

Eine Möglichkeit zur Erhöhung der Effektivität beim Einsatz mobiler landwirtschaftlicher Aggregate in der Pflanzenproduktion ist die Anwendung der Automatisierungstechnik. Im Rahmen dieser Zielstellung werden von Wissenschaftlern der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg u. a. Probleme der Automatisierung der Lenkung mobiler Aggregate bearbeitet. Erste Ergebnisse und die sich bei der Lösung der Forschungsaufgabe eröffnenden technischen und ökonomischen Möglichkeiten werden in den nachfolgenden sechs Beiträgen vorgestellt.

Die Redaktion

Gründe und Möglichkeiten für die automatische Lenkung mobiler landwirtschaftlicher Aggregate

Dozent Dr.-Ing. L. Kollar, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

1. Lenkprozeß und Anforderungen an die Funktion einer automatischen Lenkung

Jeder Körper kann im Raum entsprechend seinen Freiheitsgraden Bewegungen ausführen. Bei einem mobilen Aggregat sind das Längsbewegung, Querbewegung und Bewegung durch Bodenunebenheiten. Neben diesen Translationsbewegungen sind noch Wankbewegung (Rollen), Nickbewegung und Gierbewegung möglich. Für das Einhalten eines Fahrkurses sind Quer- und Gierbewegung von besonderer Bedeutung.

Der Bewegungszustand eines mobilen landwirtschaftlichen Aggregats wird in beabsichtigter Weise durch Lenken beeinflusst. Das Lenken umfaßt folgende Teilaufgaben [1]:

- Orten des mobilen Aggregats hinsichtlich eines Bezugssystems
- Aufrechterhalten der Längsbewegung
- Bewegungskontrolle hinsichtlich des Bezugssystems.

Dieser Prozeß ist bei allen mobilen landwirtschaftlichen Aggregaten zu bewältigen. Der Fahrer übt in solchen Systemen in Verbindung mit der Lenkeinrichtung die Funktion einer Regeleinrichtung aus. Regelstrecke ist das mobile Aggregat unter Einwirkung fahrbahnseitig bedingter Belastungen.

Der Fahrer nimmt mit Hilfe seiner Sinnesorgane eine Vielzahl von Informationen über die Regelstrecke auf, ermittelt die Fahrkursabweichung, um ihr durch entsprechende Stellsignale entgegenwirken zu können (Bild 1). Die für das Lenken erforderlichen Größen

- Abweichung vom Fahrkurs und
- Stellungswinkel (Gierwinkel) der Aggregat-längsachse zur gewählten Bezugslinie

werden visuell erfaßt. Außer diesen Größen dienen Fahrgeräusche und Kraftwirkungen infolge von Geschwindigkeitsänderungen eines Aggregats zur weiteren Information [2, 3]. Aufgrund des dem Menschen eigenen Zeitverhaltens werden vom Fahrer nach 0,1 bis 1,0 s die Stellgröße, meistens auch deren notwendige Änderungsgeschwindigkeit ermittelt und Fahrkurskorrekturen eingeleitet [3]. Soll eine bestimmte Genauigkeit des Fahrkurses gewährleistet werden, ergeben sich aus dem Zeitverhalten des Menschen Beschränkungen für die Fahrgeschwindigkeit, da mit größerer Fahrgeschwindigkeit größere Wege in einer bestimmten Zeit zurückgelegt werden und die Anzahl der notwendigen Operationen zur Fahrkurskorrektur steigt, die Reaktionsfähigkeit des Fahrers aber begrenzt ist. Dieser Leistungsgrenze des Menschen wird die Fahrgeschwindigkeit mobiler Aggregate beim manuellen Lenken zwangsläufig angepaßt. Bezugsgrößen für das Lenken mobiler landwirtschaftlicher Aggregate sind Bearbeitungsgrenzen,

Pflanzenreihen, Furchen und Dämme — nachfolgend Leitlinie genannt —, nach deren Verlauf der Fahrer das Aggregat führt. Ist die bei der Bearbeitung entstehende Grenze vom Fahrer nicht oder schlecht erfassbar, werden meist durch Spurrißer erkennbare Leitlinien geschaffen. Hieraus ist ersichtlich, daß der Lenkprozeß die Operationen einer automatischen Steuerung mit Kreisstruktur (Regelung) umfaßt. Daraus und aus den Einsatzverhältnissen, unter denen eine automatische (selbsttätige) Lenkung arbeitet, ergeben sich folgende Anforderungen an sie:

- sicherer Betrieb in dem für die einzelnen Arbeiten notwendigen Geschwindigkeitsbereich, unabhängig von Witterung und Tageszeit, bei den in Frage kommenden Einsatzverhältnissen
- Einhalten des Arbeitsbreitenanschlusses entsprechend den für die einzelnen Arbeiten geltenden agrotechnischen Forderungen
- schnellstmögliche Fahrkurskorrektur, ohne ein Überschwingen der Regelgröße zuzulassen
- einfache Bedienbarkeit und wartungsarmer Betrieb.

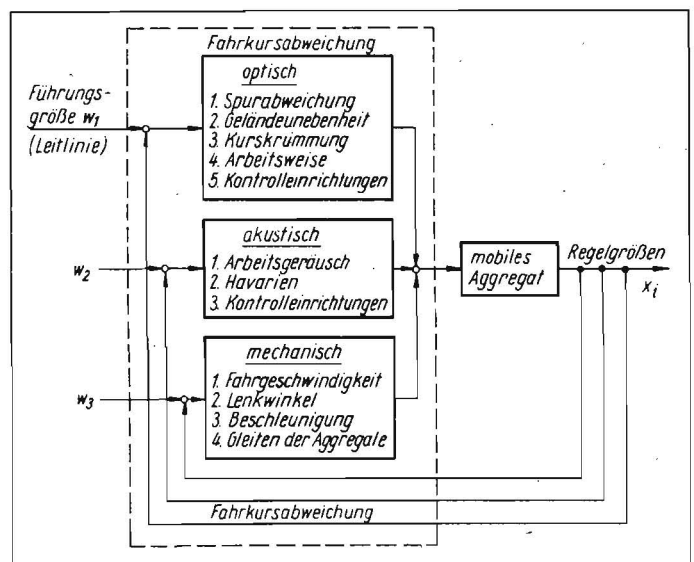
2. Technisch-technologische und ökonomische Gründe für die Automatisierung der Lenkung

Die Beanspruchung eines Fahrers durch die Regeltätigkeit im Lenkprozeß ist sehr hoch. Sie wächst besonders stark an bei Nebel und künstlicher Beleuchtung. Sie entsteht nicht nur durch die vom Fahrer aufzubewahrende mechanische

Arbeit zur Betätigung des Lenkrades — diese kann sehr klein gehalten werden [2] —, sondern vor allem infolge der ständig aufzunehmenden und zu verarbeitenden Informationen über den Fahrzustand. Für diesen Teil des Lenkprozesses werden bis zu 90% der vom Fahrer aufzubewahrenden Energie in Anspruch genommen [4, 5]. Müdigkeit und Nachlassen der Konzentration sind Folge der hohen Beanspruchung. Fahrer landwirtschaftlicher Aggregate sind deshalb nicht in der Lage, während der gesamten Zeit einer Schicht alle notwendigen Informationen aufzunehmen und in einem für den Lenkprozeß erforderlichen Umfang zu verarbeiten. Dadurch kommt es zu unvermeidbar großen Fahrkursabweichungen und damit zur Verschlechterung der Arbeitsqualität, die die Folgebearbeitung, z. B. Pflanzenpflege, erschwert, mitunter auch unmöglich macht [6, 7].

Darüber hinaus ist die Beobachtung und Einflußnahme auf Arbeitsprozesse mobiler Aggregate (z. B. bei der Arbeit mit Mähreschern, Kartoffel- und Rübensammelroden und Drillmaschinen) nur begrenzt möglich, so daß auch bei diesen Prozessen Qualitätsmängel auftreten. Aggregate zur Bodenbearbeitung und Bestellung z. B. wurden manuell im allgemeinen so gelenkt, daß die äußeren Arbeitswerkzeuge einen Streifen der bereits bearbeiteten Fläche erfassen, wodurch es an der Anschlußstelle zu doppelter Bearbeitung kommt, was ein Verringern der Flächenleistung zur Folge hat. Messungen beim Pflügen mit dem Pflug B 501 in Verbindung mit dem Radtraktor K-700 haben

Bild 1
Anforderungen an den Fahrer eines mobilen Aggregats [2]:
 x_i , Regelgrößen, w_1 bis w_3 , Führungsgrößen



Abweichungen zwischen der genutzten und konstruktiven Arbeitsbreite von -10 bis -27 cm, im Durchschnitt von -17,3 cm, ergeben. Die dadurch bedingte durchschnittliche Verringerung der Flächenleistung beträgt beim Pflügen mit einer konstruktiven Arbeitsbreite von rd. 2 m 7,5%. Bei Arbeiten mit einem Kopplungswagen wurden Fahrkursabweichungen zwischen -26 cm bis -80 cm bei einer Arbeitsbreite von 5,6 m gemessen.

Durch das Nichteinhalten der konstruktiven Arbeitsbreite und der technologisch möglichen Fahrgeschwindigkeit wird die Flächenleistung verringert. Der durchschnittliche Breitenausnutzungsgrad b_f erreicht bei den meisten Arbeiten nicht immer den anzustrebenden Wert 1 und zeigt, daß das Anschlußfahren verbessert werden muß (Tafel 1). Um die Arbeiten auf den Feldern zu agrotechnischen Terminen zu beenden, sind hohe Flächenleistungen (große Arbeitsbreiten und Fahrgeschwindigkeiten) erforderlich. Die dazu notwendige Steigerung der Flächenleistung ist über ein Vergrößern der konstruktiven Arbeitsbreite allein nicht zu erreichen, weil mit der auf diese Weise erzielten Steigerung der Flächenleistung auch Eigenmasse und Zugkraftbedarf für die mobilen Aggregate ansteigen und die Übertragung der Treibkräfte durch die Reifen bereits bei den derzeit üblichen konstruktiven Arbeitsbreiten im Feldeinsatz mit Radschlupf von durchschnittlich 20% verbunden ist [8]. Größere konstruktive Arbeitsbreiten bedingen außerdem meist einen der Flächenleistung proportionalen Anstieg der Kosten, was aus ökonomischer Sicht unvorteilhaft ist. Außerdem würden sich Transportbreiten von mehr als 3 m ergeben, die im öffentlichen Straßenverkehr nach der StVZO nicht zulässig sind.

Eine weitere Möglichkeit zur Steigerung der Flächenleistung ist dadurch gegeben, daß die Arbeitsgeschwindigkeit bis an die technisch-technologische mögliche Grenze, die für die einzelnen Bearbeitungsmaßnahmen 10 bis 12 km/h betragen kann, vergrößert wird. Moderne mobile Aggregate mit Motorleistungen um 200 kW bieten schon derzeit eine erste Voraussetzung dafür. Diese Arbeitsgeschwindigkeiten liegen aber um 4 bis 6 km/h höher als die, bei denen der Fahrer mobiler Aggregate in der Lage ist, das Lenken unter Einhalten der erforderlichen Arbeitsqualität der durchgeführten Bearbeitung über die Zeitdauer einer Schicht auszuüben [4, 5].

Bei der Grundbodenbearbeitung im Herbst sind z. B. in der DDR täglich 90 000 ha zu pflügen [9]. Nichteinhalten der konstruktiven Arbeitsbreite von nur 5% führt täglich zur Minderung der Flächenleistung von 4 500 ha. Dadurch bedingte Aussaatverzögerungen verursachen erhebliche Ertragseinbußen. Insgesamt sind die durch das Nichtausnutzen der Arbeitsbreite bedingten volkswirtschaftlichen Verluste beachtlich. Werden sie auf die in der Pflanzenproduktion der DDR durchzuführenden Arbeiten und Flächenanteile bezogen (Tafel 2), ergeben sich folgende Zahlen:

Die Erhöhung des Arbeitsbreitenausnutzungsgrades um nur 1% käme einer Einsparung der Aufwendungen für z. B. 65 000 ha Pflügen, 85 000 ha kombinierte Bodenbearbeitung und 35 000 ha Erntearbeiten gleich. Die sich daraus ergebenden Verfahrenskosten können bei 1% der Erhöhung des Arbeitsbreitenausnutzungsgrades nach Eberhardt [11] zu 5,22 Mill. M kalkuliert werden. Wird unterstellt, daß eine Einrichtung zum selbsttätigen Lenken 7 000 bis 10 000 M kostet, dann sind die dafür notwendigen Aufwendungen z. B. schon nach rd. 150 bis

Tafel 1. Anhaltswerte für den Arbeitsbreitenausnutzungsgrad $b_f = B_w/B_1$ [8] (B_w erreichte Arbeitsbreite, B_1 konstruktive Arbeitsbreite)

Gerät, Maschine	b_f
Pflüge	0,95 ... 1
Scheibeneggen	0,85 ... 1
Grubber	0,80 ... 1
Eggen	0,90 ... 1
Ackerschleppes	0,90 ... 0,95
Walzen	0,90 ... 0,95
Düngerstreuer (Kasten-Breitstreuer)	0,90 ... 1
Maschinen mit Mähwerk (je nach Bestandsdichte)	0,65 ... 0,98
Sä- und Pflanzmaschinen und sonstige nach Spurreeißer gefahrene Maschinen	1

Tafel 2. Arbeitsarten und zu bearbeitende Flächen in der Pflanzenproduktion der DDR nach [10]

Arbeitsart	Fläche Mill. ha
Pflügen	6,5
kombinierte Bodenbearbeitung	8,5
Saatenpflege (Winterweizen, Gerste)	3,0
Pflanzenpflege (Kartoffeln, Rüben)	2,5
Erntearbeiten	3,5

214 ha Pflügen mit einer Erhöhung des Arbeitsbreitenausnutzungsgrades um nur 1% erwirtschaftet. Ähnlich günstige Aussagen über die Wirtschaftlichkeit von Lenkeinrichtungen lassen sich für alle anderen landwirtschaftlichen Feldarbeiten, bei denen mobile Aggregate eingesetzt werden, nachweisen.

Erreichte Ergebnisse mit Einrichtungen zur selbsttätigen Lenkung bei Geschwindigkeiten um 6 km/h lassen Verbesserungen des Arbeitsbreitenausnutzungsgrades um 3 bis 4% als erreichbar erscheinen [12].

Infolge der genannten Gründe und der sich ständig wiederholenden Vorgänge — Erfassen der Leitlinie (Messen), Vergleichen des Fahrkurses mit dem anzustrebenden Fahrkurs und Stellen der Lenkeinrichtung — bietet dieser Prozeß ökonomische und technologische Voraussetzungen zu seiner Automatisierung. Schwierigkeiten bei der Schaffung eines technischen Ersatzsystems für die Funktion des Fahrers im Lenkprozeß entstehen dadurch, daß

der Fahrer nicht nur eine Information über die Fahrkursabweichung verarbeitet, sondern aus einer Vielzahl von Informationen und seinen Erfahrungen, die er über die Regelstrecke zugriffsbereit gespeichert hat, die Steuergröße und erforderlichenfalls auch deren Änderungsgeschwindigkeit bestimmt [2, 3].

3. Einteilung der automatischen Lenkung und mögliche Leitsysteme

Zum Leitsystem gehören Einrichtungen zur Vorgabe des Sollkurses und Parameter des Sollkurses. In Abhängigkeit von den Leitsystemen kann folgende Einteilung der selbsttätigen Lenkung vorgenommen werden (Bild 2):

— Lenkung an Leitlinien

— Befehls- oder Fernlenkung.

Beim Lenken an Leitlinien ist keine Fernübertragung der Führungsgröße von bestimmten Fixpunkten aus zum fahrenden Aggregat erforderlich.

Zum Lenken eignen sich rein theoretisch Leitlinien in Form von [13, 14]

— bei der Bearbeitung entstehenden Bearbeitungsgrenzen, Furchen oder Dämmen

— zusätzlich geschaffenen Furchen, Dämmen, Düngemittel- und Schaumspuren

— Pflanzen und Pflanzenreihen

— in der Erde verlegten Wechselstromdurchflossenen Kabeln

— gebündeltem Licht

— gespannten Drähten

— akustischen Wellen

— Funksignalen.

Der wesentliche Vorteil der bei der Bearbeitung entstehenden Leitlinien ist, daß zu ihrer Schaffung keine zusätzlichen Ausrüstungen erforderlich sind. Demgegenüber steht der Nachteil der Störgrößenübertragung von einer Leitlinie auf die folgende, was bei unzureichender Anordnung des Meßgliedes Fahrkursabweichungen entsprechend verstärkt [15].

Auch bei der Bearbeitung mit zusätzlich geschaffenen Leitlinien tritt dieser Nachteil auf.

Vorteilhaft bei den in der Erde verlegten Kabeln als Leitlinien (z. B. Wechselstromdurchflossene Kabel) ist ihre ständige Wiederverwendung. Schwierigkeiten jedoch treten bei der Erfassung der Meßgröße auf, da die Magnetfelder der Wechselstromdurchflossenen Kabel gegenüber äußeren elektrischen und magnetischen Feldern sehr empfindlich sind. Neben diesen Problemen ist die Vorgabe des Stellwerts für den Fahrkurs in Form einer eindeutigen Feldstärke unter Beachtung der sich ergebenden Betriebsdaten (Arbeitsbreite, Lenkeinrichtung und Art des Aggregataufbaus) nicht problemlos [16]. Darüber hinaus entstehen hohe Aufwendungen

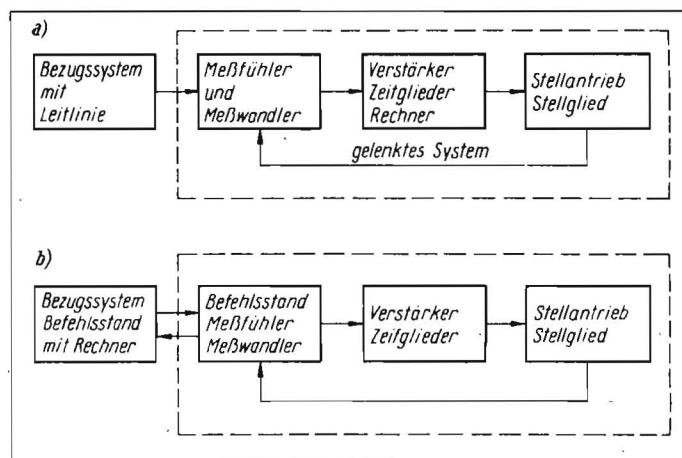


Bild 2. Signalflußbilder möglicher Lenksysteme:
a) Lenkung an Leitlinien
b) Befehls- oder Fernlenkung

durch das Verlegen von Leitkabeln und die Ausrüstung der mobilen Aggregate mit anspruchsvollen Automatisierungsmitteln [17]. Gebündeltes Licht, gespannte Drähte, akustische Wellen und Funksignale werden hauptsächlich als Leitlinien beim Dränieren verwendet [18]. Zum Abtasten der Leitlinien werden meistens Meßfühler mit proportionalem Verhalten angewendet. Für sie gilt:

$$G_w(p) = \frac{y_1(p)}{y(p)} = K_w; \quad (1)$$

y_1 Signal der Fahrkursabweichung
 y Wert der Fahrkursabweichung
 p Laplace-Operator.

4. Lenkeinrichtung

Die Lenkeinrichtung hat für notwendige Fahrkursänderungen in kurzer Zeit große Leistungen bereitzustellen. Daraus ergeben sich zwangsläufig hydraulische Stellmotore, die durch elektrisch gesteuerte oder durch hydraulisch vorgesteuerte Wegeventile betätigt werden [19].

Unter Vernachlässigung der durch das Trägheitsmoment des Kolbens verursachten mechanischen Zeitkonstanten entsteht die Übertragungsfunktion der Lenkeinrichtung zu:

$$G_L(p) = \frac{\Delta \alpha(p)}{y_1(p)} = \frac{K_L}{1 + p T_i}; \quad (2)$$

$\Delta \alpha$ Lenkwinkeländerung
 y_1 Signal der Fahrkursabweichung.
 Werte für T_L liegen zwischen 0,2 s und 0,5 s, für K_L bei $8,70 \cdot 10^{-3}$ 1/rad.

5. Aggregat und Modell eines mobilen Aggregats

Eine mathematische Beschreibung der Bewegungsverhältnisse von eingliedrigen Straßenfahrzeugen ist sehr schwierig und exakt nicht möglich [20, 21, 22].

Noch umfassender sind die Probleme bei mobilen Aggregaten, weil der Einfluß der vom Bodenwiderstand über Arbeitswerkzeuge einwirkenden Kräfte und die durch die Reifen verformte Fahrbahn mit einzubeziehen sind. Deshalb werden sehr vereinfachte Modelle angewendet [20, 21, 23]. Sie genügen der Übertragungsfunktion

$$G_f(p) = \frac{y(p)}{\alpha(p)} = \frac{K_f}{p^2 (1 + p T_D)}; \quad (3)$$

y Fahrkursabweichung
 α Lenkwinkeländerung.

Der unter diesen vereinfachenden Annahmen sich ergebende Regelkreis ist bei Verwendung von PD- oder PD-ähnlichen Reglern — Dreipunktglied mit Rückführung — theoretisch stabil. Selbst für sehr große Kreisverstärkungen ($K^* \rightarrow \infty$) bleibt der Regelkreis stabil (Bild 3). Die Ursachen für das ab bestimmten Fahrgeschwindigkeiten auftretende instabile Verhalten [24, 25] müssen demnach von anderen Eigenschaften mobiler Aggregate abhängen. Aus diesen Gründen ist es notwendig, zumindest die Regelstrecke durch bessere mathematische Modelle zu beschreiben. Werden Aggregatmasse, Trägheitsmoment, Treibkräfte, Seitenkräfte und Schlupf berücksichtigt, entsteht eine Übertragungsfunktion der Form:

$$G_f(p) = \frac{y(p)}{\alpha(p)} = \frac{(A_2 p^2 + A_1 p + A_0) K_L}{p^2 (E_3 p^2 + E_2 p + E_1) (p T_L + 1)} \quad (4)$$

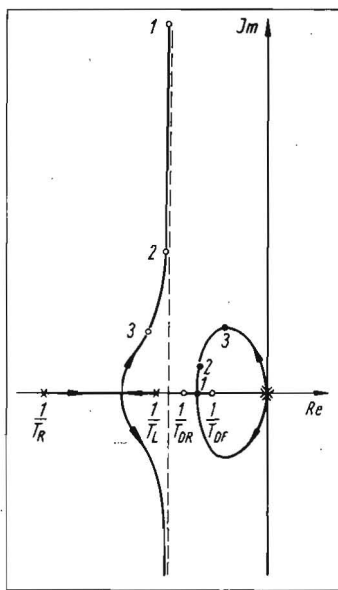


Bild 3. Wurzelortskurve für ein mobiles Aggregat der Übertragungsfunktion

$$G(p) = \frac{K^* (1 + p T_{DR}) (1 + p + T_{DR})}{p^2 (1 + p T_L) (1 + p T_R)}$$

$K^* = K_L K_I K_R$
 x Pol
 o Nullstelle
 1...3 Lage der Pole bei gleicher Verstärkung

Bei der Ermittlung dieser Übertragungsfunktion wird davon ausgegangen, daß ein durch Seitenkräfte und Normalkräfte belasteter Reifen sich elastisch, den Boden (Fahrbahn) elastisch-plastisch verformt (Bild 4). Dadurch bedingt ist für bekannte Seitenkräfte F_S eine bestimmte Fahrkursabweichung y nachweisbar. Soll der Fahrkurs mobiler landwirtschaftlicher Aggregate geändert werden, muß eine bestimmte Seitenkraft aufgebracht werden. Erst

Bild 4 Reifenschräglauf:
 a) Reifenkennlinienfeld F_N Achslast
 — $F_N = 76$ kN
 - - - $F_N = 50$ kN
 --- $F_N = 30$ kN
 b) wirkende Kräfte am Reifen
 x, y , Bezugsgrößen, x Weg in Richtung der Bezugsachse, y Fahrkursabweichung, s zurückgelegter Weg, ϵ Schräglaufwinkel

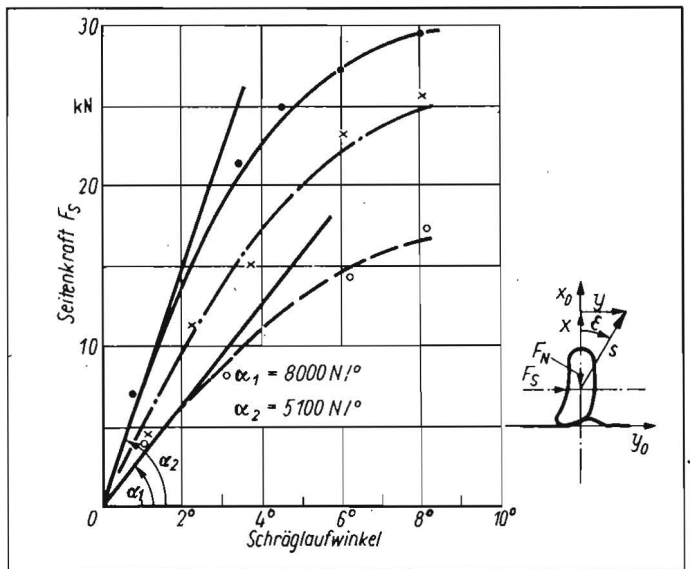
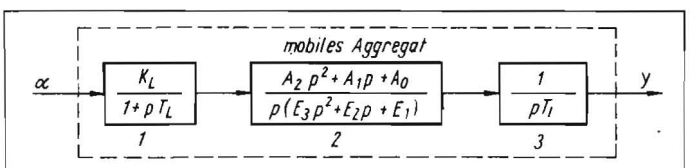


Bild 5 Signallaufbild des verbesserten Modells; 1 Lenkeinrichtung, 2 Modellanteil der Kraftwirkungen, 3 Modellanteil der schlupffreien Rollbewegung der Reifen



nach Wirksamwerden der Kraft F_S ist eine Fahrkursänderung möglich.

Unter Beachtung dieser Zusammenhänge entsteht ein mathematisches Modell für mobile Aggregate als Regelstrecke, in dem die tatsächlichen Verhältnisse mit den im Einsatz erhaltenen Ergebnissen [24, 25] besser übereinstimmen (Bild 5).

Untersuchungen an der Wurzelortskurve zeigen, daß das Aggregat, wie in der Praxis beobachtet, bei geringen Regelkreisverstärkungen bezüglich der Fahrkurshaltung instabil ist. Ein stabiler Betrieb wird erst ab einer Verstärkung des Regelkreises von K^* möglich (Bild 6). Durch Hinzunahme eines D-Anteils im Regler wird der stabile Betrieb bereits bei kleineren Kreisverstärkungen erreicht und kann bei zu großen K^* wieder zur Instabilität des Regelkreises führen. Die Analyse des Regelkreises ergibt, daß die Fahrkursabweichung mobiler Aggregate von mehreren vom Aggregat und von der Fahrbahn bedingten Größen abhängig ist. Die Wechselwirkungen dieser Einflußgrößen, vor allem die Zusammenhänge der Kraftübertragung zwischen elastischen Reifen und nachgiebigem Boden, lassen sich gegenwärtig mathematisch nicht befriedigend beschreiben. Sie schließen aufgrund einer fehlenden Theorie der Kraftübertragung Reifen—Boden [26] eine theoretische Prozeßanalyse aus, so daß eine experimentelle Kennwertermittlung erforderlich ist [27].

Des weiteren sind Meßverfahren zu entwickeln, die entsprechend den durchzuführenden Arbeiten mit mobilen Aggregaten eine sichere Erfassung der Leitlinien gewährleisten, da erst dann eine Regelung möglich wird, wenn die Führungsgröße (Leitlinie) unter Betriebsbedingungen gemessen werden kann. Die Stelleinrichtung (Lenkeinrichtung) sollte so ausgebildet sein, daß sie mit Einheitssignalen, die von nur einem Reglertyp (Einheitsregler), der für alle in der Landwirtschaft vorkommenden mobilen Aggregate geeignet sein sollte, gesteuert wird. Geeignet dafür sind die an mobilen Aggregaten

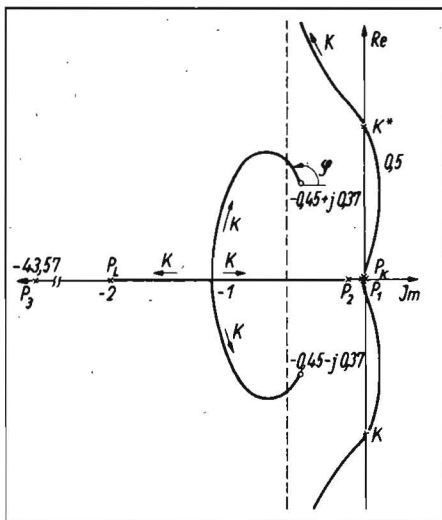


Bild 6. Wurzelortskurve des geschlossenen Regelkreises mit verbessertem Modell nach Bild 5

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 objekt 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 zernoboročnyh 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