

daraus für die Kampagneplanung je KS-6 8 bis 10 ha/d<sub>E</sub> ab.

Auskunft über erreichte Flächenleistungen ha/h<sub>T<sub>A</sub></sub> und ha/h<sub>T<sub>L</sub></sub> gibt Tafel 5. Deutlich wird, daß die geringeren Kampagneleistungen im Jahr 1977 eine Folge der niedrigeren Flächenleistungen ha/h<sub>T<sub>A</sub></sub> sowie ha/h<sub>T<sub>L</sub></sub> sind.

### 3.4. Analyse des Aufwands

Der Arbeitszeitaufwand und die Verfahrenskosten für die Zuckerrübenenernte einschließlich Silierung des Rübenblatts wurden auf der Grundlage von Detailuntersuchungen in drei Betrieben im Jahr 1976 auf kalkulativem Wege ermittelt. Zur Gewährleistung einer besseren Vergleichbarkeit wurden die tatsächlich in den Betrieben angewendeten Verfahren weitestgehend vereinheitlicht (z. B. Blatternte mit 6-OCS, einheitliche Transportvarianten). Bei den Verfahrenskapazitäten und den Rübenenerträgen wurden die tatsächlich in den Betrieben erreichten Werte eingesetzt. In allen Betrieben wurden jeweils zwei KS-6 eingesetzt.

Die Ergebnisse (Tafel 6) verdeutlichen, daß der Arbeitszeitaufwand je t Rüben Unterschiede von 30 bis 40% aufweist, während die Differenzen des Aufwands je Flächeneinheit nur 2 bis 12% ausmachen. Diese Ergebnisse werden durch die stark differenzierten Erträge bestimmt. Noch deutlicher tritt das bei den Verfahrenskosten zutage. Außerdem machen sich hier bei den Verfahrenskosten M/ha die

Tafel 6. Arbeitszeitaufwand und Verfahrenskosten

		Betrieb		
		1	2	3
Rübenenertrag <sup>1</sup>	dt/ha	377	287	236
Verfahrenskapazität des Komplexes	ha/h <sub>T<sub>08</sub></sub>	1,67	1,44	1,23
Arbeitszeitaufwand	AKh/ha	27,6	27,0	24,4
	AKh/t Rüben	0,73	0,94	1,03
Verfahrenskosten	M/h <sub>T<sub>08</sub></sub>	904	835	711
	M/ha	541	580	578
	M/t Rüben	14,40	20,20	24,50

unterschiedlichen Verfahrenskapazitäten (ha/h<sub>T<sub>08</sub></sub>) bemerkbar.

Die ermittelten Werte des Arbeitszeitaufwands und der Verfahrenskosten bei der Zuckerrübenenernte beweisen, daß gute Ergebnisse beim komplexen Maschineneinsatz auch in ökonomischer Hinsicht erreicht werden, wenn eine hohe Verfahrenskapazität (ha/h bzw. ha/d) und vor allem hohe Erträge gewährleistet werden.

### 4. Schlußfolgerungen

Die Ergebnisse der Untersuchungen zum Einsatz des Rodeladers KS-6 im Bezirk Rostock zeigen, daß es zwar bei den einzelnen Maschinen bzw. Betrieben eine große Differen-

zierung in der produktiven Ausnutzung der Einsatzzeit und in den erreichten Flächenleistungen gibt, aber keine wesentlichen Abweichungen von den in anderen Bezirken der DDR vorliegenden Erfahrungen und Ergebnissen festzustellen sind.

Wichtige Voraussetzungen für hohe Flächenleistungen der Erntekomplexe, gute Qualität der Arbeiten der Rübenenernte und Blattsilierung sowie für einen niedrigen spezifischen Aufwand (Arbeitszeitaufwand und Verfahrenskosten) sind zu schaffen durch

- exakte Planung und technologisch-technische Vorbereitung der Erntekampagne
- Komplexeinsatz und gezielte Realisierung der Schichtarbeit
- konsequente Maßnahmen der vorbeugenden und operativen Instandhaltung in hoher Qualität als Gemeinschaftsaufgabe von VEB KfL und Pflanzenproduktionsbetrieb
- fachliche und ideologische Vorbereitung der Arbeitskollektive
- Nutzung des sozialistischen Wettbewerbs als Leitungsinstrument.

### Literatur

Autorenkollektiv: Analyse des KS-6-Einsatzes 1976 im Bezirk Rostock und Schlußfolgerungen für die Zuckerrübenenernte 1977. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Bericht des Studentenzirkels 1977 (unveröffentlicht). A 2139

- 1) T<sub>A</sub> Schichtzeit (entspricht T<sub>08</sub> minus Wegezeit)
- 2) T<sub>L</sub> Leistungszeit (entspricht T<sub>08</sub>)

## Mensch — Maschine — Umwelt, dargestellt an der Lenkung selbstfahrender Landmaschinen

Dr.-Ing. M. Schmidt, Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

Leistungsstarke Maschinen und Geräte stellen hinsichtlich ihrer Betätigung hohe Anforderungen an den Menschen. Während der Anteil der physischen Belastung dabei kleiner geworden ist, erhöht sich die psychische Belastung durch den steigenden Bedarf an Informationsverarbeitung.

Für die Dauer der Benutzung der Maschine bilden Mensch, Maschine und Umwelt einen Regelkreis. Das Autofahren oder das Lenken von Landmaschinen auf der Straße oder auf dem Feld entlang einer Leitlinie sind Beispiele für solche Regelkreise.

### Regelkreis Fahrer — Fahrzeug — Fahrbahn

Im Bild 1 ist ein vereinfachtes Blockschaltbild des Systems Fahrer — Fahrzeug — Straße dargestellt. Der Regelkreis besteht dabei aus drei Hauptgliedern:

- Fahrer (Regler)
- Fahrzeug (Regelstrecke)
- Fahrbahn (Umwelt als Störung).

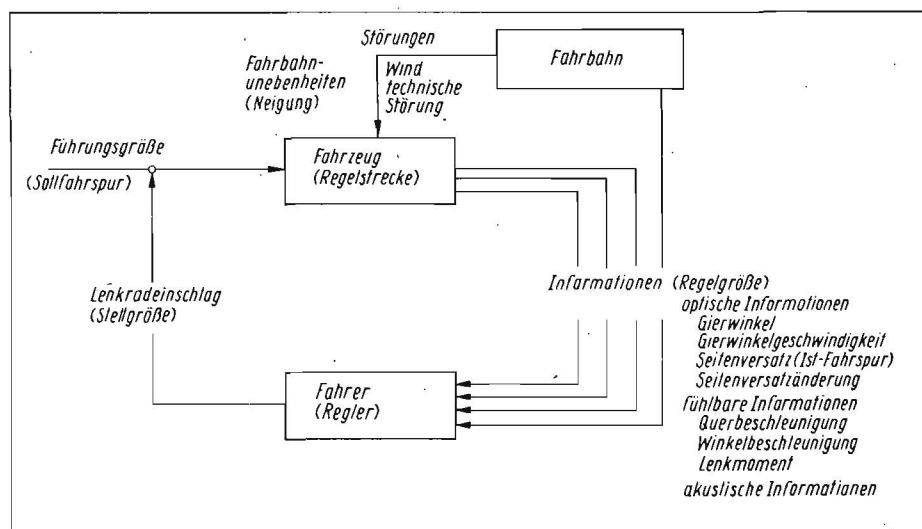
Im Regelkreis sind die Sollfahrspur die Führungsgröße, die Istfahrspur die Regelgröße und der Lenkradeinschlag die Stellgröße. Die Betrachtung des Fahrers als Regler läßt den Vergleich mit technischen Reglern zu, die aus Meßgliedern, Rechenelementen und Stellgliedern bestehen. Die Meßglieder des Fahrers sind seine Sinne, den Rechenelementen entspricht der Verstand, und seine Arme und Beine sind seine Stellglieder.

Die Abweichung der Regelgrößen von den Sollwerten nimmt er im Regelkreis mit den

Sinnen wahr, wobei dann der Verstand über die Maßnahmen entscheidet, die zur Beseitigung der Abweichungen notwendig sind, und entsprechende Befehle über die motorischen Nerven an die Stellglieder weitergibt. Die Stellglieder betätigen das Lenkrad und wirken damit auf die Regelgröße ein, wodurch der Regelkreis geschlossen wird [1]. Eine allgemeine mathematische Beschreibung des Fahrers als Regler, mit der dann der gesamte

Regelkreis optimiert und das Fahrzeug dem Fahrer besser angepaßt werden könnte, ist bisher noch nicht gelungen. Viele Untersuchungen über das Regelverhalten des Menschen kommen vor allem aus dem militärischen und flugtechnischen Bereich, weil dort besonders hohe Anforderungen an Sicherheit, Schnelligkeit und Genauigkeit gestellt werden [2], neuerdings auch aus dem kraftfahrzeugtechnischen Bereich [3].

Bild 1. Schematische Darstellung des Regelkreises Fahrer — Fahrzeug — Fahrbahn



Beim Führen eines Kraftfahrzeugs hat der Fahrer die Aufgabe, dieses auf einer Sollspur zu halten. Äußere Störungen (Fahrbahnebenheiten, unterschiedlicher Rollwiderstand usw.), aber auch Störungen, die aus dem eigenen Fahrzeug oder vom Fahrer kommen, bewirken, daß sich das Fahrzeug auf einer Istspur bewegt, die von der Sollspur abweicht. Sobald der Fahrer über bestimmte Informationen die Abweichung wahrnimmt bzw. merkt, daß das Fahrzeug von der Sollspur abweichen will, wird er entsprechende Korrekturen am Lenkrad einleiten. Das Fahrzeug reagiert entsprechend dem Lenkradeinschlag und gibt dem Fahrer erneut Informationen, die wiederum eine Korrektur am Lenkrad erfordern. Das Zusammenspiel zwischen Fahrer und Fahrzeug muß so erfolgen, daß die aufgrund einer Störung zwischen Fahrzeug und Fahrer hervorgerufene Abweichung von der Sollspur abklingt und das System somit stabil ist.

### Fahrerinformationen

Als Fahrerinformationen sind optische, fühlbare und akustische Informationen bekannt. Als optische Informationen können Strecken und Winkel sowie die Geschwindigkeiten in diesen Richtungen wahrgenommen werden. Im Bild 2 ist die Kursabweichung eines Fahrzeugs von der Geradeausfahrt dargestellt, wobei die Lage des Fahrzeugs relativ zum Sollkurs durch folgende Größen beschrieben wird:

- Gierwinkel  $\epsilon$
- Gierwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\epsilon}$
- Seitenversatz  $y$
- Seitenversatzgeschwindigkeit  $\dot{y}$ .

Der Gierwinkel beschreibt die Drehung des Fahrzeugs um die Hochachse. Er wird zwischen der Längsachse des Fahrzeugs und einer Parallelen zur Fahrbahntangente gemessen. Der Fahrer erkennt den Gierwinkel großemäßig durch die Strecke  $e$  am Referenzpunkt R. Der Referenzpunkt ist ein auf der Fahrbahn vor dem Fahrzeug liegender Punkt, den das Auge des Fahrers A während der Geradeausfahrt ständig beobachtet. In dieser Entfernung vor dem Fahrzeug schätzt ein geübter Fahrer auch den Seitenversatz  $y$  bzw. den Abstand  $y_1$  bis zur Fahrbahnkante. Zur Kontrolle bzw. bei schmalen Fahrbahnabschnitten überprüft der Fahrer zusätzlich den Abstand  $y_2$  direkt am Fahrzeug.

**Fühlbare Informationen**, die sich als Kräfte zwischen Fahrer und Fahrzeug äußern, sind:

- Querbeschleunigung  $\ddot{y}$
- Gierwinkelbeschleunigung  $\ddot{\epsilon}$
- Lenkmoment  $M_L$ .

Querbeschleunigung und Gierwinkelbeschleunigung sind als Kräfte zwischen Fahrer und Fahrersitz je nach Größe und Richtung zu spüren, sie lassen eine Seitenabweichung bzw. Drehung des Fahrzeugs um die Hochachse erkennen.

Bild 2. Darstellung der Kursabweichung eines Fahrzeugs;  $\alpha$  Schräglaufwinkel,  $\gamma_K$  Kurswinkel,  $\epsilon$  Gierwinkel,  $y$  Seitenversatz

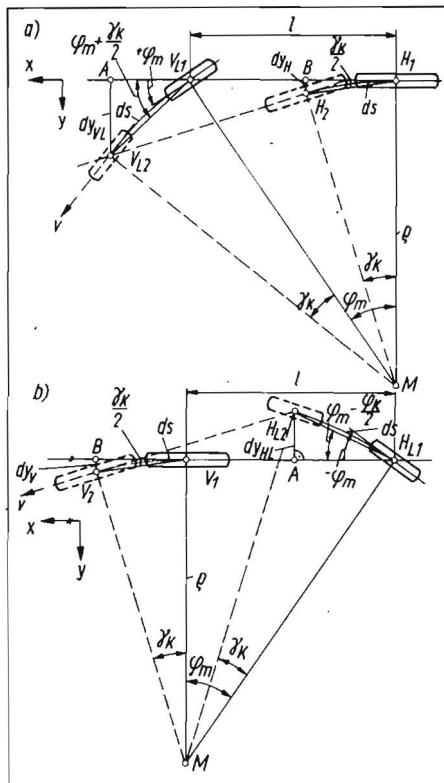
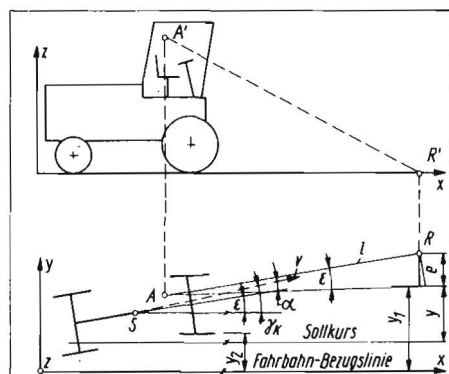


Bild 3. Einspurmodell zur Bestimmung des Seitenversatzes; a) Vorderradlenkung b) Hinterradlenkung

nigung sind als Kräfte zwischen Fahrer und Fahrersitz je nach Größe und Richtung zu spüren, sie lassen eine Seitenabweichung bzw. Drehung des Fahrzeugs um die Hochachse erkennen.

Das Lenkmoment gibt dem Fahrer über die Kräfte am Lenkrad den Kontakt zur Fahrbahn und Informationen über die an den gelenkten Rädern wirkenden Kräfte.

**Akustische Informationen**, wie Reifenquietschen und Windgeräusche, sind für das Fahren mit niedrigen Geschwindigkeiten von untergeordneter Bedeutung.

Selbstfahrende Landmaschinen haben im allgemeinen Vorderrad- bzw. Hinterradlenkung. Von hinterradgelenkten Fahrzeugen ist bekannt, daß sie sich wesentlich schlechter fahren lassen als vergleichbare vorderradgelenkte Fahrzeuge. Dies drückt sich in schlechter Geradeausfahrteignung und unexakter Kurvenfahrt aus. Die Ursachen für dieses unterschiedliche Fahrverhalten sind im System Fahrer—Fahrzeug—Fahrbahn zu suchen.

Werden hinterrad- und vorderradgelenkte Fahrzeuge verglichen, so ist festzustellen, daß der Fahrer und die von der Fahrbahn kommenden Störungen gleich sind. Unterschiede können also nur im Fahrzeug selbst (Regelstrecke) und in den vorhandenen Fahrerinformationen liegen.

Eine Aussage über die Stabilität der Regelstrecke bei Vorderrad- und Hinterradlenkung läßt sich mit Hilfe der Bewegungsgleichungen eines vereinfachten Fahrzeugmodells treffen. Die Lösung der Differentialgleichungen ergibt bei Vorderradlenkung ein stabiles, bei Hinterradlenkung ein instabiles Fahrverhalten. Untersuchungen zu unterschiedlichen Fahrerinformationen bei Vorderrad- und Hinterradlenkung ergaben, daß die Informationen für den Fahrer bei Hinterradlenkung bedeutend ungünstiger sind. Anhand eines Einspurmodells

(Bild 3) konnte beim Wechseln auf eine parallele Fahrspur mit vorgegebenem sinusförmigen Lenkeinschlag nachgewiesen werden, daß einige Fahrerinformationen für den Fahrer bei Hinterradlenkung gegenüber der Vorderradlenkung stark verzögert sind. Im Bild 4 sind für die gelenkte und nicht gelenkte Achse bei Vorderrad- und Hinterradlenkung folgende Größen über der Zeit aufgetragen:

- Radeinschlagwinkel  $\varphi_m$
- Seitenversatzgeschwindigkeit  $\dot{y}$
- Querbeschleunigung  $\ddot{y}$
- Seitenversatz  $y$ .

Der Verlauf der Kurven für die nicht gelenkte Achse ist bei gleichem Radeinschlagwinkel  $\varphi_m$  bei Vorderrad- und Hinterradlenkung gleich. Dagegen gibt es deutliche Unterschiede im Kurvenverlauf von  $y$ ,  $\dot{y}$  und  $\ddot{y}$  bei den gelenkten Achsen.

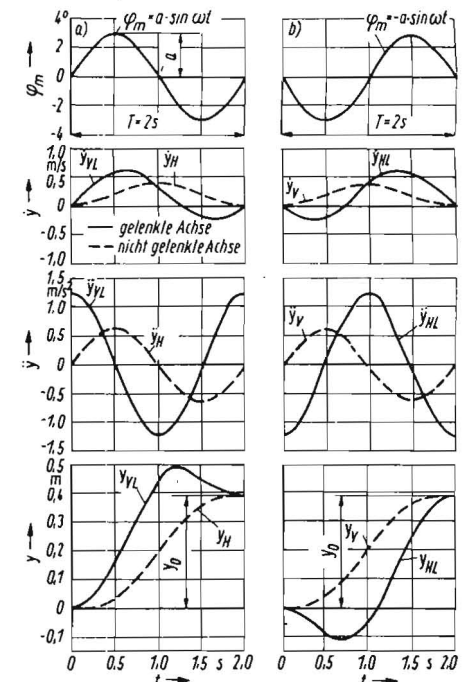
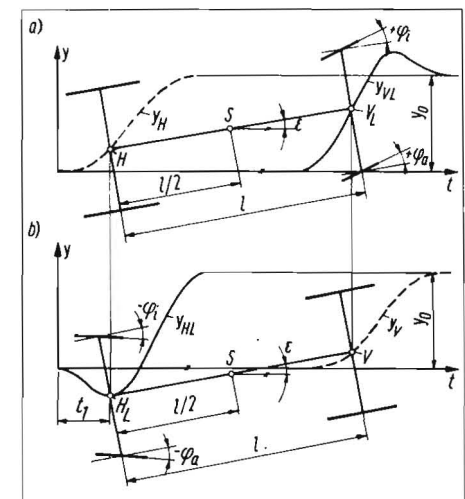


Bild 4. Verlauf von Informationsgrößen bei Fahrspurwechsel auf einer Parallelspur mit sinusförmigem Lenkeinschlag über der Zeit; a) Vorderradlenkung b) Hinterradlenkung

Bild 5. Fahrspurwechsel des Fahrzeugs auf eine Parallelspur mit sinusförmigem Lenkeinschlag; a) Vorderradlenkung b) Hinterradlenkung



Die Kurve des Seitenversatzes  $y_{VL}$  der gelenkten Vorderachse verläuft (im festen Koordinatensystem) von Null bis zur Maximalauslenkung im positiven Bereich, d. h. bei einer Linkskurve verschiebt sich die gelenkte Achse nach der linken Seite, wobei die Parallelspur vom Mittelpunkt der Vorderachse nach rd. 1 s erreicht wird. Der Mittelpunkt der gelenkten Hinterachse dagegen bewegt sich bis zu rd. 1 s im negativen Bereich (d. h. beim Linkseinschlag läuft die gelenkte Achse erst nach rechts) und danach erst im positiven Bereich. Die Parallelspur wird erst nach 2 s erreicht.

Einen sehr guten Überblick über die unterschiedlichen Informationen bei Vorderrad- und Hinterradlenkung gibt die Darstellung des gesamten Fahrzeugs beim Fahrspurwechsel (Bild 5). Zum betrachteten Zeitpunkt  $t_1$  ist deutlich zu sehen, daß beide Fahrzeuge trotz gleichen Lenkwinkelverlaufs bezüglich des Seitenversatzes während der Zeit  $T$  gegenüber dem festen Koordinatensystem unterschiedliche Lagen einnehmen. Während das vorderradgelenkte Fahrzeug auf einen Lenkeinschlag sofort mit einem entsprechenden Seitenversatz reagiert, ist die Reaktion des hinterradgelenkten Fahrzeugs bis zur Zeit  $t = T/2$  nur sehr langsam; bei  $t = 3/4 T$  ist dann erst das Maximum der Seitenversatzgeschwindigkeit erreicht.

Da der Fahrer die Informationen von der hinter ihm liegenden Lenkachse nur in geringem Maß wahrnehmen kann, ist er auf die Informationen von der nicht gelenkten Vorderachse angewiesen. Die richtige Eingabe des Lenkwinkels als Funktion der Zeit ist deshalb schwieriger. Dadurch ist bedingt, daß ein hinterradgelenktes Fahrzeug bei gleicher Voraussetzung nicht die Regelgüte eines Fahrzeugs mit Vorderradlenkung erreichen kann. Die Fahrerinformation Lenkmoment kann bei hinterradgelenkten Fahrzeugen durch instabiles Lenkverhalten — die Räder schlagen bei Kurvenfahrt bei losgelassenem Lenkrad von selbst bis zum Volleinschlag ein, anstelle sich in die Geradeausfahrt zurückzudrehen — ungünstig sein, da durch ein negatives Lenkmoment das menschliche Übertragungsverhalten gestört und der Regelkreis instabil werden kann. Bei modernen selbstfahrenden Landmaschinen

mit vollhydraulischer Lenkung geht die Information Lenkmoment infolge geringer Lenkkräfte von 10 bis 20 N völlig verloren. Es wird deshalb hauptsächlich nach optischer Information gefahren, wobei die Abweichung von der Sollspur über den Seitenversatz und die Drehung des Fahrzeugs über den Gierwinkel wahrgenommen werden. Die bisher im Kraftfahrzeugbau stets betonte Wichtigkeit des Lenkmoments ist für den vorliegenden Anwendungsfall nicht zutreffend.

#### Auswirkungen der Regelstrecke und der Fahrerinformationen

Wie die bisherigen Betrachtungen zur Regelstrecke und zu den Fahrerinformationen gezeigt haben, ist bei Hinterradlenkung die Regelstrecke instabil und die Übertragung der Information stark verzögert.

Die Begründung dafür, daß man trotzdem mit hinterradgelenkten Fahrzeugen in der Praxis fahren kann, ist folgende: Das Fahrzeug als Regelstrecke ist bei Hinterradlenkung zwar instabil, der Fahrer als ausgezeichneter Regler ist aber in der Lage, den Regelkreis mit instabiler Regelstrecke bei niedrigen Geschwindigkeiten stabil zu halten. Außerdem ist es im praktischen Fahrbetrieb nicht erforderlich, eine vorgegebene Sollspur genau einzuhalten. Ein gegenüber vergleichbaren vorderradgelenkten Fahrzeugen größerer Seitenversatz und mehr Lenkkorrekturen werden zugelassen. Der Fahrer ist jedoch höheren physischen und psychischen Belastungen ausgesetzt.

Aus der Kenntnis dieses Umstands wurde versucht, die Instabilität der Regelstrecke abzubauen. Durch Änderungen der Radstellungsgrößen ist das auch gelungen. Durch den Abbau der Instabilität der Regelstrecke konnte das Fahrverhalten hinterradgelenkter Landmaschinen verbessert werden. Die Ergebnisse dieser Forschungsarbeiten werden am Mähdrescher E 516 angewendet. Trotzdem wird empfohlen, bei der Konzipierung neuer selbstfahrender Landmaschinen auf Vorderradlenkung zu orientieren.

Bei einer auf dem Feld eingesetzten Landmaschine, wie z. B. Mähdrescher oder Feldhäcksler, steigt die Anzahl der vom Fahrer zu

verarbeitenden Informationen und damit die psychische Belastung gegenüber normaler Transportfahrt beträchtlich an. Neben den Informationen, die zum Führen des Fahrzeugs erforderlich sind, wie Einhaltung der Sollfahrspur am Bestand mit größtmöglicher Ausnutzung der Schneidwerkbreite und maximaler Fahrgeschwindigkeit, sind außerdem folgende Informationen zu beachten:

- von den Arbeitsaggregaten:
  - Durchsatz
  - Schneidwerkhöhe
  - Haspelstellung
  - Trommeldrehzahl usw.
- vom Transportfahrzeug, das das Erntegut übernimmt:
  - Gleichlauf und Seitenabweichung von Erntemaschine und Transportfahrzeug
  - Übergabe des Erntegutes
  - Befüllungszustand.

Hinzu kommen noch erschwerende Bedingungen, wie Lärm, Staub, Schwingungen, ungünstige Sichtverhältnisse, durch die das Wahrnehmen von Informationen erschwert wird. Mit zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten müssen deshalb Möglichkeiten zur Entlastung des Fahrers geschaffen werden. Positive Beispiele hierfür sind die Bodenkopierung bei Schneidwerken und die automatische Lenkung am Bestand, wie sie für den Mähdrescher E 512 angeboten werden, und erste Forschungen zum Problem der Gleichlaufregelung von Erntemaschine und Transportfahrzeug.

#### Literatur

- [1] Hesse, H.: Über den Regelkreis Mensch—Maschine. Grundlagen der Landtechnik 17 (1967) Nr. 2, S. 41.
- [2] Schmidlein, H.: Über den Wissensstand auf dem Forschungsgebiet „Regler“ Mensch. Jahrbuch d. Wiss. Ges. f. Luft- und Raumfahrt 1963, S. 484.
- [3] Mitschke, M.; Niemann, K.: Die Regeltätigkeit des Autofahrers bei Kursabweichungen. Deutsche Kraftfahrtforschung und Straßenverkehrstechnik (1970) H. 206.
- [4] Schmidt, M.: Untersuchungen zum Lenkverhalten an hinterradgelenkten Fahrzeugen. TU Dresden, Dissertation 1978. A 2079

## Experimentelle Untersuchungen zum Verschleißverhalten hydrostatischer Fahrtriebe

Dr.-Ing. B. Leitholdt, KDT, Ingenieurbüro für vorbeugende Instandhaltung Dresden

#### Verwendete Formelzeichen

$n$	U/min	Drehzahl
$p_B$	bar	Betriebsdruck
$p_N$	bar	Nennndruck
$p_{Sp}$	bar	Speisedruck
$Q_{I,M}$	l/min	Leckölstrom des Hydromotors
$Q_{LP}$	l/min	Leckölstrom der Hydropumpe
$Q_{Sp}$	l/min	Spülölstrom
$t_B$	h	Betriebsdauer
$V_g$	cm <sup>3</sup>	geometrisches Verdrängungsvolumen

#### 1 Problemstellung

Der Antrieb von Fahrzeugen unter Verwendung von hydrostatischen Getrieben wird als hydrostatischer Fahrtrieb bezeichnet. Die Aus-

rüstung von Fahrzeugen mit hydrostatischen Fahrtrieben anstelle der bisher üblichen mechanischen Getriebe führt zu einer erheblichen Erleichterung der Arbeitsbedingungen. So kann der Fahrer des Mähdreschers E 516 die Geschwindigkeitsregelung, das Bremsen, Anhalten und Rückwärtsfahren mit der Betätigung nur eines Hebels bewerkstelligen.

Der Fahrtrieb stellt eine Hauptbaugruppe selbstfahrender Landmaschinen dar. Sein Ausfall führt zum Ausfall der Gesamtmaschine. Da die selbstfahrenden Erntemaschinen leistungsbestimmend für das gesamte hochproduktive Maschinensystem sind, verursacht ein solcher Ausfall erhebliche Verluste.

Die Zuverlässigkeit der hydrostatischen Fahrtriebe hat somit eine große Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit ganzer Maschinensysteme. Die Gewährleistung einer hohen Zuverlässigkeit erfordert die planmäßig vorbeugende Instandhaltung der Landmaschinen.

Voraussetzung für die Anwendbarkeit vorbeugender Instandhaltungsmaßnahmen sind ausreichende Kenntnisse bezüglich des Verschleißverhaltens sowie der Aussonderungsgrenzen. Im folgenden wird über grundlegende Untersuchungen zur demontegearmen Bestimmung des Verschleißzustands hydrostatischer Fahrtriebe berichtet. Diese Untersuchungen wurden im Auftrag des VEB Kombinat Fort-