

# Rechnersimulation zur qualitativen Abschätzung des Fahrverhaltens von Beregnungsmaschinen

Dipl.-Ing. Schleevoigt, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der AdL der DDR, Bereich Jena

## 1. Beregnungsmaschine FR-P

Die FR-P ist eine vielstützige geradeausfahrende Beregnungsmaschine mit positionsweisem Betrieb. Die Räder der A-förmigen zweiholmigen Fahrwerke werden durch einen Elektrotriebmotor (220/380 V, 250 W, 16 U/min) angetrieben. Die Tragwerke überspannen den Fahrwerkabstand von rd. 24 m. Je ein Tragwerk und ein Fahrwerk sind starr miteinander verbunden. Dieses Segment bildet eine Einheit (Gelenke bzw. Gummischläuche verbinden die verschiedenen Einheiten [1]) der im Baukastensystem aufgebauten Beregnungsmaschine, die eine Länge von rd. 300 m hat (Bild 1). Obwohl Asynchronmotoren eine recht konstante Drehzahl liefern, ergeben sich unterschiedliche Fortschrittsgeschwindigkeiten der einzelnen Fahrwerke. Ursache dieser Abweichungen sind systematische und stochastische (zufällige) Störungen wie

- unterschiedlich zurückzulegende Wegstrecken der Fahrwerke (Wasserloch, Rübennkörper, Kartoffeldamm u. ä.)
- ungleiche Durchmesser der Fahrwerksräder, bedingt durch Fertigungstoleranzen

- ungleiche Verzögerungszeiten der Schütze und Motorbremsen.

Steht die Maschine anfangs ausgerichtet am Schlagende und werden alle Antriebe gleichzeitig eingeschaltet, kommt es durch die geschilderten Einflüsse zum Abwinkeln der Segmente untereinander. Diese Abwinklungen müssen in Grenzen gehalten werden, damit die maschinentechnische Konstruktion nicht überlastet wird. Zu diesem Zweck befinden sich über den Gelenken Lineale, die die Abwinklung in eine translatorische Bewegung umwandeln. Das Lineal bewegt eine Schaltstange im Winkelgeberkasten, auf der Nocken befestigt sind (Bilder 2 und 3). Durch die translatorische Bewegung der Stange werden Mikrotaster ausgelöst, die das Unter- bzw. Überschreiten von Abwinklungswerten melden. Eine entsprechende Logik wertet den Schaltzustand der Mikrotaster aus und wirkt dahingehend auf die Einzelantriebe ein, daß die Maschine wieder in der Flucht fährt.

## 2. Auswahl der optimalen Schaltlogik

Die denkbare Schaltlogik unterscheidet sich

qualitativ und quantitativ im grundsätzlichen Schaltregime sowie in der Wahl der Schaltpunkte im Winkelgeberkasten. Im Bild 4 ist die grundsätzliche Schaltungstopologie dargestellt. Folgende Schaltregime sind denkbar:

### Schaltregime I

Überfährt ein Fahrwerk den vorderen Schaltpunkt, wird es so lange angehalten, bis es wieder in Flucht steht. Die Abfrage eines hinteren Schaltpunktes wird nicht realisiert. Da die äußersten Fahrwerke keine Winkelgeber haben, müssen sie eine etwas geringere Grundgeschwindigkeit aufweisen [2].

### Schaltregime II

Überfährt ein Fahrwerk den vorderen Schaltpunkt, wird es so lange angehalten, bis es wieder in Flucht steht. Bleibt ein Fahrwerk zurück, d. h. überfährt es den hinteren Schaltpunkt, bleibt die gesamte Maschine - bis auf das auslösende Fahrwerk - stehen. Der normale Fahrbetrieb wird wieder aufgenommen, wenn das betreffende Fahrwerk wieder in Flucht steht.

### Schaltregime III

Das mittlere Fahrwerk ist mit einem Antriebsmotor ausgestattet, der rd. 60 % der Drehzahl der übrigen Motoren aufweist. Die Winkelgeber sind als Schließer geschaltet, d. h. sie schließen, wenn der vordere Schaltpunkt erreicht ist. Das mittlere Fahrwerk ist immer angeschaltet. Steht die Maschine in Flucht ausgerichtet und wird die Spannung zugeschaltet, fährt das mittlere Fahrwerk an, die restlichen Fahrwerke bleiben vorerst stehen. Als nächstes werden sich die beiden der Mitte benachbarten Fahrwerke einschalten, werden das mittlere einholen und somit wieder abschalten. Dieses Verfahren setzt sich bis zum Feldrand fort [3].

Neben den o. g. qualitativen Unterschieden der Schaltregime lassen sich auch noch quantitative verdeutlichen (Bild 4):

- vorderer Schaltpunkt
- hinterer Schaltpunkt
- Schaltspiel (Hysterese).

In Abhängigkeit von diesen Eingangsgrößen, zu denen noch die Störgrößen kommen, interessieren folgende Fragestellungen:

- Ist das Regelsystem stabil?



Bild 1  
Gesamtansicht der  
Beregnungsmaschine  
FR-P

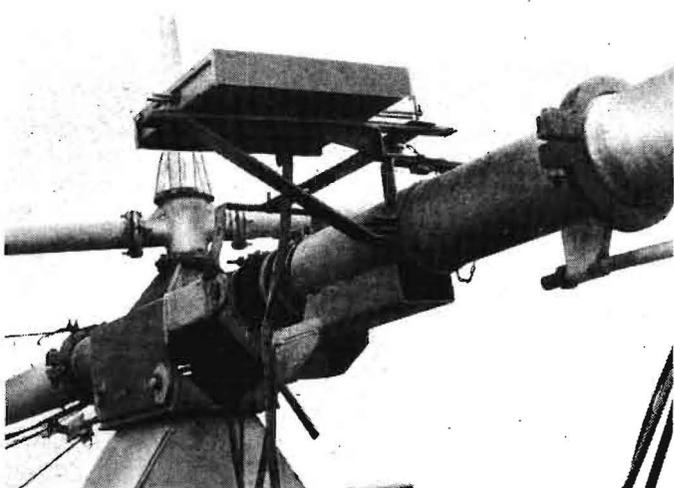
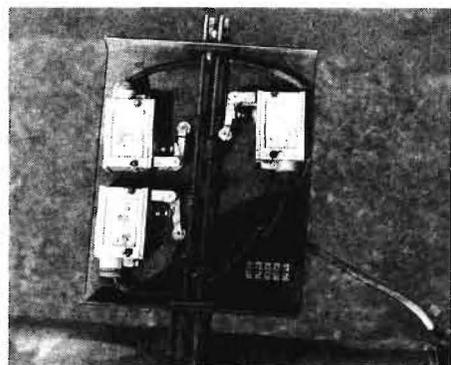


Bild 2  
Winkelgeberkasten mit  
Lineal

Bild 3  
Geöffneter Winkel-  
geberkasten  
(Fotos: Haake)



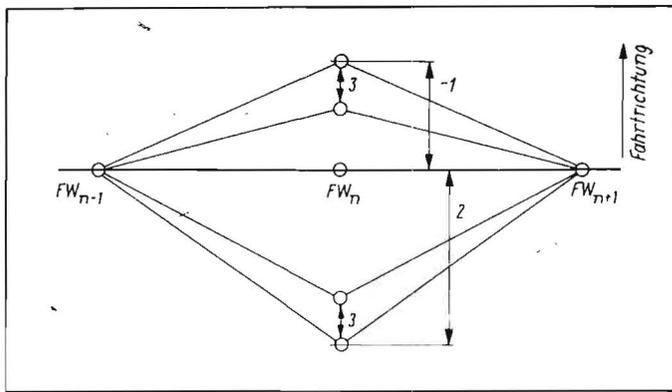


Bild 4  
Schalttopologie Winkelgeber (FW Fahrwerk);  
1 vorderer Schaltpunkt,  
2 hinterer Schaltpunkt,  
3 Schaltspiel

- Welche mittlere Fortschrittsgeschwindigkeit stellt sich ein?
- Welche Schalthäufigkeit der Schaltglieder und Antriebsmotoren ist zu erwarten?

Ein Optimum ist erreicht, wenn die Schalthäufigkeit der Schütze kleiner als die zulässige ist und gleichzeitig die mittlere Fortschrittsgeschwindigkeit der Fahrwerke berechnungstechnologische Akzeptanz aufweist. Das Erreichen des Optimums stellt das Ziel der Projektierung dar. Zur qualitativen Abschätzung des Fahrverhaltens der Berechnungsmaschine FR-P wurde in Abhängigkeit von den Eingangsgrößen Schaltregime, Bodenprofil und Schaltpunktlagen eine modifizierte Variante des digitalen Simulationssystems DIGSIM [4] verwendet.

### 3. Programmpaket DIGSIM

Das digitale Simulationssystem DIGSIM ist auf dem Mikrocomputer MC-80.20 lauffähig. In der ursprünglichen Form dient das Programm der Modellierung elektronischer Schaltungen, wobei stromrichterspezifische Komponenten besondere Beachtung finden. Für den Anwendungsfall wurde DIGSIM entsprechend modifiziert. Folgende Parameter sind variabel:

- Lage der Schaltpunkte (vorderer und hinterer Schaltpunkt)
- Schaltspiel (Hysterese)
- Parameter des Fahrwiderstands (s. u.)
- kleinster Zeitschritt.

Im Unterprogramm WINKELGEBER wird aus der relativen Position der einzelnen Fahrwerke zueinander die Fluchtabweichung errechnet, die unter Berücksichtigung des Schaltspiels mit einem vorgegebenen Grenzwert (vorderer bzw. hinterer Schaltpunkt) verglichen wird:

Relativposition

$$[X(i+1) + X(i-1)]/2 - X(i) \quad (1)$$

Grenzwert

$$VSP - HYS \cdot S(i); \quad (2)$$

X(i) Position des i-ten Fahrwerks  
VSP vorderer Schaltpunkt  
HYS Hysterese  
S(i) binäre WINKELGEBER-Ausgangsgröße des i-ten Fahrwerks (0 oder 1).

Je nach dem Ergebnis des Vergleichs wird eine binäre Größe, die das Unterprogramm STRUKTUR steuert, gesetzt oder zurückgesetzt. Im Unterprogramm STRUKTUR wird aus der „alten“ Position des Fahrwerks eine „neue“ berechnet, indem die maximal mögliche Geschwindigkeit mit Korrekturfaktoren versehen wird, die den Einfluß des Widerstandsbeiwerts und der Regelung berücksichtigen. Der Widerstandsbeiwert wird in einem Zufallsgenerator erzeugt, dessen Parameter, wie Mittelwert und Streubreite, veränderbar sind. Die „neue“ Fahrwerksposition ergibt sich aus der „alten“ durch folgende Beziehung:

$$LET X(i) = X(i) + ZS \cdot S(i) \cdot ZUF \cdot V; \quad (3)$$

ZS Zeitschritt  
ZUF Zufallszahl (ZUF = 0...1)  
V Maximalgeschwindigkeit.

Die Ergebnisse der Simulation werden laufend auf dem Bildschirm graphisch und numerisch dokumentiert.

### 4. Erzielte Ergebnisse

Das gegenwärtige Funktionsmuster der Berechnungsmaschine FR-P ist so verdrahtet, daß das Schaltregime II realisiert ist. Folgende Präzisierungen wurden verwirklicht:

- Zeitschritt 0,5 s
- Geschwindigkeit 0,1 m/s
- Korrekturfaktor  $1...0,2 \cdot ZUF$ ;  
ZUF schwankt stochastisch zwischen 0 und 1, so daß sich eine Fahrwerks-geschwindigkeit zwischen 0,08 m/s und 0,1 m/s ergibt
- modifiziertes Programm PARAMETER; das Programm wurde so modifiziert, daß vorderer Schaltpunkt, hinterer Schaltpunkt und Hysterese anwenderfreundlich verändert werden können
- mittlere Schalthäufigkeit der Antriebe und

die sich ergebende Fortschrittsgeschwindigkeit wurden auf dem Display dargestellt.

Es zeigte sich, daß sich durch das Schaltregime II kein Optimum finden läßt. Besonders bemerkenswert ist eine relativ geringe Fortschrittsgeschwindigkeit der Maschine (rd. 0,03 m/s). Ursache ist das Abschalten der übrigen Fahrwerke der Berechnungsmaschine FR-P beim Überfahren des hinteren Schaltpunktes eines Fahrwerks, wodurch die Schalthäufigkeit drastisch erhöht und die Geschwindigkeit verringert wird. Hält man kurzzeitig ein Fahrwerk an (Simulation Wasserloch o. ä.), braucht die Regelung lange Zeit, um diese Störung auszugleichen.

Als zweite Variante wurde das Schaltregime I getestet. Zu diesem Zweck wurde der hintere Schaltpunkt auf einen sehr großen Wert gesetzt, damit er faktisch unwirksam bleibt. Für das 1. und 12. Fahrwerk wurden 75 % der Fahrgeschwindigkeit vorgegeben. Bei gleichen Eingangsbedingungen ergaben sich wesentlich höhere Durchschnittsgeschwindigkeiten und geringe Schaltfrequenzen. Dadurch konnten der vordere Schaltpunkt und die Hysterese so verkleinert werden, daß nur noch eine Abweichung von der Flucht von rd. 15 cm auftrat. Auch Hindernisse wurden schneller bewältigt. Aufgrund der Ergebnisse der Simulation wurde am Forschungsmuster eine Änderung der Verdrahtung durchgeführt und der Winkelgeber modifiziert.

Durch Wegfall des hinteren Schaltpunktes vereinfacht sich die Verdrahtung. Das Die-selektroaggregat wird „schonender“ belastet, da Lastabwürfe und -aufschaltungen seltener auftreten. Die Erfahrungen aus der Simulation in bezug auf das Fahrverhalten konnten in der Praxis bestätigt werden.

### 5. Zusammenfassung

Im vorliegenden Artikel wird das Auffinden der geeigneten Steuerungsform der fahrbaren Berechnungsmaschine FR-P 300 mit hoher Ausschöpfung der technisch bestimmten Fortschrittsgeschwindigkeit und bei Minimierung der Schalthäufigkeit dargestellt. Zur Lösung des Problems wird ein digitales Simulationssystem verwendet.

### Literatur

- [1] Stöpel, R.; Albrecht, M.; Breitschuh, G.: Technologische und arbeitswirtschaftliche Gesichtspunkte sowie Parameter für den Einsatz von Berechnungsmaschinen FR-P. Feldwirtschaft, Berlin 29 (1988) 5, S. 200-202.
- [2] Chapman, J. A.; Sherwin, O. W.: Irrigation system (Berechnungssystem). US-PS 443 493 6. Anmeldetag: 22. Sept. 1981.
- [3] Johnson, T. M.: Linear bewegliches Berieselungssystem. OS DE 285 142 5. Anmeldetag: 29. Nov. 1977.
- [4] Schleevoigt, R.: Allgemeines Stromrichtersimulationssystem für MC-80 in Basic. Technische Hochschule Ilmenau, Diplomarbeit 1984.

A 5428

Folgende Fachzeitschriften des Maschinenbaus erscheinen im VEB Verlag Technik:

agrartechnik; Feingerätetechnik; Fertigungstechnik und Betrieb; Hebezeuge und Fördermittel; Kraftfahrzeugtechnik; Luft- und Kältetechnik; Maschinenbautechnik; Metallverarbeitung; Schmierungstechnik; Schweißtechnik; Seewirtschaft