

Bild 6. Wurzelortskurve des geschlossenen Regelkreises mit verbessertem Modell nach Bild 5

vorhandenen hydraulischen Lenkeinrichtungen. Hierfür sind Zusatzbaugruppen zu schaffen, mit deren Hilfe der Lenkvorgang über die vorhandene Lenkeinrichtung ausgeführt wird [19].

## 6. Zusammenfassung

Die automatische Lenkung ist für den optimalen Einsatz mobiler landwirtschaftlicher Aggregate erforderlich. Durch theoretische und experimentelle Untersuchungen kann eine Übertragungsfunktion angegeben werden, die den wirklichen Verhältnissen nahekommt. Anhand der Koeffizienten der Übertragungsfunktion ist allgemein die Möglichkeit gegeben, zweckmäßige Regeleinrichtungen auszuwählen und Richtlinien zur Verbesserung der Aggregate hinsichtlich der erforderlichen Lenkgenauigkeit abzuleiten.

Wesentliche Schwerpunkte für die weitere Entwicklung von Automatisierungseinrichtungen zur Lenkung mobiler Aggregate sind das Schaffen betriebssicherer Meßeinrichtungen und Leitsysteme sowie anbaufähige Einrich-

tungen zur Verwirklichung des Steuervorgangs.

Die Optimierung des gesamten Regelkreises macht es darüber hinaus erforderlich, den Bewegungsvorgang, der bei Fahrkursänderung auftritt, mit Hilfe statistischer Verfahren zu untersuchen, da die Leitlinien sich stochastisch ändern.

## Literatur

- [1] Müller: Systematik der Lenkverfahren. Raketentechnik und Raumfahrtforschung 2 (1958) H. 2, S. 38—44; H. 3, S. 87—92.
- [2] Fiala, E.: Lenken von Kraftfahrzeugen als kybernetische Aufgabe. Automobiltechnische Zeitschrift 68 (1966) H. 5, S. 156—162.
- [3] Oppelt, W.; Vossins, G.: Der Mensch als Regler. Berlin: VEB Verlag Technik 1970, S. 19—42.
- [4] Šabanov, V. M.: Avtomatizacija vođenija traktorov (Automatisierung der Lenkung von Traktoren). Traktory i sel'chozmašiny 40 (1970) H. 9, S. 3—5.
- [5] Artobolewski; Dubrowski: Die sowjetische Landtechnik. Berlin: Zentralvorstand der DSF, Abt. Wissenschaft und Technik 1971.
- [6] Lur'je, A. B.; Grombčevskij, A. A.: Rasčet i konstruovanie sel'skochozjajstvennych mašin (Berechnung und Konstruktion landwirtschaftlicher Maschinen). Leningrad: Mašinostroenie 1977.
- [7] Kersting, E.: Über die Einmannarbeit bei der Schlepperplängshacke in Rüben. Landtechnische Forschung 15 (1965) H. 6, S. 178—182.
- [8] Heyde, H.: Landmaschinenlehre. Berlin: VEB Verlag Technik 1963, S. 31—33; S. 215—217.
- [9] Krupp, G.: Beitrag zur Vorausschätzung des erforderlichen Traktorenbestands für Bodenbearbeitung und Bestellung. agrartechnik 26 (1976) H. 3, S. 126—127.
- [10] Statistisches Jahrbuch der DDR 1978. Berlin: Staatsverlag der DDR 1978, S. 153—192, 16\*.
- [11] Eberhardt, M.; Müller, H.: Methodische Hinweise und Richtwerte für die Kalkulation von Verfahrenskosten der Pflanzenproduktion. Berlin: Deutscher Landwirtschaftsverlag 1973.
- [12] Schaller, R.: Lenkautomatik für die Mährescher E 512. agrartechnik 24 (1974) H. 3, S. 125—127.
- [13] Walter, F.: Meßtechnische Erfassung von Leitlinien für das automatische Lenken mobiler Aggregate bei großen Arbeitsbreiten. agrartechnik 30 (1980) H. 3, S. 98—101.
- [14] Ahrens, F.: Übertragungsverhalten einer Meßeinrichtung zum Erfassen landwirtschaftlicher Bearbeitungsgrenzen mit Hilfe von Ultraschall. agrartechnik 30 (1980) H. 3, S. 104—106.

- [15] Jahns, G.: Die automatische Lenkung von Landmaschinen und ihre regelungstechnischen Probleme. Landbauforschung Völknerode (1973) Sonderheft 17, S. 7—25.
- [16] Gawendowicz, M.: Zur automatischen Lenkung mobiler landwirtschaftlicher Aggregate mit großen Arbeitsbreiten und -geschwindigkeiten. agrartechnik 30 (1980) H. 3, S. 101—104.
- [17] Kollar, L.: Studie zur technischen Realisierung eines Systems zum selbsttätigen Einhalten des Arbeitsbreitenanschlusses der Werkzeuge einer Bodenbearbeitungs- und Bestellmaschine. TH Magdeburg, Sektion Technische Kybernetik, Diplomarbeit 1971.
- [18] Kollar, L.: Automatisierung in der Landwirtschaft. Berlin: VEB Verlag Technik 1975.
- [19] Kirste, A.: Elektromechanisch-hydraulische Stelleneinrichtung zur automatischen Lenkung mobiler landwirtschaftlicher Aggregate. agrartechnik 30 (1980) H. 3, S. 107—110.
- [20] Kästner, E.; Strobel, H.: Zur selbsttätigen Kursregelung von Landfahrzeugen. Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ Dresden, Teil I: 17 (1970) H. 3, S. 613—622; Teil II: 18 (1971) H. 4, S. 945—960.
- [21] Litinskiy, S. A.: Avtomatizacija vođenija samochodnych mašin (Automatisierung der Lenkung selbstfahrender Maschinen). Moskau/Leningrad: Verlag Energie 1966.
- [22] Lur'je, A. B.: Avtomatizacija sel'skochozjajstvennych agregatov (Automatisierung landwirtschaftlicher Aggregate). Leningrad: Verlag Kolos 1967.
- [23] Schernes, B.: Elektronischer Regler mit URSAMAT-Schaltverstärker zur automatischen Lenkung von Fahrzeugen entlang einer Leitlinie. messen — steuern — regeln 13 (1970) H. 3, S. 45—46.
- [24] Šepovalov, V. D.: Zernoboročnyj kombajn kak ob'ekt sistemy avtomatičeskogo vođenija (Der Mährescher als Objekt des Systems der automatischen Lenkung). Traktory i sel'chozmašiny 33 (1963) H. 4, S. 26—28.
- [25] Nachamkin, G. G.: Puti sozdanija avtovoditelja dlja samochodnych zernoboročnykh kombajnov (Wege der Entwicklung einer automatischen Steuerung für Mährescher). Traktory i sel'chozmašiny 42 (1972) H. 6, S. 23—24.
- [26] Soucek, R.: Zu einigen Problemen von Theorie und Praxis der Bodenbearbeitung. agrartechnik 30 (1980) H. 2, S. 69—70.
- [27] Berfeld, D.: Experimentelle Untersuchung des Lenkverhaltens mobiler landwirtschaftlicher Aggregate unter Einsatzbedingungen. agrartechnik 30 (1980) H. 3, S. 110—111.

# Meßtechnische Erfassung von Leitlinien für das automatische Lenken mobiler Aggregate bei großen Arbeitsbreiten

Dipl.-Ing. F. Walter, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

Im Jahr 1966 erschien in der englischen Fachzeitschrift „Agricultural Machinery“ ein Artikel mit dem Titel „Der automatische Traktor wird in fünf Jahren seine Arbeit verrichten“ [1]. Das war eine sehr optimistische Prognose. Denn abgesehen von einigen speziellen Lösungen für selbstfahrende Aggregate [2], wie das Führen des Mähreschers an der Bestandsgrenze, des Rübenrodeladers an den Pflanzenreihen und der Kartoffelkombi an den Kartoffeldämmen, gibt es noch kein allgemein anwendbares praxisgerechtes Verfahren zum automatischen Lenken mobiler landwirtschaftlicher Aggregate bei den verschiedenen Feldarbeiten. Die ständig

wachsende Anzahl von Aggregaten hoher Leistungen und damit die Zunahme der Arbeitsbreiten und Arbeitsgeschwindigkeiten erschweren das exakte Anschlußfahren immer mehr [3], vergrößern jedoch gleichzeitig seine Bedeutung für fast alle mobilen Arbeitsgänge der industriemäßigen Pflanzenproduktion. Die auf die landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) bezogene Leistung mobiler Aggregate erhöhte sich in der Landwirtschaft der DDR von 12 kW/100 ha LN im Jahr 1950 auf 154 kW/100 ha LN im Jahr 1975 und wird im Jahr 1980 etwa 200 bis 215 kW/100 ha LN betragen [4]. In der UdSSR stieg allein im letzten Fünfjahr-

plan die in der Landwirtschaft zur Verfügung stehende Leistung um 147,1 Mill. kW [5]. Das ist im wesentlichen auf die Entwicklung, die verstärkte Produktion und den Einsatz von Traktoren höherer Zugkraftklassen (T-150, T-150 K, K-700, K-700 A, K-701) zurückzuführen. Bei allen Aggregaten bzw. Arbeitsgängen nimmt als Folge der Leistungsentwicklung die Arbeitsbreite ständig zu. Pflüge mit 12 Scharen sind bereits in der Erprobung, solche mit 16 bis 18 Scharen in der Perspektive vorgesehen. Als weitere Beispiele sollen Drillmaschinen mit 15 m, Schälplüge mit 20 m und leichte Kultivatoren mit über 30 m Arbeitsbreite genannt

Leitlinien	technisch-physikalisches Erfassungsprinzip			
	mechanisch	optisch	akustisch <sup>3)</sup>	induktiv kapazitiv
<b>natürliche Leitlinien</b>				
Bestandsgrenze	x	x		x
Bearbeitungsgrenze		x		
Pflanzenreihe	x	x		
Schwaden	x	x		
Damm	x	x	x	
Furche	x	x	x	
Radspur	(x) <sup>1)</sup>	(x)		
<b>zusätzlich geschaffene Leitlinien</b>				
Reißspur	x	(x)		
Schaumspur		x		
Farbspur		x		
Spurschacht	x	(x)	(x)	
Leitsaat	x	x		x
stromdurchflossener Leiter				x
Laserstrahl		x		
Funkleitstrahl				x

- 1) im sichtbaren, ultravioletten oder infraroten Spektralbereich  
 2) im Ultraschallbereich  
 3) mit Einschränkungen

Tafel I  
 Leitlinien und Möglichkeiten ihrer meßtechnischen Erfassung

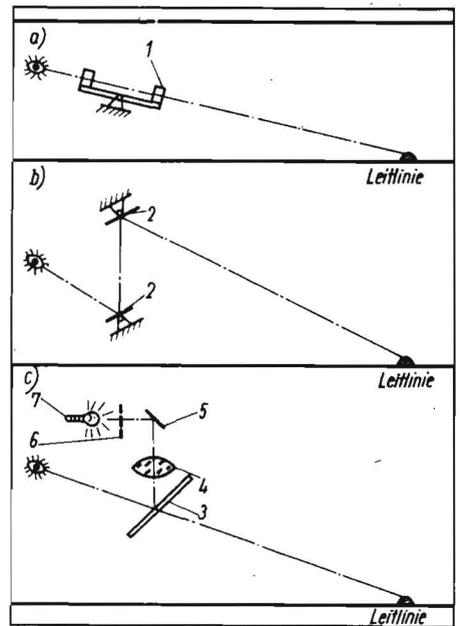


Bild 2  
 Erprobte Visiereinrichtungen (Auswahl);  
 a) Amazonas-Werke (BRD)  
 b) Unionsforschungsinstitut für Landmaschinenbau (UdSSR)  
 c) Allunionsinstitut für Mechanisierung (UdSSR)  
 1 winkelvestellbarer Visierpunkt, 2 verstellbarer Spiegel, 3 Bildschirm, 4 Linse, 5 Spiegel, 6 Raster, 7 Lichtquelle

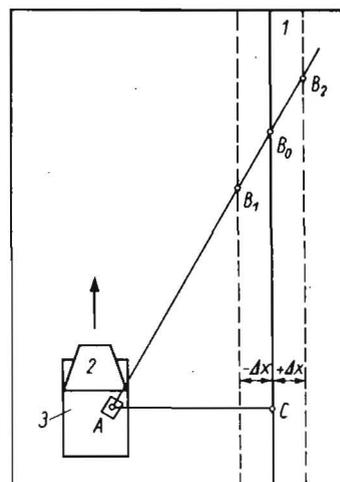
werden [5]. Diese wenigen Zahlen erklären bereits die Notwendigkeit des Bemühens, die Qualität des Spuran schlusses durch Orientierungs- und Lenkhilfen für den Fahrer oder durch automatische Lenkeinrichtungen ständig zu verbessern bzw. zu erhalten. Die Erfassung einer Leitlinie hat bei der Lenkung mobiler landwirtschaftlicher Aggregate für das Einhalten eines Fahrkurses eine besondere Bedeutung. Von ihr hängt in wesentlichem Maß die Qualität des Spuran schlusses ab. Das gilt besonders für eine sichere und fehlerfreie meßtechnische Erfassung einer Leitlinie beim automatischen Lenken (Tafel I). Besonders problematisch ist das qualitätsgerechte Spuran schluffahren bei

- Arbeiten mit großen Arbeitsbreiten, bei denen der relativ große Abstand des Fahrers bzw. der gelenkten Räder von der Bearbeitungsgrenze ein genaues Erfassen der Lage eines Aggregatbezugs punktes zur Anschlußlinie erschwert
- Arbeiten, bei denen keine sichtbaren oder keine gut erkennbaren Bearbeitungsgrenzen entstehen
- Arbeiten mit hohen Arbeitsgeschwindigkeiten (bis zu 30 km/h), bei denen falsche Fahrkurswinkel innerhalb kurzer Zeit große Abweichungen vom Spuran schluffahren ergeben.

Bei Maschinen und Geräten für den Pflanzenschutz und zur Ausbringung mineralischer Dünger treten alle drei genannten Faktoren gleichzeitig auf. Auf der 3. Internationalen Fachausstellung von Landmaschinen und landtechnischen Anlagen „Sel'choztechnika-78“ in Moskau wurden z. B. Maschinen zur Applikation von Pflanzenschutz- und Düngemitteln mit einer Arbeitsbreite von 32 m und einer Arbeitsgeschwindigkeit von 15 km/h vorgestellt [7]. Die Einsatzgrenzen der derzeit bekannten Einrichtungen zur selbsttätigen Lenkung liegen bei Geschwindigkeiten von 6 bis 8 km/h sowie Arbeitsbreiten von 8 bis 10 m und werden in der Hauptsache durch die Meßwert erfassung bestimmt. Da es gegenwärtig noch kein praktikables Meßsystem für große Arbeitsbreiten und hohe Arbeitsgeschwindigkeiten gibt, richten sich die Maßnahmen zur Verbesserung des Anschlußfahrens bei den o. g. Maschinen und

Geräten überwiegend auf Orientierungshilfen für den Fahrer. Dazu werden im allgemeinen künstlich geschaffene Leitlinien in Form von Reiß-, Schaum- oder Farbspuren genutzt [8]. Diese werden vom Fahrer entweder direkt oder über Visiereinrichtungen bzw. Spiegelsysteme beobachtet (Bilder 1 und 2). Mit diesen Einrichtungen wurde zwar eine z. T. erhebliche Verbesserung der Qualität des Anschlusses erreicht — nach einer Veröffentlichung von Sal'nikov [9] verringerte sich durch den Einsatz eines „Spuran zeigers“ (Bild 2c) die doppelt bearbeitete Fläche auf ein Drittel, was bei der Aussaat von Getreide einer Einsparung von rd. 2 Rbl./ha entspricht —, sie haben jedoch alle den Nachteil, daß durch die ständig erforderliche volle Konzentration und die laufend notwendigen Blickrichtungswechsel der Fahrer sehr schnell ermüdet, was wiederum negative Auswirkungen auf die Qualität des Anschlußfahrens und die Flächenleistung während der Gesamtdauer einer Schicht hat. Die Forderung

Bild 1. Prinzip der Erfassung einer Leitlinie mit Hilfe einer Visiereinrichtung;  
 1 Leitlinie, 2 mobiles Aggregat, 3 Visiereinrichtung, A—B Visierlinie, A—C vorgegebener Fahrabstand,  $\Delta x$  Abweichung vom Sollabstand



nach einem praxisgerechten Verfahren der automatischen Lenkung landwirtschaftlicher Aggregate auch bei großen Arbeitsbreiten, hohen Arbeitsgeschwindigkeiten und fehlenden natürlichen Leitlinien rückt deshalb immer mehr in den Vordergrund. Der Zeitpunkt der Lösung dieses Problems wird wesentlich davon bestimmt, wann es gelingt, eine entsprechende Meßeinrichtung zu entwickeln. Analysiert man die möglichen Leitlinien auf ihre Eignung zur meßtechnischen Erfassung, so ergeben sich folgende Aspekte: Die durch Spurreißer gezogenen Spurrillen (Leitlinien) können durch technische Einrichtungen vor allem bei höheren Geschwindigkeiten weder optisch noch mechanisch sicher erfaßt, ausgewertet und genutzt werden. Außerdem werden solchen Einrichtungen durch die mechanische Festigkeit des Bodens sowohl hinsichtlich der Arbeitsgeschwindigkeit als auch der Arbeitsbreite Grenzen gesetzt.

Etwas günstigere Bedingungen für eine optische Erfassung bieten Schaum- und Farbspuren aufgrund ihres Kontrastes zur Bodenoberfläche. Allerdings ist zu erwarten, daß die derzeit zur visuellen Beobachtung erzeugten Schaumrupfen (Abstände 3 bis 10 m) bzw. diskontinuierlichen Schaumlinien für eine meßtechnische Auswertung nicht ausreichen. Dabei ist es gleichgültig, ob sich der Meßwertgeber auf einem Ausleger über der Leitlinie befindet oder auf dem mobilen Aggregat selbst montiert ist (Bild 3). Im ersten Fall haben Gierbewegungen des Auslegers und Wippbewegungen des mobilen Aggregats und im zweiten Fall der große Abstand zur Leitlinie sowie Wank- und Nickbewegungen des mobilen Aggregats einen negativen Einfluß auf die Genauigkeit des Meßwerts.

Der zusätzliche Aufwand an Geräten und der jährliche Einsatz an Material einschließlich Transport, Lagerung, Umschlag nur zur Erzeugung der Leitlinie sind erheblich. Je Fahrzeug werden benötigt:

- Schaummittelbehälter
- zusätzliche Energiequelle
- Schaumgenerator
- Verteileinrichtung
- Schaummittellösung.

Hinzu kommt, daß dieses Verfahren für Bewuchshöhen über 10 cm nicht mehr geeignet ist.

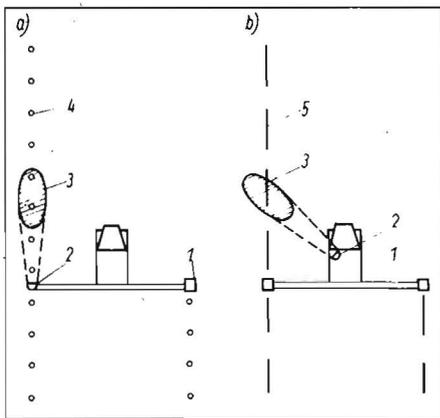


Bild 3. Möglichkeiten zum Ausbringen und zur Erfassung einer Schaumpur;  
 a) Meßwertgeber auf dem Ausleger  
 b) Meßwertgeber auf dem mobilen Aggregat  
 1 Schaumverteilereinrichtung, 2 Meßwertgeber, 3 erfaßte Fläche, 4 Schaumtupfen, 5 diskontinuierliche Schaumlinie

da der Schaum dann teilweise oder ganz im Bewuchs verschwindet.

Im innerbetrieblichen Transportwesen erlangen automatisch induktiv spurgeführte Flurförderzeuge eine immer größere Bedeutung [10, 11, 12]. Es werden stromdurchflossene Kabel im Erdboden verlegt und das entstehende elektromagnetische Feld mit Hilfe von Induktionsspulen abgetastet. Eine Übernahme dieses Prinzips in die Feldwirtschaft ist zwar grundsätzlich möglich, erfordert aber bei den wesentlich größeren Flächen einen hohen Aufwand an Material (korrosionsbeständiges Kabel) und Installationskosten. Die Kabel müssen so tief im Erdreich verlegt werden, daß sie durch Arbeitswerkzeuge nicht zerstört werden. Mit wachsendem Abstand der Induktionsspule vom stromdurchflossenen Leiter werden die Feldstärkeänderung je Längeneinheit immer geringer und das Meßergebnis immer ungenauer. Das trifft besonders bei vom Leiterabstand abweichenden Arbeitsbreiten zu, bei denen außerdem eine Korrektur des Abgleichs nach jedem Arbeitsdurchgang erforderlich wäre. Alle bisher genannten Leitlinienverfahren erweisen sich also bei näherer Betrachtung speziell für hohe Arbeitsgeschwindigkeiten und große Arbeitsbreiten als wenig geeignet. Diese Erkenntnis führt zu der Fragestellung, ob zur Lösung dieses Problems nicht prinzipiell neue Verfahren erforderlich sind, wie z. B. der Einsatz von Laser- oder Funkleitstrahlen.

Die Lasertechnik hat auf vielen Gebieten der Wissenschaft und Technik ihr Anwendungsgebiet gefunden. Auch in der Landwirtschaft werden Laser bereits erfolgreich zur Nivellierung von Anbauflächen oder zur Erzeugung von niveaugleichen Dämmen auf Reisfeldern ein-

gesetzt [13]. Dabei erzeugt ein rotierender Lasersender eine horizontale Laserlicht-Bezugsebene, deren Lage von Empfängern auf den mobilen Aggregaten ausgewertet und zur Steuerung der Arbeitswerkzeuge genutzt wird (Bild 4).

Im Tagebau Klettwitz des VEB Braunkohlenkombinat Lauchhammer wurde im Jahr 1975 ein Laser-Richtstrahl-Verfahren zum Rücken von Bandanlagen für die Abraumförderung erprobt. Dabei wurde ein vertikal aufgefächert modulierter Laserstrahl in die Fahrtrichtung des Rücktraktors gesendet, auf dem eine Empfangseinrichtung montiert war (Bild 5). Über Entfernungen von rd. 3000 m wurden damit Abweichungen von nur  $\pm 80$  mm registriert [14]. Mit dem Einsatz eines solchen Verfahrens zum Spurhalten landwirtschaftlicher Aggregate würden sich im wesentlichen folgende Vorteile ergeben:

- Unabhängigkeit von Tages- und Nachtzeit, Beleuchtungsverhältnissen, Witterungsbedingungen, Bodenart, Bewuchs
- hohe Genauigkeiten über große Entfernungen
- Unabhängigkeit von der Arbeitsbreite
- ständige Rückkopplung zum bewegten Objekt durch Kontakt mit der Lichtebene
- kein Übertragen von Fahrkursabweichungen auf den folgenden Arbeitsgang
- Unabhängigkeit der Empfangsverhältnisse von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs
- gleiches Meßprinzip und gleiche Einrichtungen für alle Aggregate und Bearbeitungsarten.

Neben diesen Vorteilen ergeben sich natürlich auch verschiedene Probleme, die im einzelnen einer technischen Lösung mit ökonomisch vertretbarem Aufwand bedürfen. Die wichtigsten Probleme sind:

- notwendige Leistung des Lasers
- Bereitstellung der elektrischen Versorgungsenergie
- Komplexeinsatz
- Arbeitsschutz
- Transport des Senders am Feldrand von einer Position in die nächste, die eine Arbeitsbreite entfernt ist
- Ausrichten des Strahls parallel zur Lage des Strahls der vorherigen Position.

Für die beiden letztgenannten Punkte müßten perspektivisch automatische Lösungen gefunden werden.

Eine weitere Möglichkeit der zukünftigen Automatisierung der Bewegungssteuerung landwirtschaftlicher Aggregate, die Befehlslenkung mit Hilfe von Funkwellen, wird in [15] diskutiert. Auch dabei ergeben sich als wesentliche Vorteile:

- Unabhängigkeit von Tageszeit und Lichtverhältnissen
- Unabhängigkeit von Witterungsbedingungen, Bodenart und Bewuchs
- Einsatz bei beliebigen Arbeitsbreiten.

Bei diesem Verfahren ist besonders die Bestimmung der jeweiligen Position des mobilen Aggregats problematisch, die zum ständigen Vergleich der Istposition mit der vom Programm vorgegebenen Sollposition erforderlich ist.

### Zusammenfassung

Für die automatische Lenkung mobiler landwirtschaftlicher Aggregate werden technische Einrichtungen benötigt, die eine vorgegebene Leitlinie ständig sicher erfassen. Spurrillen sowie Schaum- und Farbspuren sind speziell für hohe Arbeitsgeschwindigkeiten und große Arbeitsbreiten als Leitlinien wenig geeignet. Nicht auszuschließen ist die Lösung des Problems mit Laser- bzw. Funk-Leitstrahlen, deren Anwendung eine Reihe von Vorteilen bieten würde.

### Literatur

- [1] Finn-Kelcey, B.: Der automatische Traktor wird in fünf Jahren seine Arbeit verrichten. *Agric. Machinery* 20 (1966) H. 5, S. 23.
- [2] Kollar, L.: *Automatisierung in der Landwirtschaft*. Berlin: VEB Verlag Technik 1975.
- [3] Walter, F.: Aufgaben der Automatisierungstechnik in der Landwirtschaft. *agrartechnik* 28 (1978) H. 2, S. 81—82.
- [4] Zierold, R.: Die Entwicklung der materiell-technischen Basis der Landwirtschaft aus ökonomischer Sicht. Vortrag auf der Mechanisierungstagung der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg vom 6. bis 8. November 1979.
- [5] Listopad, G. E.: Stand und Entwicklungstendenzen in der Landtechnik der UdSSR. Tagungsmaterial der Mechanisierungstagung der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg 1979.
- [6] Fritsch, K.: Leitsaat für die automatische Lenkung beim Hacken und Bandspritzen von Zuckerrüben. *agrartechnik* 29 (1979) H. 3, S. 110.
- [7] Lucius, J.: Maschinen und Geräte zur Chemisierung. *agrartechnik* 29 (1979) H. 1, S. 14—15.
- [8] Aleksandrov, V. I.: Markery dlja razbrasyvatelej udobrenij (Reihenzieher für Düngerstreuer). *Traktory i sel'chozmasiny* (1976) H. 6, S. 41—43.
- [9] Sal'nikov, V. A.: Ustrojstvo dlja vozdenija širokozachvatnyh agregatov (Vorrichtung zur Führung von Aggregaten mit großer Arbeitsbreite). *Mechanizacija i elektrifikacija socialisticeskogo sel'skogo chozjajstva* (1978) H. 11, S. 48—50.
- [10] Lindner: Vorwort zu report 5 (1978) H. 16 (Schriftenreihe des Zentralen Forschungsinstituts des Verkehrswesens der DDR).
- [11] Roll, S.: Anwendungsmöglichkeiten automatisch induktiv spurgeführter Flurförderzeuge im Verkehrswesen. report 5 (1978) H. 16, S. 3—23 (Schriftenreihe des Zentralen Forschungsinstituts des Verkehrswesens der DDR).

Fortsetzung auf Seite 101

Bild 4. Steuerung von Arbeitswerkzeugen mit Hilfe eines Laserstrahls:  
 1 rotierender Lasersender, 2 horizontale Laserlichtebene, 3 Empfangseinrichtung

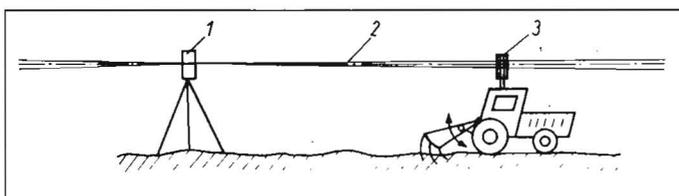
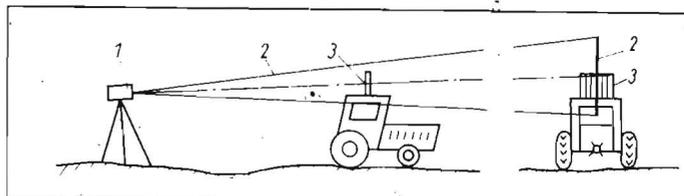


Bild 5. Laser-Richtstrahl-Verfahren:  
 1 Lasersender, 2 vertikale Laserstrahlenebene, 3 Laserempfänger



# 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

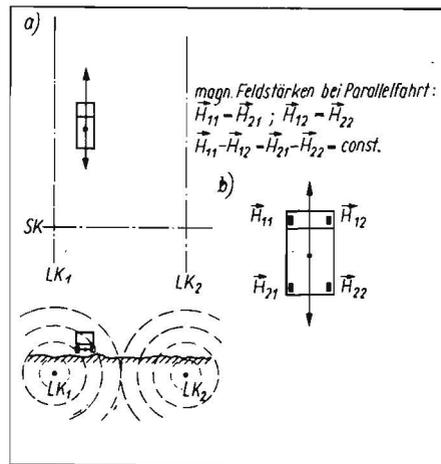


Bild 1. Schema der automatischen Lenkung mit Hilfe eines Leitkabels;  
a) Anordnung des Leitkabels  
b) Anordnung der Meßfühler auf dem Aggregat  
LK Leitkabel, SK Steuerkabel

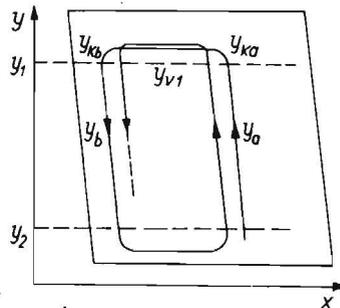


Bild 2. Vorgabe einer virtuellen Bewegungsbahn durch analytische Definition

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:

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

$$y_{ka} = \sqrt{r^2 - (x - x_{Ma})^2} + y_{Ma}; \text{Tangente } y_a, y_{v1}$$

$$y_{v1} = y_1; \text{Tangente } y_{ka}, y_{kb}$$

$$y_{kb} = \sqrt{r^2 - (x - x_{Mb})^2} + y_{Mb}; \text{Tangente } y_{v1}, y_b$$

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

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			