

# Diskussion zum Arbeitsprinzip der Schar-Fräse<sup>1</sup>

Dr.-Ing. W.-D. Kalk, KDT, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der AdL der DDR

Dr.-Ing. J. Lucius, KDT, Institut für Landmaschinentechnik Leipzig im VEB Weimar-Kombinat

Dozent Dr.-Ing. K. Plötner, KDT, Universität Rostock, Sektion Landtechnik

## 1. Einführung

Der Boden ist das Hauptproduktionsmittel der Landwirtschaft. Für seine Bearbeitung werden gegenwärtig in der DDR durchschnittlich 15 Prozent, unter schwierigen Bedingungen 30 Prozent der Produktionskosten der gesamten Feldwirtschaft aufgewendet /1/. Um diese Kosten zu senken, besteht das Ziel der Bodenbearbeitungsmaßnahmen darin, die für das Pflanzenwachstum optimalen Bodenbedingungen mit niedrigem Energieaufwand und hoher Arbeitsproduktivität zu erreichen.

Eine Senkung des Energieaufwands kann mit herkömmlichen Werkzeugen dadurch erreicht werden, daß einmal ein Überschreiten der erforderlichen Arbeitstiefe vermieden wird und zum anderen die Bearbeitung auf die Arbeitsgänge beschränkt wird, die den für die jeweiligen Pflanzen notwendigen, naturwissenschaftlich begründeten, struktur-physikalischen Bodenzustand sichern. Jedoch sind die durch diese Maßnahmen erreichbaren Energieeinsparungen begrenzt.

Die Erhöhung der Arbeitsproduktivität kann im wesentlichen durch drei Maßnahmen realisiert werden:

- Vergrößerung der Arbeitsbreite
- Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit
- gleichzeitiger Einsatz mehrerer Werkzeuge in einer Kombination.

Der Vergrößerung der Arbeitsbreite sind wegen der erforderlichen Anpassung der Werkzeuge an die Oberfläche und des daraus resultierenden erhöhten Herstellungsaufwands sowie der Erhöhung der auf den Boden zu übertragenden Zugkraft Grenzen gesetzt. Die Arbeitsgeschwindigkeit wird in der Regel durch die Arbeitsqualität der Wirkelemente, die dynamischen Wirkungen im Antriebs- und Tragsystem der Maschinen und die Belastung der Bedienungsperson begrenzt. Herkömmliche Kombinationen bekannter Maschinen und Geräte durch Hintereinanderschalten haben wegen der resultierenden Baulänge ihre Grenzen /2/.

Die gezeigten Grenzen erfordern sowohl hinsichtlich der Senkung des Energieaufwands als auch hinsichtlich der Steigerung der Arbeitsproduktivität die Entwicklung von neuen Werkzeugen bzw. die Weiterentwicklung bekannter Werkzeuge, um

- bei geringerem Aufwand an spezifischer Energie eine bessere Zerkleinerungswirkung zu erreichen,
- eine den agrotechnischen Forderungen entsprechende Arbeitsqualität bei hohen, für die Belastung von Maschinen und Bedienungsperson noch vertretbaren Geschwindigkeiten zu sichern und

— eine Kombination vertretbarer Baulänge zu garantieren. In vielen Forschungseinrichtungen wird die Lösung dieser Aufgaben mit dem Arbeitsprinzip der Fräse angestrebt /2/. Die Fräse hat eine geringe Baulänge und ermöglicht sowohl das Bereiten des Saatbetts auf gepflügtem Boden als auch die Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung auf ungepflügtem Boden in einem Arbeitsgang. Da die Fräse ein Wenden des Bodens nicht einschließt, müssen im Rahmen der Fruchtfolge neben der pfluglosen Bestellung mit Hilfe der Fräse Arbeitsgänge mit dem Pflug vorgesehen werden /3/. Dem Einsatz der Fräse in der Landwirtschaft stehen jedoch eine Reihe von Nachteilen, wie z. B. eine zu intensive Zerkleinerung des Bodens, geringe Arbeitsproduktivität, hoher Energieaufwand und Verringerung der Lenkstabilität des Aggregats Traktor-Fräse, entgegen.

Die Nachteile der Fräse können durch Anordnen von passiven Lockerungswerkzeugen vor dem Werkzeugrotor der Fräse beseitigt werden /4/. Mit diesem als Schar-Fräse bezeichneten Prinzip wird der Boden in drei Stufen zerkleinert (Bild 1):

- Aufbruch des Bodens durch das Lockerungswerkzeug
- Zerkleinern des vom Lockerungswerkzeug aufgebrochenen Bodens durch Werkzeuge, die um eine horizontale Achse aktiv rotieren
- Zerkleinern von bei der Rotation der Werkzeuge abgeworfenen Bruchkörpern an der Rotorabdeckung.

Bisher wurden Schar-Fräsen nur durch Kombination bereits bekannter Werkzeuge realisiert /4/. Ziel der weiteren Entwicklung muß es deshalb sein, durch optimale Gestaltung und Zuordnung der Arbeitswerkzeuge die Möglichkeiten des Wirkprinzips der Schar-Fräse voll auszunutzen. Im folgenden sollen einige Probleme des Arbeitsprinzips der Schar-Fräse diskutiert werden.

## 2. Vorlockerung

Die Energie zur Zerkleinerung des Bodens ist u. a. von seinem Spannungszustand abhängig. Es ist bekannt, daß beim Einwirken der Werkzeuge auf festen abgesetzten Boden (Halbraum) ein zwei- oder dreiachsiger Spannungszustand vorliegt. Für den Bruchvorgang ist die mittlere Hauptspannung im allgemeinen vernachlässigbar /5/. Stellt man die Bruchbedingungen des Bodens im Normal-, Schubspannungsdiagramm dar, so ergibt sich für den dreiachsigen Spannungszustand eine größere Bruchspannung ( $\tau_2$ ) als für den einachsigen Spannungszustand ( $\tau_1$ ) (Bild 2). Deshalb ist beim Zerkleinern der einachsige Spannungszustand anzustreben. Eine Möglichkeit, den Boden durch angetriebene rotierende Werkzeuge im einachsigen Spannungszustand zu bearbeiten, ist durch den Eingriff der Werkzeuge in grob aufgebrochenem Boden gegeben. Die Lockerungswerkzeuge einer Schar-Fräse hinterlassen den Boden in regelloser Anordnung. Dadurch sind zwischen den Aggregaten größere Hohlräume vorhanden, die eine nahezu uneingeschränkte seitliche Ausdehnung bei der Belastung der Bodenaggregate durch die nachgeordneten rotierenden Werkzeuge ermöglichen. Dieser Effekt bewirkt bei der Schar-Fräse eine Abnahme des Rotordrehmoments gegenüber dem der üblichen Fräsen /4/.

## 3. Rotierende Werkzeuge

Das Zerkleinern des Bodens durch seine Bearbeitung mit einer Fräse ist zu intensiv. Bei der Schar-Fräse können vom

<sup>1</sup> An der Technischen Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik erarbeitet

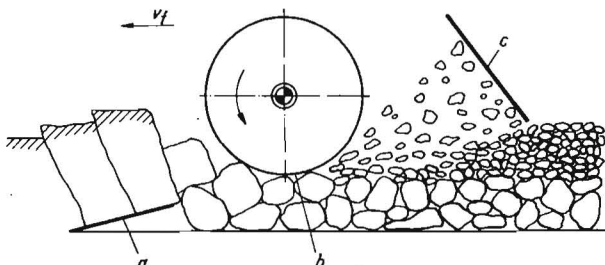


Bild 1. Zerkleinerungsstufen einer Schar-Fräse; a Lockerungswerkzeug, b Werkzeugrotor, c Rotorabdeckung

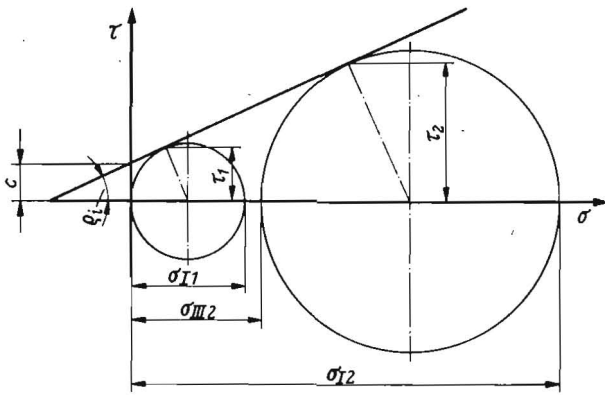


Bild 2. Darstellung des Bruchzustands am Spannungskreis nach Mohr; c Kohäsion;  $\phi_i$  innerer Reibungswinkel

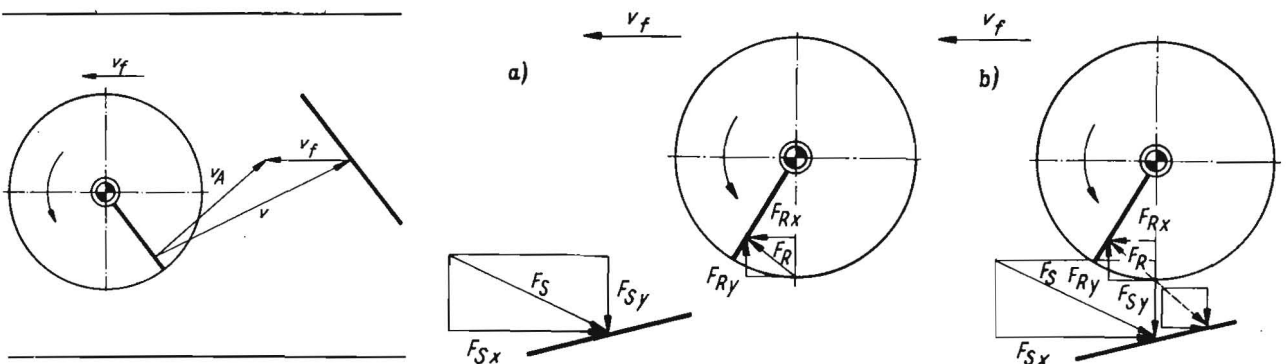
Lockerungswerkzeug bereits ausreichend zerkleinerte Bodenaggregate den rotierenden Werkzeugen ausweichen. Dadurch wird eine zu intensive Zerkleinerung vermieden und der Energiebedarf eingeschränkt.

Es ist bekannt, daß für Schar-Fräsen mit steigender Arbeitsgeschwindigkeit bei konstantem Verhältnis von Umfangsgeschwindigkeit  $v_u$  zu Arbeitsgeschwindigkeit  $v_f$  der spezifische Energiebedarf ansteigt /6/. Gleichzeitig nimmt die Zerkleinerung zu. Da das Ziel nicht darin besteht, die Bodenzerkleinerung zu intensivieren, sondern lediglich eine den agrartechnischen Forderungen /7/ entsprechende Zerkleinerung zu erzielen, kann bei zunehmender Arbeitsgeschwindigkeit das Verhältnis  $v_u/v_f$  gesenkt werden, wobei die geometrischen Verhältnisse beim Eingriff der rotierenden Werkzeuge berücksichtigt werden müssen. Diese Maßnahme ist gleichbedeutend mit einer Bissenlängenvergrößerung.

Um den Energiebedarf zu senken, ist die Energie zielgerichtet auf die Zerkleinerung zu lenken. Deshalb müssen die rotierenden Werkzeuge so gestaltet werden, daß sie den Boden nur zerkleinern und nicht bewegen. Diese Forderung ist praktisch nur bei quasistatischer Belastung zu realisieren. Bei bekannten Werkzeugen von Bodenfräsen ist bereits durch die spezielle Form ein Beschleunigen der Bodenaggregate unvermeidbar, wobei z. B. Winkelmesser den Boden mehr beschleunigen als Säbelmesser /8/. Für höhere Arbeitsgeschwindigkeiten sind also vom Gesichtspunkt der Bodenbeschleunigung her Säbelmesser geeigneter als Winkelmesser. Es muß aber angemerkt werden, daß der Mischeffekt geringer ist als bei Winkelmessern. Bei der Bearbeitung des gelockerten Bodens durch rotierende Werkzeuge wird die Reaktionskraft zur Zerkleinerung der Bruchkörper im wesentlichen durch die

Bild 3. Geschwindigkeiten der von den rotierenden Werkzeugen abgeworfenen Bruchkörper

Bild 4. Kräfte an der Schar-Fräse;  
a) Lockerungswerkzeug vor dem Werkzeugrotor  
b) Lockerungswerkzeug unterhalb des Werkzeugrotors



Massenträgheit der ruhenden Bruchkörper gegenüber den bewegten Werkzeugen aufgebracht. Die Zerkleinerung infolge der Trägheitskräfte gewinnt an Bedeutung, wenn das Verhältnis von Rotorradius zu Arbeitstiefe zunimmt.

Da die Beschleunigung der Bodenaggregate Voraussetzung für ihre Zerkleinerung ist, enthalten alle von den rotierenden Werkzeugen zerkleinerten Bodenaggregate kinetische Energie, die in der dritten Zerkleinerungsstufe der Schar-Fräse, an der Rotorabdeckung, genutzt werden kann.

#### 4. Rotorabdeckung

Die von den rotierenden Werkzeugen zerkleinerten Bodenaggregate bewegen sich mit der Absolutgeschwindigkeit  $v_a$  in Richtung auf die Rotorabdeckung (Bild 3). Beim Einsatz der Schar-Fräse ohne Abdeckung bleibt die Bewegungsenergie der Bodenaggregate ungenutzt, wenn man voraussetzt, daß die auf die bearbeitete Bodenoberfläche aufprallenden Bruchkörper nicht zerkleinert werden. Wenn die Schar-Fräse mit Abdeckung eingesetzt wird, prallt in der Regel ein Teil der Bruchkörper auf die Abdeckung, der andere Teil wird im Bereich der Arbeitstiefe auf dem gefrästen Boden abgelegt. Da sich die Rotorabdeckung den mit der Geschwindigkeit  $v_a$  ankommenden Bruchkörpern mit der Geschwindigkeit  $v_f$  entgegenbewegt (Bild 3), ergibt sich als Prallgeschwindigkeit die Relativgeschwindigkeit  $v$  und damit eine gegenüber der ursprünglichen Energie der ankommenden Bruchkörper erhöhte Energie für die Zerkleinerung. Die Energiedifferenz muß an der Rotorabdeckung als Zugenergie aufgebracht werden. In der Gesamtenergiebilanz vermindert sie die Schubenergie der Fräse. Wird die Abdeckung nicht als geschlossene Fläche sondern als Zinkenreihe oder Drahtgitter ausgeführt /9/, passieren bei entsprechenden Gitterabständen ausreichend zerkleinerte Bodenaggregate die Abdeckung, ohne mit dem Gitter in Berührung zu kommen. Eine Nutzung der Bewegungsenergie dieser Aggregate ist wegen der erreichten Zerkleinerung nicht mehr notwendig. Energetischer Gewinn ist dadurch gegeben, daß für diese Aggregate an der Rotorabdeckung keine Zugenergie zugeführt werden muß.

#### 5. Zusammenwirken von Lockerungswerkzeugen und rotierenden Werkzeugen

Die räumliche Zuordnung von Lockerungswerkzeugen und rotierenden Werkzeugen beeinflusst den Energiebedarf und die Aggregatgrößenverteilung des Bodens im Bereich der Arbeitstiefe.

Auf den Rotor wird infolge des Eingriffs der Werkzeuge in den Boden die Kraft  $F_R$  ausgeübt (Bild 4 a), auf das Lockerungswerkzeug die Kraft  $F_S$ . Die Kraft  $F_{Sx}$  muß als Zugkraft am Vorlockerungswerkzeug aufgebracht werden, die Kraft  $F_{Rx}$  wirkt als Schubkraft auf den Rotor. Die Schubkraft nimmt mit wachsendem Verhältnis von Rotorradius zu Arbeitstiefe der rotierenden Werkzeuge zu. Wird das Lockerungswerkzeug zu weit nach hinten angeordnet, so daß sich die Bodenaggregate während der Zerkleinerung durch die rotierenden Werkzeuge noch auf dem Lockerungswerk-

zeug befinden. wird  $F_R$  nicht vom Boden, sondern vom Lockerungswerkzeug auf den Rotor übertragen (Gedankenexperiment: Eingeklemmtes Bodenaggregat Bild 4 b). Die auf den Rotor bei richtiger Anordnung (Bild 4 a) ausgeübte Schubkraft wird als innere Kraft abgebaut. Die Schubenergie wird nicht wirksam. Die vertikale Komponente der Reaktionskraft der rotierenden Werkzeuge  $F_{Ry}$  (Bild 4 a) führt bei einer Fräse mit steigender Arbeitsgeschwindigkeit zu einem Verringern der Arbeitstiefe (zunehmende Kraft mit steigender Arbeitsgeschwindigkeit). Diese Erscheinung nimmt mit kleinerem Rotordurchmesser zu. Bei einer Schar-Fräse wirkt der vertikalen Komponente der Reaktionskraft der rotierenden Werkzeuge die entsprechende Komponente  $F_{Sy}$  der Lockerungswerkzeuge entgegen, wodurch eine von der Arbeitsgeschwindigkeit unabhängige Arbeitstiefe zu realisieren ist.

Durch Ändern der Arbeitstiefe der rotierenden Werkzeuge kann bei konstanter Arbeitstiefe der Lockerungswerkzeuge die Aggregatgrößenverteilung über der Arbeitstiefe verändert werden. Bei schweren, trockenharten Böden wird der gesamte von den Lockerungswerkzeugen bearbeitete Querschnitt auch von den rotierenden Werkzeugen bearbeitet werden müssen, um das geforderte homogene Saatbett zu erreichen /7/. Die Intensität der Bodenzerkleinerung durch die rotierenden Werkzeuge kann durch Änderung der Drehzahl variiert werden. Bei in noch gutem Strukturzustand befindlichen Böden genügt es, nur die obere Bodenschicht mit den rotierenden Werkzeugen zu bearbeiten, um eine feinkrümelige Saatgutablagezone zu erhalten. Im unteren Teil des Saatbetts ist unter solchen Bedingungen die Arbeitsqualität der Lockerungswerkzeuge ausreichend. Unnötige Energieaufwendungen können so vermieden werden. Allerdings muß einschränkend bemerkt werden, daß durch die geringe Arbeitstiefe der rotierenden Werkzeuge das Einmischen von organischen Resten verschlechtert wird.

## 6. Einschätzung

Das bekannte Prinzip der Schar-Fräse bietet Ansatzpunkte für die Realisierung einer Kombination zur Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung auf ungepflügtem Boden in einem Arbeitsgang, wobei die Kombination mit einem verdichtenden Werkzeug erforderlich ist.

Hervorzuheben sind:

- die durch Zuordnung von Lockerungswerkzeugen und rotierenden Werkzeugen sowie Drehzahländerung der rotierenden Werkzeuge zu verändernde Zerkleinerungswirkung
- die gegenüber der Fräse erreichbare geringere spezifische Energie und nicht so intensive Zerkleinerung

- die gegenüber der Fräse erreichbare höhere Arbeitsgeschwindigkeit
- die gegenüber einem Pflug mit Nachbearbeitungsgerät wesentlich geringere Baulänge.

Die Schar-Fräse mischt ebenso wie die Fräse Pflanzenreste in die von den rotierenden Werkzeugen bearbeitete Bodenschicht ein. Dieses Einbringen der Pflanzenreste ist zwar ihrer Verrottung zuträglicher als die paketweise Einbringung durch den Pflug /10/, jedoch können bei nur flach arbeitenden rotierenden Werkzeugen im Fall einer mit der Bodenbearbeitung kombinierten Aussaat die in der Saatgutablagezone befindlichen Pflanzenreste zu Nachteilen für den Auflauf und die Wasser- und Nährstoffversorgung des Saatguts führen. Ein Ausweg ist mit der Schar-Fräse nur durch Bearbeiten des gesamten von den Lockerungswerkzeugen gelockerten Querschnitts durch die rotierenden Werkzeuge und damit durch Einmischen der Pflanzenreste in eine größere Bodenschicht, allerdings bei energetischen Nachteilen, gegeben. Dieses Problem wird bei zunehmender Beseitigung der organischen Rückstände mit Hilfe von Chemikalien geringere Bedeutung haben /2/.

## Literatur

- /1/ Herzog, R./O. Bosse: Bodenbearbeitung — Bearbeitungsverfahren, Teil 1. Weltstandsvergleiche der DAL zu Berlin, Heft 15, 1970.
- /2/ Soucek, R.: Zu einigen Fragen des technischen Standes der Bodenbearbeitungsgeräte in der DDR und deren Weiterentwicklung. agrartechnik 24 (1974) H. 1, S. 23—25, 29.
- /3/ Engel, R.: Auswirkungen neuzeitlicher Bodenbearbeitung auf Arbeitswirtschaft, Boden und Ertrag. Landtechnik (1974) H. 3, S. 104—107.
- /4/ Eggenmüller, A.: Untersuchungen an einer Scharfräsenkombination. Grundlagen der Landtechnik (1959) H. 11, S. 64—71.
- /5/ Kezdi, A.: Handbuch der Bodenmechanik, Bd. 1. Berlin: Verlag für Bauwesen/Budapest: Verlag d. ungar. Akademie der Wissenschaften 1969.
- /6/ Bernacki, H.: Untersuchungen von Scharfräsen in der Bodenrinne und auf dem Acker. Grundlagen der Landtechnik (1962) H. 15, S. 28—36.
- /7/ Kunze, A.: Bodenbearbeitung und Bestellung in hoher Qualität — eine wichtige Voraussetzung für die weitere Steigerung und Stabilisierung der Erträge. agrartechnik 24 (1974) H. 1, S. 20—22.
- /8/ Regge H.: Untersuchungen mit Bodenfräswerkzeugen unter Feldbedingungen bezüglich des Energiebedarfs und der Bodenzerkleinerung. Dissertation TU Dresden, 1966.
- /9/ Wimmer, F.: Untersuchungen über die Bodenaufschließung durch Fräsen mit starren Winkelmessern und gefederten Spitzhaken. Dissertation TH München, 1957.
- /10/ Kunze, A./O. Bosse: Rationalisierung und Qualitätsverbesserung der Grundbodenbearbeitung. Fortschrittsberichte für die Landwirtschaft der DAL zu Berlin, Band 5, H. 10, 1967. A 9621

# Experimentelle Untersuchung zur Zuordnung des Vorlockerungswerkzeugs zum Fräsrotor in einer Schar-Fräse<sup>1</sup>

Dr.-Ing. J. Lucius, KDT, Institut für Landmaschinentechnik Leipzig im VEB Weimar-Kombinat

Dr.-Ing. W.-D. Kalk, KDT, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der AdL der DDR

## 1. Einführung

Die in der Diskussion zum Arbeitsprinzip der Schar-Fräse /1/ erkannten Vorteile des Prinzips für den landwirtschaftlichen Einsatz waren Anlaß zu experimentellen Untersuchungen der Arbeitswerkzeuge der Schar-Fräse und ihrer Zuordnung in der Kombination. Hervorzuheben sind folgende Vorzüge der Schar-Fräse:

- die Möglichkeit der Veränderung der Zerkleinerungsintensität
- gegenüber der Fräse der geringere spezifische Energieaufwand, die nicht so intensive Zerkleinerung und die erreichbare höhere Fahrgeschwindigkeit
- gegenüber dem Pflug mit Nachbearbeitungsgerät die geringere Baulänge.

Eine entscheidende Rolle bei der Ausnutzung der Energie an der Schar-Fräse spielt die Zuordnung von Vorlockerungs-

<sup>1</sup> An der Technischen Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-Land- und Fördertechnik erarbeitet