

Untersuchungen von Scharfräsen in der Bodenrinne und auf dem Acker

Von **Henryk Bernacki**, Warschau

Die starke Mechanisierung der Landwirtschaft und die Tendenz, die Schlepperleistung bei gleichbleibendem Schleppergewicht zu steigern, haben dazu geführt, die Anpassung der Bodenbearbeitungsgeräte an den Schlepper zu überprüfen. Von diesen wurden die Fräsen in verstärktem Maße in der Landwirtschaft eingesetzt. Man hat begonnen, alte, bis jetzt noch nicht realisierte Patente auszunutzen und auch neue, vom Schleppermotor angetriebene Geräte zu konstruieren.

Vor einigen Jahren wurden im Institut für landtechnische Grundlagenforschung in Völknerode systematische Versuche mit Fräsen und auch anderen, vom Schleppermotor angetriebenen Geräten durchgeführt [1; 2; 4; 5]. Durch diese Versuche konnten Richtlinien für die Konstruktion von Fräsen aufgestellt werden. Durch das Messen der Kräfte und Momente bei Fräsen wurden Anhaltspunkte für die günstigste Form von Fräswerkzeugen und die optimale Anordnung der Werkzeugkränze gewonnen. Die Versuche zeigten auch, daß der Energieverbrauch einer Fräse größer ist als der Energieverbrauch eines entsprechenden gezogenen Gerätes.

Eggenmüller hat ältere Patente von einer Kombination von Schar und Fräse zum Anlaß genommen, einige Labor- und Feldversuche mit einer Scharfräse durchzuführen [4]. Dabei zeigte es sich, daß der Energieverbrauch einer Scharfräse erheblich kleiner ist als bei einer Fräse ohne Schar. Die Laborversuche wurden seinerzeit mit Einzelwerkzeugen bei Einzelschnittvorgängen in der Bodenrinne durchgeführt.

Die vorliegende Arbeit¹⁾ ist eine Fortsetzung der Scharfräsenuntersuchungen von *Eggenmüller*. In dieser Arbeit, die sowohl Labor- als auch Feldversuche umfaßt, wird der Einfluß verschiedener Arbeitsbedingungen auf die Drehmomente, auf die spezifische Arbeit und auf den Energieverbrauch ermittelt. Hierbei wurde auch für die Laborversuche eine normale Fräswelle benutzt.

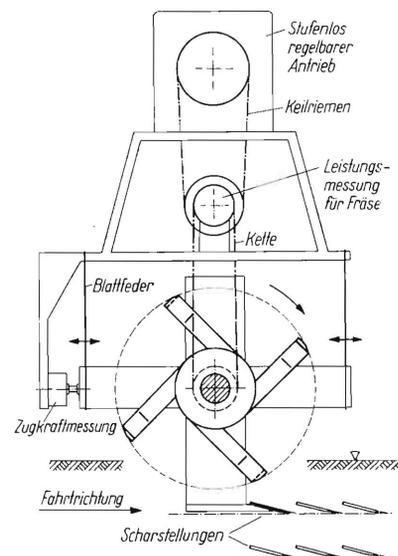


Bild 1. Schema der Scharfräsen-Versuchseinrichtung.

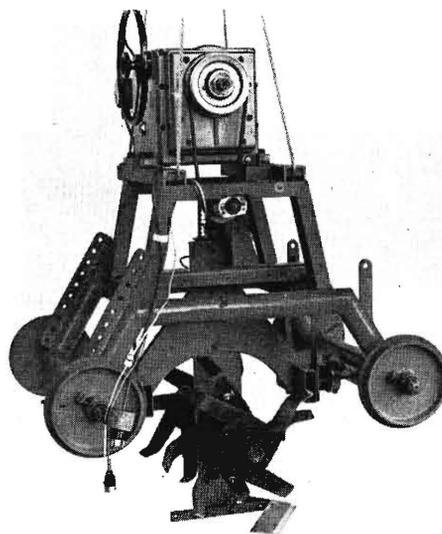


Bild 2. Die ausgeführte Scharfräsen-Versuchseinrichtung.

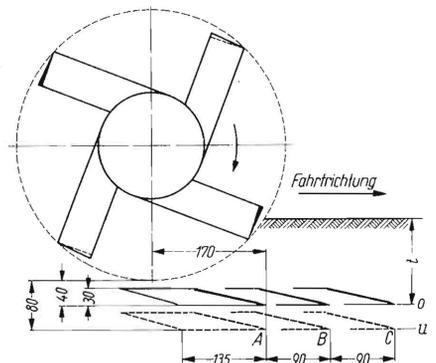


Bild 3. Lage des Gänsefußschares zur Fräse bei den Versuchen.

Scharfräse in der Bodenrinne

Für die Laborversuche in der Bodenrinne wurde die im folgenden näher beschriebene Einrichtung verwendet, **Bild 1 und 2**. Die Fräswelle wird von einem Elektromotor über ein stufenlos regelbares Getriebe angetrieben. Hierdurch ist es möglich, die Fräswelldrehzahl dem jeweiligen Vorschub anzupassen, um eine gleichmäßige Bissenlänge zu erzielen. Der Vorschub erfolgt durch eine Seilwinde, die mittels eines Stufengetriebes folgende Fahrgeschwindigkeiten ermöglicht: 0,06; 0,11; 0,22; 0,46 und 0,91 m/s.

Die Fräswelle ist in der Mitte gelagert und wird durch einen Kettentrieb von der Vorgelegewelle her angetrieben. Die Halterung des Kettentriebgehäuses dient zugleich als Scharhalter. Das Schar ist in Gänsefußform ausgebildet. **Bild 3** zeigt die gegenseitige Anordnung von Schar und Fräse und enthält die Bezeichnungen der Scharstellungen bei den Versuchen. Die Bearbeitungstiefe wird als Gesamttiefe von der Bodenoberfläche bis zur Scharsschneide gemessen.

Die Drehmomente und die Drehzahlen werden in der Vorgelegewelle elektronisch gemessen, mit einem Schleifenszillo-graphen registriert und dann auf die Fräswelle umgerechnet. Die Zugkräfte werden mit einem Maihak-Indikator hydraulisch gemessen und registriert. Bei der Auswertung der Schriebe wurden jeweils die Mittelwerte der Drehmomente und der Zugkräfte ermittelt.

Anfangs wurde die Fräse mit vier Werkzeugkränzen gefahren. Hierbei konnten aber größere Bissenlängen wegen der begrenzten Leistung des Antriebsmotors und des großen Schlupfes des Keilriemens nicht erzielt werden. Daher wurden die weiteren Versuche mit zwei Werkzeugkränzen durchgeführt. Hierbei ist jeder Kranz mit vier Fräswerkzeugen bestückt, deren Winkelmesser abwechselnd links oder rechts von der Mittelebene des Werkzeugkranzes arbeiten.

¹⁾ Für die freundliche Unterstützung bei der Durchführung dieser Forschungsarbeit dankt der Verfasser besonders Herrn Professor Dr.-Ing. W. Batel und dessen Mitarbeiter Herrn Priv.-Doz. Dr.-Ing. W. Söhne. Weiterhin dankt er der Rockefeller-Foundation, die durch die Gewährung eines Stipendiums den Aufenthalt in der Forschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig-Völknerode ermöglichte und den Herren R. Möller und R. Bruer, die ihn bei den Messungen unterstützten.

Dr.-Ing. Henryk Bernacki ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mechanisierung und Elektrifizierung der Landwirtschaft in Warschau (Direktor: Prof. Dr. Czeslaw Kanafojski) und Dozent an der dortigen Technischen Hochschule.

Der feinsandige Lehm in der Bodenrinne wurde bei der Vorbereitung zu den Versuchen nicht zu stark verdichtet (siehe **Tafel 1**). Bei den Versuchen mit nur zwei Werkzeugkränzen wurde der Boden etwas stärker verdichtet. Die Feuchtigkeit des Bodens entsprach einem guten Bearbeitungszustand.

Antriebsdrehmomente in der Fräswelle

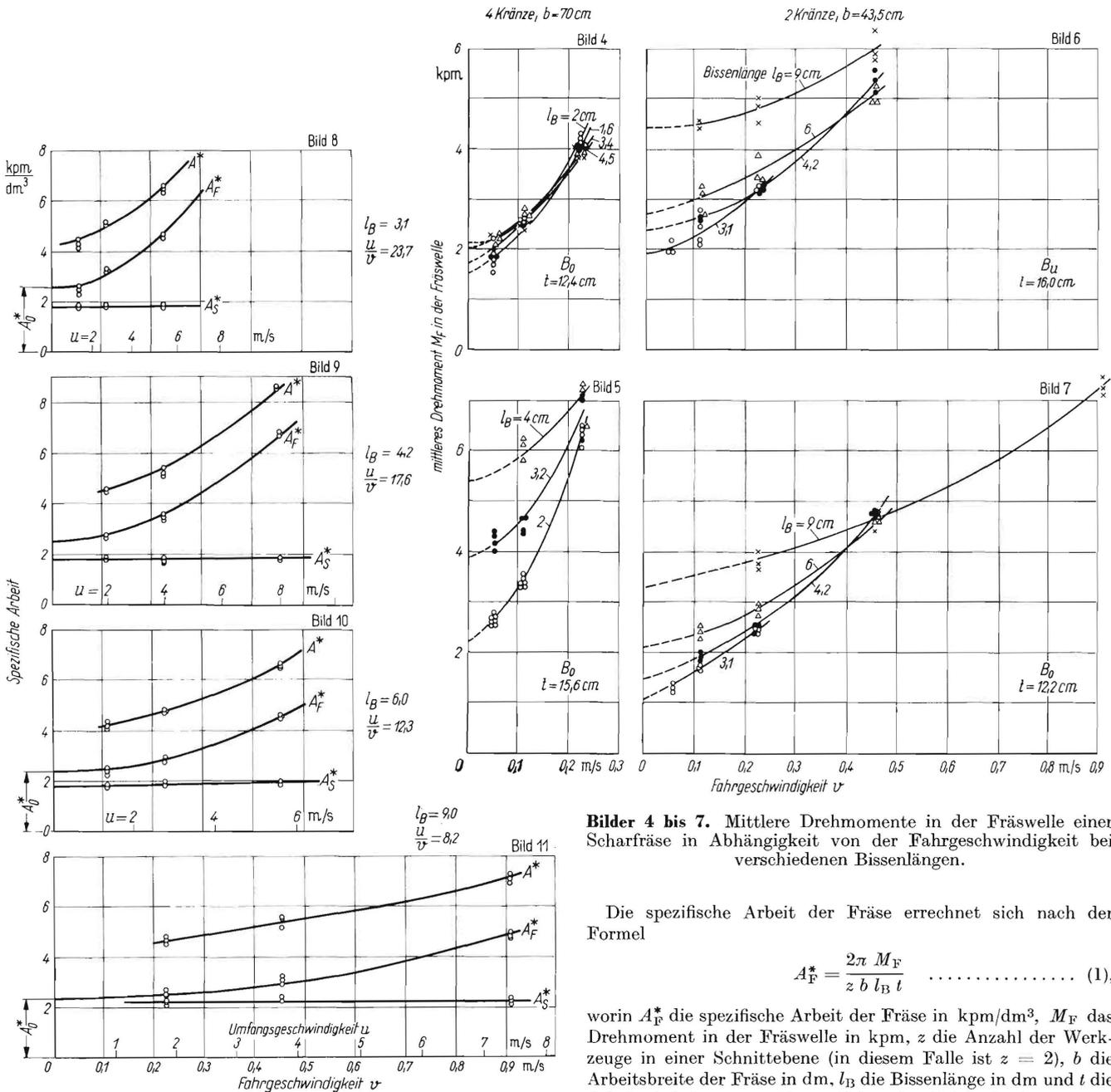
Die **Bilder 4 bis 7** zeigen die mittleren Drehmomente in der Fräswelle in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei verschiedenen Bissenlängen. Bei den Versuchen war es nicht möglich, ganz genau gleiche Bissenlängen zu erzielen, da der Schlupf des Keilriemens von der Größe des Drehmomentes abhing, wodurch sich wiederum die Drehzahl änderte. Bei den Diagrammen, in denen eine konstante Bissenlänge angegeben ist, wurden deshalb die Werte der Drehmomente entsprechend interpoliert. In allen Darstellungen steigen erwartungsgemäß die Drehmomente mit der Fahrgeschwindigkeit und Bissenlänge, jedoch ist die gegenseitige Zuordnung verschieden.

Tafel I. Der Boden bei den Laborversuchen. Der feinsandige Lehm in der Bodenrinne hat folgende Zusammensetzung: 12% Grobsand, 54% Feinsand, 26% Schluff, 8% Ton.

| | Feuchtigkeit % | Porenanteil % |
|---|----------------|---------------|
| bei den Fräsversuchen mit 4 Werkzeugkränzen | 14—15 | 47,5—53 |
| mit 2 Werkzeugkränzen | 15—16 | 45 —52 |

Spezifische Arbeit der Scharfräse

Der Verlauf der Kurven ist sehr regelmäßig, wenn man die spezifische Arbeit von Fräse und Schar in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit v bzw. der Umfangsgeschwindigkeit u der Fräsmesser bei konstanten Bissenlängen darstellt, **Bilder 8 bis 11**.



Bilder 4 bis 7. Mittlere Drehmomente in der Fräswelle einer Scharfräse in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei verschiedenen Bissenlängen.

Die spezifische Arbeit der Fräse errechnet sich nach der Formel

$$A_F^* = \frac{2\pi M_F}{z b l_B t} \dots\dots\dots (1),$$

worin A_F^* die spezifische Arbeit der Fräse in kpm/dm^3 , M_F das Drehmoment in der Fräswelle in kpm , z die Anzahl der Werkzeuge in einer Schnittebene (in diesem Falle ist $z = 2$), b die Arbeitsbreite der Fräse in dm , l_B die Bissenlänge in dm und t die Arbeitstiefe (gemessen bis zur Scharseide) in dm ist.

Die spezifische Arbeit A_S^* des Schares ist

$$A_S^* = 0,1 \frac{P}{b t} \dots\dots\dots (2),$$

worin A_S^* die spezifische Arbeit des Schares in kpm/dm^3 und P die Längskraft in kp ist. Der Koeffizient 0,1 hat in diesem Falle

Bilder 8 bis 11. Spezifische Arbeit A^* einer Scharfräse in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bzw. der Umfangsgeschwindigkeit der Fräsmesser bei verschiedenen Bissenlängen (A_F^* spez. Arbeit der Fräse, A_S^* spez. Arbeit des Schares).

Scharstellung B_0 (s. Bild 3)
Arbeitstiefe $t = 12,2\text{ cm}$
Arbeitsbreite $b = 43,5\text{ cm}$ (2 Kränze)

die Dimension m/dm und dient zur Umrechnung des spezifischen Widerstandes in spezifische Arbeit. Die spezifische Arbeit des Schares steigt kaum mit der Fahrgeschwindigkeit bzw. der Bissenlänge an, ist aber abhängig von der Arbeitstiefe.

Die gesamte spezifische Arbeit A^* setzt sich aus der Summe der beiden spezifischen Arbeiten zusammen:

$$A^* = A_F^* + A_S^* \dots \dots \dots (3).$$

Bei allen Versuchen ist die Streuung der Meßwerte sehr gering, was auf gleichmäßige Verhältnisse in der Bodenrinne schließen läßt. Die Abhängigkeit der spezifischen Arbeit der Fräse von der Fahrgeschwindigkeit v bzw. von der Umfangsgeschwindigkeit u der Fräsmesser läßt sich für konstante Bissenlängen nach folgenden parabolischen Funktionen darstellen:

$$A_F^* = A_0^* + 0,001 \alpha_u u^2 \dots \dots \dots (4)$$

oder

$$A_F^* = A_0^* + 0,001 \alpha_v v^2 \dots \dots \dots (5),$$

worin A_0^* die spezifische Schnittarbeit in kpm/dm^3 , $u =$ Umfangsgeschwindigkeit in m/s , $v =$ Fahrgeschwindigkeit in m/s und α_u und $\alpha_v =$ Koeffizienten in $\text{kp s}^2/\text{m}^4$ sind.

Auf den Bildern ist zu erkennen, daß alle Meßpunkte nur sehr wenig von den Parabeln abweichen. Da die Messungen auch bei sehr kleinen Geschwindigkeiten durchgeführt wurden, kann man ohne größere Fehler aus den Parabeln die spezifische Schnittarbeit A_0^* d. h. den statischen Anteil, der zum Abschneiden der Bissen erforderlich ist, entnehmen. Der zweite mit dem Quadrat der Geschwindigkeit ansteigende Teil der Formeln (4) und (5) stellt die Arbeit dar, die zur Beschleunigung der Bissen und der dabei auftretenden Reibungsverluste aufgewendet wurde. Sie wird im folgenden als spezifische Beschleunigungsarbeit A_B^* bezeichnet.

$$A_B^* = 0,001 \alpha_u u^2 = 0,001 \alpha_v v^2 \dots \dots \dots (6).$$

Zwischen den Koeffizienten α_u und α_v besteht folgende Abhängigkeit:

$$\alpha_v = \alpha_u \left(\frac{u}{v}\right)^2 \dots \dots \dots (7).$$

Die Formeln (4) und (5) ähneln der Formel von *Gorjatschkin* über die Abhängigkeit des Pflugwiderstandes von der Fahrgeschwindigkeit:

$$z = z_0 + \epsilon v^2 \dots \dots \dots (8).$$

Die Darstellung der spezifischen Arbeit als Parabel erleichtert den Vergleich der Meßergebnisse sehr. In **Bild 12 und 13** ist die spezifische Arbeit der Fräse A_F^* als Parabel in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit dargestellt (ohne Meßpunkte). Mit kleiner werdenden Bissen verlaufen die Parabeln steiler. Der Wert des Koeffizienten α_v ist also von der Bissenlänge abhängig.

Bild 14 und 15 zeigen die gleiche spezifische Arbeit der Fräse in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit. Hier verlaufen die Parabeln fast parallel zueinander, d. h., daß die Beschleunigungsarbeit nur in sehr geringem Maße von der Bissenlänge abhängig ist.

Tafel 2. Spezifische Schnittarbeit und Koeffizienten α einer Scharfräse

| Zahl d. Kränze | Arbeitsbreite b cm | Einstell. d. Schares | Arbeits-tiefe t cm | Bissen-länge l_B cm | spezif. Schnitt-arbeit A_0^* kpm/dm^3 | Koeffi-zient α_u kps^2/m^4 | Koeffi-zient α_v kps^2/m^4 | | |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|--|---|---|----|--------|
| 4 | 70,0 | Bo | 12,4 | 2,0 | 2,88 | 71 | 96 700 | | |
| | | | | 3,4 | 2,24 | 94 | 44 300 | | |
| | | | | 4,5 | 1,78 | 94 | 25 300 | | |
| | | Bo | 15,6 | 2,0 | 3,50 | 82 | 112 000 | | |
| | | | | 3,3 | 3,70 | 90 | 47 900 | | |
| | | | | 4,0 | 3,50 | 75 | 25 500 | | |
| 2 | 43,5 | Bo | 12,2 | 3,1 | 2,58 | 73 | 41 300 | | |
| | | | | 4,2 | 2,52 | 63 | 19 000 | | |
| | | | | 6,0 | 2,35 | 60 | 9 100 | | |
| | | | | 9,0 | 2,30 | 46 | 3 100 | | |
| | | | | Bu | 16,0 | 3,1 | 2,80 | 65 | 36 800 |
| | | | | | | 4,2 | 2,64 | 50 | 14 000 |
| 6,0 | 2,13 | 55 | 8 400 | | | | | | |
| | | | 9,0 | 2,25 | 53 | 3 550 | | | |

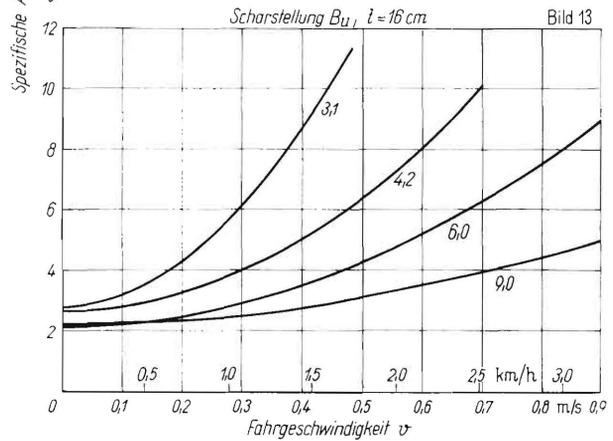
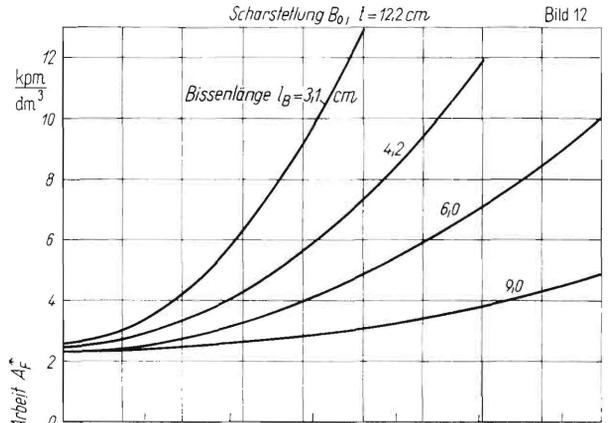


Bild 12 und 13. Spezifische Arbeit der Fräse einer Scharfräse in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei verschiedenen Bissenlängen.

Arbeitsbreite $b = 43,5$ cm (2 Kränze)

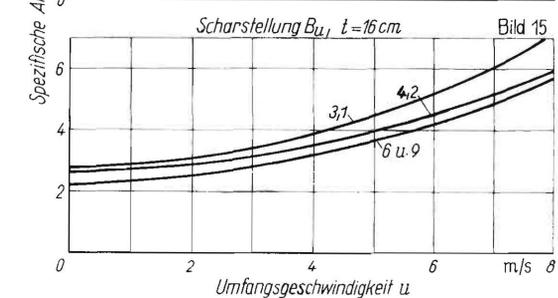
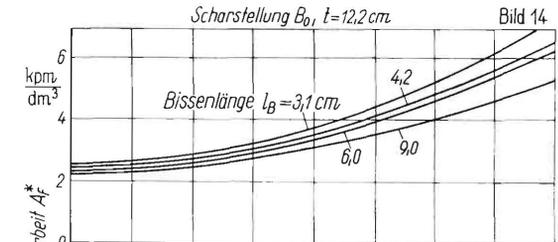


Bild 14 und 15. Spezifische Arbeit der Fräse einer Scharfräse in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit bei verschiedenen Bissenlängen.

Arbeitsbreite $b = 43,5$ cm (2 Kränze)

Die Werte der Koeffizienten α_v , α_u und die spezifische Schnittarbeit A_0^* sind in **Tafel 2** zusammengestellt.

Bei diesen Versuchen ergab sich für den Koeffizienten α_u ein Wert zwischen 46 und 94 $\text{kp s}^2/\text{m}^4$. Die spezifische Beschleunigungsarbeit ist von *Söhne* [5] nach folgender Gleichung errechnet:

$$A_B^* = \frac{\gamma (u \xi)^2}{2 g \eta_R} \dots \dots \dots (9).$$

Dabei bedeuten:

γ das Raumgewicht des Bodens in kp/m^3 , ξ einen Faktor, der ausdrückt, auf wieviel Prozent der Umfangsgeschwindigkeit u die Bodenteilchen während des Schnittvorganges beschleunigt werden und η_R den Wirkungsgrad, durch den die erheblichen Reibungsverluste auf dem Fräswerkzeug erfaßt werden.

Vergleicht man die Gleichung (9) mit der Gleichung (6), so bekommt man:

$$\alpha_u = \frac{\gamma \xi^2}{2 g \eta_R} \dots \dots \dots (10).$$

Bei der Annahme eines Wirkungsgrades η_R kann man den Faktor ξ errechnen:

$$\xi = \sqrt{\frac{\alpha_u 2 g \eta_R}{\gamma}} \dots \dots \dots (11).$$

Das spezifische Gewicht des Bodens in der Bodenrinne beträgt rund $\gamma = 1550 \text{ kp/m}^3$. Der Wirkungsgrad ist hier mit $\eta_R = 0,25$ angenommen. Dann hat für die α_u -Werte von 46 bis 94 der Faktor ξ die Werte 0,38 bis 0,55. Man kann also mit einiger Annäherung sagen, daß der Boden während des Schnittvorganges der Fräse bis zur Hälfte der Umfangsgeschwindigkeit beschleunigt wird. Der Koeffizient α_v zeigt im Vergleich zum Koeffizienten α_u sehr große Werte. Die spezifische Arbeit steigt mit der Fahrgeschwindigkeit bei konstanten Bissenlängen sehr schnell an. Andererseits verringert sich der Koeffizient α_v ungefähr quadratisch mit zunehmenden Bissenlängen.

Die Bilder und die Tafel zeigen, daß die spezifische Schnittarbeit A_o^* bei diesen Bodenrinnenversuchen nur in geringem Maße von der Bissenlänge abhängig ist; bei kleineren Bissen wird diese Arbeit meist größer.

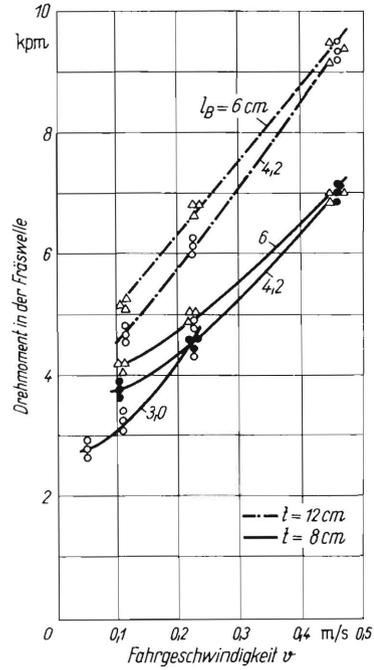


Bild 16. Drehmomente der Fräse ohne Schar in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei verschiedenen Bissenlängen und Arbeitstiefen.

Arbeitsbreite $b = 43,5 \text{ cm}$ (2 Kränze)

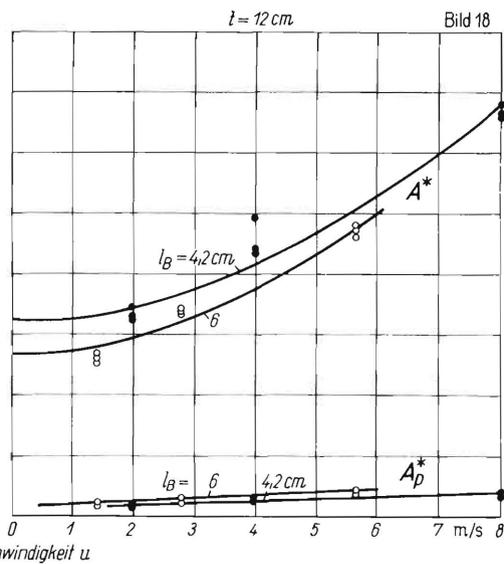
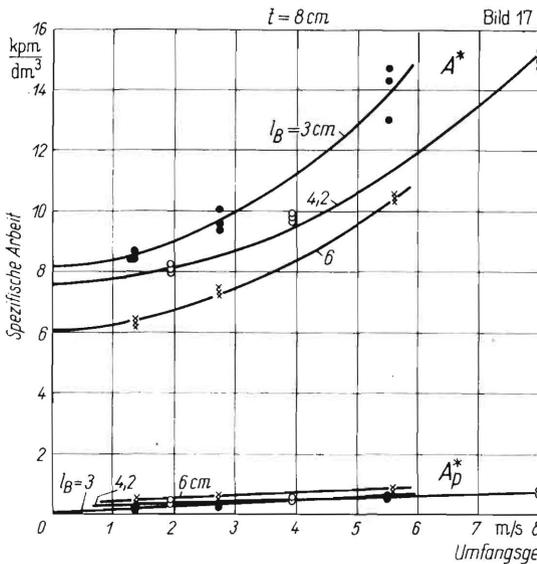


Bild 17 und 18. Spezifische Arbeit A^* der Fräse ohne Schar in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit bei verschiedenen Bissenlängen und Arbeitstiefen.

Arbeitsbreite $b = 43,5 \text{ cm}$ (2 Kränze); A_p^* spezifische Arbeit aus der Schubkraft der Fräse

Spezifische Arbeit der Fräse ohne Schar

Zum Vergleich wurden auch Versuche mit der Fräse ohne Schar gefahren. In **Bild 16** sind die Drehmomente der Fräswelle in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit dargestellt. Die Drehmomente zeigen einen ähnlichen Verlauf wie bei der mit zwei Kränzen ausgerüsteten Scharfräse. Sie steigen mit der Fahrgeschwindigkeit, mit der Bissenlänge und mit der Arbeitstiefe an.

In **Bild 17 und 18** ist die spezifische Arbeit der Fräse ohne Schar als Parabeln in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit dargestellt. Der Streubereich ist hier kaum größer als bei der Scharfräse. Auf den Bildern ist ebenfalls die spezifische Arbeit A_p^* , die von Schubkräften der Fräse herrührt, eingetragen.

Bild 19 zeigt die spezifische Arbeit als Parabeln in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (ohne Meßpunkte). In **Tafel 3** sind die Werte der Koeffizienten α_u , α_v und die spezifische

Schnittarbeit A_o^* zusammengestellt. Bei der Errechnung dieser Koeffizienten und der Schnittarbeit wurden von der gesamten spezifischen Arbeit A^* die spezifische Arbeit A_p^* der Schubkraft abgezogen, um die reine Schnitt- und Beschleunigungsarbeit zu erhalten.

Tafel 3. Spez. Schnittarbeit und Koeffizienten der Fräse ohne Schar.

| Arbeitsbreite b cm | Arbeits-tiefe l cm | Bissen-länge l_B cm | spez. Schnittarbeit A_o^* kpm/dm^3 | Koeffizient α_u kps^2/m^4 | Koeffizient α_v kps^2/m^4 |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--|---|---|
| 43,5 | 8,0 | 3,0 | 8,1 | 175 | 106 000 |
| | | 4,2 | 7,4 | 111 | 34 300 |
| | | 6,0 | 5,8 | 125 | 18 900 |
| | 12,0 | 4,2 | 6,3 | 102 | 31 500 |
| | | | 5,1 | 114 | 17 200 |
| | | 6,0 | | | |

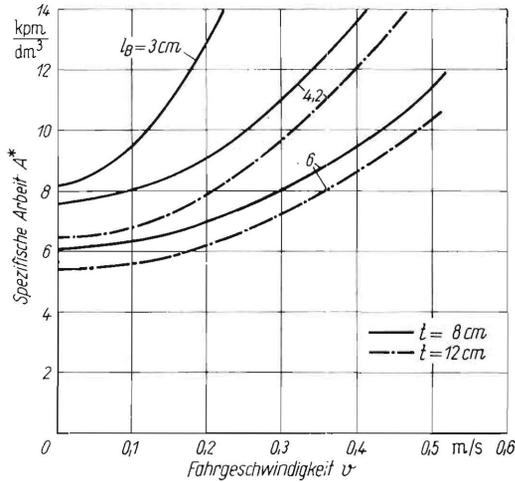


Bild 19. Spezifische Arbeit der Fräse ohne Schar in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei verschiedenen Bissenlängen und Arbeitstiefen.

Arbeitsbreite $b = 43,5 \text{ cm}$ (2 Kränze)

Die spezifische Schnittarbeit A_0^* ist eindeutig von der Arbeitstiefe und der Bissenlänge abhängig und ist mehr als doppelt so groß wie bei der Scharfräse bei entsprechenden Tiefen und Bissenlängen. Auch die Koeffizienten a_u sind hier wesentlich größer. Bei der Annahme des gleichen Wirkungsgrades $\eta_R = 0,25$ für die Werte a_u von 102 bis 175 $\text{kp s}^2/\text{m}^4$ weist der Faktor ξ Werte von 0,57 bis 0,74 auf. Dies bedeutet, daß der Boden durch die Fräse ohne Schar auf eine höhere Endgeschwindigkeit als bei der Scharfräse beschleunigt wird.

Spezifische Arbeit der Scharfräse und der Fräse ohne Schar

Der Vergleich der gesamten spezifischen Arbeit in **Bild 20** zeigt, daß die Anwendung der Scharfräse gegenüber einer Fräse ohne Schar energetisch von Vorteil ist. In der Bodenrinne war die gesamte spezifische Arbeit der Scharfräse um 38% bei einer Bissenlänge von 4,2 cm und um 27% bei einer Bissenlänge von 6 cm kleiner als die der Fräse allein. Diese Ergebnisse zeigen die starke Verringerung der spezifischen Arbeit beim Einsatz einer Kombination von Schar und Fräse.

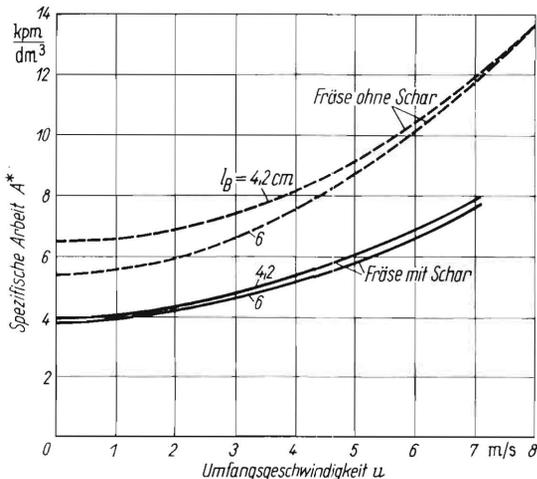


Bild 20. Vergleich der spezifischen Arbeit der Scharfräse (s. Bild 9 und 10) und der Fräse ohne Schar bei gleicher Arbeitstiefe und Arbeitsbreite.

Arbeitstiefe $t = 12 \text{ cm}$
Arbeitsbreite $b = 43,5 \text{ cm}$ (2 Kränze)

Die Anordnung des Schares zur Fräswelle hat einen Einfluß auf den Widerstand des Schares. **Bild 21** zeigt, daß mit einer Verschiebung des Schares nach vorn kaum ein Ansteigen der Zugkraft erfolgt. Dagegen steigt die Zugkraft stark an, wenn der Abstand zwischen Schar und Fräswelle in vertikaler Richtung

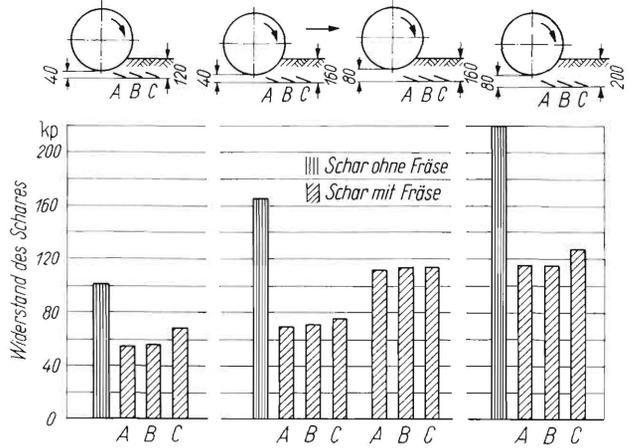


Bild 21. Widerstand des Schares bei verschiedener Anordnung des Schares zur Fräse.

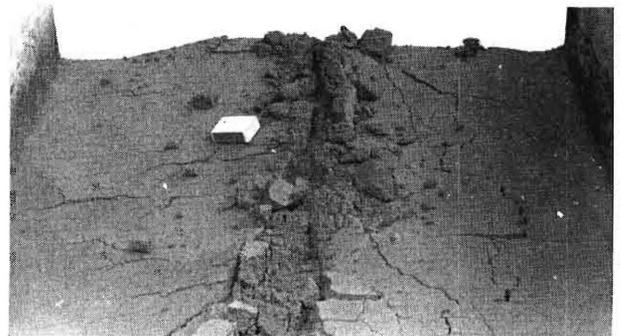


Bild 22. Bodenoberfläche nach dem Arbeiten des Schares ohne Fräse. In der Mitte ist die Arbeitsspur des Scharstieles zu erkennen.

Arbeitstiefe $t = 12 \text{ cm}$
Fahrgeschwindigkeit $v = 0,11 \text{ m/s}$

vergrößert wird. Bei gleicher Scharanordnung steigen die Zugkräfte etwas mit zunehmender Arbeitstiefe an. Die Zugkräfte des Schares ohne Fräse sind sehr viel größer. Dieses rührt auch daher, daß bei der Arbeit des Schares ohne Fräse der Haltestiel den Boden durchschneiden muß, **Bild 22**. Bei der Kombination mit der Fräse durchschneidet dagegen der Scharstiel den bereits von der Fräse gelockerten Boden.

Krümelung des Bodens

In den **Bildern 23 bis 25** sind die Bodenoberflächen nach der Bearbeitung mit der Scharfräse bei gleichen Fahrgeschwindigkeiten jedoch verschiedener Drehzahl der Fräswelle gezeigt. Durch die abgewinkelte Form der Fräsmesser werden die Bissen schräg abgeschnitten und auch schräg nach hinten geworfen. Hierdurch entstehen die Furchen auf dem gefrästen Boden. Die



Bild 23. Bodenoberfläche nach der Bearbeitung mit der Scharfräse.

Arbeitstiefe $t = 16 \text{ cm}$
Arbeitsbreite $b = 43,5 \text{ cm}$
Fahrgeschwindigkeit $v = 0,22 \text{ m/s}$
Drehzahl $n = 76 \text{ U/min}$
Umfangsgeschwindigkeit $u = 1,87 \text{ m/s}$
Bissenlänge $l_b = 9,1 \text{ cm}$



Bild 24. Bodenoberfläche nach der Bearbeitung mit der Scharfräse.

Arbeitstiefe $t = 12,4$ cm
Arbeitsbreite $b = 70$ cm
Fahrgeschwindigkeit $v = 0,22$ m/s
Drehzahl $n = 139$ U/min
Umfangsgeschwindigkeit $u = 3,42$ m/s
Bissenlänge $l_B = 4,8$ cm

tiefsten Furchen dieser Art entstehen bei Drehzahlen von 150 bis 200 U/min. Bei Drehzahlen unter 80 U/min wurden keine derartigen Furchen beobachtet. Aus den Untersuchungen ergab sich, daß die Krümelung des Bodens vor allem von der Umfangsgeschwindigkeit der Fräswelle abhängt.

Die Bodenoberfläche nach dem Fräsen ohne Schar mit hoher Drehzahl zeigt **Bild 26**. Die Furchen sind hier ausgeprägter und die Krümelung ist, besonders in der Tiefe, feiner als bei der Scharfräse. Die Fräse ohne Schar arbeitet also intensiver als eine Scharfräse. Die Bodenrinnenversuche haben gezeigt, daß eine Scharfräse vor allem energetisch günstiger arbeitet als eine Fräse ohne Schar.

Feldversuche mit einer Scharfräse

Um die in der Bodenrinne gewonnenen Ergebnisse zu überprüfen, sind Feldversuche mit einer aus einem „Rotavator“ entwickelten Scharfräse, **Bild 27**, durchgeführt worden. Die Fräse hat eine Arbeitsbreite von 103 cm und ist mit fünf Winkelmesserkränzen ausgerüstet. Jeder Kranz ist mit 6 Messern bestückt, und zwar mit drei rechten und drei linken. In einer Schnittebene greifen also je drei Messer mit einer Verteilung von jeweils 120° an. Die Fräse war für diese Feldversuche besonders geeignet, weil sie mit einem mehrstufigen Getriebe versehen war, das gestattete, Umdrehungszahlen von 90 bis 230 U/min zu erreichen. Die Fräs-werkzeuge waren mit 14 cm ungewöhnlich breit. Nach *Söhne* [1] sollen die breiteren Werkzeuge kleinere Drehmomente ergeben.

Für diese Fräse wurden zwei Schare angefertigt. Sie sind vor der Fräswelle angeordnet, so daß die Stiele bei der Arbeit den Boden durchschneiden müssen. Eine Verstellmöglichkeit der Schare bestand nur in vertikaler Richtung. Wie die Versuche in der Bodenrinne gezeigt haben, ergibt eine Verstellung der Schare in Fahrtrichtung sowieso keine wesentliche Änderung der Zugkräfte.

Die Feldversuche wurden auf einem lehmigen Sandboden durchgeführt. Die Oberfläche war stark mit Unkraut bewachsen. Dieses wurde vor den Versuchen bis auf eine Höhe von etwa 8 cm abgemäht. Die Antriebsdrehmomente wurden elektronisch in der Zapfwelle des Schleppers gemessen und auf die Fräswelle umgerechnet. Ein Getriebewirkungsgrad wurde hierbei nicht angesetzt.

Die Messung der Zugkräfte erfolgte indirekt. Der Schlepper mit angebaute Scharfräse wurde durch einen zweiten Schlepper über die Meßstrecke gezogen. Hierbei war der Zugkraftmesser zwischen den beiden Schleppern montiert. Es wurde also die Zugkraft der Scharfräse einschließlich des Rollwiderstandes des gezogenen Schleppers gemessen. Der Rollwiderstand des gezogenen Schleppers wurde dann getrennt gemessen, um die Zugkraft der Scharfräse allein ermitteln zu können.

Die Versuche wurden sowohl mit Scharen als auch ohne Schare durchgeführt. Zum Vergleich wurden Zugkraftmessungen mit dem Normpflugkörper M 25 auf dem gleichen Boden durchgeführt.

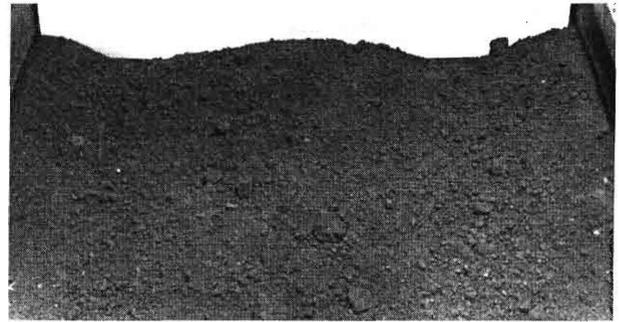


Bild 25. Bodenoberfläche nach der Bearbeitung mit der Scharfräse.

Arbeitstiefe $t = 12,4$ cm
Arbeitsbreite $b = 70$ cm
Fahrgeschwindigkeit $v = 0,22$ m/s
Drehzahl $n = 242$ U/min
Umfangsgeschwindigkeit $u = 5,95$ m/s
Bissenlänge $l_B = 2,8$ cm



Bild 26. Bodenoberfläche nach der Bearbeitung mit der Fräse ohne Schar.

Arbeitstiefe $t = 8$ cm
Arbeitsbreite $b = 43,5$ cm
Fahrgeschwindigkeit $v = 0,22$ m/s
Drehzahl $n = 267$ U/min
Umfangsgeschwindigkeit $u = 6,56$ m/s
Bissenlänge $l_B = 2,5$ cm

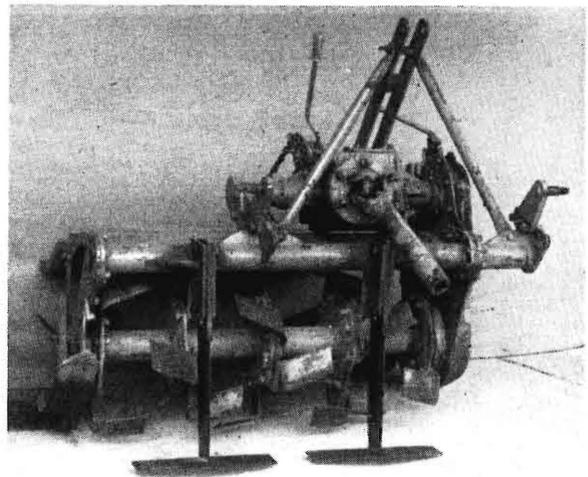
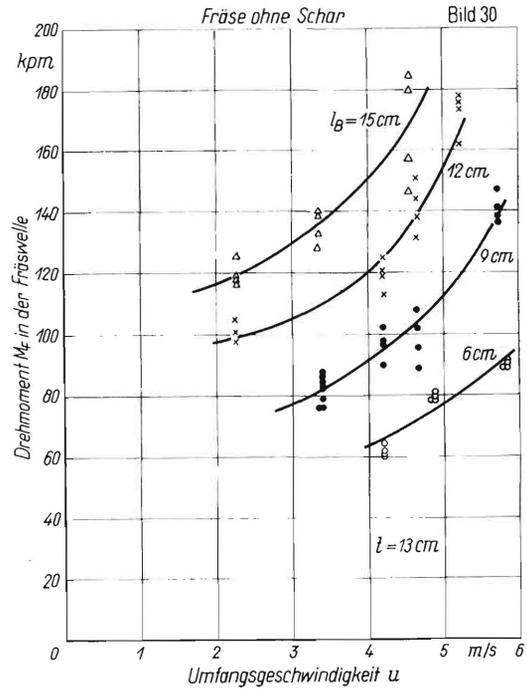
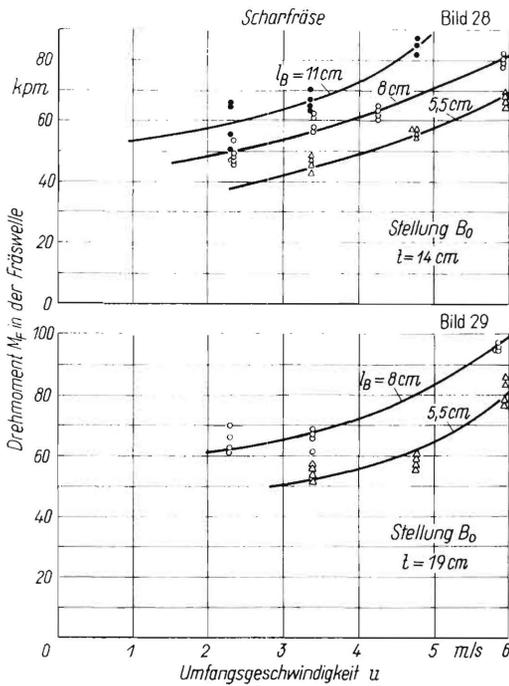


Bild 27. Aus einem „Rotavator“ entwickelte Scharfräse.

Spezifische Arbeit beim Feldversuch

In den **Bildern 28 bis 30** sind die Drehmomente in der Fräswelle in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit für die Scharfräse und für die Fräse ohne Schar dargestellt. Bei der Fräse ohne Schar stiegen die Drehmomente mit der Umfangsgeschwindigkeit und mit der Bissenlänge viel stärker an als bei der Scharfräse. Die aufgetretene Streuung der Meßwerte war hier erwartungsgemäß größer als bei den Versuchen in der Bodenrinne.

Bild 31 und 32 zeigen von der Scharfräse die spezifische Arbeit der Fräse (A_n^*) und des Schares (A_s^*) in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit. Trotz größerer Streuung der Meßwerte



Bilder 28 bis 30. Mittlere Drehmomente in der Fräswelle einer Fräse mit und ohne Schar bei der Feldarbeit in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit bei verschiedener Bissenlänge und Arbeitstiefe.

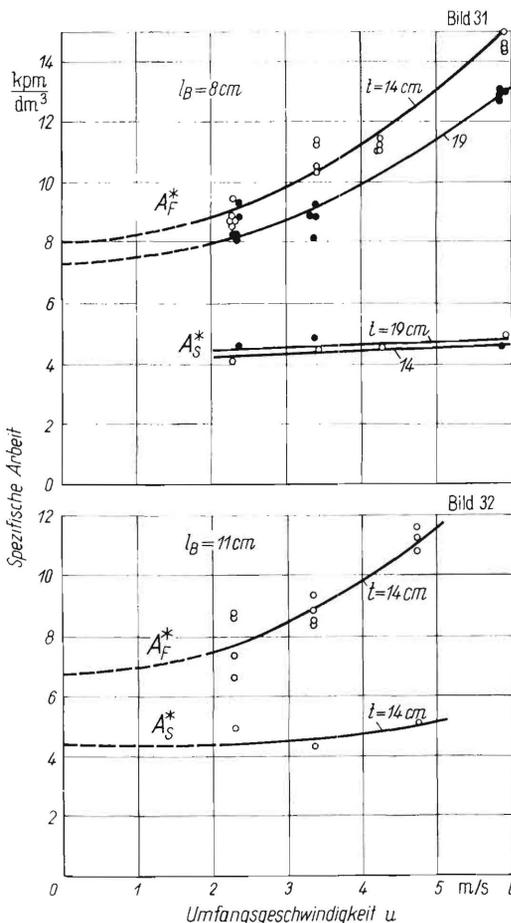


Bild 31 und 32. Spezifische Arbeit der Fräse A_F^* und des Schares A_S^* der Scharfräse (s. Bild 27) bei der Feldarbeit in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit u der Fräswelle bei verschiedenen Bissenlängen und Arbeitstiefen.

Scharstellung B_0 (s. Bild 3)

kann man erkennen, daß die spezifische Arbeit A_F^* der Fräse einen parabolischen Verlauf aufweist. Bei den Feldversuchen war es nicht möglich, die Fahrgeschwindigkeit unter 0,33 m/s

abzusenken. Es kann aber angenommen werden, daß auch bei kleinsten Fahrgeschwindigkeiten die spezifische Arbeit A_F^* einer parabolischen Gesetzmäßigkeit folgt. Mit diesen Annahmen können die spezifischen Schnittarbeiten ermittelt und die Meßergebnisse verglichen werden.

In Bild 33 ist der parabelförmige Verlauf der spezifischen Arbeit der Fräse ohne Schar dargestellt. Die auftretenden Streuungen sind hier etwa ebenso groß wie bei der Scharfräse. Die Messungen wurden bei einer Arbeitstiefe von $t = 13$ cm durchgeführt, weil die Fräse keine größeren Arbeitstiefen ohne Schar gestattete.

In Tafel 4 sind die Koeffizienten α_u , α_v und die Schnittarbeit A_0^* für die Scharfräse und für die Fräse ohne Schar zusammengestellt.

Tafel 4. Schnittarbeit und Koeffizienten für die Scharfräse nach Bild 27.

| Gerät | Arbeitsbreite b cm | Scharstellung | Arbeits-tiefe t cm | Bissen-länge l_B cm | spez. Schnitt-arbeit A_0^* kpm/dm ³ | Koeffi-zient α_u kps ² /m ⁴ | Koeffi-zient α_v kps ² /m ⁴ | ξ |
|------------------|----------------------|---------------|----------------------|-----------------------|--|--|--|-------|
| Schar-fräse | 103 | B_0 | 14,0 | 5,5 | 9,6 | 233 | 19 400 | 0,63 |
| | | | | 8,0 | 8,1 | 200 | 7 900 | 0,54 |
| | | | | 11,0 | 6,7 | 200 | 4 100 | 0,54 |
| | | | 103 | B_u | 20,0 | 5,5 | 7,4 | 230 |
| 8,0 | 7,3 | 160 | | | | 6 400 | 0,43 | |
| Fräse ohne Schar | 103 | | 13,0 | 6,0 | 10,3 | 400 | 28 100 | 1,04 |
| | | | | 9,0 | 9,8 | 400 | 12 400 | 1,04 |
| | | | | 12,0 | 10,2 | 400 | 7 000 | 1,04 |
| | | | | 15,0 | 9,8 | 400 | 4 500 | 1,04 |

Der Koeffizient α_u war bei den Feldversuchen für die Scharfräse zwei- bis viermal größer als bei den Versuchen in der Bodrinne. Auch bei der Fräse ohne Schar ergaben sich hier sehr große Werte für den Koeffizienten α_u . Nimmt man einen Wirkungsgrad von $\eta_R = 0,25$ für die Formel (11) an, so hat bei einem Raumgewicht von $\gamma = 1800$ kp/m³ der Faktor ξ den Wert von 1,04 für die Fräse ohne Schar. Das kann heißen, daß entweder der Wirkungsgrad von $\eta_R = 0,25$ noch zu groß gewählt ist, oder daß der Boden mehr als einmal nach hinten beschleunigt

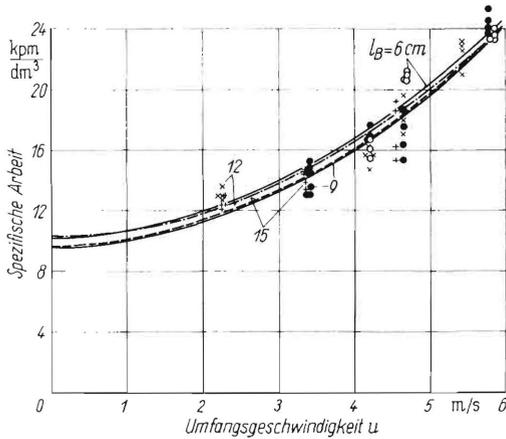
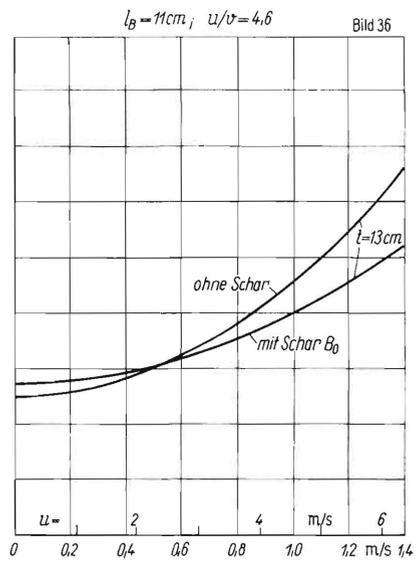
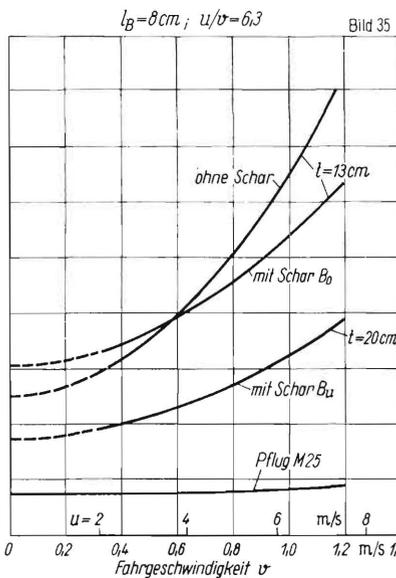
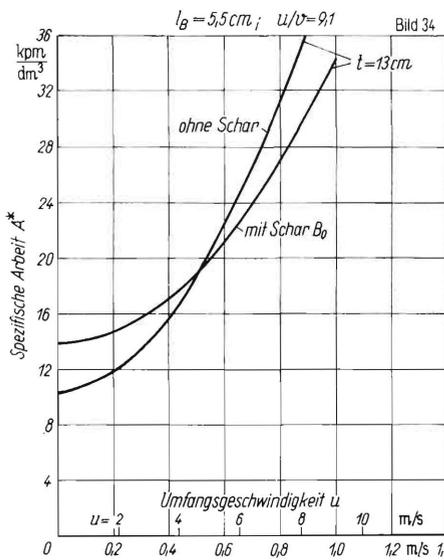


Bild 33. Spezifische Arbeit der Fräse (ohne Scharausrüstung) in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit bei verschiedenen Bissenlängen.

Arbeitstiefe $t = 13$ cm



Bilder 34 bis 36. Spezifische Gesamtarbeit der Scharfräse und der Fräse ohne Schar in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit und der Fahrgeschwindigkeit bei verschiedenen Bissenlängen.

worden ist. Es wäre interessant, den Wirkungsgrad η_R oder den ξ -Faktor durch Versuche zu bestimmen. So wie bei den Laborversuchen ist der Koeffizient a_u auch hier bei der Fräse fast doppelt so groß wie bei der Scharfräse. Die Scharfräse verhindert also zu große Bodenbeschleunigungen. Unabhängig von der Bissenlänge beträgt der Koeffizient a_u in allen Fällen $400 \text{ kps}^2/\text{m}^4$.

Im Gegensatz zu den Versuchen in der Bodenrinne fällt bei den Feldversuchen der Vergleich der spezifischen Gesamtarbeit von Scharfräse mit der der Fräse für die Scharfräse ungünstig aus. Dieser Vergleich ist in den **Bildern 34 bis 36** dargestellt. Bei kleinen Geschwindigkeiten zeigt bei diesen Bodenverhältnissen die einfache Fräse ohne Schar einen geringeren Bedarf an spezifischer Arbeit als die Scharfräse. Die Differenz ist um so kleiner, je größer die Bissenlänge wird. Erst bei größeren Fahrgeschwindigkeiten (Umfangsgeschwindigkeiten) wird die spezifische Arbeit der Scharfräse kleiner als die der Fräse. Die spezifische Arbeit des Schares tritt also bei den Feldversuchen stark in Erscheinung.

Die spezifische Arbeit des Schares ohne Fräse ist bei einer Tiefe von $t = 20$ cm ungefähr gleich der spezifischen Arbeit des Schares mit der Fräse. Zum Vergleich ist auf **Bild 35** die spezifische Arbeit des Pflugkörpers und der Scharfräse bei einer Arbeitstiefe von 20 cm (Anordnung Bu) eingetragen. Man erkennt, daß die Arbeiten sehr viel kleiner sind als beispielsweise die spezifische Gesamtarbeit der Scharfräse und der Fräse ohne Schar bei einer Arbeitstiefe von 13 cm.

Leistungs- und Energiebedarf

In **Bild 37** ist der Leistungsbedarf der Scharfräse und des Pflugkörpers in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit einander gegenübergestellt. Der Leistungsbedarf der Scharfräse berücksichtigt auch den Rollwiderstand und den Schlupf des Schleppers. Es wurde hinsichtlich der Zugleistung angenommen, daß die Leistungsverluste durch den Schlupf 15% des Leistungsbedarfes durch Rollwiderstand und Schare betragen. Weiterhin wurde bei der Zapfwellenleistung der Leistungsverlust im Schleppergetriebe durch die Annahme eines Wirkungsgrades von $\eta = 87\%$ berücksichtigt.

Beim Leistungsbedarf des Pfluges ist mit einem Schlepperesamtwirkungsgrad von 45% gerechnet worden. Auch bei diesem schlechten Wirkungsgrad braucht der Pflug eine kleinere Leistung als die Scharfräse.

Einen besseren Vergleich bietet der verschiedene Energiebedarf je bearbeitete Flächeneinheit. In den **Bildern 38 bis 40** ist der Energiebedarf des Pfluges für zwei Arbeitstiefen eingetragen. Dabei wurden alle Energieverluste — wie bei der Leistungsberechnung — berücksichtigt. Den geringsten Zuwachs des

Energiebedarfs im Vergleich zum Pflug erzielt man bei der Fräse (ohne Schar) mit Bissenlängen von 11 und 15 cm und bei der Scharfräse mit einer Bissenlänge von 11 cm (Tiefe 14 cm, Scharanordnung B_0) oder mit einer Bissenlänge von 8 cm (Tiefe 20 cm, Scharanordnung B_u).

Mit der Scharfräse wäre ein günstigeres Ergebnis zu erzielen, wenn die Scharstiele unterhalb der Fräswelle montiert wären, damit sie nicht durch den festen Boden zu schneiden brauchen.

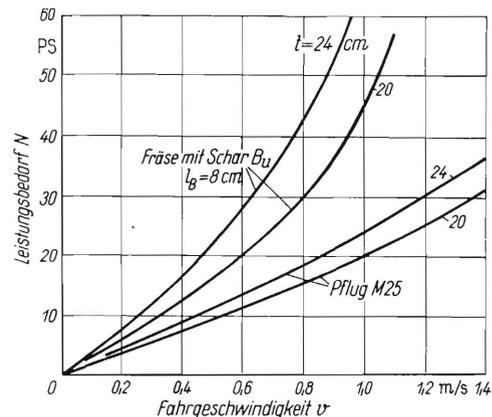
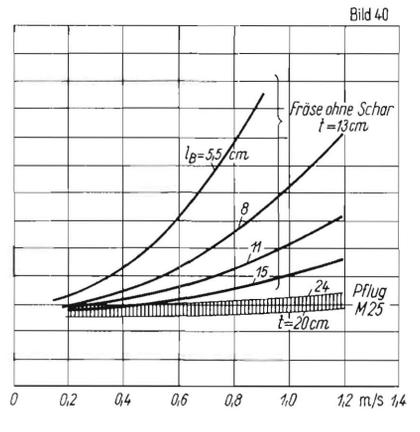
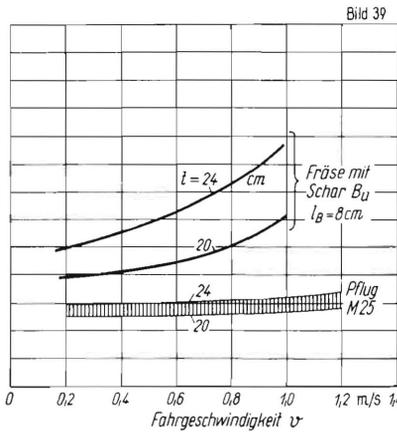
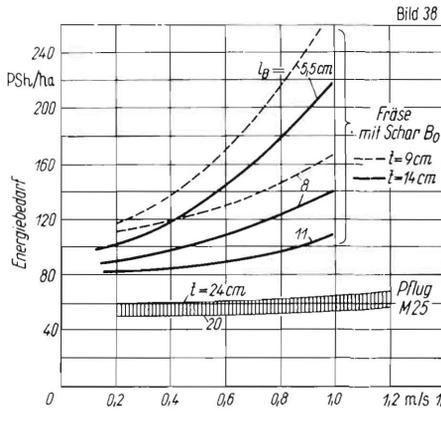


Bild 37. Leistungsbedarf der Scharfräse und des Pflugkörpers M 25 in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (auf eine Arbeitsbreite von 103 cm umgerechnet).



Bilder 38 bis 40. Energiebedarf der Scharfräse, der einfachen Fräse ohne Schar und des Pflugkörpers M 25 in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei verschiedener Bissenlänge l_B und Arbeitstiefe t .

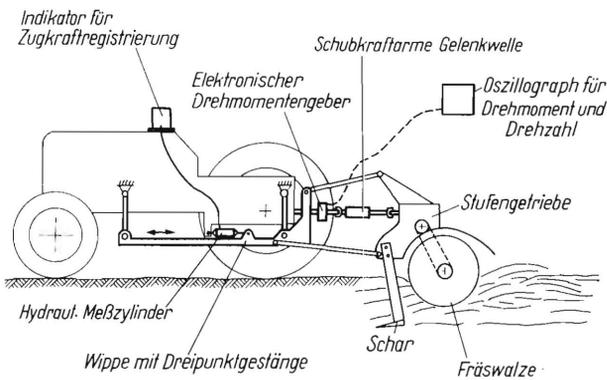


Bild 41. Verbesserte Meßeinrichtung zur Ermittlung von Zugkraft, Drehmoment und Drehzahl einer Scharfräse.

Um die Mängel in der Meßmethode bei den beschriebenen Feldversuchen auszuschalten, wurden neue Feldversuche mit der gleichen Scharfräse mit einer neuen Zugkraftmeßeinrichtung am Schlepper (Bild 41) und einer schubkraftarmen Gelenkwelle (Bild 42) durchgeführt²⁾. Letztere diente zur Verhinderung einer Übertragung von Längskräften direkt auf den Schlepper ohne den Meßrahmen passiert zu haben.

Diese Wiederholungsmessungen ergaben keine quantitativen Abweichungen von den ersten Messungen, nur die Streubereiche wurden enger.

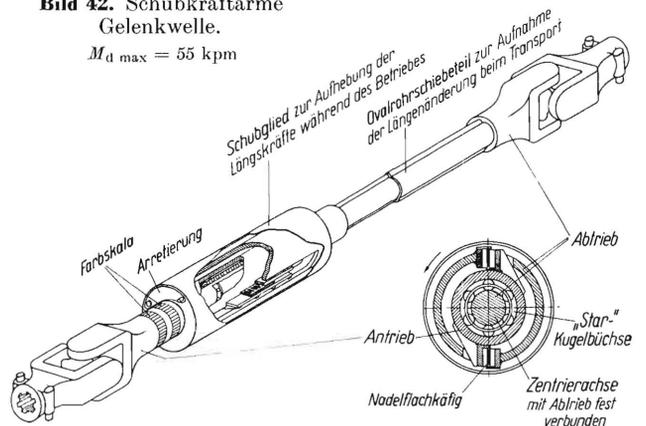
Zusammenfassung

Es wurden sowohl Bodenrinnen- als auch Feldversuche mit einer Scharfräse und mit einer Fräse ohne Schar durchgeführt. Zum Vergleich wurden die Feldversuche durch Messungen an Pflügen ergänzt. Die Meßergebnisse wurden in Hinsicht auf die spezifische Arbeit, auf den Leistungsbedarf und auf den Energieverbrauch ausgewertet. Hierbei wurde festgestellt, daß die spezifische Arbeit der Fräsrolle in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit oder von der Umfangsgeschwindigkeit bei konstanter Bissenlänge als Parabel dargestellt werden kann. Es wurde eine Formel aufgestellt, mit der es möglich ist, die Arbeit der Fräsmesser in die spezifische Schnittarbeit und in die spezifische Beschleunigungsarbeit zu zerlegen. Hierdurch wurde ein besserer Vergleich der einzelnen Meßergebnisse möglich.

Die spezifische Arbeit der Scharfräse ist im wesentlichen von der Umfangsgeschwindigkeit und weniger von der Bissenlänge abhängig. Hinsichtlich der Fahrgeschwindigkeit ergibt sich, daß die spezifische Arbeit ungefähr im gleichen Maße von der Fahr-

Bild 42. Schubkraftarme Gelenkwelle.

$M_{a \max} = 55 \text{ kpm}$



geschwindigkeit abhängt wie von der Bissenlänge. Ebenso haben die Arbeitstiefe und die Anordnung des Schares einen Einfluß auf die spezifische Arbeit. Bei tieferer Einstellung des Schares gegenüber der Fräsrolle verringerte sich die spezifische Arbeit bei den Feldversuchen. Die Beschleunigungsarbeit ist bei der Scharfräse geringer als bei der einfachen Fräse, darum eignet sich die Scharfräse besser für höhere Fahrgeschwindigkeiten als die Fräse. Mit einer Scharfräse kann man bei gleichem Energieverbrauch tiefer arbeiten als mit einer normalen Fräse, und zwar bis zu Tiefen, die mit Pflügen erreicht werden. Um das Durchschneiden noch festen Bodens durch die Scharstiele und die davon herrührenden höheren Zugkräfte zu vermeiden, sollten die Stiele so angeordnet sein, daß sie nur durch bereits gefrästen Boden schneiden müssen.

Schrifttum

- [1] Söhne, W.: Einfluß von Form und Anordnung der Werkzeuge auf die Antriebsmomente von Ackerfräsen. In: 14. Konstrukteurheft. Düsseldorf: VDI-Verlag 1957. S. 69/87 (Grundlagen der Landtechnik Heft 9).
- [2] Söhne, W., und R. Thiel: Technische Probleme bei Bodenfräsen. In: 14. Konstrukteurheft. Düsseldorf: VDI-Verlag 1957. S. 39/49 (Grundlagen der Landtechnik Heft 9).
- [3] Gallwitz, K.: Arbeitsaufwand und Krümelbildung von Fräswerkzeugen in der Bodenrinne. In: 14. Konstrukteurheft. Düsseldorf: VDI-Verlag 1957. S. 54/57 (Grundlagen der Landtechnik Heft 9).
- [4] Eggenmüller, A.: Untersuchungen an einer Schar-Fräsen-Kombination. In: 16/17. Konstrukteurheft. Düsseldorf: VDI-Verlag 1959. S. 64/71 (Grundlagen der Landtechnik Heft 11).
- [5] Söhne, W., und A. Eggenmüller: Schnellaufende Bodenfräsen und langsamlaufende Rotograber. In: 16/17. Konstrukteurheft. Düsseldorf: VDI-Verlag 1959. S. 72/80 (Grundlagen der Landtechnik Heft 11).

²⁾ Die Meßeinrichtung wurde von R. Möller entworfen; die Messungen wurden vom Institut für landtechnische Grundlagenforschung der FAL Braunschweig-Völkenrode durchgeführt.