

# Untersuchungen zum Übertragungsverhalten von Drillscharen als Regelstrecke einer automatischen Schar tiefgangsregelung

Dr.-Ing. A. Herbst, Institut für Getreideforschung Bernburg-Hadmersleben der AdL der DDR

## Verwendete Formelzeichen

B	N/cm <sup>2</sup>	Durchdringungswiderstand des Bodens
D		Dämpfung
h <sub>0</sub>	mm	Höhe des Anlenkpunktes des Scharhebels über der Bodenoberfläche
k <sub>B</sub>	mm/(N/cm <sup>2</sup> )	statischer Übertragungsfaktor, bezogen auf B
k <sub>0</sub>	mm	Regressionskonstante der Gleichung für die statische Kennlinie
k <sub>x</sub>		statischer Übertragungsfaktor, bezogen auf x
F		Prüfzahl für den F-Test
R		multipler Korrelationskoeffizient
T <sub>1</sub>	s	Zeitkonstante 1. Ordnung
T <sub>2</sub>	s	Zeitkonstante 2. Ordnung
t	s	Zeit
x	mm	Federweg der Scharfeder
y	mm	Schar tiefgang
γ	mm	Digitalisierungsfehler der Messung von y
α	°	Anstellwinkel der Schar schneide
β	°	Winkel
δ <sub>e</sub>	s <sup>-1</sup>	Abklingkonstante der gedämpften Schwingung
ω <sub>e</sub>	s <sup>-1</sup>	Eigenkreisfrequenz der gedämpften Schwingung

## 1. Problemstellung

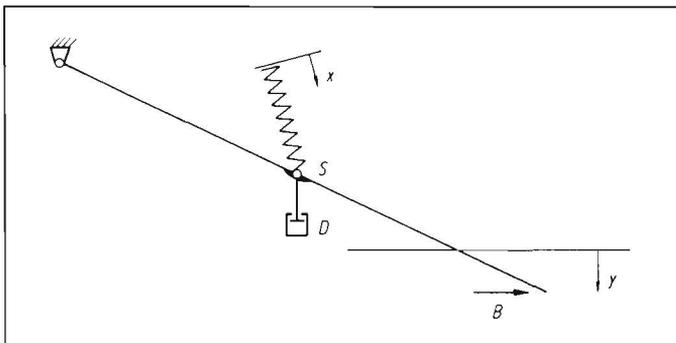
Die Qualität der Aussaat, besonders die Einhaltung einer optimalen Aussaat tiefe, hat einen wesentlichen Einfluß auf die Höhe der Getreideerträge. Da mit den in der Landwirtschaft der DDR eingesetzten Drillmaschinen die agrotechnischen Forderungen in dieser Hinsicht vielfach nicht erfüllt werden [1], wurden im Institut für Getreideforschung Bernburg-Hadmersleben Grundlagenuntersuchungen zur Entwicklung einer automatischen Schar tiefgangsregelung aufgenommen. Im Vordergrund stand dabei zunächst die Ermittlung des Übertragungsverhaltens verschiedener Drillscharen als Regelstrecke.

## Theoretische Betrachtungen

Das Drillschar (mit Scharhebel und Scharfeder) kann vereinfacht als Feder-Masse-Dämpfungs-System modelliert werden (Bild 1). Dabei sollen folgende Annahmen gelten:

- Die Masse des Systems sei im Schwerpunkt S konzentriert.
- Im Schwerpunkt greifen Feder- und Dämpfungskraft an.

Bild 1. Drillschar als Feder-Masse-Dämpfungs-System



- Die Dämpfungskraft sei geschwindigkeitsproportional.

Als Störgröße tritt der Durchdringungswiderstand B des Bodens auf, der Federweg x (Scharbelastung) ist die Stellgröße. Bei der Verwendung des Schar tiefganges y als Ausgangsgröße des Systems und damit als Regelgröße wurde davon ausgegangen, daß bei einem ordnungsgemäß funktionierenden Drillschar das Saatgut auf die Furchensohle

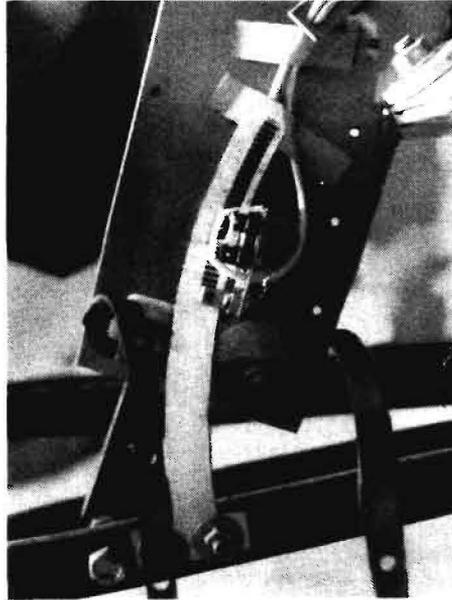


Bild 3. Meßgeber für den Schar tiefgang (ohne Abdeckung)

Bild 4. Horizontalsonde

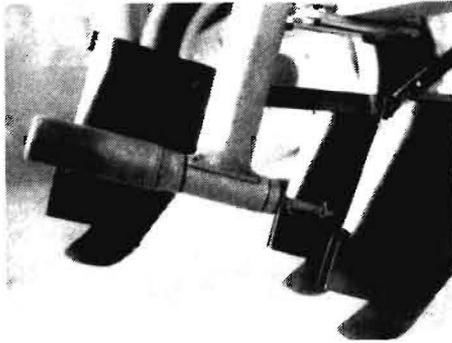
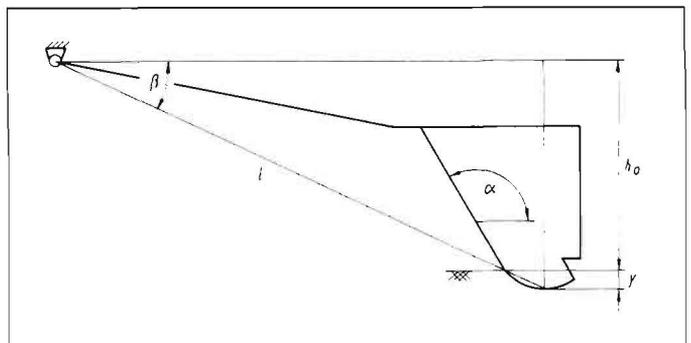


Bild 2. Zum Prinzip der Schar tiefgangsmessung



abgelegt wird und somit Aussaat tiefe und Schar tiefgang übereinstimmen. Wirkungen des Bodenreliefs wurden vernachlässigt, da sich jedes Drillschar, bedingt durch die schwenkbare Anlenkung, den Bodenunebenheiten anpassen kann.

Anhand des Momentengleichgewichts läßt sich für kleine Ausschläge des Systems folgende Bewegungsgleichung herleiten:

$$T_2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + T_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k_0 + k_B B(t) + k_x x(t) \quad (1)$$

Die Struktur dieser Gleichung entspricht einem Proportionalglied mit Zeitverzögerung 2. Ordnung. Die Zeitkonstanten T<sub>1</sub> und T<sub>2</sub> sowie die Koeffizienten k<sub>x</sub> und k<sub>B</sub> waren aufgrund der im Modell Gl. (1) enthaltenen Vereinfachungen und der besonders in bezug auf die Störgröße zu erwartenden Nichtlinearität des Übertragungsverhaltens experimentell zu bestimmen.

## 3. Experimentelle Untersuchungen

### 3.1. Versuchsaufbau und Methodik

Die experimentellen Untersuchungen wurden in einer Bodenrinne durchgeführt, die abschnittsweise mit den Bodenarten Sand (S), sandiger Lehm (sL) und Lehm (L) befüllt war.

Der Schar tiefgang ergibt sich nach Gl. (2) (Bild 2) zu

$$y = l \sin \beta - h_0 \quad (2)$$

Die Messung des Schar tiefganges y konnte auf den Winkel β zurückgeführt werden, da die Höhe h<sub>0</sub> des Anlenkpunktes des Scharhebels über der Bodenoberfläche konstant gehalten werden konnte. Dazu wurde ein Geber verwendet, bei dem die Bewegung einer am Scharhebel angebrachten Schlitzmaske durch zwei am Maschinenrahmen befestigte Optokoppler MB 123 erfaßt wird (Bild 3). Der Digitalisierungsfehler lag bei Δy ≈ 2,5 mm. Zur Messung des Durchdringungswiderstandes des Bodens im Saatbett (≈ 5 cm Tiefe) wurde in Anlehnung an [2] eine Horizontalsonde entwickelt (Bild 4). Die Verschiebung des Meßkegels entsprechend dem Durchdringungswiderstand wird ebenfalls durch einen optischen Sensor gemessen.

Die Meßwertaufbereitung und -speicherung erfolgte mit einem Rechner MC 80. Mit Hilfe

Tafel 1. Regressionskoeffizienten der statischen Kennlinien des Schleppschar der Drillmaschine A200 für verschiedene Bodenarten

Bodenart	$k_0$	$k_B$	$k_x$	R	F
S	87,4	-18,3	0,20	0,95	142,5
sL	83,9	-17,1	0,19	0,92	76,3
L	79,0	-15,2	0,23	0,93	56,4

F (2; 33; 0,05) = 3,28

eines Assembler-Programms wurden die Meßsignale entsprechend dem Richtungssinn in Zählwerte umgewandelt und für jeden Geber in einem Register summiert [3]. Die Untersuchungen bezogen sich zunächst auf ein Schleppschar der Drillmaschine A200 (Scharhebel kurz), das im weiteren Verlauf konstruktiv verändert wurde, und wurden dann auf die Schleppschar der Drillmaschine A215 (Federzug) [4] ausgedehnt. Zur Ermittlung der Koeffizienten  $k_x$  und  $k_B$  (statische Kennlinie) wurde für unterschiedliche Beträge der Störgröße B und der Stellgröße x der Schar tiefgang y gemessen. Dabei wurde die Störgröße durch gezielte Änderung der Trockenrohdichte des Bodens (Bodenbearbeitung), der Fahrgeschwindigkeit der Drillmaschine und der Bodenart variiert. Die Zeitkonstanten  $T_1$  und  $T_2$ , die das dynamische Übertragungsverhalten des Schar charakterisieren, wurden anhand der Sprungantwort (Reaktion des Schar auf eine sprunghafte Änderung der Störgröße) ermittelt, indem das Schar über eine feste Unterlage ( $B \rightarrow \infty$ ) bewegt wurde, an dessen Ende es in den Boden eindringen konnte. Um dabei einen ausreichenden Störabstand zu gewährleisten, wurde der Boden gelockert und eine hohe Scharbelastung eingestellt. Sowohl die statischen Kennlinien als auch die Sprungantworten wurden mit Hilfe von Regressionsanalysen approximiert.

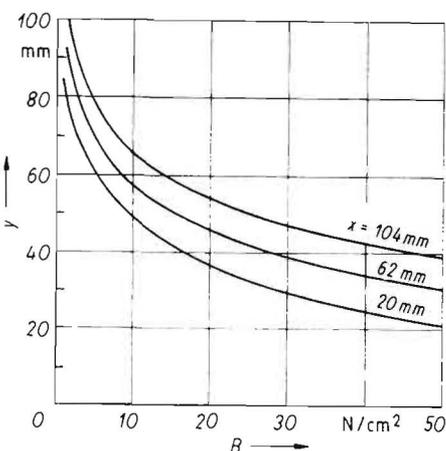
### 3.2. Ergebnisse

Die Regressionsanalysen zur statischen Kennlinie wurden zunächst für die einzelnen

Tafel 2. Regressionskoeffizienten der statischen Kennlinien der untersuchten Drillschare

Schar	$k_0$	$k_B$	$k_x$	R
A200 ( $\alpha = 120^\circ$ )	83,6	-17,0	0,21	0,93
A200 ( $\alpha = 150^\circ$ )	51,4	-13,9	0,51	0,93
A215 (kurz)	77,5	-14,6	0,71	0,9
A215 (lang)	72,0	-16,4	1,12	0,91

Bild 5. Statische Kennlinie für das Schleppschar der Drillmaschine A200



Tafel 3. Dynamische Kennwerte des Übertragungsverhaltens der Schleppschar der Drillmaschine A200 für unterschiedliche Bodeneigenschaften

Bodenfeuchte	Bodenart	D	$T_2$	$T_1$
trocken	S	0,44	0,031	0,027
	sL	0,63	0,028	0,036
	L	0,39	0,025	0,020
	$\bar{x}$	0,49	0,028	0,028
feucht	S	0,58	0,030	0,035
	sL	0,46	0,027	0,025
	L	0,51	0,028	0,028
	$\bar{x}$	0,52	0,028	0,028

Bodenarten getrennt durchgeführt. Dabei erwies sich folgender Ansatz aufgrund der geringen Reststreuung als am besten geeignet:

$$y = k_0 + k_B \ln B + k_x x \quad (3)$$

Für das Schar der Drillmaschine A200 sind die ermittelten Koeffizienten in Tafel 1 angegeben. Eine Fehlerabschätzung ergab, daß die Abweichungen der Kennlinien für die einzelnen Bodenarten gegenüber der Gesamtkennlinie über alle Bodenarten vernachlässigbar sind [5]. Ein Einfluß der Bodenart ist offensichtlich nur über die unterschiedlichen Ergebnisse der Bodenbearbeitung in bezug auf den Durchdringungswiderstand gegeben.

Anhand der statischen Kennlinie (Bild 5) wird deutlich, daß das Schar der A200 bei geringen Durchdringungswiderständen sehr tief in den Boden eindringt. Dadurch würde die Wirksamkeit einer Schar tiefgangsregelung wesentlich eingeschränkt werden. Durch eine Vergrößerung des Anstellwinkels  $\alpha$  der Schar schneide von  $120^\circ$  auf  $150^\circ$  bei gleichzeitiger Verwendung einer Schar druckfeder mit verdoppelter Federkonstante konnten die statischen Übertragungseigenschaften des Schar verbessert werden (Bild 6). Das einem Säbelschar ähnliche Schar kann einen bedeutend größeren Arbeitstiefenbereich realisieren.

In bezug auf die Störgröße wurde bei den Schleppscharen der Drillmaschine A215 erwartungsgemäß das gleiche Übertragungsverhalten festgestellt wie für das Schar der Drillmaschine A200 (Tafel 2). Die Unterschiede für den Koeffizienten  $k_x$  resultieren aus den voneinander abweichenden Baugruppen zur Scharbelastung.

Die Approximation der gemessenen Sprungantworten erfolgte mit dem Ansatz (nach [6]) entsprechend Gl. (4):

$$\frac{y(t)}{y(t \rightarrow \infty)} = 1 - e^{-\delta_e t} \left( \cos \omega_e t - \frac{\delta_e}{\omega_e} \sin \omega_e t \right) \quad (4)$$

mit

$$\delta_e = -\frac{D}{T_2} \quad (5)$$

$$\omega_e = \frac{\sqrt{1 - D^2}}{T_2} \quad (6)$$

Damit konnte die Zeitkonstante nach Gl. (7) berechnet werden:

$$T_1 = 2 D T_2 \quad (7)$$

Die für unterschiedliche Bodenbedingungen für das Schleppschar der Drillmaschine A200 ermittelten Zeitkonstanten sind in Tafel 3 aufgeführt. Auch hier sind die Differenzen vernachlässigbar gering [5]. Wie Bild 7

Tafel 4. Dynamische Kennwerte des Übertragungsverhaltens der untersuchten Drillschare

Schar	$T_1$ s	$T_2$ s
A200	0,028	0,028
A215 (kurz)	0,038	0,033
A215 (lang)	0,039	0,032

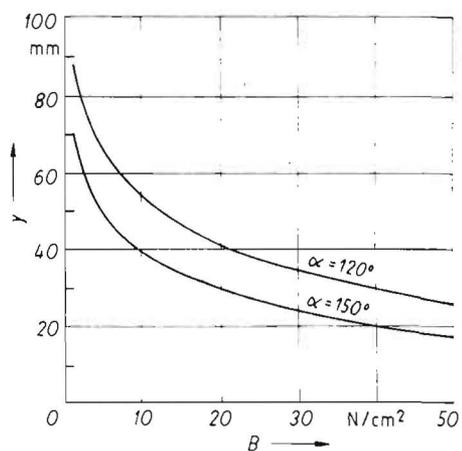
zeigt, stimmt der Verlauf der Sprungantwort als abklingende Schwingung mit der anhand der theoretischen Betrachtung gefundenen Struktur des Modells nach Gl. (1) überein. Für die Schar der Drillmaschine A215 wurde ein ähnliches dynamisches Verhalten festgestellt wie für das Schar der Drillmaschine A200 (Tafel 4, Bild 7).

### 4. Schlußfolgerungen

Durch theoretische und experimentelle Untersuchungen konnten für verschiedene Drillschare Modelle ermittelt werden, die die Abhängigkeit des Schar tiefganges y vom Durchdringungswiderstand B des Bodens und dem Federweg x der Schar feder beschreiben. Die angewandte Methodik zur experimentellen Ermittlung der statischen und dynamischen Kenngrößen des Modells Gl. (1) erwies sich als sehr effektiv. Die entwickelte Meßtechnik war durch einfachen Aufbau, hohe Zuverlässigkeit und Meßgenauigkeit gekennzeichnet. Dazu trug auch bei, daß in der Bodenrinne die Bodeneigenschaften sehr homogen waren. Durch die geringe Streuung der Einzelwerte von Durchdringungswiderstand B und Schar tiefgang y waren die zur Berechnung der Regressionskoeffizienten genutzten Schätzungen der Mittelwerte beider Größen sehr genau, und die statischen Kennlinien konnten mit hoher statistischer Sicherheit bestimmt werden. Auch die Messung der Sprungantworten der Drillschare wurden durch die Homogenität des Bodens begünstigt. Aufgrund der Nichtlinearität des statischen Übertragungsverhaltens und der aus methodischen Gründen notwendigen extrem großen Beträge der Sprungfunktion sind die ermittelten Zeitkonstanten jedoch lediglich als grob Anhaltswerte aufzufassen.

Die statischen Kennlinien sind für alle untersuchten Bodenarten gültig. Das trifft auch für die dynamischen Kennwerte des Übertra-

Bild 6. Statische Kennlinien für das Schleppschar der Drillmaschine A200 ( $\alpha = 120^\circ$ ) und für das Schleppschar mit vergrößertem Anstellwinkel der Schar schneide ( $\alpha = 150^\circ$ ) (Scharbelastung  $\approx 50$  N)

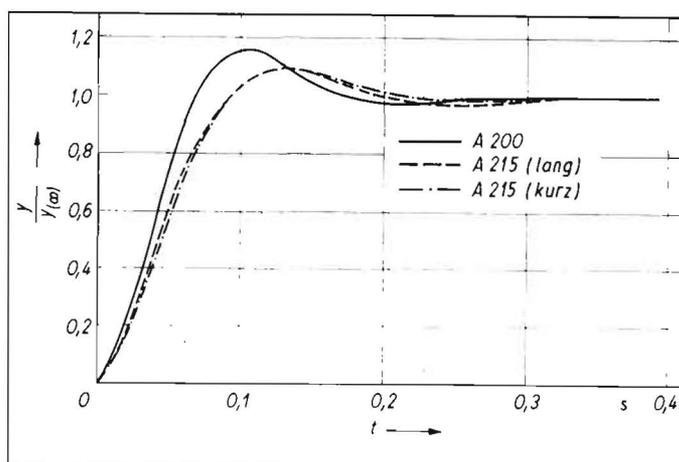


gungsverhaltens zu. Da die Unterschiede in den Modellparametern für die Bodenarten vernachlässigt werden konnten, liegt der Schluß nahe, daß ein Einfluß der Bodenart auf den Schar tiefgang nur über die unterschiedlichen Ergebnisse der Bodenbearbeitung in bezug auf den Durchdringungswiderstand ausgeübt wird. Dadurch sind der Praxis für jede Bodenart auch Unterschiede hinsichtlich charakteristischer Häufigkeitsverteilungen (Autokorrelation) des Durchdringungswiderstandes zu erwarten. Das muß Gegenstand weiterer Untersuchungen sein, da hiervon die Dimensionierung der Regulierung für den Schar tiefgang abhängen kann.

Die Gültigkeit der gefundenen Modelle für das Übertragungsverhalten ist nicht nur auf die Bedingungen, wie sie bei der Versuchsdurchführung vorlagen, beschränkt. Dabei muß die Gl. (1) als Einheit statischer und dynamischer Eigenschaften des Drillschares gesehen werden. Die Lösung dieser Gleichung, der zeitliche Verlauf des Schar tiefganges  $y(t)$ , ergibt sich also aus der Abhängigkeit, wie sie die statische Kennlinie beschreibt, wobei der Verlauf der Eingangsgrößen als Aufeinanderfolge von Sprungfunktionen aufgefaßt werden kann. Somit kann für jeden beliebigen Zeitverlauf sowohl der Störgröße  $B$  als auch der Stellgröße  $x$  anhand der gefundenen Modelle der Zeitverlauf des Schar tiefganges  $y$  näherungsweise berechnet werden.

Es ist festzustellen, daß mit der Entwicklung der Drillmaschine A 215 mit Zugfederbelastung keine Verbesserung der Übertragungseigenschaften des Drillschares gegenüber der Drillmaschine A 200 verbunden ist. Um die Wirksamkeit einer automatischen Schar tiefgangsregelung besonders auf leichten Standorten bei lockerem Saatbett sichern zu können, ist die Konstruktion der Schare in bezug auf den Anstellwinkel der Schar schneide zu überarbeiten. Außerdem sind konstruktive Maßnahmen zur Gewährleistung der Saatgutablage auf die Sohle der Saatrille zu treffen.

Bild 7  
Sprungantworten  
der Schleppschare  
der Drillmaschinen  
A 200 und A 215



### 5. Zusammenfassung

Untersuchungen zur Wirkung verschiedener Einflußgrößen auf den Tiefgang von Drillscharen sind für die Entwicklung einer automatischen Schar tiefgangsregelung notwendige Voraussetzung. Es werden Ergebnisse derartiger Untersuchungen für verschiedene Schleppschare vorgestellt. Ausgehend von einem theoretisch begründeten Modellansatz für das Übertragungsverhalten des Drillschares in bezug auf die Störgröße Durchdringungswiderstand  $B$  des Bodens, die Stellgröße Federweg  $x$  der Scharfeder und die Regelgröße Schar tiefgang  $y$  wurden die statischen und dynamischen Kennwerte des Modells für verschiedene Drillschare experimentell ermittelt. Die gewonnenen Erkenntnisse bilden nicht nur für den Automatisierungstechniker Grundlagen zur Auslegung einer Regelung, sie dürften auch für den Konstrukteur und den Nutzer der Drilltechnik von Interesse sein.

### Literatur

- [1] Otto, R., u. a.: Lösungen zur Rationalisierung des Verfahrensabschnittes Bestellung bei Wintergetreide. Institut für Getreideforschung Bernburg-Hadmersleben, Forschungs- und Entwicklungsbericht 1983 (unveröffentlicht).
- [2] Lindner, H.; Zschaage, F.: Die Horizontalsonde, ein neues Gerät zur kontinuierlichen Messung des Durchdringungswiderstandes des Bodens. Albrecht-Thaer-Archiv, Berlin 11(1967)9, S. 827-834.
- [3] Spillner, G.; Strecker, M.: Institut für Getreideforschung Bernburg-Hadmersleben, Arbeitsmaterial 1985 (unveröffentlicht).
- [4] Richter, G.: Bewährte und neue FORTSCHRITT-Drilltechnik aus Bernburg. agrartechnik, Berlin 37(1987)3, S. 107-109.
- [5] Herbst, A.: Untersuchungen zur automatischen Regelung des Schar tiefganges bei Drillmaschinen. Technische Universität Dresden, Dissertation A, 1988.
- [6] Töpfer, H.; Rudert, S.: Einführung in die Automatisierungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1979. A 5880

Anzeige

**STALTEC**

**Stalltec Vertriebsgesellschaft m.b.H.**

Ein neues Team mit viel Erfahrungen stellt sich Ihnen vor.

Technik von renommierten Herstellern des In- und Auslandes für den Kreislauf  
– vom Feld oder Lager – in den Stall – und wieder auf's Feld –  
liefern wir für Sie!

Unsere Händler sind ausgewählte  
und leistungsfähige Landtechnikbetriebe in den Bezirken,  
die sich Ihnen auch in Kürze vorstellen.

Stalltec Vertriebs-  
gesellschaft m.b.H.  
Zu den Luchbergen  
**Nauen**  
**1550**  
Telefon: 6 70  
Telex: 158464