinatenangaben
● Bestand		Lasersstrahl	analytische
● Struktur		Funkleitstrahl	Definitionen
● Färbung			Tabellen
Rille			
Schaumstoff			

Im Gegensatz zu allen Verfahren, bei denen reale Leitlinien als Führungsgröße verwendet werden, treten keine prinzipiellen Probleme bei der Einbeziehung der Wendevorgänge und der Auffindung des folgenden Spüranschlusses auf. Damit ist eine Hauptvoraussetzung für die Einführung einer automatischen Lenkung gegeben.

Die virtuelle Führungsgröße kann relativ einfach an die geometrische Form der zu befahrenden Fläche, an die Arbeitsbreite des Aggregats und an die angewendete Technologie angepaßt werden. Durch Schachtelung mehrerer Bewegungsbahnen ineinander können die Führungsgrößen mehrerer mobiler Aggregate gleichzeitig vorgegeben werden (Mehrschienenbetrieb).

2.3. Allgemeine Anforderungen

Es muß davon ausgegangen werden, daß der Aufwand für Entwicklung und Einsatz eines geeigneten Verfahrens zur automatischen Lenkung mobiler Aggregate mit großen Arbeitsbreiten und -geschwindigkeiten im Vergleich zu den bisher angewendeten Verfahren neue Größenordnungen erreichen wird. Daher müssen folgende Hauptanforderungen gestellt werden:

- universelle Anwendbarkeit für unterschiedliche Aggregate und Arbeitsgänge
- Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Einsatzbedingungen hinsichtlich der zu befahrenden Flächen und der Steuerungssysteme
- Erweiterungsfähigkeit für einen Übergang zur automatischen Lenkung
- Erweiterungsfähigkeit für die gleichzeitige automatische Lenkung mehrerer Aggregate
- Vorbereitung einer automatischen Betriebsführung der Aggregate.

Damit ergibt sich, daß im Hinblick auf eine langfristige Weiterentwicklung der Automatisierung mobiler Aggregate den Verfahren der automatischen Lenkung unter Verwendung von virtuellen Führungsgrößen besondere Aufmerksamkeit zu widmen ist. Vor allem die allgemeinen strukturbeeinflussenden Merkmale der Mikrorechentechnik [4, 5] können für diesen Anwendungsbereich wirksam werden.

3. Verfahren zur automatischen Lenkung

Nachfolgend wird ein mögliches Verfahren der automatischen Lenkung mobiler Aggregate entworfen, bei dem die Bewegungsbahn als virtuelle Führungsgröße vorgegeben wird. Der regelungstechnische Aufbau wird durch die Merkmale der Befehlslenkung [6] beschrieben. Das Blockschaltbild der Befehlslenkung (Bild 3) läßt drei Schwerpunkte für die Realisierung des Verfahrens erkennen.

3.1. Ortung des mobilen Aggregats

Zur Bildung des Istwerts ist die laufende Positionsbestimmung des mobilen Aggregats in einem geeigneten Bezugssystem (Koordinatensystem) notwendig. Die Anwendbarkeit der bekannten Ortungsmethoden der Verkehrs- und Militärtechnik muß nach technischen und ökonomischen Kriterien beurteilt werden. Für die automatische Lenkung mobiler Aggregate können folgende technische Forderungen angenommen werden:

- allgemeine Einsatzbedingungen der Landtechnik
 - Reichweite: $n \times 10^3$ m
 - Genauigkeit: rd. 0,1 m
 - obere Grenzfrequenz: rd. 10 Hz
 - Anzahl der Freiheitsgrade: 2.
- Genauigkeit und dynamisches Verhalten stellen

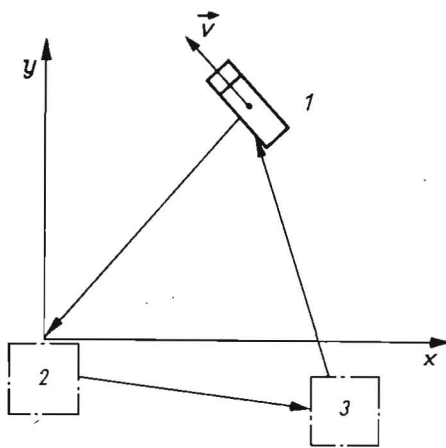


Bild 3. Schema der Befehlslenkung mobiler Aggregate;
1 Aggregat, 2 Meßstation, 3 Befehlszentrum,
v Geschwindigkeit des Aggregats

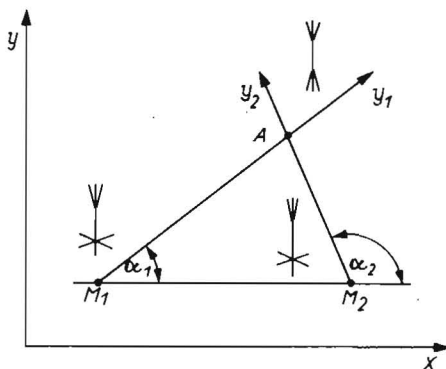


Bild 4. Passive Ortung durch synchrone Winkelmessung;
A Position des Aggregats, M Meßstation, y Standortgeraden, \bar{M}_1, \bar{M}_2 Basisstrecke

somit höchste Ansprüche an das angewendete Ortungsverfahren.

Für die Auswahl eines geeigneten Ortungsverfahrens ergeben sich die folgenden Möglichkeiten:

- Ortung vom Fahrzeug aus (Navigationsverfahren im See- und Luftverkehr)
Die gesamte Meßanlage befindet sich im Fahrzeug. Es werden ortsfeste Sender angepeilt (Funkleitfeuer) oder deren Signale verarbeitet [7]. Die Fahrzeuge sind mit teilweise automatischen Spezialgeräten ausgerüstet, die von Navigatoren bedient werden. Wegen dieses Aufwands und der fehlenden Möglichkeit, mehrere Fahrzeuge automatisch zentral zu steuern, ist eine ökonomische Anwendung im Bereich der Landtechnik nicht zu erkennen.
- Ortung ausschließlich durch eine oder mehrere ortsfeste Meßstationen (aktive Funkortung) [8]
Das Fahrzeug reflektiert das Signal der Meßstation (Sekundär- bzw. Wiederabstrahlung). Bei dem in [9] angegebenen Ver-

fahren wird ein rotierender Spiegel verwendet. Es arbeitet im Bereich der sichtbaren Lichtstrahlung. Voraussetzung für die Anwendung ist eine Sichtverbindung zwischen Meßstationen und Aggregat. Der hohe technische Aufwand für die Meßstation, die erreichbare Meßgenauigkeit und die fehlende Unterscheidungsmöglichkeit mehrerer Fahrzeuge lassen diese Methode für landtechnische Anwendungen ungeeignet erscheinen.

- Ortung durch Zusammenwirken von aktiven technischen Einrichtungen des Fahrzeugs und der Meßstation (passive Funkortung)
Es werden die von einem im Fahrzeug befindlichen Sender ausgehenden Signale von einer oder von mehreren ortsfesten Meßstationen empfangen und verarbeitet. Im Vergleich zu den Verfahren der aktiven Funkortung sind hierbei die Probleme der Störsicherheit, Auflösung und Genauigkeit weniger aufwendig lösbar. In [10] wird ein Verfahren angegeben, bei dem die Ortung durch Messung der Wärmeabstrahlung erhitzter Teile des Fahrzeugs (Auspuffanlage) im Infrarotbereich erfolgt.

Bei Anwendung der Funkortung werden an den Sender im Fahrzeug keine speziellen technischen Anforderungen gestellt. Es ergeben sich relativ einfache und betriebs-sichere Meßverfahren, die an den vorhandenen Einsatzbereich angepaßt werden können.

Mit den in der schematischen Übersicht der Ortungsmethoden (Tafel 2) hervorgehobenen Merkmalen können folglich Ortungsverfahren mit geringstem Aufwand realisiert werden. Die bei diesen Verfahren vorhandene Sendeanlage auf dem Fahrzeug kann für Kennung, Ortung und Informationsübertragung zum Aggregat genutzt werden. Meßwertgewinnung und -verarbeitung sind in ortsfesten Stationen konzentriert, so daß im Sinne einer universellen Anwendung des Verfahrens eine minimale Spezialausrüstung der Aggregate erforderlich ist.

Bei Anwendung der passiven Funkortung ist keine absolute Entfernungsmessung möglich. Es ergeben sich damit folgende Ortungsmethoden:

3.1.1. Winkelmessung

Synchrone Winkelmessungen in mehreren Punkten ergeben Standortgeraden, deren Schnittpunkt die Position des Aggregats bestimmt (Bild 4). Die analytische Behandlung ist einfach:

$$y_1 = \tan \alpha_1 x + n_1$$

$$y_2 = \tan \alpha_2 x + n_2$$

$$A(x_A, y_A) \leq y_1 = y_2$$

Die geforderte Genauigkeit der Winkelmessung liegt im Bereich von $0,01^\circ$ [11]. Durch den Einsatz inkrementaler Winkelgeber läßt sich die Winkelmessung rechnerfreundlich lösen. Nachteilig ist das Vorhandensein mechanisch bewegter Teile in Form der notwendigen Peilantennen. Es ist zu untersuchen, in welchen Frequenzbereichen die Ausbreitungsbedingun-

Tafel 2. Systematische Übersicht der Ortungsmethoden

Ortungsmethode	Mittel, das zur Ortung genutzt wird	Komponenten der Ortung
Ort, von dem geortet wird		
● Eigenortung	● stationäres Vektorfeld:	● Richtungsbestimmung (Peilung)
● Fremdortung (aktiv)	Magnetfeld, ...	● Entfernungsbestimmung
● Mischortung (passiv)	● Strahlungsfeld: Schall, Licht, Funk, ...	● Bestimmung der Entfernungsdifferenz

gen des erdnahen elektromagnetischen Feldes eine Winkelmessung mit der geforderten Genauigkeit zulassen.

3.1.2. Entfernungsdifferenzmessung

Durch konstante Entfernungsdifferenzen ΔS des Aggregats zu zwei ortsfesten Meßpunkten wird eine Schar von Standorthyperbeln bestimmt (Bild 5). Mit einer zweiten Hyperbelschar (mindestens 3 ortsfeste Meßpunkte) ist die eindeutige Positionsbestimmung möglich:

$$\Delta\varphi_{12} \triangleq \Delta S_{12} = \overline{M_1 A} - \overline{M_2 A}$$

$$\Delta\varphi_{13} \triangleq \Delta S_{13} = \overline{M_1 A} - \overline{M_3 A}$$

$$A(x_A, y_A) \triangleq H_{\Delta S_{12}} = H_{\Delta S_{13}}$$

φ Phasenwinkel des elektromagnetischen Feldes

$\overline{M_1 A}$, $\overline{M_2 A}$, $\overline{M_3 A}$ Entfernung zwischen Meßstation und Aggregat.

Es sind keine mechanisch bewegten Teile notwendig. Zur Berechnung der Koordinaten sind rechner-spezifische Algorithmen zu entwickeln. Die Verwendung von Hyperbelstandortlinien ist gegenwärtig in der Schifffahrt die meistangewendete Navigationsmethode [7]. Die Verfahren Omega, Decca, Loran A und Loran C unterscheiden sich prinzipiell nur in den verwendeten Frequenzbereichen (10 bis 14 kHz; 70,233 bis 128,58 kHz; 1750 bis 1950 kHz und 100 kHz). Das Ziel theoretischer und praktischer Untersuchungen besteht darin, einen geeigneten Frequenzbereich zu ermitteln. Dabei sind die postalischen Festlegungen der Landfunkordnung und die Anforderungen des Informationssystems zu beachten (Pkt. 3.3.).

3.1.3. Winkel-Entfernungsmessung

Die Position des Aggregats wird durch den Schnittpunkt einer Standortgeraden mit der Standorthyperbel bestimmt (Kombination von 3.1.1. und 3.1.2.). Der Nachteil dieser Methode besteht darin, daß unterschiedliche Meßverfahren notwendig werden, die eine unifizierte Ausführung der Meßstationen unmöglich machen.

3.2. Befehlszentrum

Die Mikrorechentechnik ist die technische Grundlage für das Befehlszentrum. Für den vorliegenden Anwendungsbereich wird der Einsatz eines Mikrorechnersystems angestrebt. Es sind alle Merkmale des Prozeßrechners vorhanden. Die Hauptaufgaben des Befehlszentrums können in folgende Komplexe untergliedert werden:

3.2.1. Soll-Bewegungsbahn des gelenkten Aggregats

Die Soll-Bewegungsbahn wird durch mathematische Größen definiert (Abschn. 2.2.). Hierbei sind u. a. zu berücksichtigen:

- Parameter der zu befahrenden Fläche
- Parameter des Aggregats (Arbeitsbreite, kleinster Wenderadius usw.)
- Anzahl der zu steuernden Aggregate.

Die Errechnung der vollständigen Bewegungsbahn bietet Aussagepunkte für eine Optimierung.

3.2.2. Koordinatenbestimmung

Von den Meßstationen werden Winkel- oder Längenmeßwerte bereitgestellt. Es kann vorausgesetzt werden, daß die Meßwerte in digitaler Form anfallen. Entsprechend der angewendeten Ortungsmethode können unter Verwendung der Beziehungen der analytischen Geometrie die Koordinaten des Aggregats errechnet werden (Istwert der Bewegungsbahn des Aggregats). Da hierfür Echtzeitbetrieb erforderlich ist, hat die Ortungsmethode ent-

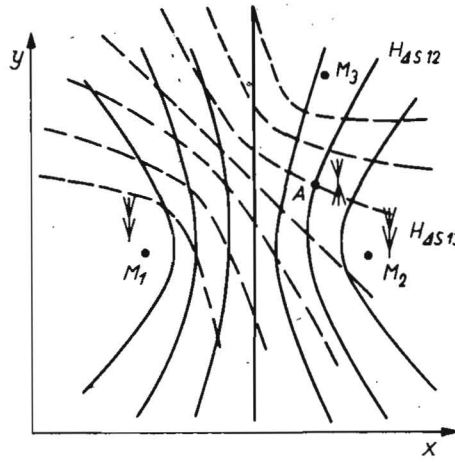


Bild 5. Passive Ortung durch Messung der Entfernungsdifferenzen; A Position des Aggregats, M Meßstation (Δ Brennpunkte der Hyperbelschar), $H_{\Delta S}$ Standorthyperbel

scheidenden Einfluß auf die erforderliche Leistungsfähigkeit bzw. Konfiguration des Mikrorechnersystems.

3.2.3. Errechnung der Prozeßdaten

Die Aufeinanderfolge der Koordinaten stellt die Bewegungsbahn S des Aggregats dar. Mit der Berechnung von S im Echtzeitbetrieb können weitere Größen, wie z. B. Geschwindigkeit $v(t)$ und Beschleunigung $b(t)$ des Aggregats, ermittelt werden.

3.2.4. Automatische Steuerung

Im Ergebnis umfangreicher analytischer und praktischer Untersuchungen mobiler landwirtschaftlicher Aggregate [12, 13] liegen für alle Arten der verwendeten Lenkung die Übertragungsfunktionen der Regelstrecke vor. Sie sind für die rechtechnische Abarbeitung aufzubereiten. Unter Verwendung der Soll-Bewegungsbahn (Führungsgröße, 3.2.1.) und der Prozeßdaten (Istwerte, 3.2.3.) ist der Aufbau eines führungsoptimierten digitalen Regelkreises möglich (DDC-Regelung) [14]. Der Grob-ablauf der Informationsbeziehungen ist am Beispiel der Ortungsmethode nach 3.1.1. im Bild 6 dargestellt.

3.3. Informationsübertragung

Für die Übertragung der Informationen zwischen dem Befehlszentrum, dem mobilen Aggregat und den Meßstationen muß ein geeignete

tes Informationssystem entwickelt werden. Hierbei sind neben den Anforderungen der Befehlslenkung im Interesse einer weiterführenden Automatisierung der Betriebsführung eines oder mehrerer Aggregate weitere Forderungen zu berücksichtigen. Zwischen Befehlszentrum und gelenktem Aggregat sind daher drahtlos Lenkbefehle, Informationen eines Sicherheitssystems und Steuerbefehle für den automatischen Betrieb eines oder mehrerer Aggregate zu übertragen.

Der nutzbare Frequenzbereich ergibt sich aus den technischen Anforderungen (Anzahl und Leistungsfähigkeit der Übertragungskanäle, Reichweite, Informationsbeziehungen zwischen Aggregat und Meßstationen) und aus den postalischen Bestimmungen (Landfunkordnung). Dabei muß auf den Einsatz kommerzieller Sende- und Empfangsgeräte orientiert werden. Für die Informationsübertragung zwischen Befehlszentrum und Meßstationen stehen drahtgebundene und drahtlose Methoden zur Auswahl.

4. Schlußbetrachtung

Im Rahmen der gegenwärtigen technischen Möglichkeiten können die z. Z. bestehenden Grenzen der automatischen Lenkung mobiler Aggregate schrittweise überwunden werden. Dazu ist zuerst auf der Grundlage der bekannten Methoden ein geeignetes Verfahren zur Positionsbestimmung mobiler Aggregate zu entwickeln. Mit rechner-spezifischen Lösungen zur Messung der Position des mobilen Aggregats und der Informationsübertragung kann auf der Basis der verfügbaren Hardware ein System der automatischen Lenkung mobiler Aggregate geschaffen werden, das die Voraussetzungen für einen Übergang zu automatischer Betriebsführung und Mehrmaschinenbedienung bietet.

Literatur

- [1] Walter, F.: Meßtechnische Erfassung von Leitlinien für das automatische Lenken mobiler Aggregate bei großen Arbeitsbreiten. agrartechnik 30 (1980), H. 3, S. 98—101.
- [2] Autorenkollektiv: Automatische Steuerung fahrbarer landwirtschaftlicher Aggregate. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht 1978 (unveröffentlicht).
- [3] Jahns, G.: Theoretische Betrachtungen zu Möglichkeiten und Grenzen induktiver Fahrzeugleitsysteme. Landbauforschung Völkneröde (1973) Sonderheft 17, S. 57—69.
- [4] Töpfer, H.; Kriesel, W.: Automatisierungssysteme mit Mikroprozeßrechnern. messen — steuern — regeln 21 (1978) H. 6, S. 302—307; H. 7, S. 362—367; H. 8, S. 427—432.

Fortsetzung auf Seite 104

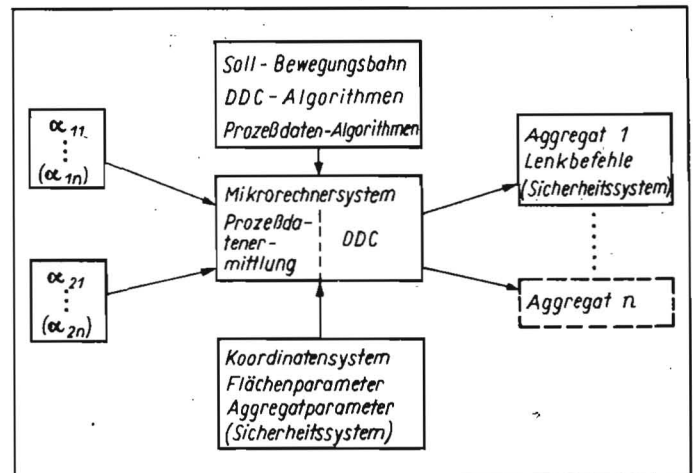


Bild 6 Informationsbeziehungen der Befehlslenkung; α_{11} , α_{21} Winkelmeßwerte zur Ortung des Aggregats ($i = 1, \dots, n$)

Übertragungsverhalten einer Meßeinrichtung zum Erfassen landwirtschaftlicher Bearbeitungsgrenzen mit Hilfe von Ultraschall

Dipl.-Phys. F. Ahrens, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

1. Einleitung

Zum Erfassen einer Leitlinie als Führungsgröße, die durch ein mobiles Aggregat (z. B. Traktor und Anbaugerät) im vorhergehenden Arbeitsgang erzeugt wird, eignen sich vor allem bei höheren Arbeitsgeschwindigkeiten aus bekannten Gründen berührungslose Meßverfahren [1]. Wird die Führungsgröße mit entsprechender Genauigkeit erfaßt, ist es möglich, den Arbeitsbreitenanschluß nach den agrotechnischen Forderungen (ATF) durch einen Lenkregelkreis zu sichern [2]. Die Anwendung physikalisch möglicher berührungsloser Meßverfahren wird durch den Einsatzfall und sicherheitstechnische Bedingungen eingeschränkt. Für die Meßwerterfassung an Bearbeitungsgrenzen, die in der Pflanzenproduktion entstehen, erscheinen deshalb optische und akustische Meßverfahren geeignet. Optische Meßfühler können gute dynamische Eigenschaften und ein hohes räumliches Auflösungsvermögen, Vorteile beim Nachweis von Leitlinien größerer Arbeitsbreite und bei der Realisierung der Meßeinrichtung für möglichst breite Einsatzgebiete haben. Deshalb ergibt sich für akustische Meßfühler unter Vermeidung technisch-ökonomisch aufwendiger Lösungen z. Z. nur ein sehr eingeschränktes Anwendungsgebiet. Das Erfassen von Bearbeitungsgrenzen mit ausgeprägten Höhendifferenzen mit Hilfe von Ultraschall ist mit einer stationären Meßunsicherheit von ± 20 mm möglich [3]. Die Meßgenauigkeit liegt damit innerhalb der geforder-

ten Grenzen für die Erzielung des Arbeitsbreitenanschlusses von mobilem Aggregat und Anbaugerät nach ATF. Furchen oder Dämme können als Führungsgröße mit Ultraschall einfach erfaßt werden [4, 5]. Ein tageszeitunabhängiger Einsatz der Meßeinrichtung ist problemlos.

2. Störgrößen bei der Meßwerterfassung

Die Meßeinrichtung läßt sich als Übertragungsglied in den Regelkreis einordnen (Bild 1). Sie erfaßt die durch Störungen z_1 verursachten Fahrkurswinkelländerungen ϵ der Regelstrecke bzw. die Fahrkursabweichungen x als Regelgröße. Die jeweilige Fahrkursabweichung ist be-

Tafel 1. Auswirkungen von Störungen z_2 auf die Meßwerterfassung

Störungen z_2	Auswirkungen auf die Meßwerterfassung
— Aggregateigenbewegung Rollen, Nicken, Hubbewegung	Schallwinkelländerungen und Änderungen des Meßabstands
Fahrbewegung in Bearbeitungsrichtung	geschwindigkeitsabhängige spektrale Verbreiterung des Echoempfangssignals
Fahren am Hang	Schallwinkelländerung
— Ultraschallausbreitungseigenschaften des Mediums Wind, Staub	Dämpfung der Energiestrahlung im Ausbreitungsmedium
— Ultraschallreflexionseigenschaften des Bodens Bodendichte, Bodenfeuchte und Oberflächenstruktur	Dämpfung der Energiestrahlung am Boden, ständige Änderung der Empfangsenergie und der Signalform der Echos
undefinierte Furche	Leitlinie nicht nachweisbar

Fortsetzung von Seite 103

- steuern — regeln 20 (1977) H. 12, S. 662—667.
- [6] Kollar, L.: Automatisierung in der Landwirtschaft. Berlin: VEB Verlag Technik 1977.
- [7] Hintze, K.: Die Anwendung des Omega-Funknavigationsverfahrens für die Standortbestimmung auf See. radio — fernsehen — elektronik 24 (1975) H. 8, S. 271—273.
- [8] Schirman, J.D.: Theoretische Grundlagen der Funkortung. Berlin: VEB Militärverlag der DDR 1977.
- [9] Jahns, G.: Möglichkeiten zum Erzeugen von Kurssignalen für das automatische Lenken von Landfahrzeugen. Grundlagen der Landtechnik 20 (1970) H. 3, S. 65—71.
- [10] Mac Hardy, F. V.: An automatic guidance system for farm tractors. Can. Agric. Engng. Bd. 9 (1967) Nr. 1, S. 17-19.
- [11] Batel, W.: Grundsätzliche Überlegungen zur Automatisierung der landwirtschaftlichen Produktion. Grundlagen der Landtechnik 18 (1968) Nr. 1, S. 14—20.
- [12] Kollar, L.: Studie zur technischen Realisierung eines Systems zum selbsttätigen Einhalten des Arbeitsbreitenanschlusses der Werkzeuge einer Bodenbearbeitungs- und Bestellmaschine. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, 1971 (unveröffentlicht).
- [13] Berfeld, D.: Statistische Ermittlung der Übertragungsfunktionen mobiler Aggregate unter Einsatzbedingungen zur Beschreibung des Lenkverhaltens. Vortrag auf der Mechanisierungstagung der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg vom 6. bis 8. November 1979.
- [14] Reiner, A.; Wiegand, R.: Überblick über Algorithmen zur digitalen Regelung. Regelungstechnik 24 (1976) H. 6, S. 181—226; H. 7, S. 227—232.

A 2636

Bild 1
Meßeinrichtung im Regelkreis;
 z_1, z_2 Störgrößen,
 β Lenkwinkel
 ϵ Fahrkurswinkel
 x Meßgröße (Δ Fahrkursabweichung)

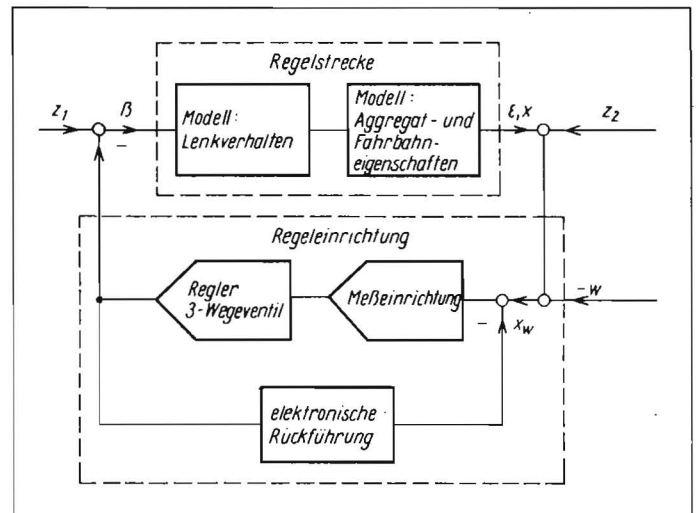


Bild 2
Führungsgrößenvorgabe an der Furche:
a Ausleger
b Meßfühler
c Schallfeld
d un bearbeiteter Boden
e Furchenkante
f Furchensohle
g bearbeiteter Boden

