

## Einfluß von Form und Anordnung der Werkzeuge auf die Antriebsmomente von Ackerfräsen

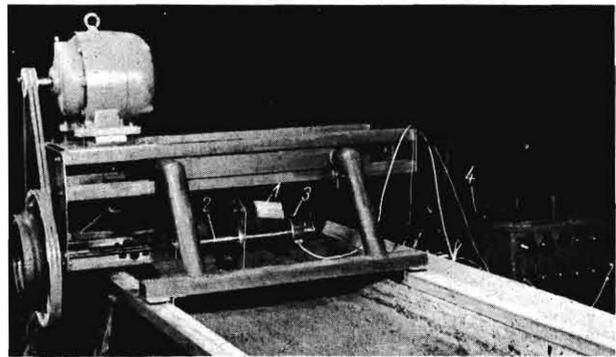
Von Walter Söhne

Über Drehmomentenmessungen an Fräsen und die erforderliche Antriebsleistung in Abhängigkeit von der Fräsendrehzahl und Fahrgeschwindigkeit hat der Verfasser bereits auf der 14. Konstrukteurtagung berichtet und dabei auch einige Gesichtspunkte einer möglichst günstigen Anordnung der Fräsworkzeuge auf der Fräswalze behandelt <sup>1)</sup>. Die Bedeutung der Fräse in der Landwirtschaft hat inzwischen weiterhin zugenommen, was auch der steigende Umsatz an Ackerfräsen erkennen läßt. Aus diesem Grunde wurde auf der diesjährigen Tagung dieses Thema erneut aufgegriffen, obwohl auch zu diesem Zeitpunkt noch nicht alle Probleme an Bodenfräsen erschöpfend behandelt werden konnten.

Eines der wichtigsten Probleme für den Konstrukteur ist die Frage nach den für die jeweiligen Boden- und Vegetationsverhältnisse günstigsten Werkzeugformen. Solange dem Konstrukteur keine Messungen über die Kräfte und den technologischen Arbeitserfolg zur Verfügung stehen, ist er mehr oder weniger auf ein Probieren mit verschiedenen Werkzeugformen auf dem Acker angewiesen. Dabei kann er zwar durch den Augenschein feststellen, ob eine bestimmte, von ihm gewählte Werkzeugform eine befriedigende Arbeit leistet, weiß aber nicht, ob dies auch mit einem möglichst niedrigen Leistungsbedarf erreicht wird. Zur Klärung dieser Frage wurde im *Institut für Landtechnische Grundlagenforschung* ein Gerät zur Untersuchung von Einzelfräsworkzeugen in der Bodenrinne entwickelt (**Bild 1**). Damit können die Drehmomente in der Frässtelle beim einmaligen Bodendurchgang eines einzelnen Werkzeuges mit Dehnungsmessstreifen auf dieser Welle gemessen werden. Da man jeweils nur ein Werkzeug benötigt, kann eine große Anzahl verschiedener Werkzeugformen mit geringen Mitteln

und in kurzer Zeit untersucht werden. Infolge der gleichmäßigen Bodenverhältnisse in der Bodenrinne <sup>2)</sup> lassen sich mit wenigen Wiederholungen gesicherte Unterschiede zwischen den einzelnen Werkzeugformen ermitteln, wie dies mit ausgeführten Fräsen auf dem Acker nicht möglich wäre.

Bei der Erstaussführung des Gerätes war die Meßwelle mit dem Antrieb durch eine Kupplung so verbunden, daß nach dem Einkuppeln die Welle nach 1,5 Umdrehungen automatisch wieder ausgekuppelt und abgebremst wurde. Bei der Erprobung des Gerätes wurde mit Hilfe eines von *Thiel* entwickelten Winkelgeschwindigkeitsmeßgerätes festgestellt,



**Bild 1.** Messeinrichtung zur Ermittlung der Drehmomente von Einzelfräsworkzeugen in der Bodenrinne.

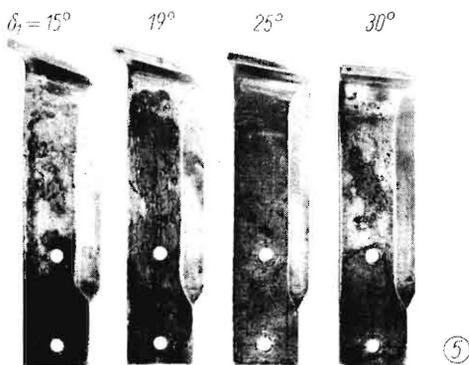
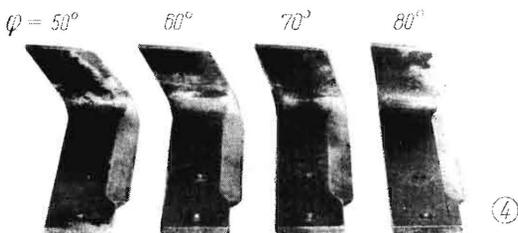
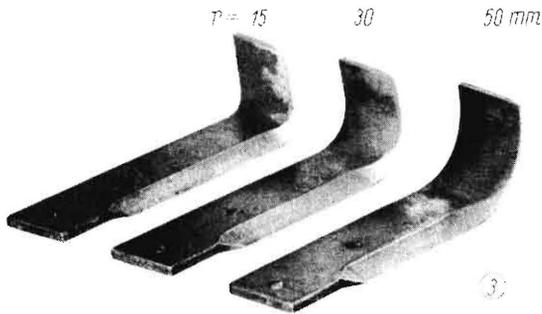
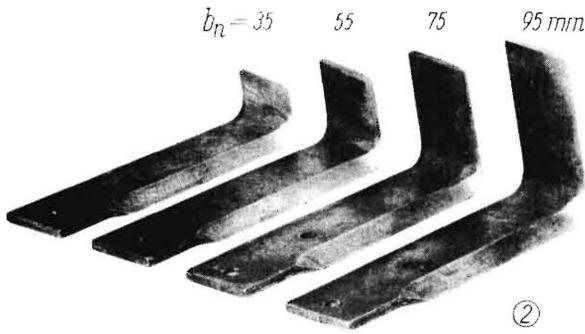
- 1 Winkelmesser
- 2 Messstelle für das Frässtellendrehmoment (zwei unter 45 Grad zur Frässtellennachse aufgeklebte Dehnungsmessstreifen)
- 3 Meßgerät für die Winkelgeschwindigkeit
- 4 Registriergerät (Oszillograph)

daß der zum Antrieb verwendete Elektromotor bereits nach 2 bis 3 Umdrehungen und damit die Meßwelle – bei einer Untersetzung 1 : 5 – schon nach einer halben Umdrehung ihre Solldrehzahl erreicht hat. Damit konnte bei den systematischen Messungen auf die Kupplung verzichtet werden.

Während des Meßvorganges bewegt sich das Gerät nicht in der Fahrtrichtung. Das Werkzeug beschreibt also keine Zykloidenbahn, sondern eine Kreisbahn; die Bissenlänge wird vor der Messung eingestellt. Zum Beschleunigen der Meßwelle steht ein Weg von einer 3/4 Umdrehung zur Verfügung.

<sup>1)</sup> Söhne und Thiel, Technische Probleme bei Bodenfräsen, (In diesem Heft).

<sup>2)</sup> Der Boden in der Bodenrinne ist ein feinsandiger Lehm mit einer annähernd konstant gehaltenen Feuchtigkeit von 16,5% und einem mittleren Porenanteil von 49%. Bei den einzelnen Versuchsreihen traten nur geringfügige Änderungen dieser Werte auf, Textur des Bodens: 12% Grobsand, 54% Feinsand, 26% Schluff und 8% Ton.



**Bild 2 bis 5.** 15 untersuchte starre Winkelmesser verschiedener Ausführung.  
Mit Ausnahme der variierten, in den obigen Bildern angegebenen Grössen haben die Winkelmesser folgende einheitliche Abmessungen:

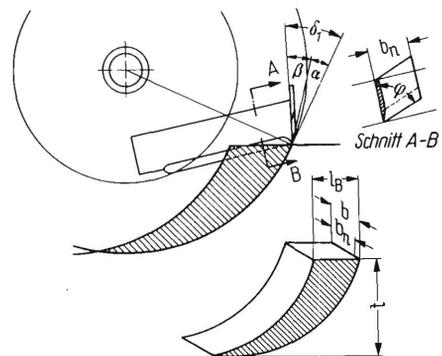
|                                 |                       |
|---------------------------------|-----------------------|
| Werkzeugbreite                  | $b_n = 55 \text{ mm}$ |
| Krümmungsradius                 | $r_n = 15 \text{ mm}$ |
| Schnittwinkel bei Kreisbewegung | $\delta_1 = 25^\circ$ |
| Scharschneidenwinkel            | $\varphi = 80^\circ$  |
| Keilwinkel                      | $\beta = 10^\circ$    |

<sup>3)</sup> Diese Werkzeuge hat das Niedersachsenwerk, Fr. Klausung K.G., freundlicherweise nach unseren Angaben angefertigt und zur Verfügung gestellt.

<sup>4)</sup> Winkelbezeichnungen in Anlehnung an DIN 11118.

### Starre Winkelmesser verschiedener Form

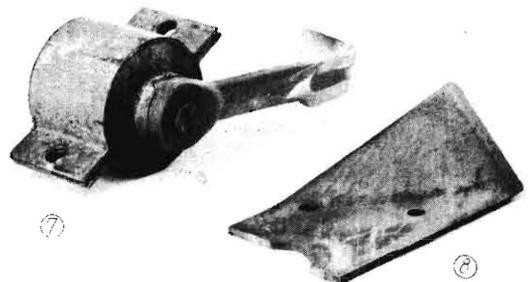
Die Messungen wurden zunächst mit 15 verschiedenen Winkelmessern durchgeführt, deren Abmessungen systematisch variiert worden waren <sup>3)</sup>. Bild 2 bis 5 zeigen die verschiedenen Formen der Winkelmesser, bei denen die Werkzeugbreite  $b$ , der Krümmungsradius  $r$ , der Schneidenwinkel  $\varphi$  und der Schnittwinkel  $\delta$  (Bild 6) systematisch abgewandelt worden waren <sup>4)</sup>. Bei diesen Winkelmessern war der Stiel an der dem Bissen zugekehrten Seite, die abgewinkelte Messerschneide jedoch an der Aussen-seite angeschärft. Außerdem wurden noch ein in Gummi gelagertes, torsionsgefedertes Winkelmesser (Bild 7) und ein Spatenwerkzeug (Bild 8) untersucht. Der Fräsendurchmesser betrug bei allen folgenden Versuchen 50 cm.



**Bild 6.** Schema von den untersuchten Winkelmessern.

- $b$  Werkzeugbreite
- $\delta_1$  Schnittwinkel bei Kreisbewegung
- $\varphi$  Scharschneidenwinkel
- $\beta$  Keilwinkel der Scharsschneide ( $= 10^\circ$ )

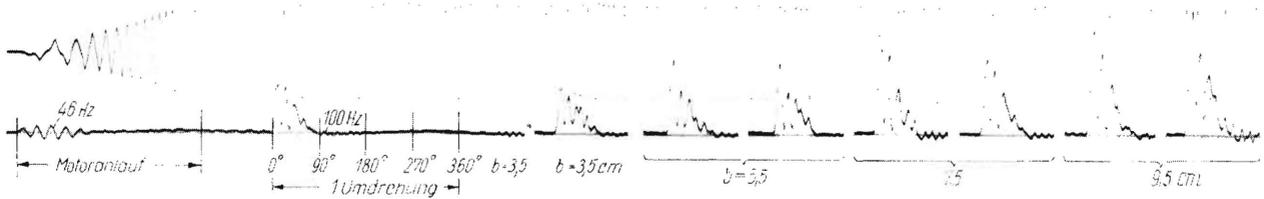
In Bild 9 sind einige Abschnitte aus einer Reihe von Meßdiagrammen als Beispiele zusammengestellt. Dabei zeigt der obere Schwingungsschrieb die jeweilige Winkelgeschwindigkeit der Fräswelle an, die proportional der Amplitude der aufgezeichneten Schwingung ist. Die Abstände der Schwingungsspitzen entsprechen jeweils einem Drehwinkel



**Bild 7.** Untersucht, in Gummi gelagertes und torsionsgefedertes Winkelmesser.

|                      |                       |
|----------------------|-----------------------|
| Werkzeugbreite       | $b_n = 65 \text{ mm}$ |
| Krümmungsradius      | $r_n = 30 \text{ mm}$ |
| Schnittwinkel        | $\delta_1 = 25^\circ$ |
| Scharschneidenwinkel | $\varphi = 0^\circ$   |

**Bild 8.** Untersucht, Spatenmesser mit einem Verwindungswinkel des Messers von  $15,3^\circ$ .



**Bild 9.** Oszillogramme über den Verlauf des Drehmomentes in der Fräswelle bei starren Winkelmessern mit verschiedener Werkzeugbreite.

Fräswellendrehzahl  $n = 186 \text{ U/min}$       Arbeitstiefe  $t = 14 \text{ cm}$  <sup>5)</sup>      Bisslänge  $l_B = 8 \text{ cm}$  <sup>5)</sup>  
 Werkzeugbreite  $b_n = 35 \text{ bis } 95 \text{ mm}$  <sup>5)</sup>      Bissenbreite  $b = 4,5 \text{ cm bis } 10,5 \text{ cm}$  <sup>5)</sup>      Bissenquerschnitt siehe Fall f in Bild 10

der Fräswelle von  $9^\circ$ . Der Anlaufvorgang war entsprechend dem ersten Schrieb in Bild 9 nach einer Drehung der Meßwelle von etwa  $150^\circ$  beendet. Die unteren Kurven zeigen den Drehmomentenverlauf in der Fräswelle. Beim Anlaufen des Motors entsteht durch den Keilriementrieb zwischen Motor und Schwungscheibe eine Schwingung von 46 Hz auf der Meßwelle, die aber verhältnismäßig schnell wieder abklingt und die Messung nicht beeinflusst. Dem eigentlichen Arbeitsdiagramm überlagert sich noch eine zweite Schwingung mit der Eigenfrequenz der Meßwelle von 100 Hz, die von der Steifigkeit der Welle und von den Trägheitsmomenten der Schwungscheibe und des Werkzeugkranzes herrührt. Diese Schwingung hat einen gewissen Einfluß auf die Größe der maximalen Spitzendrehmomente. Dagegen läßt sich die beim Durchgang eines Werkzeuges durch den Boden erforderliche Arbeit – das ist die Fläche zwischen der Drehmomentenkurve und der Nulllinie – und auch der Drehmomentenverlauf recht gut hieraus ermitteln. Durch eine Verstärkung der Meßwelle wird künftig diese Eigenfrequenz so hoch gelegt werden, daß dadurch die Messungen nicht mehr gestört werden.

Die einzelnen Schriebe in Bild 9 geben Messungen an starren, abgewinkelten Werkzeugen wieder, deren Breite von 35 bis 95 mm (Bild 2) geändert worden war. Die jeweilige Arbeitsbreite war 10 mm größer als die Werkzeugbreite.

Die Diagramme zeigen alle einen sehr steilen Drehmomentenanstieg beim Eindringen des Werkzeuges in den Boden. Nach einem Eindringwinkel

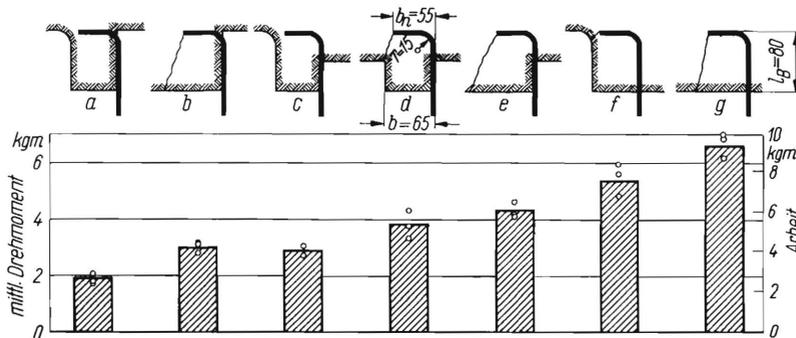
von  $10^\circ$  bis  $12^\circ$  wird das Maximum erreicht, von dem die Drehmomente allmählich wieder abfallen. Nach jeweils etwa  $80^\circ$  ist das Drehmoment wieder Null geworden.

Bei der Auswertung zahlreicher solcher Messungen wurde das mittlere Drehmoment bestimmt, indem die Arbeit bei einem Bodendurchgang auf einen Drehwinkel von  $90^\circ$  bezogen wurde. Damit entspricht das mittlere Drehmoment dem eines Werkzeugkranzes, der mit 4 Werkzeugen auf dem Umfang besetzt ist. Zwischen Drehmoment und Arbeit besteht dann hier die Beziehung

$$A = M_d \text{ Mittel} \frac{\pi}{2}$$

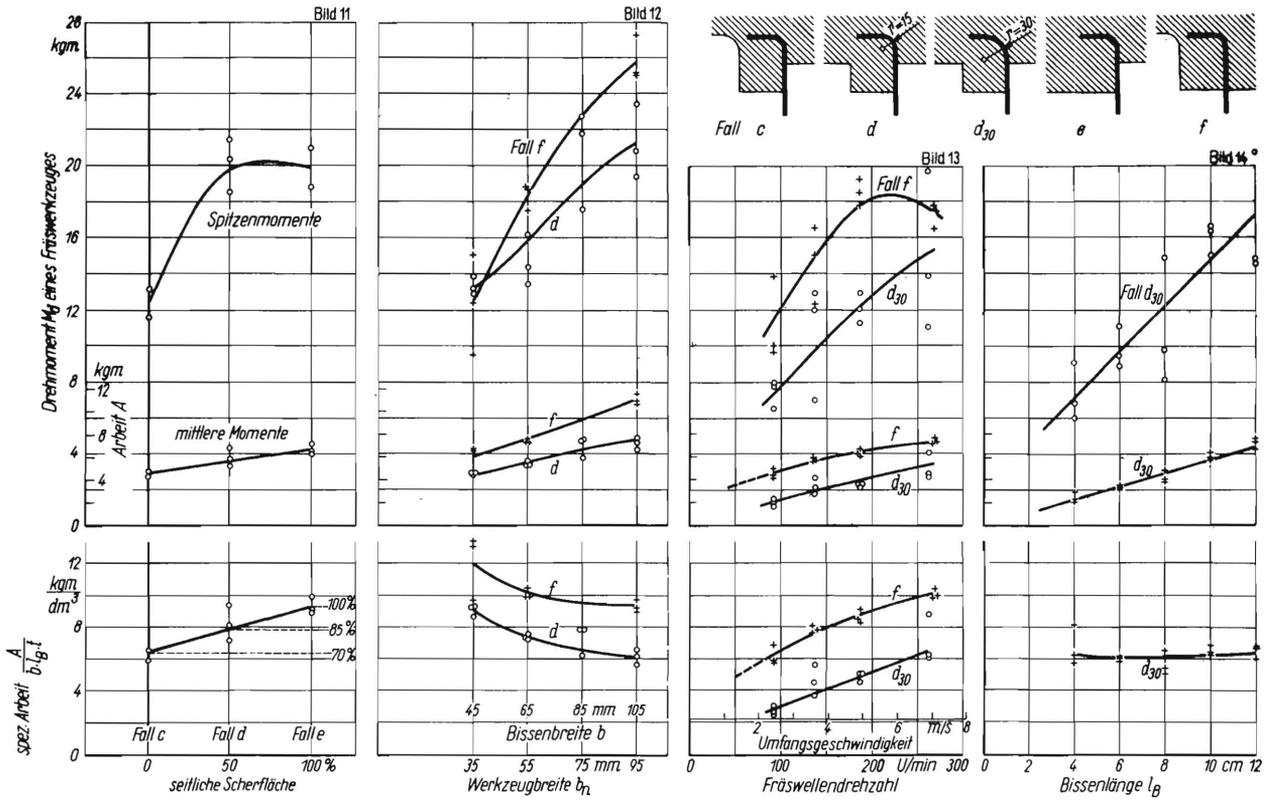
Von erheblichem Einfluß auf die Größe des Drehmomentes ist der Anteil, der vom Schnitt- und Reibungswiderstand des Stieles und von der Größe der seitlichen Scherfläche herrührt. Der Anteil des Schnittwiderstandes durch den Stiel (ähnlich wie bei einem Messersech am Pflug) und durch die seitliche Scherfläche ist recht beträchtlich. In Bild 10 sind das mittlere Drehmoment und die erforderliche Arbeit bei verschiedenen Einschlagbedingungen wiedergegeben. Im Falle d, wenn die halbe Bissenweite seitlich rechts abgeschnitten und ebenfalls die halbe Bissenweite an der linken Seite abgesichert werden muß, ist der Schnittwiderstand rund doppelt so hoch als im Fall a, bei dem der Bissen

<sup>5)</sup> Die konstruktiven Abmessungen der Werkzeuge und Geräte sind im allgemeinen in mm angegeben, während die Abmessungen der Fräsfurche im Boden (Arbeitsbreite und -tiefe) in cm bzw. dm<sup>2</sup> angegeben sind.



**Bild 10.** Mittlere Drehmomente und Arbeitsaufwand bei Einzelbissen bei verschiedener seitlicher Schnittfläche und Scherfläche.

Fräsdurchmesser  $d = 500 \text{ mm}$       Drehzahl der Fräswelle  $n = 186 \text{ U/min}$   
 Arbeitstiefe  $t = 14 \text{ cm}$       Bisslänge  $l_B = 8 \text{ cm}$       Werkzeug  $b_n = 55 \text{ mm}$



**Bild 11.** Drehmomente und Arbeit eines Einzelwerkzeuges in Abhängigkeit von der Grösse der seitlichen Scherfläche bei einer seitlichen Schnittfläche entsprechend der halben Bissenlänge (Fall c, d, e in Bild 10).

**Bild 12.** Drehmomente und Arbeit von Einzelwerkzeugen in Abhängigkeit von der Werkzeugbreite  $b_n$  bzw. der Bissenbreite  $b$ .

**Bild 13.** Drehmomente und Arbeit von Einzelwerkzeugen in Abhängigkeit von der Fräswellendrehzahl.

**Bild 14.** Drehmomente und Arbeit von Einzelwerkzeugen in Abhängigkeit von der Bissenlänge  $l_B$ .

Fräswellendrehzahl  $n = 186 \text{ U/min}$       Bissenlänge  $l_B = 8 \text{ cm}$   
 Arbeitstiefe  $t = 14 \text{ cm}$                       Werkzeugbreite  $b_n = 55 \text{ mm}$

keine seitliche Schnitt- und Scherfläche hat. Im Fall g, wenn die gesamte Bissengrösse rechts herausgeschnitten und links abgeschert werden muß, ist der Widerstand etwa 3,5mal so hoch als im Fall a. Dieser Fall kommt allerdings bei den normalen Werkzeuganordnungen an Fräsen nicht vor.

Den Fall d kann man als Normalfall ansehen. Im allgemeinen werden auf einem Werkzeugkranz 4 oder 6 Werkzeuge angebracht, die abwechselnd nach links und rechts abgewinkelt sind. Bei einer solchen Werkzeuganordnung folgen die Einschläge der an einem Kranz angebrachten Werkzeuge jeweils nach einer halben Bissenlänge, so daß der Stiel immer nur eine halbe Bissenlänge Boden durchschneiden muß. Die Grösse der seitlichen Scherfläche auf der dem Stiel abgekehrten Seite des Bissens hängt dagegen von der Werkzeuganordnung auf der Fräswalze ab. Bei den Außenwerkzeugen der Fräse muß jeweils die Seitenfläche einer ganzen Bissenlänge abgeschert werden. Infolgedessen sind die Außenwerkzeuge einer Fräse immer besonders hoch beansprucht.

Die seitliche Scherfläche bei den inneren Werkzeugkränzen schwankt dagegen im allgemeinen zwi-

schen 25% und 75% einer Bissenseitenfläche. In Bild 11 sind das mittlere Drehmoment und die Spitzendrehmomente eines Werkzeugkranzes sowie die Arbeit eines einzelnen Werkzeuges und die spezifische Arbeit in Abhängigkeit von der Grösse der seitlichen Scherfläche angegeben. Die spezifische Arbeit  $A^*$  ist die Arbeit pro Kubikdezimeter gefrästen Bodens <sup>6)</sup> und errechnet sich als Quotient aus der Arbeit und dem Bodenvolumen, das von einem Einzelwerkzeug gefräst worden ist. Es ist

$$A^* = \frac{A}{b l_B t} = \frac{M_{d \text{ Mittel}} \pi}{2 b l_B t} \left[ \frac{\text{kgm}}{\text{dm}^3} \right]$$

wobei die Arbeit in kgm und die Bissenbreite  $b$ , die Bissenlänge  $l_B$  und die Frästiefe  $t$  in dm eingetragen werden. Setzt man den Widerstand im

<sup>6)</sup> Die analoge spezifische Arbeit eines Pflugkörpers auf dem Wege  $s$  ist:

$$A^* = \frac{L s}{s b t} \left[ \frac{\text{kgdm}}{\text{dm}^3} \right] = \frac{L}{10 b t} \left[ \frac{\text{kgm}}{\text{dm}^3} \right]$$

wobei  $L$  die Längskraft in kg,  $s$  der zurückgelegte Weg,  $b$  die Furchenbreite und  $t$  die Furchentiefe in dm ist. Die spezifische Pflugarbeit wäre zahlenmässig gleich dem spezifischen Pflugwiderstand  $z = L/b t$  [kg/dm<sup>2</sup>], wenn beide in derselben Dimension [kgdm/dm<sup>3</sup>] = [kg/dm<sup>2</sup>] ausgedrückt würden; da die spezifische Pflugarbeit aber in [kgm/dm<sup>3</sup>] angegeben wird, so beträgt sie zahlenmässig nur 1/10 des spezifischen Pflugwiderstandes.

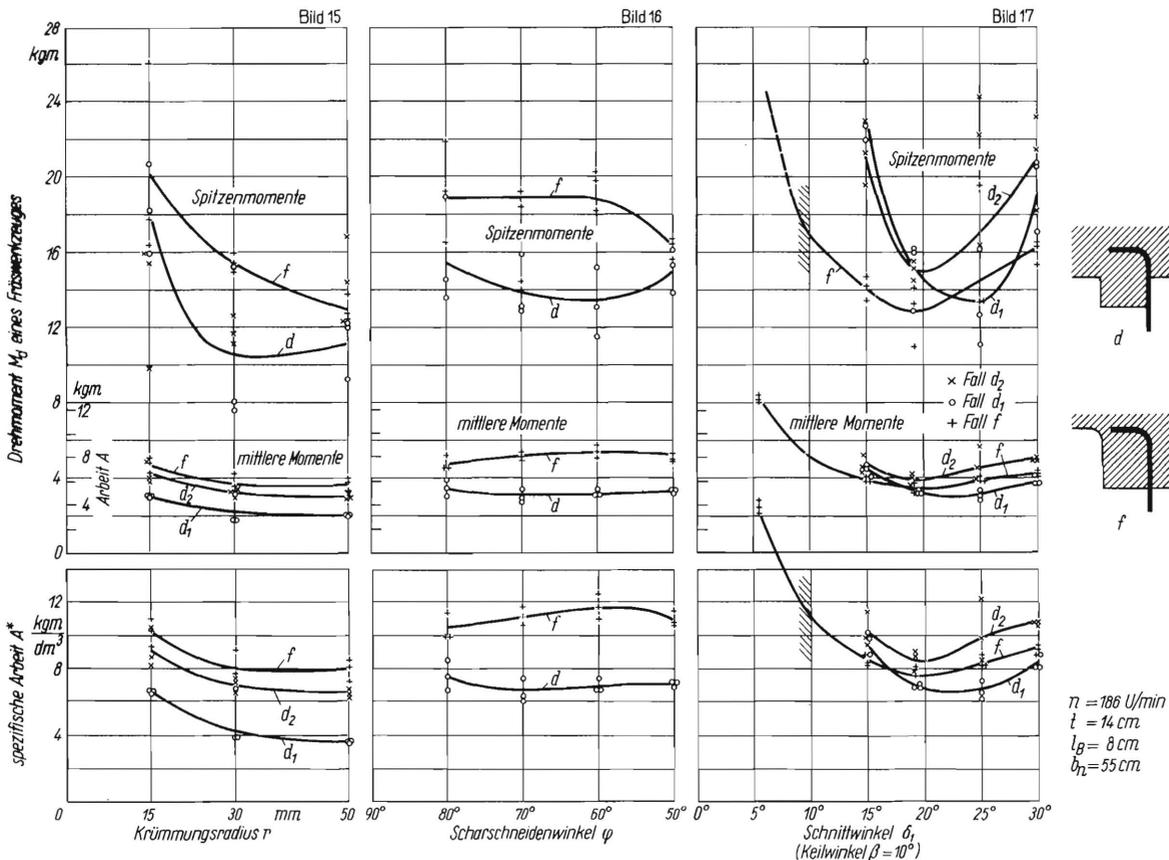
Fall e mit 100% seitlicher Scherfläche gleich 1, so ist er im Fall c bei 0% seitlicher Scherfläche gleich 0,7; für jede beliebige Scherfläche zwischen 0% und 100% können die entsprechenden Werte abgelesen werden. (Hiervon wird bei einer späteren Berechnung der Drehmomente ganzer Fräsen Gebrauch gemacht.) Die in der Bodenrinne (feinsandiger Lehm, s. Fußnote 2) gemessenen Werte sind nicht ganz so groß wie die bei Feldversuchen in dichtgelagertem, lehmigem Sand gemessenen Schnittwiderstände. In lehmigem Tonboden waren sie dagegen rund viermal so hoch.

In Bild 12 sind nun der Einfluß der Werkzeugbreite  $b_n$  auf das Fräswellendrehmoment und die spezifische Arbeit für die beiden Fälle f und d dargestellt, die sich durch ihre Einschlagbedingungen unterscheiden. Bei der Versuchsreihe f betrug die Größe der seitlichen Schnittfläche 100% und die Größe der seitlichen Scherfläche 0% der Bissen-seitenfläche. Einige Meßdiagramme der Reihe f sind bereits in Bild 9 zusammengestellt. In der Reihe d betrug die Größe der seitlichen Schnittfläche und der seitlichen Scherfläche jeweils 50% der Bissen-seitenfläche.

Während die mittleren Drehmomente nur wenig streuen, weisen die Spitzendrehmomente erhebliche Streuungen auf, die von der überlagerten Ober-

schwingung herrühren. Beide Versuchsreihen zeigen die gleiche Tendenz, d.h. das Drehmoment steigt – wie zu erwarten ist – mit zunehmender Schnittbreite an. Bezieht man jedoch das Drehmoment auf die jeweilige Bissenbreite – ein Maß hierfür ist die spezifische Arbeit –, so zeigt sich, daß das schmalste Werkzeug die relativ größte spezifische Arbeit erfordert; allerdings ist der Unterschied bei Werkzeugbreiten zwischen 55 und 95mm (= 65 bis 105mm Bissenbreite) nicht mehr sehr groß. Eine Werkzeugbreite zwischen 55 und 95mm, wie sie mit Rücksicht auf den Krümeleffekt häufig gewählt wird, dürfte also auch leistungsmäßig günstig liegen.

In der folgenden Versuchsreihe wurde der Einfluß der Fräswellendrehzahl auf das Drehmoment untersucht (Bild 13). Hierbei sind ebenfalls wieder die beiden Fälle f und d (Bild 10) miteinander verglichen. Danach steigen sowohl die maximalen Spitzenmomente, die mittleren Drehmomente als auch die spezifische Arbeit mit zunehmender Drehzahl an. Verringert man die Fräswellendrehzahl von 200 auf 100 Umdrehungen, das entspricht einer Verringerung der Umfangsgeschwindigkeit von 5,2 auf 2,6m/s, so verringert sich gleichzeitig das mittlere Drehmoment im Fall f um 28% und im Fall d um 42%. Dieses Meßergebnis ist von besonderer Be-



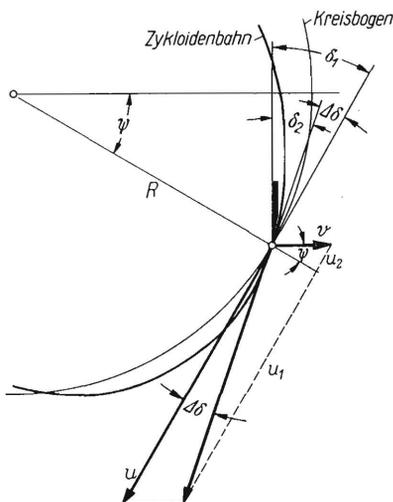
**Bild 15.** Drehmomente und Arbeit von Einzelwerkzeugen in Abhängigkeit vom Krümmungsradius  $r$  der Winkelmesser.  
**Bild 16.** Drehmomente und Arbeit von Einzelwerkzeugen in Abhängigkeit vom Scharfschneidenwinkel  $\varphi$  (s. Bild 6).  
**Bild 17.** Drehmomente und Arbeit von Einzelwerkzeugen in Abhängigkeit vom Schnittwinkel  $\delta_1$  (s. Bild 6).

deutung für die Auslegung der Fräswellendrehzahl, der Fahrgeschwindigkeit und der Fräsenbreite. Infolge des starken Anstieges des mittleren Drehmomentes mit zunehmender Drehzahl sollte man also die Drehzahl und damit die Umfangsgeschwindigkeit nicht zu hoch wählen. Der größere Unterschied zwischen den Versuchsreihen f und d in Bild 13 gegenüber Bild 12 rührt vom geänderten Krümmungsradius her.

In Bild 14 sind die Drehmomente und die spezifische Arbeit in Abhängigkeit von den Bissenlängen wiedergegeben. Die Spitzenmomente und die mittleren Drehmomente steigen etwa proportional der Bissenlänge an, die spezifische Arbeit ist daher in dem untersuchten Bereich von 4 bis 12 cm Bissenlänge annähernd gleich.

Während bei den bisher mitgeteilten Meßergebnissen im wesentlichen die Bissengröße verändert worden war, wurden weitere Untersuchungen mit verschieden geformten Winkelmessern gemacht, bei denen der Krümmungsradius, der Scharschneidenwinkel und der Schnittwinkel verschieden groß waren. In Bild 15 sind die Drehmomente und die spezifische Arbeit in Abhängigkeit vom Krümmungsradius des Werkzeugs dargestellt. Danach hat ein Werkzeug mit einem Krümmungsradius von 15 mm einen um 30% bis 40% höheren Schnittwiderstand (mittleres Drehmoment) als ein Werkzeug mit 30 mm Krümmungsradius. Eine weitere Vergrößerung des Krümmungsradius verringert das mittlere Drehmoment nur noch wenig.

Der Schneidenwinkel  $\varphi$  hat dagegen keinen großen Einfluß auf das Drehmoment (Bild 16); aus praktischen Gründen wird man im allgemeinen einen Winkel zwischen  $50^\circ$  und  $60^\circ$  wählen.



**Bild 18.** Ermittlung des Schnittwinkels  $\delta$  unter dem Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf die Zykloidenbahn.

- $u$  Umfangsgeschwindigkeit
- $v$  Fahrgeschwindigkeit
- $\psi$  Drehwinkel des Fräswerkzeuges
- $R$  Fräswalzenradius
- $\delta_1$  Schnittwinkel bezogen auf die Kreisbewegung
- $\delta_2$  Schnittwinkel bezogen auf die Zykloidenbahn
- $\Delta\delta = \delta_1 - \delta_2$  Korrekturwinkel

**Bild 17** zeigt die Drehmomente und die spezifische Arbeit in Abhängigkeit vom Schnittwinkel  $\delta_1$  des Winkelmessers. Danach ergeben sich die kleinsten Drehmomente bei einem Schnittwinkel von etwa  $20^\circ$ . Vergrößert man den Schnittwinkel von dem optimalen Wert von  $20^\circ$  auf etwa  $30^\circ$ , so erhöht sich der Schnittwiderstand ( $M_{d\text{Mittel}}$ ) um 22%. Verringert man den Schnittwinkel  $\delta_1$  auf  $10^\circ$ , so reibt das Werkzeug mit der Rückseite des Schneidenkeiles auf der gefrästen Bodenfläche, was eine starke Vergrößerung des Drehmomentes und des Arbeitsaufwandes zur Folge hat.

#### Ermittlung des Schnittwinkels $\delta_1$

Normalerweise bewegt sich aber das Werkzeug nicht wie bei der Versuchsanordnung auf einer Kreisbahn, sondern auf einer Zykloidenbahn, und man muß den Schnittwinkel auf die Zykloidentangente beziehen. Der tatsächliche Schnittwinkel hängt also von der Fahrgeschwindigkeit und der Fräswellendrehzahl ab. Er ist immer geringer als der konstruktive Schnittwinkel, der auf die Tangente am Fräsenkreisbogen bezogen ist, so daß bei ausgeführten Fräsen mit kleinem Schnittwinkel bei höherer Fahrgeschwindigkeit und geringer Drehzahl der Freiwinkel der Schneide zu klein oder negativ werden und eine Reibung an der Schneidenkeilaußenseite auftreten kann. Der Konstrukteur wird also beachten müssen, daß bei der größten, in Frage kommenden Fahrgeschwindigkeit noch ein genügender Freiwinkel des Winkelmessers vorhanden ist und der effektive Schnittwinkel günstig ist. Das geschieht in folgender Weise:

Ein Fräswerkzeug habe bezogen auf den Fräswalzenkreis einen konstruktiven Schnittwinkel  $\delta_1$ . Durch die der Drehbewegung überlagerte Fahrgeschwindigkeit verringert sich beim Fräsen dieser Winkel um  $\Delta\delta$ . Dieser Korrekturwinkel  $\Delta\delta$  hängt von dem Verhältnis Fahrgeschwindigkeit zu Umfangsgeschwindigkeit ( $v:u$ ) und dem Winkel  $\psi$  des Kreisbogens während eines Bissens, damit also von der jeweiligen Arbeitstiefe, ab.  $\Delta\delta$  läßt sich geometrisch oder rechnerisch bestimmen (Bild 18). Es ist

$$u = u_1 + u_2$$

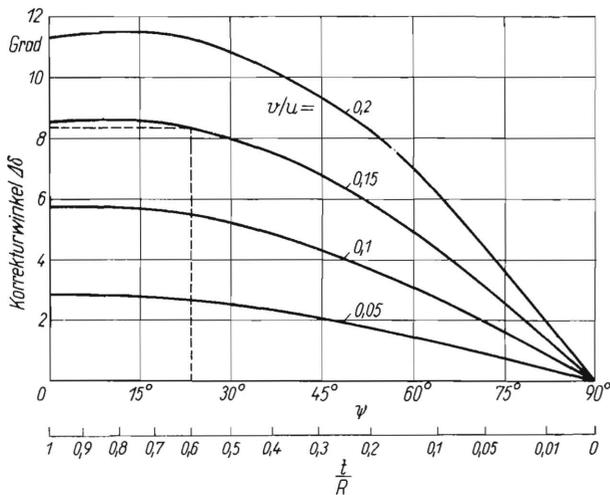
$$u_2 = v \sin \psi \quad \text{und}$$

$$\operatorname{tg} \Delta\delta = \frac{v \cos \psi}{u_1} = \frac{v \cos \psi}{u - v \sin \psi}$$

$$\operatorname{tg} \Delta\delta = \frac{(v/u) \cos \psi}{1 - (v/u) \sin \psi}$$

$$\text{Schnitttiefe } t = R (1 - \sin \psi).$$

In Bild 19 ist der Korrekturwinkel  $\Delta\delta$  in Abhängigkeit vom Drehwinkel bei verschiedenen  $(v/u)$ -Verhältnissen wiedergegeben. Eine Fräse habe z.B. eine Umfangsgeschwindigkeit von 5 m/s und soll bis zu einer Fahrgeschwindigkeit von 0,75 m/s eingesetzt werden, dann ist  $v/u = 0,15$ . Die Nenn-



**Bild 19.** Korrekturwinkel  $\Delta\delta$  für den Schnittwinkel  $\delta$  in Abhängigkeit vom Drehwinkel  $\psi$  und verschiedenen  $(v/u)$ -Verhältnissen.

arbeitstiefe des Werkzeuges soll  $t_n = 15\text{ cm}$  sein, das entspricht bei einem Fräswalzenradius von  $R = 25\text{ cm}$  einem Verhältnis  $t/R = 0,6$ . Für  $v/u = 0,15$  und  $t/R = 0,6$  entnimmt man Bild 19 den Korrekturwinkel  $\Delta\delta = 8,3^\circ$ . Soll also während der Arbeit ein günstiger, auf die Zykloidenbahn bezogener Schnittwinkel  $\delta_2 = \alpha_2 + \beta = 20^\circ$  vorhanden sein – wobei der Freiwinkel  $\alpha$  und der Keilwinkel  $\beta$  je  $10^\circ$  betragen sollen –, so muß der konstruktive, auf den Fräswalzenkreis bezogene Schnittwinkel  $\delta_1 = \delta_2 + \Delta\delta = 28,3^\circ$  betragen.

Die von einem Fräswerkzeug beschriebene Zykloidenbahn errechnet sich nach der Formel

$$x = vt + R \cos \omega t$$

$$y = R \sin \omega t$$

Darin bedeuten:  $R$  Fräsenradius,  $v$  Fahrgeschwindigkeit,  $\omega$  Winkelgeschwindigkeit der Fräswalze und  $\omega t$  Drehwinkel in der Zeit  $t$ .

Eine Fräse habe beispielsweise die Fahrgeschwindigkeit  $v = 0,6\text{ m/s}$ , eine Fräswellendrehzahl  $n = 225\text{ U/min}$  und die Winkelgeschwindigkeit  $\omega = \pi n/30 = 23,56\text{ 1/s}$ ; dann ist die Bissenlänge

$$l_B = \frac{v \cdot 60}{n \cdot z} = 8\text{ cm.}$$

Darin bedeutet  $z$  die Zahl der Werkzeuge in einer Schnittebene, die in unserem Fall gleich 2 sein soll. Dies entspricht 4 Werkzeugen auf dem Werk-

Tafel 1. Berechnung der Ordinaten der Zykloidenbahn.

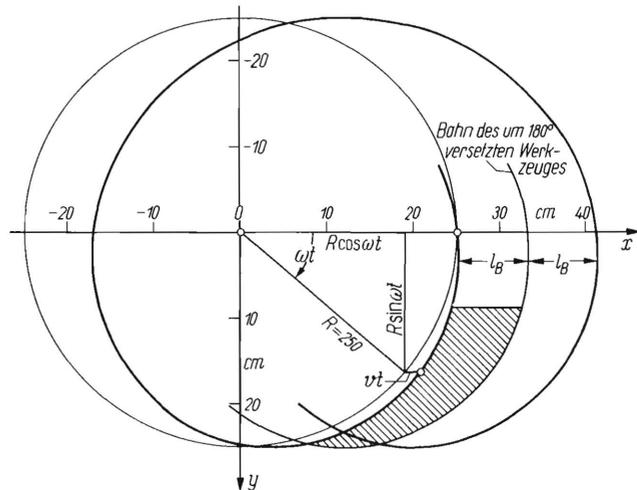
| $\omega t$<br>Grad | $\omega t$<br>Bogen | $t$<br>s | $vt$<br>cm | $\cos \omega t$ | $R \cos \omega t$<br>cm | $x$<br>cm | $\sin \omega t$ | $y$<br>cm |
|--------------------|---------------------|----------|------------|-----------------|-------------------------|-----------|-----------------|-----------|
| 0                  | 0                   | 0        | 0          | 1               | 25,00                   | 25,00     | 0               | 0         |
| 15                 | 0,262               | 0,0111   | 0,667      | 0,966           | 24,15                   | 24,82     | 0,259           | 6,48      |
| 30                 | 0,524               | 0,0222   | 1,333      | 0,866           | 21,65                   | 22,98     | 0,500           | 12,50     |
| 45                 | 0,785               | 0,0333   | 2,000      | 0,707           | 17,68                   | 19,68     | 0,707           | 17,68     |
| 60                 | 1,047               | 0,0444   | 2,667      | 0,500           | 12,50                   | 15,17     | 0,866           | 21,65     |
| 75                 | 1,309               | 0,0555   | 3,333      | 0,259           | 6,47                    | 9,80      | 0,966           | 24,15     |
| 90                 | 1,571               | 0,0667   | 4,000      | 0               | 0                       | 4,00      | 1,00            | 25,00     |
| :                  | :                   | :        | :          | :               | :                       | :         | :               | :         |
| 180                | 3,142               | 0,1333   | 8,00       | -1              | -25,00                  | -17,00    | 0               | 0         |
| :                  | :                   | :        | :          | :               | :                       | :         | :               | :         |
| 270                | 4,712               | 0,200    | 12,00      | 0               | 0                       | 12,00     | -1              | -25,00    |
| :                  | :                   | :        | :          | :               | :                       | :         | :               | :         |
| 360                | 6,238               | 0,2667   | 16,00      | 1               | 25,00                   | 41,00     | 0               | 0         |

zeugkranz, die abwechselnd nach rechts und links abgewinkelt sind. Mit diesen Daten errechnet sich nach **Tafel 1** die Zykloidenbahn (**Bild 20**).

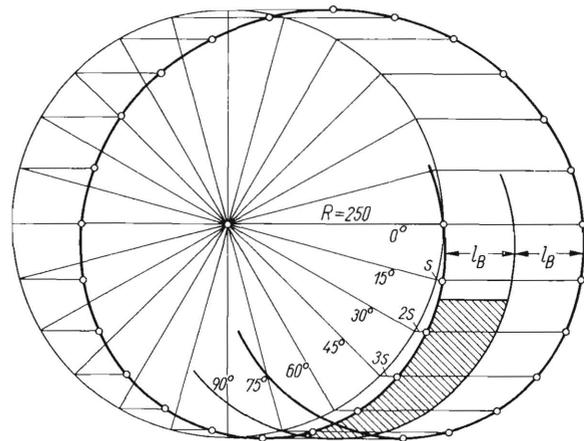
Noch einfacher läßt sich die Zykloidenbahn nach folgender graphischer Methode aufzeichnen. Eine Zykloide entsteht bekanntlich aus der Überlagerung einer Drehbewegung mit einer Vorwärtsbewegung. Man zeichnet einen Kreis mit dem Fräswalzenradius und teilt ihn in  $15^\circ$ -Sektoren ein. Bei den obigen Fräsendaten legt die Fräse bei einer Umdrehung von  $15^\circ$  den Weg

$$s = \frac{v \cdot 60 \cdot 15}{n \cdot 360} = 0,67\text{ cm}$$

zurück. Ausgehend von dem Strahl 0 addiert man am Ende des Strahles 1 ( $15^\circ$ ) geometrisch den Weg  $s$ , **Bild 21**, am Ende des Strahles 2 ( $30^\circ$ ) den Weg  $2s$ , usw. und erhält so die Zykloidenbahn.



**Bild 20.** Rechnerische Ermittlung der Zykloidenbahn (s.a. Tafel 1).

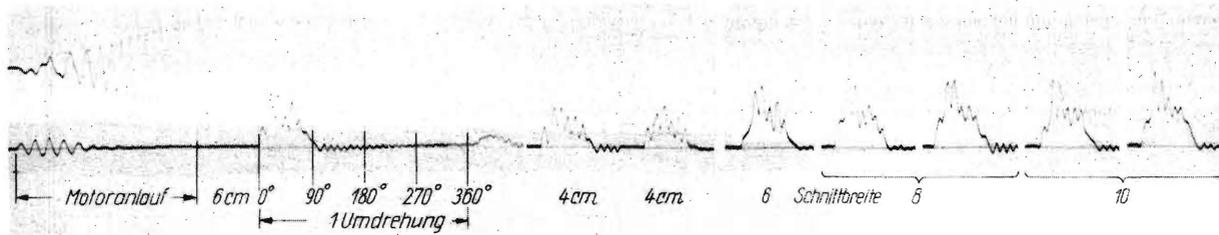


**Bild 21.** Graphische Konstruktion der Zykloidenbahn.

### Torsionsgedeferte Winkelmesser

In der Fräsenentwicklung haben gefederte Werkzeuge immer eine besondere Rolle gespielt. Man versprach sich von der Federung, daß sich die Spitzenbeanspruchungen der Werkzeuge und Antriebsorgane





**Bild 25.** Oszillogramme vom Verlauf des Drehmomentes bei einem Spatenmesser nach Bild 8 bei verschiedener Schnittbreite.  
Fräsendrehzahl  $n = 186 \text{ U/min}$  Arbeitstiefe  $t = 14 \text{ cm}$  Bissenlänge  $l_B = 8 \text{ cm}$

besonders deutlich aus der spezifischen Arbeit des Falles a hervor, die auf das Bissenvolumen bezogen ist. Der Einfluß dieser Reibung wirkt sich umso mehr aus, je kleiner der Bissenquerschnitt ist. Im Fall b wurde der Schnittwinkel  $\delta_1$  auf  $25^\circ$  vergrößert, so daß diese Reibung entfiel. Außerdem war die Einschlagart geändert. Hauptsächlich wegen des Wegfallens der Reibung an der Schneiderrückseite trat eine erhebliche Verringerung der spezifischen Drehmomente ein.

In Bild 24 sind die Drehmomente und die spezifische Arbeit eines gefederten Werkzeuges in Abhängigkeit von der Drehzahl dargestellt. Hierbei entsprach der Schnittwinkel  $\delta_1$  und die Bissenform dem Fall a; die Drehmomente enthalten also ebenfalls die Reibung auf der Schneiderrückseite. Es ergibt sich ein ähnlicher Anstieg der Drehmomente mit zunehmender Drehzahl, wie er bei starren Werkzeugen gemessen worden war. Eine Verkleinerung der Drehzahl von 200 auf 100 Umdrehungen hat ein um etwa 25% kleineres Drehmoment zur Folge. Die Spitzenmomente sind im Vergleich zu den mittleren Drehmomenten nicht so hoch wie bei starren Werkzeugen.

### Spatenwerkzeuge

Eine weitere Werkzeugart, die vorzugsweise zur Nachbearbeitung von gepflegtem Boden verwendet wird, sind die sogenannten Spatenwerkzeuge (Bild 8); diese Messerformen sind nicht abgewinkelt, aber in sich verwunden; dabei hat die Werkzeugspitze einen kleineren Radius als das Werkzeugende. Bild 25 zeigt Oszillogramme von solchen Spatenwerkzeugen. Bei dieser Werkzeugart steigt der Schnittwiderstand beim Einschlagen in den Boden ebenfalls nicht so steil an wie bei den starren Winkelmessern (Bild 9). Man erhält einen gleichmäßigeren Drehmomentenverlauf über den ganzen Einschlagwinkel, was für die Fräswellenbeanspruchung gewisse Vorteile hat.

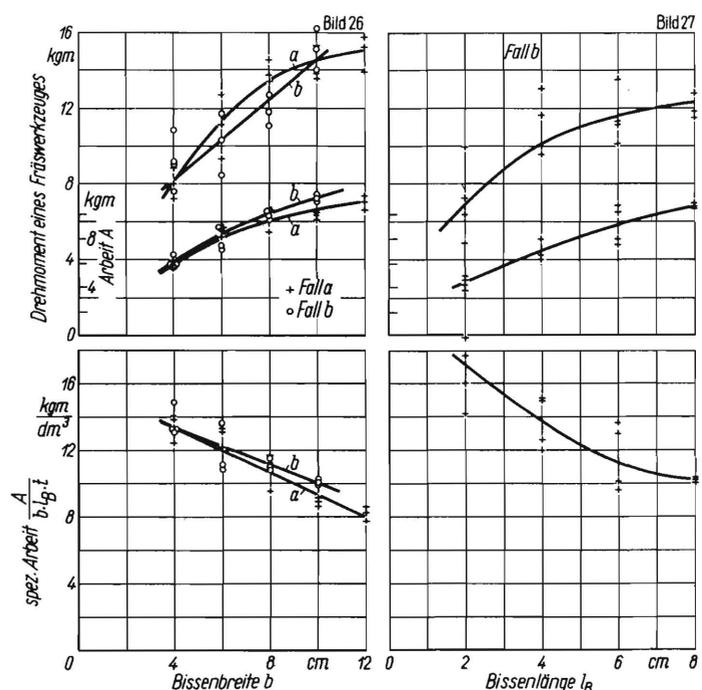
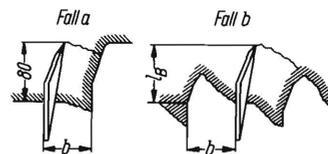
**Bild 26.** Drehmomente und Arbeiten eines Spatenwerkzeuges in Abhängigkeit von der Bissenbreite. Fräsdaten wie in Bild 25

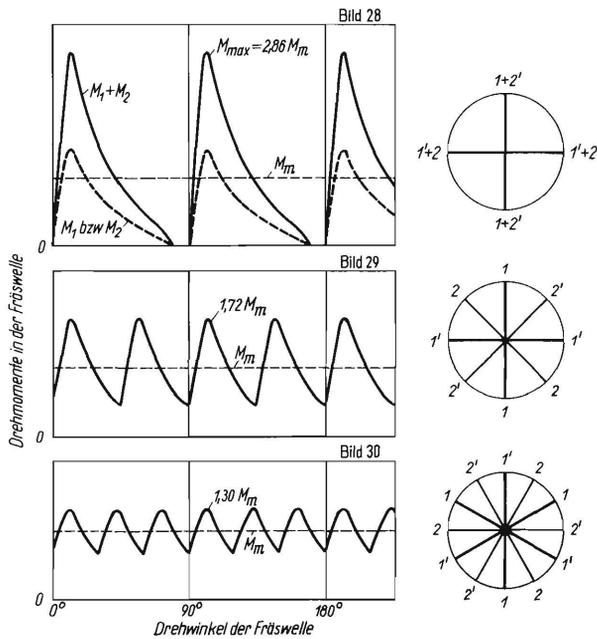
**Bild 27.** Drehmomente und Arbeit eines Spatenwerkzeuges in Abhängigkeit von der Bissenlänge. Fräsdaten wie in Bild 25  
Bissenbreite  $b = 9,5 \text{ cm}$

In Bild 26 sind die Drehmomente und die spezifische Arbeit solcher Spatenwerkzeuge in Abhängigkeit von der Bissenbreite wiedergegeben. Es zeigt sich auch hier wieder, daß mit zunehmender Bissenbreite  $b$  der spezifische Widerstand günstiger wird. Allerdings darf man mit Rücksicht auf den Arbeitserfolg eine Bissenbreite von 90 bis 100 mm nicht überschreiten. Die Spitzenmomente sind, bezogen auf die mittleren Momente, kleiner als bei starren Winkelmessern. Bild 27 zeigt die Drehmomente eines Spatenwerkzeuges in Abhängigkeit von der Bissenlänge  $l_B$ . Auch mit zunehmender Bissenlänge nimmt die spezifische Arbeit ab.

### Werkzeuganordnung auf der Fräswelle

Bei den auf der DLG-Ausstellung im Herbst 1956 gezeigten Fräsen konnte festgestellt werden, daß die Forderung nach einem möglichst gleichmäßigen Drehmomentenverlauf durch entsprechende Werk-





**Bild 28 bis 30.** Drehmomentenverlauf einer Kleinfräse mit zwei Werkzeugkränzen bei verschiedener Stellung der Kränze zueinander.

zeuganordnung häufig nicht erfüllt worden war. Schon auf der 14. Konstrukteurtagung hat der Verfasser den Einfluß der Werkzeuganordnung auf den Drehmomentenverlauf der Fräswalze behandelt und folgende Forderungen erörtert:

- 1) Der Winkelabstand zwischen nacheinander einschlagenden Werkzeugen soll gleichmäßig sein, und es sollen möglichst niemals zwei Werkzeuge gleichzeitig in den Boden einschlagen.
- 2) Zwischen zwei benachbarten Werkzeugen soll ein möglichst großer Winkelabstand sein, um Verstopfungen zu vermeiden.

Diese beiden Forderungen genügen jedoch noch nicht, um eine optimale Werkzeuganordnung zu erreichen; es müssen noch zwei weitere hinzukommen:

- 3) Die Werkzeuge rechts und links von der Längsachse sollen annähernd symmetrisch in den Boden einschlagen. Wenn diese Forderung nicht erfüllt wird (wenn also zunächst mehrere Fräs-werkzeuge auf der linken und dann auf der rechten Seite in den Boden einschlagen), entstehen Momente um die Fräsenlängs- und Fräsenhochachse, die einen unruhigen Lauf zur Folge haben. Das ist besonders bei leichten Fräsen mit Mittelantrieb der Fall.

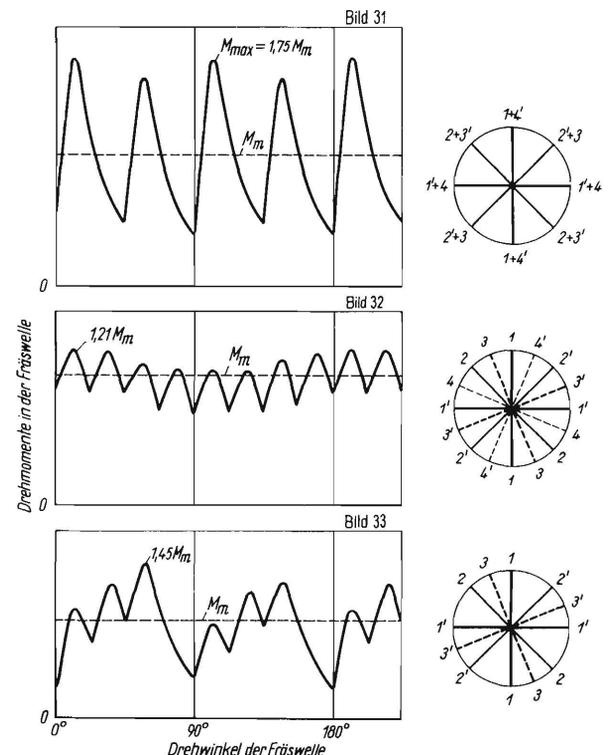
- 4) Die seitliche Scherfläche der Bissen soll an allen Einzelwerkzeugen möglichst gleich sein. Dabei läßt es sich allerdings, wie bereits erwähnt, nicht vermeiden, daß die Außenwerkzeuge, die immer die ganze Bissenseitenfläche abscheren müssen, besonders hoch beansprucht sind.

Zwischen diesen sich z.T. widersprechenden Forderungen muß ein günstiger Kompromiß gefunden werden. Im Folgenden werden einige, diesem Kom-

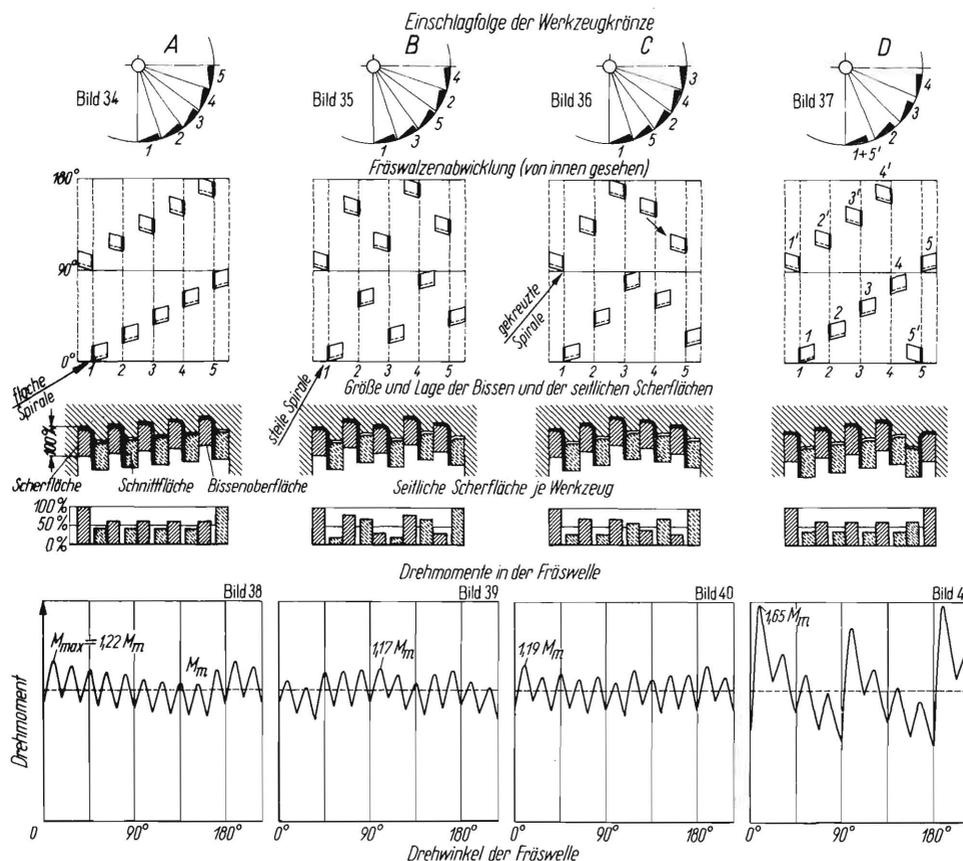
promiß möglichst nahe kommende Lösungen betrachtet und ungünstigeren Lösungen gegenübergestellt.

**Bild 28 bis 30** zeigen den rechnerisch ermittelten Drehmomentenverlauf einer Kleinfräse mit nur zwei Werkzeugkränzen. Schlagen beide Werkzeugkränze rechts und links von der Fräsenmitte gleichzeitig in den Boden ein, so ergibt sich für eine Fräse mit zwei Kränzen und je vier Werkzeugen ein Drehmomentenverlauf nach Bild 28. Hierbei wird zwar die Forderung nach symmetrischem Einschlag erfüllt, jedoch schwankt das Drehmoment sehr stark, und die Spitze ist fast dreimal so hoch wie das mittlere Drehmoment. Günstiger wird der Drehmomentenverlauf, wenn die beiden Werkzeugkränze um  $\psi = 45^\circ$  gegeneinander verdreht sind (Bild 29). In diesem Fall ist jedoch die Forderung nach symmetrischem Einschlag nicht erfüllt. Am günstigsten für beide Forderungen ist eine Fräse, bei der jeweils sechs Werkzeuge auf einem Werkzeugkranz angeordnet sind (Bild 30). Hierbei erhält man sowohl einen gleichmäßigeren Drehmomentenverlauf als auch eine günstigere Einschlagsfolge der Werkzeuge rechts und links der Fräsenmitte.

In **Bild 31 bis 33** sind die rechnerisch ermittelten Drehmomentenverläufe einer Fräse mit vier bzw. drei Werkzeugkränzen dargestellt. In Bild 31 schlagen wiederum je zwei Werkzeuge rechts und links von der Fräsenmitte gleichzeitig in den Boden ein, wodurch sich Drehmomentenspitzen von 175% der mittleren Drehmomente ergeben. Ein günstigerer Verlauf ergibt sich bei einer Anordnung, bei der



**Bild 31 bis 33.** Drehmomentenverlauf in einer Fräswelle mit vier und drei Werkzeugkränzen.



**Bild 34 bis 37.** Werkzeuganordnungen A bis D und Einschlagfolge der Werkzeuge sowie Grösse und Zuordnung der seitlichen Scherflächen bei einer Fräse mit fünf Werkzeugkränzen.

**Bild 38 bis 41.** Drehmomentenverlauf bei vier verschiedenen Fräsrollenanordnungen bei fünf Werkzeugkränzen. Dadurch, dass die fünfteilige Anordnung D durch Erweiterung einer Fräsrolle mit fünf Kränzen entstanden ist, schlagen die Werkzeugkränze 1 und 5 gleichzeitig, die Kränze 2, 3 und 4 jedoch nacheinander in den Boden ein.

jeweils nur ein Werkzeug in den Boden einschlägt (Bild 32). Gelegentlich wird die Forderung erhoben, daß die Fräsbreite durch Entfernung eines Werkzeugkranzes verringert werden kann. Dies hat nicht nur einen ungleichmäßigen Drehmomentenverlauf (Bild 33), sondern einen noch ungünstigeren Verlauf des Momentes um die Fräsenlängsachse zur Folge.

In **Bild 34 bis 37** werden vier verschiedene Werkzeuganordnungen (Fall A bis D) am Beispiel einer Fräse mit fünf Werkzeugkränzen miteinander verglichen. Dabei schlagen im Fall A bis C die Werkzeuge immer einzeln in den Boden ein und sind jeweils um  $\psi = 90^\circ : 5 = 18^\circ$  gegeneinander verdreht, im Fall D schlagen dagegen die Werkzeuge mit einem Winkel von  $22,5^\circ$  nacheinander in den Boden ein. Diese Werkzeuganordnung D ergibt sich, wenn man eine Fräse mit vier Werkzeugkränzen durch Hinzufügen eines weiteren Kranzes verbreitert, ohne dabei die Werkzeuganordnung der 4-Kranz-Fräse zu ändern. Im oberen Teil dieser Bilder sind die Fräsrollenabwicklungen für die vier verschiedenen Anordnungen gezeigt: Im Fall A für eine Anordnung der Werkzeuge in einer flachen Spirale, im Fall B in einer steilen Spirale und im Fall C in zwei sich kreuzenden, steilen Spiralen. Da-

runter ist die Lage der Bissenoberflächen der einzelnen Werkzeuge im Augenblick des Eindringens in den Boden gezeichnet, aus der sich die verschiedenen Größen der seitlichen Scherflächen, das sind die Seitenflächen, die jeweils von einem Werkzeug abgeschert werden müssen, erkennen lassen. In einer weiteren Darstellung sind die prozentualen Bissenseitenflächen in ihrer Verteilung über die Walzenlänge in Säulenform dargestellt. Bei den beiden Außenwerkzeugen sind diese Seitenscherflächen in jedem Fall am größten und gleich einer Bissenseitenfläche. Bei der flachen Spirale A haben die inneren Werkzeuge abwechselnd Scherflächen von 40% und 60% der gesamten Bissenseitenfläche, weisen also keine großen Unterschiede auf. Bei der steilen Spirale B wechseln die seitlichen Scherflächen zwischen 20% und 80% und bei der gekreuzten Spirale zwischen 30% und 70%. Diese ungleichmäßige Verteilung der seitlichen Scherflächen (und damit des Antriehdrehmomentes) muß aber in Kauf genommen werden, da die flache Spirale A den schwerer wiegenden Nachteil hat, daß die Werkzeuge von nebeneinander liegenden Werkzeugkränzen einen kleinen Winkelabstand ( $\psi = 18^\circ$ ) haben, wodurch diese Fräse gegenüber einer Fräse mit steiler Spirale ( $\psi = 36^\circ$  bis  $54^\circ$ ) leichter verstopfen wird.

**Bild 38 bis 41** zeigen den Drehmomentenverlauf der eben beschriebenen vier Fälle. Der etwas ungleichmäßige Drehmomentenverlauf der Spitzen bei den ersten drei Fällen rührt von den Unterschieden in der Größe der seitlichen Scherfläche her. Die beiden höchsten Spitzen im Fall A ergeben sich, wenn die Außenwerkzeuge nacheinander einschlagen. Im Fall B und C schlagen die beiden Außenwerkzeuge nicht unmittelbar nacheinander in den Boden ein, die Spitzen liegen also nicht nebeneinander und sind geringfügig niedriger. Die Unterschiede im Drehmomentenverlauf zwischen den drei ersten Fällen sind im ganzen nicht so groß, daß man daraus eindeutig die eine oder andere Anordnung bevorzugen könnte. Im Fall D schlagen die Werkzeuge der Kränze 1 und 5 gleichzeitig und die der Werkzeuge 2, 3 und 4 einzeln ein. Infolgedessen ist der Drehmomentenverlauf sehr ungleichmäßig. Die Spitzenmomente sind um 65% größer als das mittlere Drehmoment. Deshalb sollte diese Ausführung vermieden werden.

In **Bild 42 bis 46** sind die Abwicklungen einer Fräsvalze mit sechs Werkzeugkränzen, aus denen die Werkzeugfolge zu ersehen ist, die Lage der Bissenoberflächen im Augenblick des Eindringens in den Boden sowie die Größe der seitlichen Scherflächen einander zum Vergleich gegenübergestellt. Bei der Ermittlung der Scherflächen wurde dabei von einer Fräse mit Mitteltrieb ausgegangen, wobei die neben dem Getriebe liegenden Werkzeuge auch als Außenwerkzeuge gelten. Darunter sind die zugehörigen Drehmomentenverläufe dargestellt (**Bild 47 bis 51**).

In den Fällen A bis C schlagen die Werkzeuge immer einzeln in den Boden ein und haben daher einen ziemlich gleichmäßigen Drehmomentenverlauf zur Folge (**Bild 47 bis 49**). Auch hierbei ist aber die steile Spirale B der flachen Spirale A wegen des größeren Abstandes zweier benachbarter Werkzeuge vorzuziehen.

Bei den zum Vergleich hinzugefügten, ungünstigen Werkzeuganordnungen D und E schlagen bei D immer zwei Werkzeuge mit gleichem Abstand von der Fräsenlängsachse, also 1 + 6', 2 + 5' und 3 + 4' gleichzeitig ein (**Bild 45**); bei E arbeiten die Werkzeuge 1 + 6' und 2 + 5' gleichzeitig und 3 und 4' einzeln (**Bild 46**). Infolgedessen haben beide Anordnungen recht beträchtliche Spitzendrehmomente (**Bild 50 und 51**).

Nach der obigen Forderung 3 sollten aber die Werkzeuge rechts und links von der Fräsenmitte annähernd symmetrisch in den Boden einschlagen, damit die Momente um die Hoch- und die Längsachse klein bleiben und die Fräse ruhig läuft. In **Bild 52 bis 56** sind diese Momente für die Anordnungen A bis E aufgezeichnet. Hierbei zeigt sich, daß die Schwingung bei der Steilen Spirale B

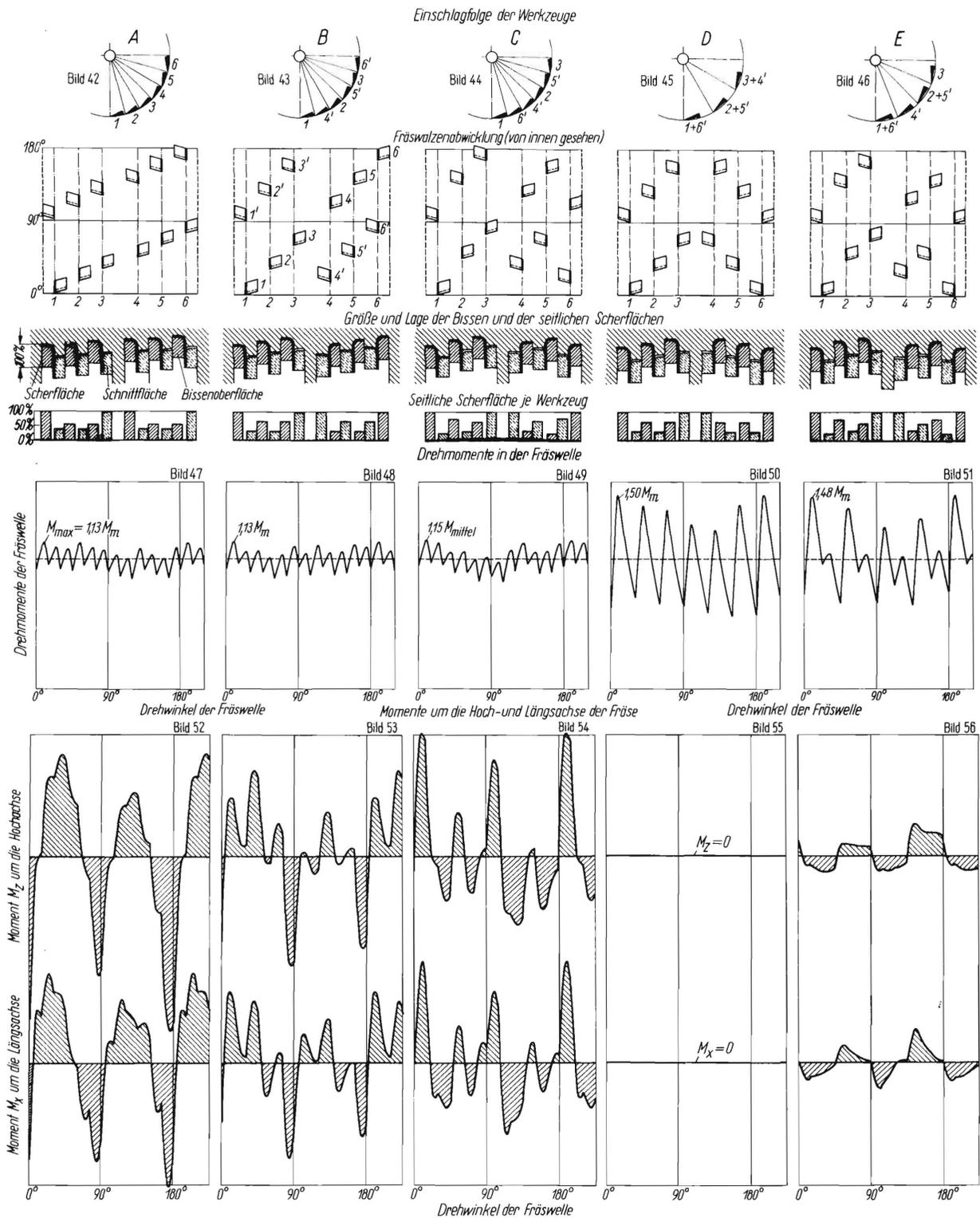
(**Bild 52**) eine höhere Frequenz hat als bei der flachen Spirale A (**Bild 53**). Außerdem sind die Spitzenmomente kleiner. Entscheidend für einen ruhigen Lauf der Fräse ist nun aber, daß die Impulsmomente aus dem Produkt Moment um Längs- bzw. Hochachse multipliziert mit der Zeitdauer, in der dieses Moment zur Wirkung kommt, möglichst klein sind. Ein Maß für diese Impulsmomente ist die Größe der schraffierten Flächen. Die Impulsmomente der steilen Spirale sind offensichtlich kleiner als die der flachen Spirale, und es erfolgt auch jeweils schneller ein Ausgleich zwischen positiven und negativen Momenten. Aus diesem Grunde ist die steile Spirale der flachen Spirale ebenfalls vorzuziehen. Das Moment um die Hochachse verhält sich in allen Fällen ähnlich wie das Moment um die Längsachse. Die Momente der Anordnung C (**Bild 54**) unterscheiden sich größenordnungsmäßig nur wenig von denen der Anordnung B.

Bei der Anordnung D wird durch den zur Fräsenlängsachse symmetrischen Einschlag der Werkzeuge ein völliger Ausgleich der Momente um Hoch- und Längsachse erzielt (**Bild 55**), sie sind also rechnerisch gleich Null. Dieser Vorteil wird allerdings nach der Ansicht des Verfassers durch die großen Schwankungen im Drehmomentenverlauf (**Bild 50**) aufgehoben. Das gleiche gilt für die Anordnung E, bei der ebenfalls nur kleine Momente um die Hoch- und Längsachse auftreten (**Bild 56**).

Vor jeder Festlegung der Werkzeuganordnung einer beliebigen Fräse sollte der Konstrukteur also einige mögliche Anordnungen und die zugehörigen Abwicklungen mit der Lage der Bissenquerschnitte und der Größe der seitlichen Scherflächen aufzeichnen und die zugehörigen Drehmomentenverläufe und die Momentenverläufe um die Hoch- und Längsachse berechnen. Diese Rechnung ist an sich elementar, aber etwas umfangreich, läßt sich jedoch durch ein Rechenschema sehr erleichtern. Sie geschieht in folgender Weise:

In **Bild 57** ist der idealisierte mittlere Momentenverlauf eines Einzelwerkzeuges in Abhängigkeit vom Drehwinkel angegeben, der dem Mittelwert vieler Messungen sehr nahe kommt. Beim tatsächlichen Verlauf überlagert sich durch das mehr oder weniger periodische Aufbrechen des Bodens sowie durch die Eigenschwingung der Versuchswelle eine Oberschwingung. Die drei verschiedenen Verläufe gelten für Bissen mit seitlichen Scherflächen von 100%, 66% und 33% der jeweiligen Gesamtseitenfläche. Nach unseren Messungen in **Bild 11** wirkt sich dies auf den Drehmomentenverlauf so aus, daß bei einer seitlichen Scherfläche von 66% das Drehmoment sich um 10% (Faktor  $f_i = 0,9$ ), bei einer Scherfläche von 33% das Drehmoment sich um 20% (Faktor  $f_i = 0,8$ ) verringert. Der Drehmomentenverlauf der gesamten Fräse ergibt sich dann nach der Formel

$$M_d = \sum M_{di} f_i \quad ,$$



**Bild 42 bis 46.** Werkzeuganordnungen A bis E und Einschlagfolge der Werkzeuge, sowie die Größe und Zuordnung der seitlichen Scherflächen bei einer Fräse mit sechs Werkzeugkränzen.

Durch 1 und 1', 2 und 2' usw. werden die links- und rechtsschneidenden Werkzeuge der Kränze unterschieden

**Bild 47 bis 51.** Drehmomentenverlauf bei Fräsen mit sechs Werkzeugkränzen bei verschiedener Anordnung A bis E der Werkzeuge.

Im Fall D schlagen die Werkzeugkränze 1 + 6', 2 + 5' und 3 + 4' gleichzeitig in den Boden ein, im Fall E schlagen die Kränze 1 + 6', 2 + 5' gleichzeitig und die Kränze 3 und 4' einzeln in den Boden ein.

**Bild 52 bis 56.** Momente um die Hoch- und die Längsachse bei Fräsen mit sechs Werkzeugkränzen in den Fällen A bis E.

wobei  $M_{di}$  der Verlauf der Drehmomente der Einzelwerkzeuge  $i$  über dem Drehwinkel  $\psi$  ist, die um den jeweiligen Winkel der Einschlagfolge gegeneinander

versetzt sind und die durch den Faktor  $f_i$  entsprechend der Größe der seitlichen Scherfläche verringert werden. In **Tafel 2** ist eine solche Drehmo-

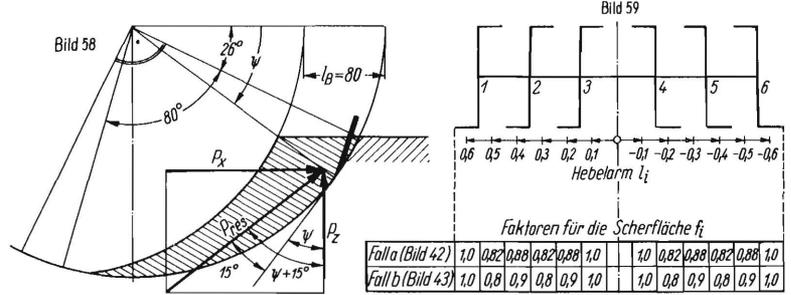
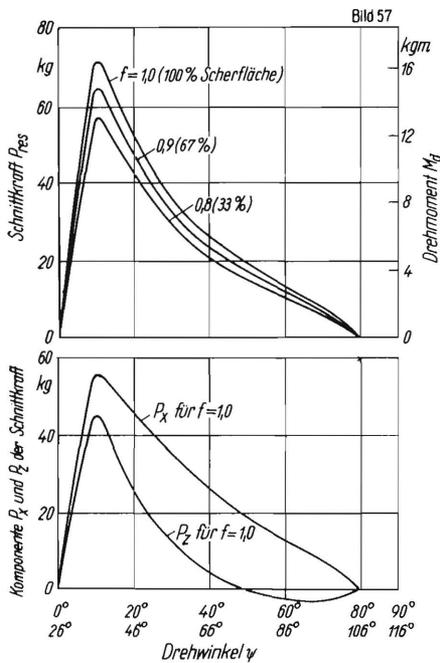


Bild 57 bis 59. Berechnung der Momente um die Hoch- und Längsachse einer Fräse.

Bild 58. Berechnung der horizontalen und vertikalen Widerstandskomponenten Px und Pz. Bild 57 unten: Verlauf dieser Komponenten über dem Drehwinkel.

mentenrechnung für Fall A (Bild 47) mit 6 Werkzeugkränzen durchgeführt. Die Drehmomentenverläufe der Einzelwerkzeuge sind darin entsprechend der jeweiligen Einschlagfolge untereinander aufgetragen und addiert.

Die Momente um die Hoch- und Längsachse errechnen sich folgendermaßen. Zunächst wird aus dem Drehmomentenverlauf eines Einzelwerkzeugs in der in Bild 58 dargestellten Weise der Verlauf der Längskraft Px und der der Vertikalkraft Pz über dem Einschlagwinkel bestimmt. Dabei wurde angenommen, daß der resultierende Schnittwiderstand unter einem Winkel von 15° zur Bahntangente bei einem Radius von 0,95R angreift. Es ist also

$$P_{res} = \frac{M}{0,95 R \cos 15^\circ}$$

$$P_x = P_{res} \sin (\psi + 15^\circ) \quad \text{und}$$

$$P_z = P_{res} \cos (\psi + 15^\circ).$$

Px und Pz sind in Bild 57 unten für eine Scherfläche von 100% dargestellt. Aus diesen Kraftverläufen multipliziert mit dem Hebelarm li zur Fräsenlängsachse (Bild 59) und dem Faktor fi der Scherfläche lassen sich die Momentenverläufe eines einzelnen Kranzes und durch Summierung aller Kränze die Momentenverläufe um Hoch- und Längsachse über dem Drehwinkel errechnen.

In Bild 59 sind für eine flache und steile Spirale nach Bild 42 und 43 die Faktoren für die Scherfläche fi und für den Hebelarm li angegeben. Dann sind

$$M_x = \sum_{i=1}^{i=6'} P_{zi} f_i l_i \quad \text{und}$$

$$M_z = \sum_{i=1}^{i=6'} P_{xi} f_i l_i$$

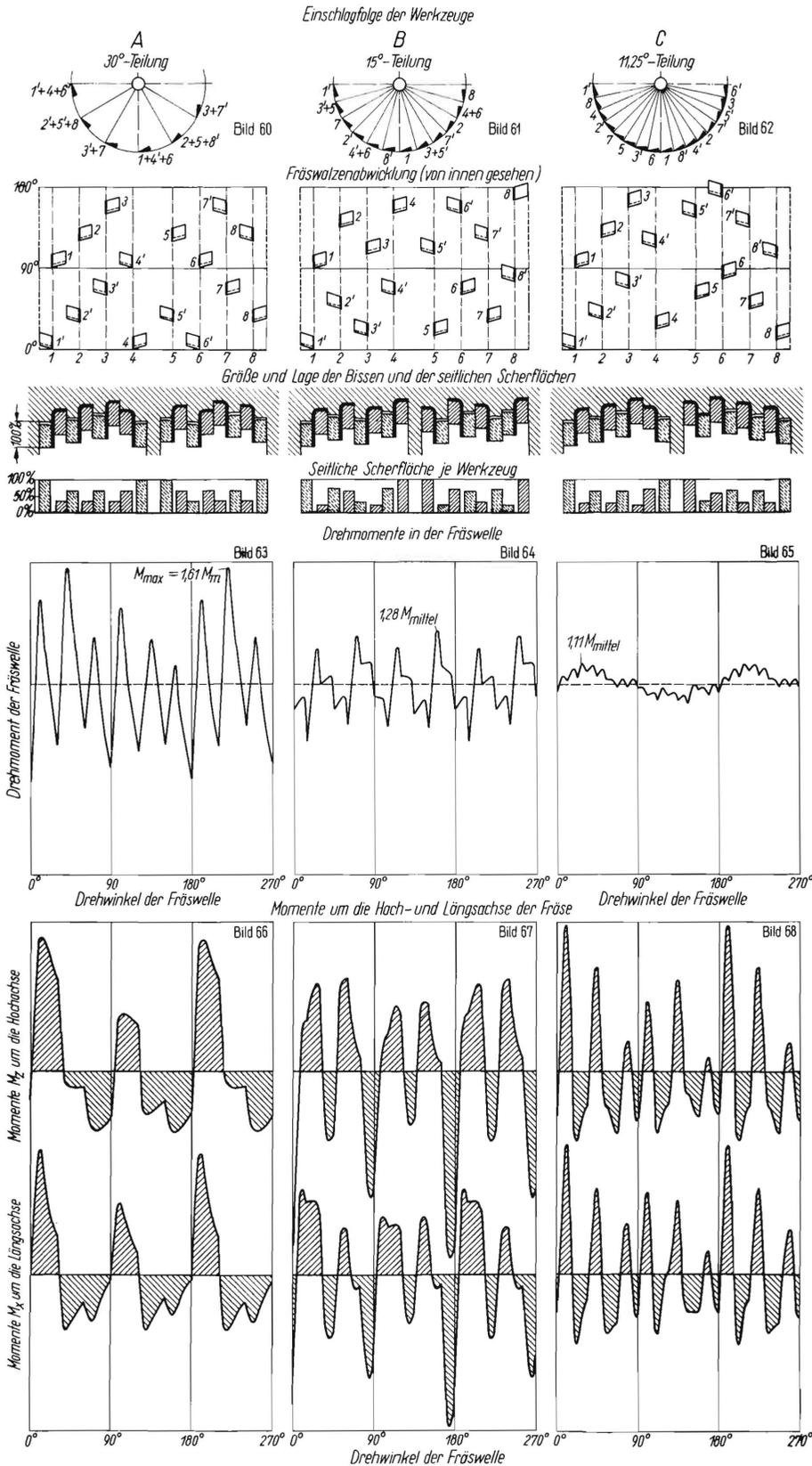
wobei Pxi und Pzi Funktionen des Einschlagwinkels sind und bei der Summierung aller Kränze wiederum

um die Winkel versetzt sind, mit denen sie nacheinander einschlagen. In Tafel 3 ist das Rechenschema für Fall A nach Bild 52 angegeben. Die Faktoren für die Scherfläche können nach Bild 11 ermittelt werden, und die Faktoren für die Hebelarme li sind die Abstände der Werkzeuge von der Fräsrollenmitte (Bild 59).

Nun gibt es aber Fälle, in denen aus konstruktiven Gründen eine bestimmte, von der optimalen Anordnung abweichende Einschlagfolge der Fräsworkzeuge erwünscht ist, wenn z.B. die Werkzeugkränze einzeln auf einer Sechskantwelle angebracht sind und untereinander konstruktiv gleich, d.h. austauschbar, sein sollen. Im folgenden soll am Beispiel einer Fräse mit 2 x 4 Werkzeugkränzen untersucht werden, wie sich solcherart gewählte Einschlagfolgen gegenüber einer optimalen Einschlagfolge auswirken und zwar

- 1) für eine 30°-Teilung mit zwei verschiedenen Kranzausführungen, die gegeneinander um 30° verdreht sind,
- 2) für eine 15°-Teilung mit vier verschiedenen Kranzausführungen und
- 3) noch die optimale Verteilung mit 90°: 8 = 11,25°, die auf der Sechskantwelle für jeden Kranz eine eigene Ausführung erfordert.

In Bild 60 bis 62 sind die Abwicklungen der Fräsrollen für diese drei Anordnungen sowie die zugehörige Einschlagfolge in den Boden und die seitliche Scherfläche einander gegenübergestellt. Bei der 30°-Teilung schlagen je Viertelumdrehung zweimal drei und einmal zwei Werkzeuge gleichzeitig in den Boden ein, bei der 15°-Teilung viermal ein Werkzeug und zweimal zwei Werkzeuge, wogegen bei der optimalen 11,25°-Teilung immer nur ein Werkzeug in den Boden einschlägt. In allen drei Fällen wurde eine möglichst symmetrische Einschlagfolge rechts und links angestrebt, was jedoch andere, vielleicht noch günstigere Lösungen nicht ausschließt. Die Unterschiede in den seitlichen Scherflächen sind jedoch bei der 15°- und 11,25°-Teilung recht beträchtlich.



**Bild 60 bis 62.** Werkzeuganordnungen A bis C und Einschlagfolge der Werkzeuge, sowie Größe und Zuordnung der seitlichen Scherflächen bei Fräsen mit acht Werkzeugkränzen.

Die 30°-Teilung erfordert zwei verschiedene Kranzausführungen, die gegeneinander um 30° verdreht sind. Die 15°-Teilung erfordert vier verschiedene Werkzeugkränze und die 11,25°-Teilung erfordert für jeden Kranz eine eigene Ausführung.

**Bild 63 bis 65.** Drehmomentenverlauf bei Fräsen mit acht Werkzeugkränzen.

**Bild 66 bis 68.** Momente um die Hoch- und Längsachse bei Fräsen mit acht Werkzeugkränzen.

**Bild 63 bis 65** zeigen die dazugehörigen, rechnerisch ermittelten Drehmomentenverläufe. Bei der 30°-Teilung treten wieder erhebliche Spitzenmomente – bis zu 161 % der mittleren Drehmomente – auf. Bei der 15°-Teilung sind die Spitzenmomente bereits auf 128% der mittleren Drehmomente abgebaut, und bei der 11,25°-Teilung schwankt das Drehmoment nur noch um 14% um den Mittelwert.

In **Bild 66 bis 68** sind die Momentenverläufe um die Längs- und Hochachse der Fräsen für die drei verschiedenen Fälle A, B und C dargestellt. Bei der 15°-Teilung (Fall B) sind die Momente zwar von gleicher Größenordnung wie bei der 30°-Teilung (Fall A), sie wechseln aber häufiger ihre Richtung, so daß ein schnellerer Ausgleich der Impulsmomente erreicht wird. Noch günstiger schneidet natürlich die 11,25°-Teilung ab, bei der vor allem die Impulsmomente (erkenntlich an den schraffierten Diagrammflächen) wesentlich kleiner sind. Es muß nun dem Konstrukteur überlassen bleiben, ob er im Fall C den größeren konstruktiven Aufwand und die höheren Kosten für die Ersatzteilhaltung für diese Teilung in Kauf nehmen will, um einen gleichmäßigeren Lauf der Fräse und eine günstigere Momentenverteilung zu erzielen, oder ob er eine konstruktive Lösung findet, bei der auch bei der 11,25°-Teilung nur gleiche Werkzeugkränze verwendet werden können.

Schon an anderer Stelle <sup>1)</sup> hat der Verfasser auf die Notwendigkeit hingewiesen, die zum Antrieb einer Fräse erforderliche Leistung herabzusetzen. Solange der Konstrukteur jedoch Ackerfräsen bauen muß, die für Schlepper ohne Kriechgang geeignet sein sollen, ist er an bestimmte Fräsendrehzahlen gebunden. Mit Rücksicht auf die Bissengröße kann er die Fräsendrehzahl bei einer Fahrgeschwindigkeit von etwa 0,8m/s im ersten Gang nicht so weit herabsetzen, wie es für den Leistungsverbrauch wünschenswert wäre.

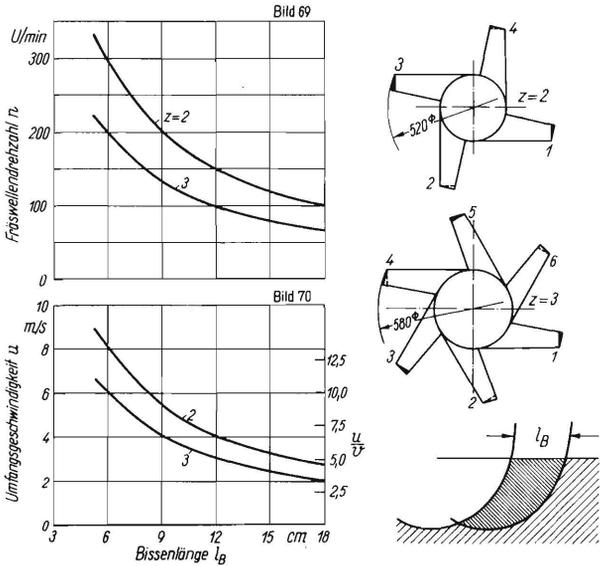
Eine gewisse Möglichkeit, die Drehzahl herabzusetzen, ist durch die Verwendung von Werkzeugkränzen mit sechs anstelle von vier Werkzeugen gegeben. Das geht aus **Bild 69 und 70** hervor. Hierin ist die Fräsendrehzahl und die Umfangsgeschwindigkeit für Werkzeugkränze mit drei bzw. zwei Werkzeugen in einer Schnittebene über der Bissenlänge aufgetragen. Um eine bestimmte Bissenlänge von beispielsweise 9cm zu erzielen, ist bei zwei rechts- bzw. linksschneidenden Werkzeugen eine Drehzahl von 200 U/min, dagegen bei drei Werkzeugen eine solche von 133 U/min erforderlich. Die Umfangsgeschwindigkeiten unterscheiden sich nicht so stark wie die Drehzahlen, weil für drei Werkzeuge wegen des Werkzeugabstandes im allgemeinen ein größerer Durchmesser erforderlich ist. Es wurde in diesem Vergleich von einem Durchmesser von 520mm für zwei Werkzeuge und von 580mm

Tafel 2. Addition der Fräswelldrehmomente aus den Drehmomenten der Einzelwerkzeuge für eine Fräse mit 6 Werkzeugkränzen (Fall A, Bild 52)

| Werkzeug | Seitl. Scherfläche % | f <sub>i</sub> | Drehwinkel ψ in Grad  |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |       |      |
|----------|----------------------|----------------|---|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|
|          |                      |                | 0   | 10    | 15   | 25    | 30   | 40    | 45   | 55    | 60   | 70    | 75   | 85   | 90   | 100  | 105  | 115  | 120  | 130   | 135  | 145  | 150  | 160  | 165  | 175   | 180  |
| 1        | -                    | -              | 0   | 48,0  | 42,3 | 28,8  | 24,0 | 17,4  | 14,8 | 10,9  | 8,7  | 5,2   | 3,0  | 0    |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |       |      |
|          |                      |                | Drehmomente eines Einzelwerkzeugs bei 100% seitlicher Scherfläche M <sub>di</sub> |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |       |      |
|          |                      |                | 0   | 48,0  | 42,3 | 28,8  | 24,0 | 17,4  | 14,8 | 10,9  | 8,7  | 5,2   | 3,0  | 0    |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |       |      |
|          |                      |                | Drehmomente der Einzelwerkzeuge in der Fräswelle M <sub>di</sub> f <sub>i</sub>   |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |       |      |
| 1        | 100                  | 1,0            | 0   | 48,0  | 42,3 | 28,8  | 24,0 | 17,4  | 14,8 | 10,9  | 8,7  | 5,2   | 3,0  | 0    |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |       |      |
| 2        | 60                   | 0,88           | 0   | 42,2  | 0    | 42,2  | 37,2 | 25,3  | 21,1 | 15,3  | 13,0 | 9,6   | 7,7  | 4,6  | 2,6  | 0    |      |      |      |       |      |      |      |      |      |       |      |
| 3        | 60                   | 0,88           | 0   | 42,2  | 0    | 42,2  | 37,2 | 25,3  | 21,1 | 15,3  | 13,0 | 9,6   | 7,7  | 4,6  | 2,6  | 0    |      |      |      |       |      |      |      |      |      |       |      |
| 4        | 100                  | 1,0            | 0   | 48,0  | 42,3 | 28,8  | 24,0 | 17,4  | 14,8 | 10,9  | 8,7  | 5,2   | 3,0  | 0    |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |       |      |
| 5        | 60                   | 0,88           | 0   | 42,2  | 0    | 42,2  | 37,2 | 25,3  | 21,1 | 15,3  | 13,0 | 9,6   | 7,7  | 4,6  | 2,6  | 0    |      |      |      |       |      |      |      |      |      |       |      |
| 6        | 60                   | 0,88           | 0   | 42,2  | 0    | 42,2  | 37,2 | 25,3  | 21,1 | 15,3  | 13,0 | 9,6   | 7,7  | 4,6  | 2,6  | 0    |      |      |      |       |      |      |      |      |      |       |      |
| 1'       | 40                   | 0,82           | 2,5   | 0     | 0    | 0     | 39,4 | 34,7  | 23,6 | 19,7  | 14,3 | 12,1  | 8,9  | 7,1  | 4,3  | 2,5  | 0    |      |      |       |      |      |      |      |      |       |      |
| 2'       | 40                   | 0,82           | 8,7   | 5,2   | 3,0  | 0     | 0    | 39,4  | 34,7 | 23,6  | 19,7 | 14,3  | 12,1 | 8,9  | 7,1  | 4,3  | 2,5  | 0    |      |       |      |      |      |      |      |       |      |
| 3'       | 100                  | 1,0            | 19,7  | 14,3  | 12,1 | 8,9   | 7,1  | 4,3   | 2,5  | 0     | 0    | 48,0  | 42,3 | 28,8 | 24,0 | 17,4 | 14,8 | 10,9 | 8,7  |       |      |      |      |      |      |       |      |
| 4'       | 40                   | 0,82           | 42,3  | 28,8  | 24,0 | 17,4  | 14,8 | 10,9  | 8,7  | 5,2   | 3,0  | 0     | 0    | 39,4 | 34,7 | 23,6 | 19,7 | 14,3 | 12,1 |       |      |      |      |      |      |       |      |
| 5'       | 40                   | 0,82           | 85,3  | 105,2 | 88,5 | 101,8 | 85,6 | 100,1 | 84,3 | 104,7 | 88,1 | 101,1 | 84,9 | 99,1 | 83,4 | 95,5 | 80,1 | 93,1 | 78,1 | 100,1 | 84,4 | 96,0 | 80,5 | 93,6 | 78,8 | 101,1 | 85,3 |
| 6'       | 100                  | 1,0            | Σ M <sub>di</sub> f <sub>i</sub>  |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |       |      |

für drei Werkzeuge ausgegangen. Dabei verringert sich die Umfangsgeschwindigkeit um 26%. Dies hat eine Verringerung des Leistungsaufwandes von 10% bis 15% zur Folge. Aber auch aus landwirtschaft-

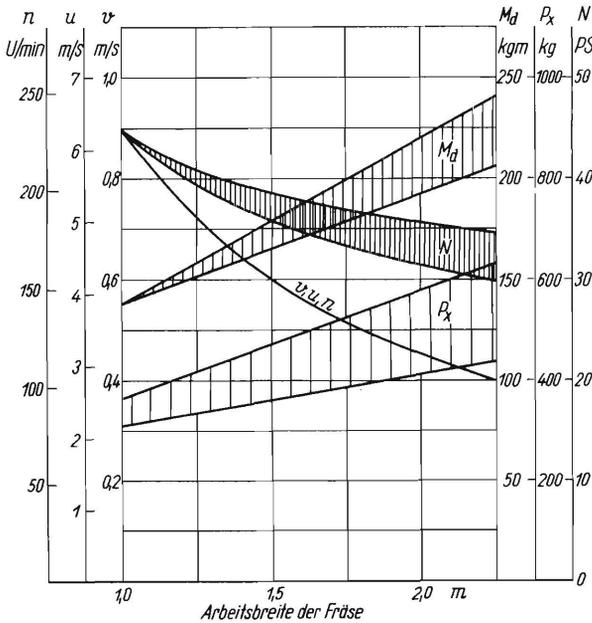




**Bild 69 und 70.** Drehzahl  $n$  und Umfangsgeschwindigkeit  $u$  der Fräsrollen in Abhängigkeit von der Bissenlänge  $l_B$  bei Kränzen mit vier bzw. sechs Werkzeugen auf dem Umfang (entsprechend zwei bzw. drei Werkzeugen in der Schnittebene).

Fahrgeschwindigkeit  $v = 0,6 \text{ m/s}$   
 Bissenlänge  $l_B = \frac{v \cdot 60}{n \cdot z} \text{ [m]}$

lichen Gründen kann eine Herabsetzung der Fräsrollendrehzahl und der Umfangsgeschwindigkeit wünschenswert sein, um den Boden nicht zu stark zu zerkleinern. Eine günstigere Festlegung der Fräsdaten ist bei Schleppern mit Kriechgängen möglich. Dabei können Fräsrollendrehzahl und Umfangsgeschwindigkeit auf einen für die erforder-

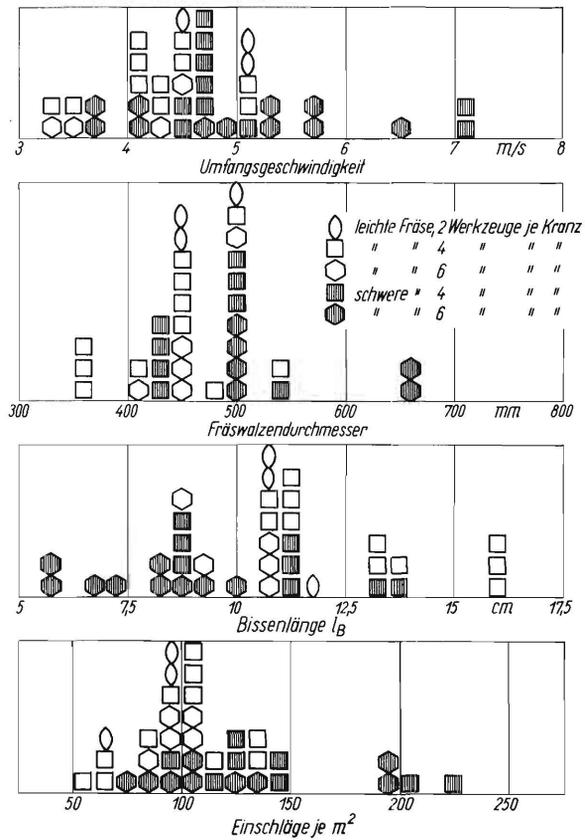


**Bild 71.** Geschwindigkeitsverhältnisse, Leistungsverbrauch und Schub von Fräsen gleicher Flächenleistung in Abhängigkeit von der Gesamtarbeitsbreite.

Bodenart: sehr schwerer, lehmiger Ton  
 konstante Flächenleistung  $N = 0,324 \text{ ha/h}$   
 Fräsrollenradius  $R = 260 \text{ mm}$   
 Verhältnis  $u/v = 7$   
 Bissenlänge  $l_B = 11,65 \text{ cm}$

liche Leistung günstigen Wert herabgesetzt werden. Gleichzeitig muß aber die Fräsenbreite im gleichen Verhältnis erhöht werden, damit die Flächenleistung der Fräse erhalten bleibt. Eine Grenze für die Fräsenbreite ist die Größe der von der Fräse auf den Schlepper ausgeübten Schubkräfte, die die Lenkung des Schleppers beeinträchtigen kann.

In Bild 71 ist unter Voraussetzung gleicher Flächenleistung graphisch dargestellt, wie sich eine Erhöhung der Fräsenbreite auf die Verringerung der Drehzahl  $n$  der Fräsrolle, den Leistungsverbrauch  $N$ , das Drehmoment  $M_d$  und die Schubkraft  $P_x$  auswirkt. Mit zunehmender Arbeitsbreite kann bei glei-



**Bild 72.** Konstruktive Daten an deutschen Ackerfräsen nach Feuerlein (s. Zahlentafel in diesem Heft).

Fräsen desselben Fabrikates mit verschiedener Arbeitsbreite, aber sonst gleichen Daten wurden nur einmal aufgeführt, Fräsen mit verstellbarer Drehzahl wurden unter ihren verschiedenen Umfangsgeschwindigkeiten, sonst nur einmal, aufgeführt.

cher Flächenleistung und gleicher Bissengröße die Fahrgeschwindigkeit  $v$  und damit die Umfangsgeschwindigkeit  $u$  und die Drehzahl  $n$  abnehmen. Dabei vergrößert sich aber das Drehmoment  $M_d$  der Fräsrolle und der Fräsenschub  $P_x$ . Nach unseren Messungen kann dieser Schub Werte bis zu 80% der Fräsenumfangskraft erreichen. Infolge der Drehzahlverringerung nimmt die Antriebsleistung  $N$  ab. Für den angenommenen Fall ist eine Arbeitsbreite von 1,6m anzustreben, bei der die Fräse beide Schlepperspuren überdeckt. Dabei ist der Leistungsaufwand  $N$  schon relativ stark verringert und das Dreh-

moment  $M_d$  und der Schub  $P_x$  noch nicht zu sehr angestiegen. Dieses Diagramm ist für eine Flächenleistung von 0,324 ha/h nach Messungen auf einem sehr schweren, lehmigen Tonboden aufgestellt. Ähnliche Diagramme kann man natürlich auch für geringere Flächenleistungen und für leichtere Böden ermitteln.

Wie unterschiedlich bisher die Fräsdaten ausgelegt sind, zeigt eine statistische Aufstellung verschiedener Fräsdaten von den in Deutschland zur Zeit auf dem Markt befindlichen leichten und schweren Ackerfräsen (Bild 72). Dabei bedeuten die offenen Symbole (Quadrate und Sechsecke) leichte Fräsen, wie Krümelfräsen, Rotorkrümler, Spateneggen usw., die schwarzen Symbole schwere Ackerfräsen. Bei den Sechsecken handelt es sich um Ausführungen mit 6 Messern, bei den Quadraten um Ausführungen mit 4 Messern auf dem Werkzeugkranz. Sämtliche Werte wurden mit Fahrgeschwindigkeiten von 0,8 m/s errechnet, mit Ausnahme von zwei Fräsen, die ausschließlich für Schlepper mit Kriechgang gedacht sind. Die Werte verteilen sich über einen weiten Bereich. Wenn man auch für verschiedene Böden verschiedene Drehzahlen und Fahrgeschwindigkeiten anstreben sollte, so kann man in diesem Bild noch keine eindeutigen Entwicklungstendenzen erkennen.

### Zusammenfassung

Bisher standen dem Fräsenkonstrukteur nur wenige Meßergebnisse über das erforderliche Drehmoment an Fräswerkzeugen verschiedener Form zur Verfügung. Eine Untersuchung der Drehmomente und der erforderlichen Arbeit an Fräsen mit verschiedenen Werkzeugformen auf dem Acker ist mit einem großen Aufwand verbunden. Aus diesem Grunde wurden die Drehmomente von Einzelwerkzeugen, deren geometrische Form systematisch variiert wurde, bei verschiedener Drehzahl und verschiedenen Einschlagbedingungen in der Bodenrinne gemessen. Dabei ergab sich, daß eine Verringerung der Fräswellendrehzahl von 200 U/min auf 100 U/min eine Verringerung der Drehmomente um 20% – 40% zur Folge hat. Die Arbeitsbreite von Winkelmessern soll nicht kleiner als 65 mm sein, da bei kleinerer Arbeitsbreite die spezifische Arbeit größer wird. Der Krümmungsradius der Winkelmesser soll 30 mm nicht unterschreiten. Bei einem Radius von 15 mm ergaben sich 30% bis 40% höhere Drehmomente als bei

30 mm Radius. Die geringsten Drehmomente ergaben sich ferner bei einem Schnittwinkel von 20°. Dieser Schnittwinkel muß auf die Zykloidenbahn bezogen und bei der größten, in Frage kommenden Fahrgeschwindigkeit der Fräse eingehalten werden. Auf jeden Fall muß aber ein genügender Freiwinkel vorhanden sein, damit eine Reibung an der Außenseite des Fräswerkzeugs vermieden wird. Es wurde eine Methode angegeben, nach der der effektive Schnittwinkel in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und Arbeitstiefe berechnet werden kann. Weiterhin wurden Ergebnisse von Drehmomentenmessungen an gummigefederten Winkelmessern und Spatenwerkzeugen mitgeteilt.

Die Werkzeuge sind auf der Fräswelle so anzuordnen, daß sie einzeln und mit gleichem Winkelabstand in den Boden einschlagen. Günstig ist eine Anordnung der Werkzeuge in einer steilen Spirale, bei der die Werkzeuge benachbarter Kränze immer um einen möglichst großen Winkel gegeneinander verdreht sind; hierdurch wird die Verstopfungsfahr verringert. Es wurde eine Methode zur Berechnung des Drehmomentenverlaufes bei verschiedener Werkzeuganordnung und unter Berücksichtigung der Einschlagbedingungen angegeben. Weiterhin sollen die Werkzeuge rechts und links von der Fräsenlängsachse so nacheinander einschlagen, daß sich möglichst kleine Momente und Impulsmomente um die Fräsenlängs- und -hochachse ergeben. Auch zu ihrer Berechnung wurde eine Methode mitgeteilt.

Eine Verringerung des Leistungsaufwandes durch Herabsetzung der Drehzahl kann durch Anordnung von sechs statt vier Werkzeugen auf einem Kranz erzielt werden. An Fräsen für Schlepper mit Kriechgang sollte man die Fräswellendrehzahl und die Fahrgeschwindigkeit herabsetzen und gleichzeitig die Fräsenbreite zur Erzielung gleicher Flächenleistung entsprechend erhöhen. Eine Fräsenbreite, die beide Schlepperspuren überdeckt, ist anzustreben. Eine Fräse mit einer 1,6 m-Arbeitsbreite erfordert gegenüber einer Fräse mit einer 1,0 m-Arbeitsbreite bei gleicher Flächenleistung eine um etwa 20% geringere Antriebsleistung. Eine statistische Auswertung der in Deutschland hergestellten Fräsen zeigt einen großen Streubereich der gewählten Fräsdaten. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit können bei der Wahl der Werkzeugform- und -anordnung wie auch bei der Festlegung der übrigen Fräsdaten von Nutzen sein.

Eingegangen am 30. 3. 1957

Institut für Landtechnische Grundlagenforschung  
der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode  
Direktor: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. W. Kloth

Anschrift des Verfassers: Dr.-Ing. Walter Söhne, (20b) Braunschweig, Bundesallee 50