

# Untersuchungen zur automatischen Lenkung einer Rübenerntemaschine

Prof. Dr. sc. techn. P. Jakob, KDT, Martin-Luther-Universität Halle—Wittenberg, Sektion Pflanzenproduktion<sup>1)</sup>

## 1. Einführung

Um die Rüben verlust- und beimengungsarm zu ernten, ist es notwendig, daß die Maschinen zum Köpfen des Blattes und zum Aufnehmen der Rüben mit entsprechender Genauigkeit entlang der zu erntenden Rübenreihe gesteuert werden. Diese Genauigkeit ist abhängig von den Köpf- und Aufnahmeelementen und beträgt bei den gegenwärtigen technischen Möglichkeiten  $\pm 4$  cm. Das Wenden der Maschine am Feldende bewirkt der Maschinenehrer.

Die möglichen Arbeitsgeschwindigkeiten betragen bis zu 10 km/h. Das Übertragungsverhalten der Regeleinrichtungen kann als  $I_2$ -Verhalten mit Vorbehalt angenommen werden.

Die Führungsgröße ist die Rübenreihe. Durch gleichzeitiges Abtasten von zwei oder drei Rübenreihen läßt sich die Sicherheit bei Rübenfehlstellen erhöhen. Störgrößen sind Krümmungen im Reihenverlauf, seitlich herausgewachsene Rüben (die zulässige Abweichung für die Anbaubedingungen der DDR beträgt  $\pm 3$  cm) und auf die Maschine wirkende äußere Kräfte (Hangabtriebskräfte, Rollwiderstände, unsymmetrischer Arbeitswiderstand und Radschlupf). Das Erfassen der Führungsgröße erfolgt durch mechanische Taster. Es gibt dabei noch Schwierigkeiten bei dichtem, sprödem Blatt und bei ebenerdig geköpften Rüben in harten Böden.

Die Regeleinrichtungen arbeiten auf elektrohydraulischer Basis unter Nutzung der Elektronik (Bild 1).

Ihre Vorteile sind Unifizierung, geringer Verschleiß, günstiges Zeitverhalten und Freizügigkeit bei der räumlichen Anordnung. Sie erfordern jedoch höhere Ansprüche an die Qualifizierung des Bedienungs- und Wartungspersonals.

Durch die automatische Lenkung ist es möglich, die Arbeitsgeschwindigkeit über den mit

Handlenkung während eines längeren Zeitraums maximal möglichen Wert von 5 km/h hinaus bis auf 10 km/h zu steigern sowie die Qualität und Quantität der Arbeit der Rübenerntemaschinen unabhängig von der Geschwindigkeit, vom Befinden des Maschinenehrers und von den Sichtverhältnissen (z. B. Staub, Dunkelheit, Verunkrautung u. a.) zu sichern [1, 2, 3, 4]. Der Fahrer kann sich somit auf das Überwachen der Maschine konzentrieren.

## 2. Aufgabenstellung und Einsatzverhältnisse und -ergebnisse

Die automatische Lenkung einer selbstfahrenden Rübenerntemaschine muß in der Lage sein, eine exakte Steuerung der gesamten Maschine bei Arbeitsgeschwindigkeiten bis zu 10 km/h zu ermöglichen.

Besonders folgende Kennziffern der Arbeitsqualität sind zu erfüllen:

- Masseverluste 3 %
- stehengebliebene Rüben 1 % und
- Beschädigungswert 3 % Massenanteil.

### Definition der Einsatzverhältnisse

Reihenabstand	45, 50, 60 cm
Rübenabstand in der Reihe	10...20 cm
Abweichungen der Rüben von der Reihe	$\pm 5$ cm
Häufigkeit der Abweichungen	2 bis 10 St./10 m
mittlerer Rübendurchmesser	10 cm
minimaler Rübendurchmesser	4 cm
maximaler Rübendurchmesser	rd. 20 cm
mittlere Rübenkopfhöhe über Ackeroberfläche	3 cm
minimale Rübenkopfhöhe	0 cm
maximale Rübenkopfhöhe	rd. 16 cm
Temperaturbereich	-5° bis +20°C
rel. Luftfeuchte	bis 100 %.

### Arbeitsgenauigkeit

Die Arbeitsgenauigkeit wird bei vollem Bestand mit  $\pm 4$  cm gefordert. In lückigem Be-

stand darf die Maschine nicht aus der Reihe herauslaufen. Sollte dies doch der Fall sein, so muß garantiert werden, daß die Kennziffern der Arbeitsqualität gehalten werden.

Konstruktive Einzelheiten wurden bereits an anderer Stelle dargestellt [1, 2, 3, 4].

Spezielle Untersuchungen wurden auf extrem harten Böden durchgeführt. Die Rüben rissen dabei teilweise in der Rodetiefe ab. Die Schnittflächen, die die Aufnahmewerkzeuge im Boden hinterließen, zeigten eine trockene blankgeschliffene Oberfläche.

Ungünstig wirkt sich beim Lenken der einseitige asymmetrische Roderadtrieb aus. Es muß ständig nach rechts gegengelenkt oder die automatische Lenkung verstimmt werden. In Zukunft sollte deshalb eine symmetrische Anordnung der Roderadtriebe vorgesehen werden.

Beim Rübendodelader KS-6 verlangt gegenwärtig jede Veränderung des Bodenzustands eine andere Einstellung der Lenkräder.

In bezug auf die Hangtauglichkeit liegt die Grenze bei feuchten Bodenverhältnissen bei 4 %, während sie bei trockenen Böden mit automatischer Lenkung wiederum 4 % und mit Handlenkung 10 % beträgt. Die Landwirtschaft fordert 12 %.

Die Ursache der geringen Hangtauglichkeit z. B. des Rodeladers KS-6 mit automatischer Lenkung ist die Abdrift der Maschine, die sich infolge der asymmetrischen Roderadtriebe schräg zur Rübenreihe stellt. Rübenreihe und Maschinenlängsachse (Linie Taster—Aufnahmewerkzeuge) sind damit nicht mehr in einer Flucht. Das ist aber Voraussetzung für ordnungsgemäßes Arbeiten der automatischen Lenkung. Die Abweichungen dürfen nur in relativ engen Grenzen auftreten. Soll dieser Bereich zugunsten einer größeren Hangtauglichkeit überschritten werden, müssen die Taster eine entsprechende seitliche Verschiebung auf dem Ausleger erfahren. Die Größe der seitlichen Verschiebung wächst mit der Hangneigung. Großes Geschick vom Fahrer

1) Die Arbeit basiert auf Forschungsergebnissen an der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

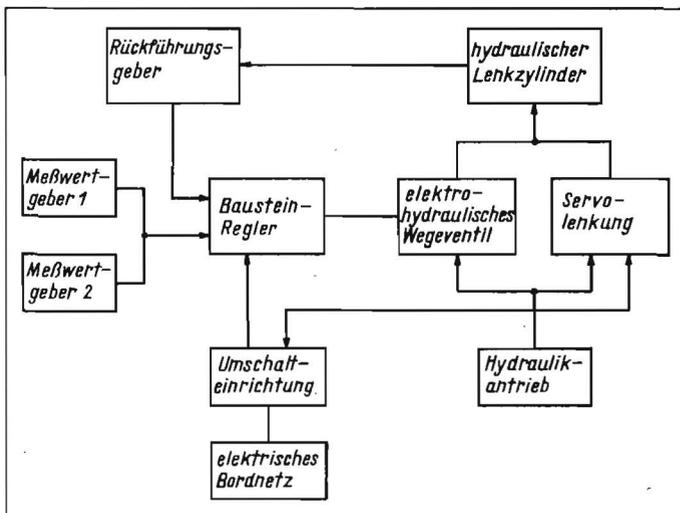


Bild 1. Blockschaftbild der Lenkautomatik einer Rübenerntemaschine

Tafel 1. Einsparung an Verfahrenskosten bei der automatischen Lenkung gegenüber der Handlenkung

Rübenertrag dt/ha	Arbeitsgeschwindigkeit Handlenkung km/h	Arbeitsgeschwindigkeit automatische Lenkung km/h	Einsparung an Verfahrenskosten M/ha
350	5	7,3	56
450	5	5,7	22
550	4,6	4,7	3

erfordert das Absenken des starr angelenkten Auslegers und das Einsetzen der Taster in die Reihe. Es ist noch schwierig, die richtige Höhe so einzustellen, daß die Kufen der Taster parallel zum Erdboden aufliegen. Bei Bodenunebenheiten sollte man deshalb nachregulieren können.

### 3. Ökonomische Betrachtungen

#### 3.1. Allgemeines

Von der automatischen Reihenführung sind folgende Effekte im Hinblick auf die Erhöhung der Arbeitsproduktivität, der Arbeitsqualität und des Gebrauchswerts des Rodeladers zu erreichen:

- Befreiung der Bedienperson über einen Großteil der Arbeitszeit von der Hauptaufgabe, dem Lenken der Maschine
- Erzielung hoher Arbeitsgeschwindigkeiten, die mit Handlenkung gar nicht, nur für kurze Zeit oder nur bei stark verminderter Arbeitsqualität zu erreichen sind
- maximale Ausnutzung der Leistungsreserven der Maschine

- Verbesserung der Bedingungen für die Nacharbeit
- weitgehende Unabhängigkeit der Arbeitsgeschwindigkeit und damit der Arbeitsproduktivität und -qualität des Rodeladers von Ermüdungserscheinungen der Bedienperson
- weitere Einbeziehung der Frau in den Produktionsprozeß
- gleichhohe Lenkgenauigkeit, d.h. gleichbleibend niedrige Verluste, unabhängig von der Geschicklichkeit und Übung der Bedienperson.

#### 3.2. Einsparung an Verfahrenskosten

Zur Berechnung der Einsparungen an Verfahrenskosten müssen die mit Handlenkung erreichbaren Parameter berechnet werden [4]. Für Handlenkung wird eine maximale Arbeitsgeschwindigkeit im Dauerbetrieb von 5 km/h angesetzt. Bei steigendem Rübenantrag geht jedoch die mögliche Arbeitsgeschwindigkeit und damit die Einsparung an Verfahrenskosten zurück [4] (Tafel 1).

### 4. Zusammenfassung

Die automatische Lenkung erhöht die Effektivität und Qualität der Arbeit einer selbstfahrenden Rübenerntemaschine. Bei Arbeitsgeschwindigkeiten  $> 5$  km/h im Dauerbetrieb werden infolge der zunehmenden Belastung des Maschinenfahrers die Vorteile einer automatischen Lenkung deutlich sichtbar.

### Literatur

- [1] Jakob, P.; Petzold, E.: Lenkautomatik für den selbstfahrenden Rodelader KS-6. Dt. Agrartechnik 22 (1972) H. 11, S. 487—489.
- [2] Jakob, P.; Petzold, E.: Einsatzverfahren mit der Lenkautomatik am selbstfahrenden Rodelader KS-6. agrartechnik 25 (1975) H. 4, S. 198—200.
- [3] Jakob, P.; Petzold, E.: Automatische Lenkeinrichtung für Landmaschinen, insbesondere selbstfahrende Rübenerntemaschinen. WP 97431 vom 5. Mai 1973.
- [4] Jakob, P., u. a.: Automatische Reihenführung des Rübenrodeladers E 770. VEB Weimar-Kombinat, Bericht 1970. A 3138

# Untersuchungen zur automatischen Führung der Rübenaufnahmelemente an Rübenerntemaschinen

Prof. Dr. sc. techn. P. Jakob, KDT, Martin-Luther-Universität Halle—Wittenberg, Sektion Pflanzenproduktion<sup>1)</sup>

### 1. Einführung

Die automatische Führung der Rübenaufnahmelemente beeinflusst die Lenkung der Erntemaschine unterstützend und sichert unter schwierigen Erntebedingungen die Lenkbarkeit der selbstfahrenden Erntemaschine. Bei gezogenen Erntemaschinen dient sie der Feinsteuerung der Rübenaufnahmelemente. Im modernen Rübenanbau kann davon ausgegangen werden, daß vor dem mehrreihigen Ernten auch die Aussaat mehrreihig erfolgt ist und die Reihenfluchten stimmen. Einzelne nicht in der Reihenflucht gewachsene Rüben, die von den Aufnahmewerkzeugen nicht erfaßt werden, rechtfertigen nicht den Aufwand, jedes Aufnahmeelement mit einem Regler auszustatten. Elektronische Einrichtungen werden hier im elektro-hydraulischen Regelkreis angewendet (Bild 1).

Die Führung der Rübenaufnahmelemente erfolgt dabei in Abhängigkeit von der Bewegung der Lenkräder der Erntemaschine. Es ist hierbei unwichtig, ob die Bewegungen der Lenkräder automatisch oder von Hand ausgelöst werden.

Bei extrem harten oder nassen Böden sinkt der Einfluß der Lenkräder auf den Lenkvorgang so stark ab, daß das Lenken ausschließlich mit den steuerbaren Rübenaufnahmelementen erfolgt, während bei Hangeinsatz der Maschinenabdrift wirkungsvoll entgegenwirkt und die Einsatzgrenze der Erntemaschine positiv beeinflusst wird. Bei gezogenen Erntemaschinen genügen mechanisch-hydraulische Einrichtungen, da

nicht so hohe Anforderungen bezüglich Stabilität gestellt werden.

Infolge der Wirkung der Rückführung erhält die Steuerkette das für die Funktion notwendige P-Verhalten. Durch den Ausgleich von Leckverlusten im hydraulischen Wegeventil und Arbeitszyklus erhöht sich die Nachführungsgenauigkeit.

### 2. Aufgabenstellung, Einsatzverhältnisse und experimentelle Untersuchungen

Die automatische Führung der Rübenaufnahmelemente einer selbstfahrenden Rübenerntemaschine muß eine exakte Steuerung der Rübenaufnahmelemente bei Arbeitsgeschwindigkeiten bis zu 10 km/h ermöglichen.

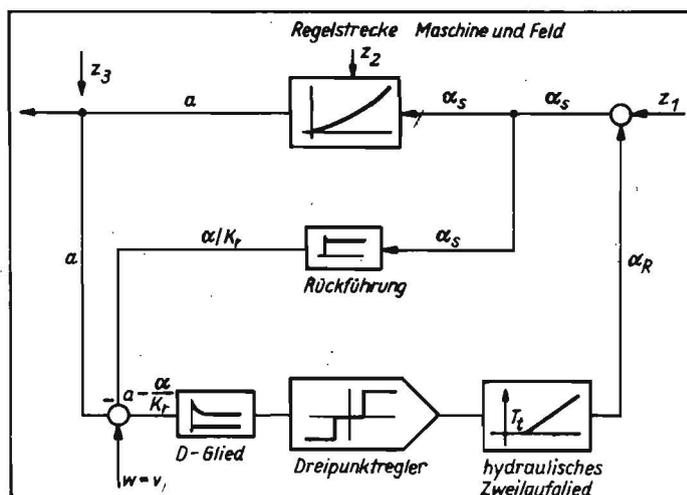
Forderungen bezüglich Arbeitsqualität, Ein-

satzverhältnissen, Arbeitsgenauigkeit und konstruktiven Einzelheiten sowie Wirkungsweise wurden in [1, 2, 3, 4, 5] beschrieben.

Es ist dabei zu beachten, daß die automatische Führung der Rübenaufnahmelemente während der gesamten Arbeitszeit benötigt wird und zur Grundausrüstung einer Rübenerntemaschine gehören sollte. Für die automatische Führung der Rübenaufnahmelemente sollten auch möglichst viele Bauelemente der automatischen Lenkung verwendet werden. Die Wirkungsweise ist in [1] ausführlich dargestellt. Das Blockschaltbild der automatischen Führung der Rübenaufnahmelemente zeigt Bild 2.

Vor den Untersuchungen unter Feldbedingungen wurde die automatische Führung der Rü-

Bild 1  
Blockschaltbild der automatischen Lenkung einer Rübenerntemaschine;  
 $z_1$  Bodenunebenheiten,  
 $z_2$  Hangneigung,  
 $z_3$  Leitlinienkrümmung,  
 $a$  Leitlinienabstand,  
 $\alpha$  Lenkwinkel,  $K_r$  Verstärkungsfaktor,  
 $\alpha_s$  Lenkwinkelwert der Regelstrecke,  $\alpha_R$  Lenkwinkelwert des Reglers



1) Die Arbeit basiert auf Forschungsergebnissen an der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg