

Technische Probleme bei Bodenfräsen

Von Walter Söhne und Roman Thiel

Bis heute ist das Pflügen diejenige Arbeit, bei der der Schlepper die höchsten Zugkräfte leisten muß. Dazu muß der Schlepper schwer sein. Der Bau leichter Schlepper ist erst dann möglich, wenn es gelingt, die aus der Gespannzeit stammenden, gezogenen Bodenbearbeitungsgeräte durch Werkzeuge zu ersetzen, die direkt vom Motor angetrieben werden. Das können rotierende Geräte, wie die Fräsen, und schwingende Werkzeuge sein. Leichtere Schlepper könnten billiger sein und würden eine noch größere Verbreitung finden.

Um einer Verwirklichung dieser Gedanken, die von Kloth schon vor einer Reihe von Jahren geäußert wurden, näherzukommen, wurden im *Institut für Landtechnische Grundlagenforschung* Untersuchungen an Fräsen (und an schwingenden Werkzeugen) begonnen¹⁾. Ihr Ziel ist es, die Bodenbearbeitung besser den durch den Schleppermotor gegebenen Möglichkeiten anzupassen und den Wirkungsgrad in der Kraftübertragung zwischen Schlepper und Bodenbearbeitungsgerät, der durch den Rollwiderstand und Schlupf der Schlepperräder nicht besonders gut ist, zu verbessern.

Wie schwierig jedoch diese Aufgabe ist, ergibt sich daraus, daß die rotierenden und schwingenden Werkzeuge in Wettbewerb mit dem Pflug, einem im Laufe der Jahrhunderte sehr verbesserten und klassisch einfachen Gerät, treten müssen, wenn man sich nicht darauf beschränken will, in den Fräsen nur Geräte zu sehen, die den Pflug unter besonderen Bodenverhältnissen ergänzen, nicht aber ersetzen können.

Auch die Fräsen haben schon eine längere Entwicklungszeit hinter sich. Im Jahre 1850 veröffentlichte der Engländer *Hoskins* eine Arbeit, in der er die Bodenbearbeitung mit rotierenden Werkzeugen in Form der Fräsen propagierte. Aber erst 50 Jahre später trat die Fräsenentwicklung durch die Arbeiten von *Konrad von Meyenburg* in ein praktisches Stadium. *Von Meyenburg* nahm ein Patent auf die von ihm erfundene elastische Kralle. Im Jahre 1911 nahmen die *Siemens-Schuckert-Werke* eine Lizenz von *von Meyenburg*. Seit 1915 beschäftigten sich

Holldack und seine Schüler in Bonn-Poppelsdorf mit den Fräsen. Nach dem ersten Weltkrieg erwarb *Siemens-Schuckert* ein Gut, auf dem unter Leitung von *Holldack* eine Reihe von Jahren Untersuchungen mit elektrischen und benzinangetriebenen Fräsen durchgeführt wurden. Gleichzeitig entwickelte die *Heinrich Lanz A.G.* ihren „Landbaumotor“, eine schwere Fräsmaschine. In der Folgezeit haben noch eine Reihe von Forschern sowie die Fräsenindustrie weitere Untersuchungen angestellt [1 bis 14]. Es wurden zunächst von *Siemens* die Gartenfräsen mit federnden Werkzeugen auf Grund der von *Meyenburgs* Patente weiterentwickelt und in großer Zahl gebaut. Demgegenüber hatten die Ackerfräsen noch keinen durchschlagenden Erfolg. Erst durch die Entwicklung der modernen, gummibereiften Ackerschlepper wurden von der Schlepperseite her die Voraussetzungen gegeben, daß die Ackerfräsen in den letzten Jahren wieder mehr auf dem Markt erscheinen und auch verkauft werden konnten.

Für den Mißerfolg der Ackerfräsen und des „Landbaumotors“ waren technische und landwirtschaftliche Gründe maßgebend. Der Landbaumotor mit starren Werkzeugen war zu schwer. Mit den Elektrofräsen der *Siemens-Schuckert-Werke* geriet die Entwicklung in ein falsches Gleis, jedenfalls soweit als Kraftquelle die Überlandleitung benutzt werden mußte.

Als landwirtschaftliche Gründe für den Mißerfolg der Ackerfräsen wurde das zu intensive Zerkleinern und Zerschlagen der Bodenkrümel und die davon herrührende Gefahr des Verschlämmens der Bodenoberfläche, besonders auf Sand-, Löß- und leichten Lehmböden, genannt. Doch ist diese Behauptung noch umstritten.

Eine Untersuchung der technologischen Vorgänge nach möglichen Verbesserungen ist das Hauptziel von Arbeiten, die u.a. von den *Instituten für Bodenbearbeitung* und *für Landtechnische Grundlagenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft* gemeinsam begonnen wurden. Darüber können aber z.Z. noch keine Aussagen gemacht werden.

Im folgenden sollen vielmehr ausschließlich technische und konstruktive Probleme an Fräsen behandelt werden. Technische Probleme bei Fräsen sind u.a.: zu hoher Verschleiß der Werkzeuge

¹⁾ Diese Untersuchungen wurden mit finanzieller Unterstützung der *BV-Aral A.G., Bochum*, durchgeführt, der dafür auch an dieser Stelle bestens gedankt sei.

und Bruch der Werkzeuge auf steinigem Boden, zu hoher Energieverbrauch der Fräse, Verstopfung der Werkzeuge auf feuchtem Boden.

Verschleiß und Bruch der Werkzeuge

sind zum Teil eine Werkstofffrage, die hier ebenfalls nicht näher erörtert werden soll. Immerhin sind erhebliche Fortschritte auf diesem Gebiet erzielt worden.

Weiterhin sind sie eine konstruktive Frage, wobei man in der Fräsenentwicklung grundsätzlich zwei verschiedene Wege geht:

1. Fräsen mit starren Werkzeugen. Hierbei empfiehlt es sich, Rutschkupplungen einzubauen, die die gesamte Fräsenwelle bei Überlast stillsetzen.
2. Fräsen mit federnden oder federnd aufgehängten Werkzeugen oder einzeln an Rutschkupplungen aufgehängten Werkzeugkränzen.

Es wurden bisher federnde Werkzeuge nach von Meyenburg, Werkzeuge mit Torsionsstab und Gummifedern nach Osthaus und mit Einzelrutschkupplung versehene Werkzeugkränze nach Fey gebaut. Der zusätzliche Aufwand hierfür ist nicht unbedeutend. Als Vorteil können sich hierbei aber leichtere und billigere Einzelwerkzeuge ergeben. Auf Grund ihres geringen Querschnitts haben diese Werkzeuge einen kleineren Schnittwiderstand im Boden und erfordern eine geringere Motorleistung. Ob federnde Werkzeuge auf Grund ihrer Federungseigenschaften eine geringere Leistungsaufnahme haben, muß noch durch Vergleichsmessungen nachgewiesen werden.

Wir glauben, daß beide Bauweisen für die verschiedenen Bodenarten und Bearbeitungsmethoden ihre Berechtigung haben.

Für die Bruchgefahr und den Schnittwiderstand bzw. die Leistungsaufnahme ist in gleicher Weise die Drehzahl als auch die Umfangsgeschwindigkeit der Fräsen von Bedeutung. Damit wird die wichtige Frage des Energieverbrauchs der Fräse angeschnitten.

Energieverbrauch der Fräse

Vergleicht man den Arbeitsaufwand zwischen Pflügen und Fräsen, so ergibt sich beim Fräsen ein erheblich höherer Aufwand. Für das Pflügen eines Hektar leichten Bodens bei 17 cm Furchentiefe benötigt man etwa 26 PSh am Zughaken. Unter Berücksichtigung des Schlupfes und Rollwiderstandes der Schlepperräder beträgt der Arbeitsaufwand etwa 50 PSh. Beim Fräsen benötigt man dagegen 45 bis 75 PSh, unter Berücksichtigung des Rollwiderstandes der Schlepperräder 60 bis 100 PSh, der Schlupf ist beim Fräsen im allgemeinen zu vernachlässigen. Man muß also beim Fräsen 20 bis 100% mehr Arbeit als beim Pflügen aufwenden. Bei schwerem Boden sind die Vergleichszahlen für das Pflügen 170 PSh und für das Fräsen 300 PSh, also 130% mehr. Aller-

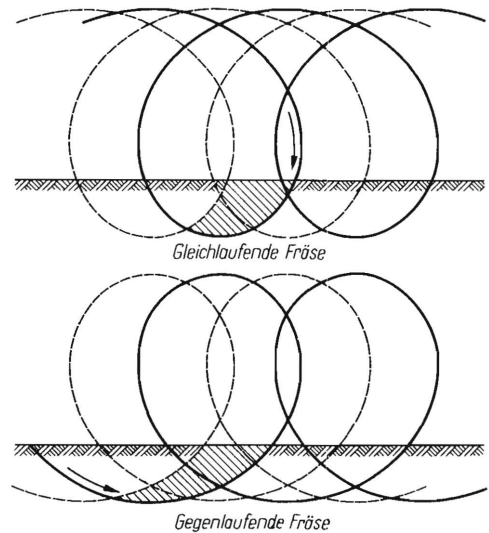


Bild 1. Zykloiden der Werkzeugschneiden einer gleichlaufenden und einer gegenlaufenden Fräse mit zwei auf einem Werkzeugkranz um 180° versetzten Werkzeugen.

dings erfordert ein schwerer Boden nach dem Pflügen erhebliche zusätzliche Nacharbeiten durch Walzen und Eggen, die bei diesem Vergleich nicht berücksichtigt wurden.

Man muß also bestrebt sein, den Energieverbrauch der Fräse zu senken; doch ist diese Frage nicht so überaus dringend. Vermutlich wird in Zukunft die Motorleistung der Schlepper bei gleichbleibendem Schleppergewicht weiterhin erheblich steigen. Ein Beispiel dafür ist der Hanomag R 35/45, dessen Zughakenleistung 35 PS beträgt, dessen Zapfwellenleistung aber auf 45 PS gesteigert wurde. Es werden also in Zukunft wahrscheinlich mehr PS je Hektar zur Verfügung stehen. Damit wird es also wichtiger sein, die Zahl der Arbeitsstunden je Hektar zu senken. Hierfür kann die Fräse, die den Acker in einem Arbeitsgang saattfertig macht, geeignet sein.

Ein entscheidender Weg, den Energieverbrauch der Fräse zu senken, ist es nun, die Fräsendrehzahl so weit wie möglich herabzusetzen. Man muß das optimale Verhältnis zwischen Fräsendrehzahl und Fahrgeschwindigkeit, bzw. bei einem konstanten Fräsenumfangs- und Fahrgeschwindigkeit, finden. Auch die Gefahr des Zerschlagens der Bodenkrümel spricht für eine Herabsetzung der Umfangsgeschwindigkeit der Fräswerkzeuge. Es ist jedoch nicht möglich, die Fräsendrehzahl beliebig herabzusetzen. Mit Rücksicht auf die Bissengröße, d. i. die bei einem Durchgang von einem Fräswerkzeug herausgeschnittene Bodenmenge, müßte dann auch die Fahrgeschwindigkeit des Schleppers entsprechend herabgesetzt werden. Damit würde die Flächenleistung, also die in der Zeiteinheit gefräste Fläche, entsprechend kleiner werden.

Die Größe und die geometrische Form der Bissen ergibt sich aus der Bahnkurve eines Fräswerkzeu-

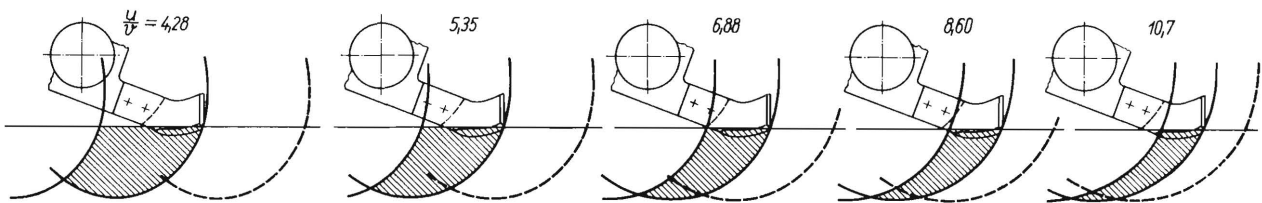


Bild 2. Fräsbissen bei verschiedenem Verhältnis von Umfangs- zu Fahrgeschwindigkeit.
Fräsensdurchmesser 52 cm u Umfangsgeschwindigkeit v Fahrgeschwindigkeit

ges. Diese Bahn entsteht aus der Überlagerung der Kreisbewegung der Fräse und der Vorwärtsbewegung des Schleppers. In **Bild 1** sind die Bahnkurven, die sogenannten Zykloiden, der Werkzeugschneiden einer gleichlaufenden Fräse, wie sie üblicherweise gebaut wird, und einer gegenlaufenden Fräse gezeichnet. Dabei handelt es sich um die Zykloiden zweier auf demselben Werkzeugkranz um 180° versetzter Werkzeuge. Aus der Zykloidenform und der Bearbeitungstiefe ergibt sich die Form und die Größe der Bissen. Für die Bissengröße ist nun das Verhältnis Fräsensdrehzahl zu Fahrgeschwindigkeit und bei einem bestimmten Fräsenradius Umfangsgeschwindigkeit zu Fahrgeschwindigkeit maßgebend (**Bild 2**). Je größer das Verhältnis Umfangsgeschwindigkeit zu Fahrgeschwindigkeit ist, umso kleiner werden die Bissen. Auf einem feuchten, schon etwas plastischen, bindigen Boden, also beispielsweise einem lehmigen Tonboden, ist die Bissengröße auch maßgebend für die Schollen- und Krümelgrößen, die nach dem Fräsen verbleiben. Auf einem leichten, lehmigen Sandboden spielt die Bissengröße dagegen keine wesentliche Rolle für die Schollen- und Krümelgrößen. Die Schollen- und Krümelanalyse ist eine wichtige Methode für die Beurteilung des Arbeitserfolges einer Fräsarbeit. Das *Institut für Bodenbearbeitung der FAL*, mit dem wir bei der Untersuchung der Fräsen zusammenarbeiten, hat begonnen, Krümel- und Schollensiebanalysen zur Beurteilung der Güte der Fräsarbeit durchzuführen.

Aus **Bild 2** ist aber auch zu entnehmen, welche geringste Fräsensdrehzahl bei einer gegebenen Fahrgeschwindigkeit gerade noch tragbar ist. Bei $u/v = 4,28$ muß bereits ein erheblicher Teil der Werkzeughalterung den Boden durchwühlen.

Bild 3 (oben) zeigt die Furchensohle bei einer Drehzahl der Fräswelle von 159 U/min und einer Fahrgeschwindigkeit von 0,8 m/s und **Bild 4** die bei einer Drehzahl von 204 U/min und einer Fahrgeschwindigkeit von 0,6 m/s. In der Furchensohle von **Bild 3** (oben) zeichnen sich die aufeinanderfolgenden Zykloiden der einzelnen Werkzeuge ganz deutlich ab, während sie in **Bild 4** (unten) infolge der größeren Drehzahl und des kleineren Vorschubs verschwinden. Die Landwirte müssen nun entscheiden, ob eine solche unebene Furchensohle vorteilhafter ist als eine ebene Pflugsohle.

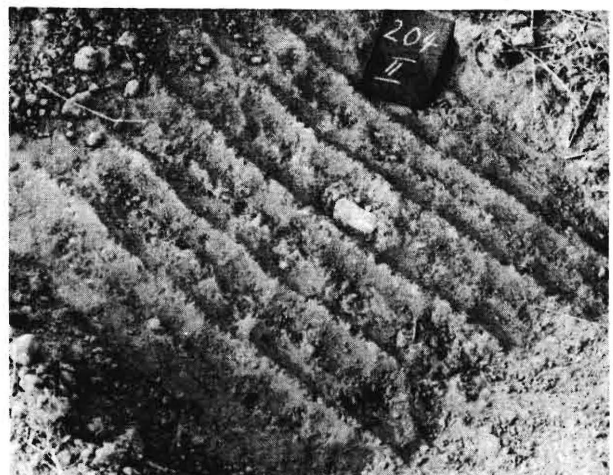


Bild 3 und 4. Furchensohlen oben bei 159 U/min Fräsensdrehzahl und 0,8 m/s Fahrgeschwindigkeit und unten bei 204 U/min und 0,6 m/s.

Leistungsmessungen an Fräsen

Bei unseren Untersuchungen wurden die Fräsensdrehmomente und die aufgenommene Leistung mit Dehnungsmeßstreifen und Oszillographen bei verschiedenen Fräsensdrehzahlen und Fahrgeschwindigkeiten gemessen. Dazu diente eine Fräse der *Rotenburger Metallwerke*, bei der durch austauschbare Zahnräder des Kettentriebs die Fräsensdrehzahl variiert werden konnte. **Bild 5** zeigt schematisch die Anordnung der Fräse und der Meßgeräte hinter dem Schlepper.

In **Bild 6 bis 8** sind Ausschnitte aus den Oszillogrammen wiedergegeben. Sie sollen eine Vorstellung von den mit Dehnungsmeßstreifen festge-

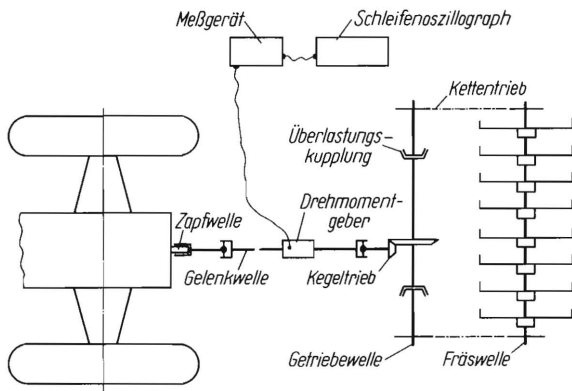


Bild 5. Die Messgeräteanordnung beim Messen der Drehmomente in der Gelenkwelle zwischen Fräse und Schlepper.

stellten Beanspruchungen vermitteln. **Bild 6 bis 8** zeigt die Drehmomente in der Gelenkwelle beim Fräsen eines schweren, lehmigen Tonbodens bei verschiedener Fahrgeschwindigkeit. Auf der Abszisse sind die Zeit in Sekunden und die Umdrehungen der Getriebewelle registriert. Die Ordinate gibt die Größe der Drehmomente in kgm wieder. Sie schwanken um einen Mittelwert, der bei einer Geschwindigkeit von 0,4 m/s bei

40 kgm, bei 0,6 m/s bei 60 kgm und bei 0,8 m/s bei 80 kgm liegt. Diese Schwankungen treten als Schwingungen und Schwingungsbeanspruchungen auf. Wie aus dem Protokoll zu der Messung in **Bild 6** hervorgeht, war die Fräse leicht verstopft. Solche Verstopfungen wirken sich besonders ungünstig für einen gleichmäßigen Drehmomentenverlauf aus.

Durch eine Schwingungsanalyse läßt sich feststellen, ob zwischen der Frequenz dieser Schwingungen und den verschiedenen an der Fräse und dem Schlepper auftretenden Drehzahlen eine Resonanz besteht. **Bild 9** zeigt Beanspruchungsschwankungen bei geringer Frästiefe, die einmal dieselbe Frequenz wie die Gelenkwelldrehzahl und auf demselben Schrieb gleichzeitig die doppelte Frequenz wie die Gelenkwelldrehzahl haben. Bekanntlich treten in einer abgekröpften Gelenkwelle Beschleunigungen und Verzögerungen mit der doppelten Gelenkwelldrehzahl auf, die mit ansteigendem Kröpfwinkel quadratisch zunehmen. Man muß also bei der Fräse wie bei allen Landmaschinen bestrebt sein, diesen Winkel nicht über einen bestimmten Bereich ansteigen zu lassen. In **Bild 10** ist ein Meßschrieb wiedergegeben, bei dem eine Schwebung der Beanspruchungsschwankungen auftritt. Eine Schwingungsanalyse ergab, daß diese Schwebung die gleiche Frequenz hat wie die Differenz aus der doppelten Gelenkwelldrehzahl und der vierfachen Fräswelldrehzahl. Allerdings bleiben diese Resonanzerscheinungen und die dabei auftretenden Beanspruchungen erheblich unter den Drehmomenten, die bei größerer Schnittiefe auf schwerem, lehmigem Ton auftreten. Der Konstrukteur muß aber darüber Bescheid wissen und evtl. darauf Rücksicht nehmen. In **Bild 11** ist schließlich eine Beanspruchungsschwankung wiedergegeben, die die vierfache Frequenz der Fräswelldrehzahl hat.

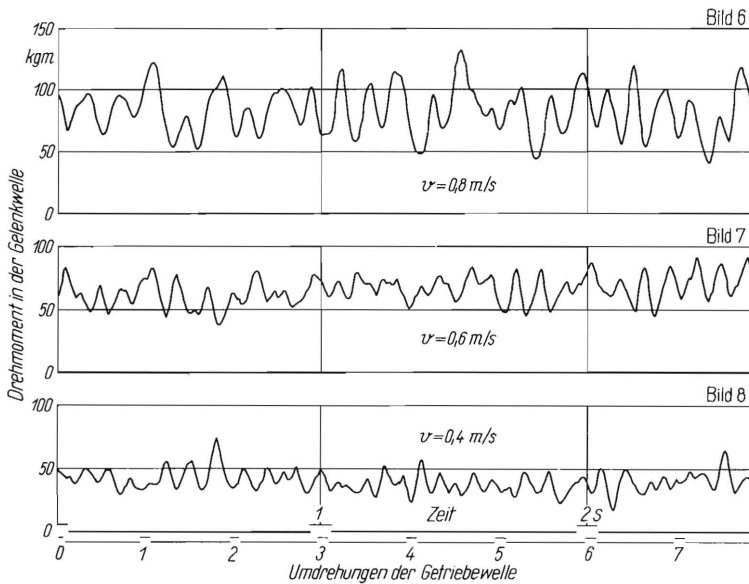


Bild 6 bis 8. Messschriebe der Drehmomente in der Gelenkwelle bei drei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten auf schwerem, lehmigem Ton.

Drehzahl der Gelenkwelle $n = 440$ U/min
Drehzahl der Fräswelle $n = 156$ U/min
 v Fahrgeschwindigkeit

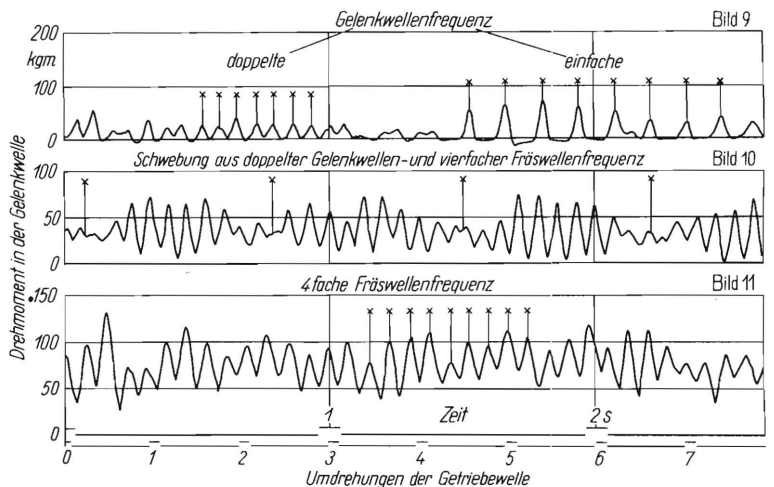


Bild 9 bis 11. Periodische Schwankungen der Drehmomente in der Gelenkwelle bei verschiedenen Beanspruchungen und Fräswellenuntersetzungen.

Diese Frequenz ist bei unseren Messungen am häufigsten zu beobachten. Durch eine günstige Anordnung der Fräs Werkzeuge auf dem Umfang kann man, wie weiter unten gezeigt wird, versuchen, diese Schwingung herabzusetzen.

In Bild 12 bis 14 sind schließlich einige Meßschriebe mit Beanspruchungsspitzen wiedergegeben. Bei dem Meßschrieb in Bild 12 handelt es sich um zwei durch Steine im Boden verursachte Drehmomentspitzen. Der Schrieb in Bild 13 zeigt eine Anlaufspitze bei lehmigem Ton. Hierbei lag die Fräse auf dem Boden auf und wurde gleichzeitig mit dem Anfahren in Umdrehung versetzt. Die Fräse mußte sich zunächst in den Boden einarbeiten. Das Ablassen der Fräse erfolgte zunächst nur bis zur halben Schnittiefe und nach dem Einarbeiten bis zur endgültigen Schnittiefe. Trotz dieses stufenweisen Absenkens waren die Drehmomente außerordentlich hoch. Der Schleppermotor wurde bei diesem schweren, lehmigen Ton beinahe abgewürgt, und es dauerte ziemlich lange, bis die endgültige Drehzahl erreicht war. Auf lehmigem Sand, in Bild 14, waren die Beanspruchungen zwar auch relativ hoch, dauerten aber nur eine sehr kurze Zeit, d. h., der Schleppermotor konnte sie mit eigener Schwungkraft ohne weiteres aufnehmen. Messungen dieser Art und eine aus allen Messungen gewonnene Häufigkeitsverteilung der Beanspruchungsspitzen sind besonders wichtig für die Dimensionierung der Gelenkwelle und der Schlepperzapfwelle.

Aus einer großen Anzahl solcher Messungen wurde nun Bild 15 gewonnen, in dem die mittleren Drehmomente in der Gelenkwelle in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit auf einem leichten, lehmigen Sand und einem schweren, lehmigen Ton wiedergegeben sind. Die Arbeitsbreite betrug bei allen Versuchen 1 m, die Arbeitstiefe bei den im folgenden besprochenen Versuchen 13 cm. Jeder Meßwert bedeutet den Mittelwert eines Fräsweges von 6 m. Aus dem Bild ist zu entnehmen, wie stark diese Mittelwerte noch streuen, aber auch wieviel größer die erforderliche Leistung auf dem schweren, lehmigen Ton gegenüber dem leichten, lehmigen Sandboden war. Wenn die Fahrgeschwindigkeit ansteigt, muß bei gleichbleibender Drehzahl auch die Bissengröße zunehmen. Entsprechend steigt etwa linear mit der Fahrgeschwindigkeit das erforderliche Drehmoment und die erforderliche Leistung.

In den folgenden Bildern 16 bis 20 sind nur noch die Kurvenmittelwerte aus solchen Streubereichen

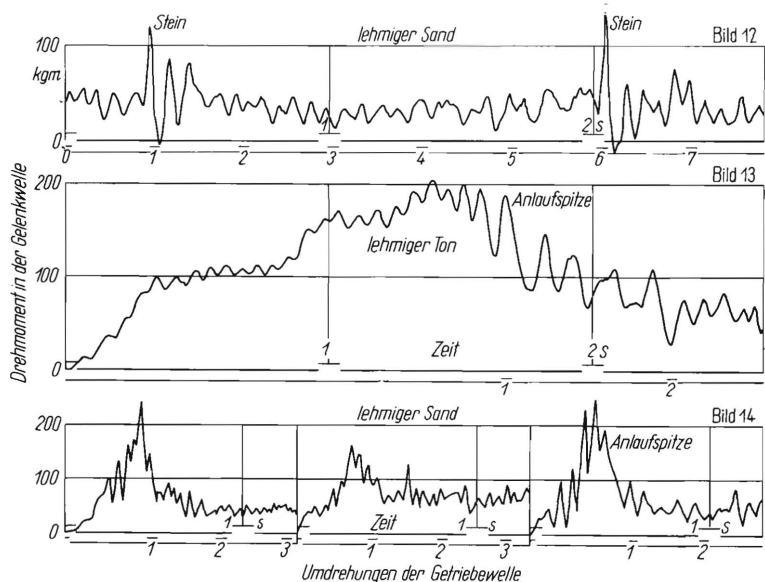


Bild 12 bis 14. Messschriebe mit Beanspruchungsspitzen beim Auftreffen auf Steine und beim Anlaufen der Fräse.

wiedergegeben. Vor einer Besprechung der Ergebnisse ist es zweckmäßig, die Problemstellung vorwegzunehmen: Die Umdrehungszahlen der Fräse sollen so gewählt werden, daß der Energieverbrauch der Fräse möglichst niedrig ist; das läßt sich durch niedrige Drehzahlen erreichen. Der Leistungsverbrauch ist jedoch nicht allein entscheidend für die günstigste Fräsendrehzahl. Mit kleiner werdender Fräsendrehzahl steigen nämlich die Bissengrößen und somit die Drehmomente der Fräswelle. Sie dürfen aus technischen und landwirtschaftlichen Gründen nicht über ein bestimmtes Maß hinausgehen.

Bild 16 zeigt die Drehmomente in der Gelenkwelle zwischen Schlepper und Fräse in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei verschiedener Fräs wellendrehzahl. Gleichzeitig ist aber auch die aufgenommene Leistung wiedergege-

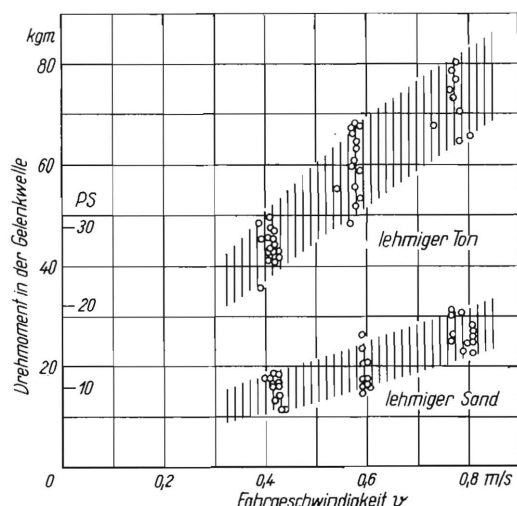


Bild 15. Mittelwerte der Drehmomente der Gelenkwelle in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit.

Drehzahl der Fräswelle $n = 156$ U/min
Arbeitsbreite $b = 100$ cm
Arbeitstiefe $t = 13$ cm

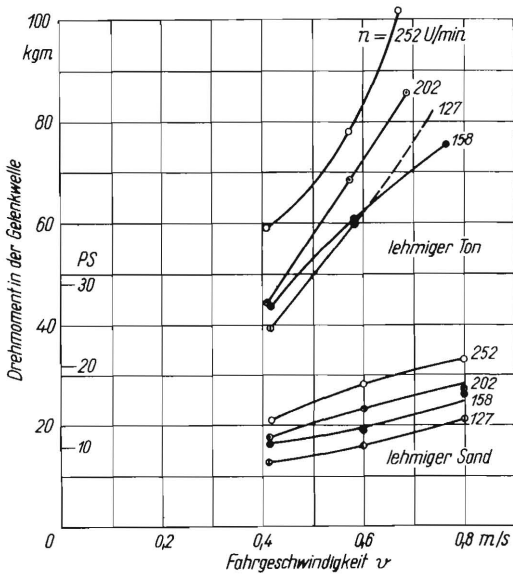


Bild 16. Drehmomente in der Gelenkwelle in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei verschiedenen Fräswellendrehzahlen.
 n Drehzahl der Fräsquelle
Arbeitsbreite $b = 100$ cm
Arbeitstiefe $t = 13$ cm

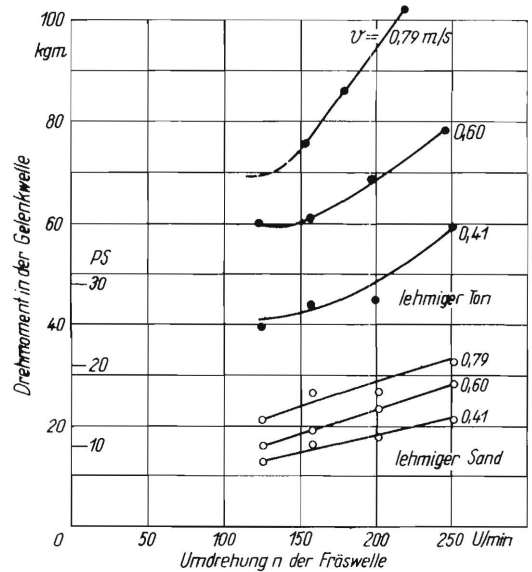


Bild 17. Drehmomente in der Gelenkwelle in Abhängigkeit von der Fräswellendrehzahl bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten.
 v Fahrgeschwindigkeit
Arbeitsbreite $b = 100$ cm
Arbeitstiefe $t = 13$ cm

ben, da die Drehzahl der Zapfwelle annähernd gleich bleibt. Daher ist an die Ordinate außer dem Maßstab des Drehmomentes in der Gelenkwelle auch der Maßstab der entsprechenden Leistung angetragen. Lediglich im oberen Drehmomentbereich erfolgte ein beträchtliches Absinken der Motordrehzahl, so daß dort die Leistung nicht mehr proportional mit den Drehmomenten ansteigt. Bild 16 läßt wieder den beträchtlichen Unterschied zwischen dem Leistungsaufwand auf leichtem und schwerem Boden erkennen. Der Leistungsaufwand

ist bei niedriger Drehzahl also am geringsten. Bild 17 sagt nun dasselbe aus wie Bild 16; denn hier ist das Drehmoment der Gelenkwelle und, proportional dazu, die erforderliche Motorleistung in Abhängigkeit von der Fräswellendrehzahl bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten wiedergegeben. Auch hier zeigt sich bei den verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten ein Ansteigen der Drehmomente der Gelenkwelle mit der Fräswellendrehzahl. Aus Bild 17 geht aber auch hervor, daß man die Drehzahl der Fräsquelle nicht beliebig herabsetzen darf, da die Bissen bei niedriger Drehzahl zu groß werden und das Drehmoment schließlich wieder ansteigt. Das ist besonders bei schwerem Boden deutlich.

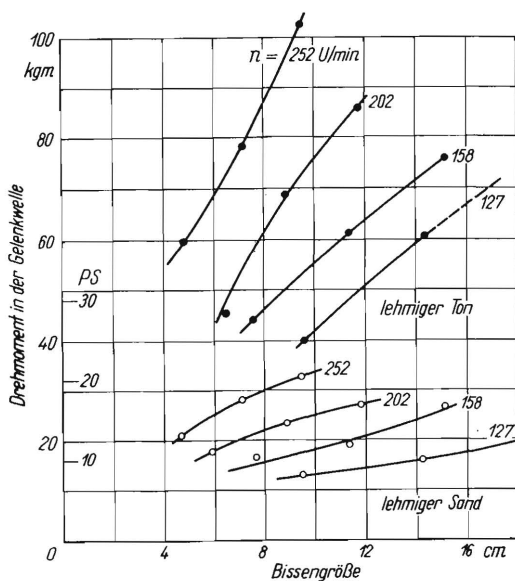


Bild 18. Drehmomente in der Gelenkwelle in Abhängigkeit von der Bissengröße bei verschiedenen Fräswellendrehzahlen.
 n Drehzahl der Fräsquelle
Arbeitsbreite $b = 100$ cm
Arbeitstiefe $t = 13$ cm

In Bild 18 sind schließlich das Drehmoment der Gelenkwelle und, proportional dazu, die erforderliche Motorleistung in Abhängigkeit von der Bissengröße bei verschiedener Drehzahl der Fräsquelle aufgetragen. Dieselbe Bissengröße von beispielsweise 10 cm läßt sich also mit erheblich geringerem Leistungsaufwand bei niedriger Drehzahl als bei hoher Drehzahl erzielen. Wie gesagt, ist aber ein Herabsetzen der Drehzahl bei konstanter Fahrgeschwindigkeit mit einer Erhöhung der Bissengröße verbunden. Will man die Bissengröße konstant halten, so muß mit kleiner werdender Drehzahl auch die Fahrgeschwindigkeit verringert werden. Das führt aber zu einer geringeren Flächenleistung.

Während Bild 16 bis 18 die Drehmomente der Gelenkwelle wiedergaben und bei gleichbleibender Drehzahl der Gelenkwelle ein Maßstab für die aufgenommene Leistung waren, werden in Bild 19 die Drehmomente der Fräsquelle in Abhän-

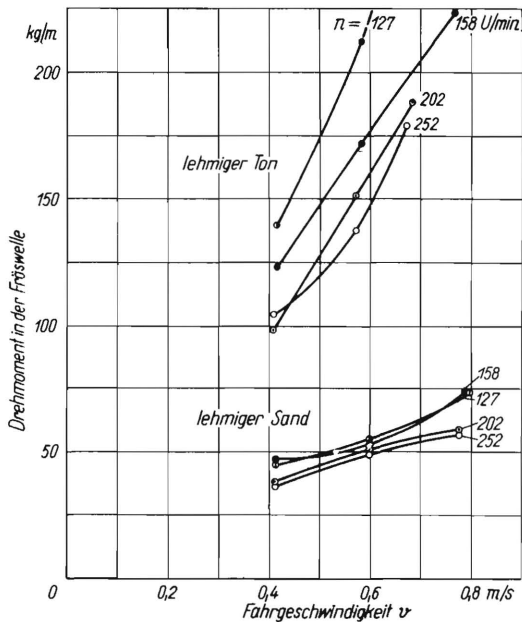


Bild 19. Drehmomente in der Fräswelle in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei verschiedenen Fräswellendrehzahlen.
n Drehzahl der Fräswelle
Arbeitsbreite $b = 100\text{cm}$
Arbeitstiefe $t = 13\text{cm}$

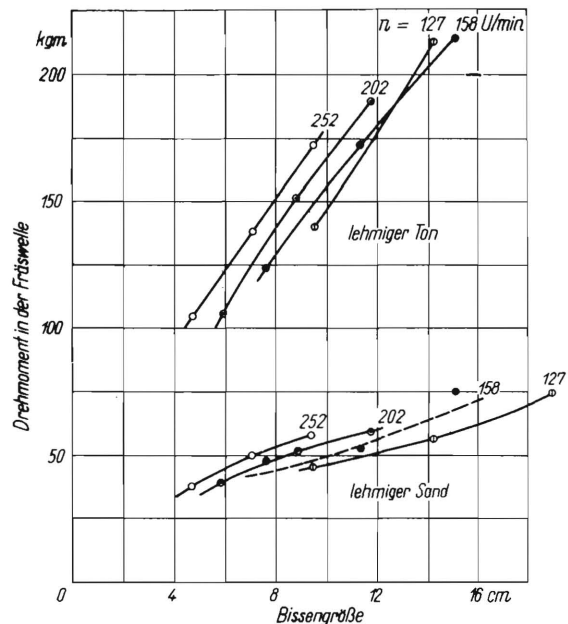


Bild 20. Drehmomente in der Fräswelle in Abhängigkeit von der Bissengröße bei verschiedenen Fräswellendrehzahlen.
n Drehzahl der Fräswelle
Arbeitsbreite $b = 100\text{cm}$
Arbeitstiefe $t = 13\text{cm}$

gigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei verschiedener Drehzahl untersucht. Sie sind bei niedriger Drehzahl infolge der größeren Bissen größer als bei hoher Drehzahl! Auch die geringeren Beschleunigungskräfte auf dem Boden bei niedriger Drehzahl können das nicht wettmachen. Mit den höheren Drehmomenten der Fräswelle steigen aber die Bodenkräfte an der Fräswelle und damit die Reaktionskräfte der Fräse auf den Schlepper an. Besonders schwer zu beherrschen ist dabei die Vorschubkraft, die die Fräse auf den Schlepper ausübt und die vor allem die Lenkeigenschaft des Schleppers beeinträchtigt.

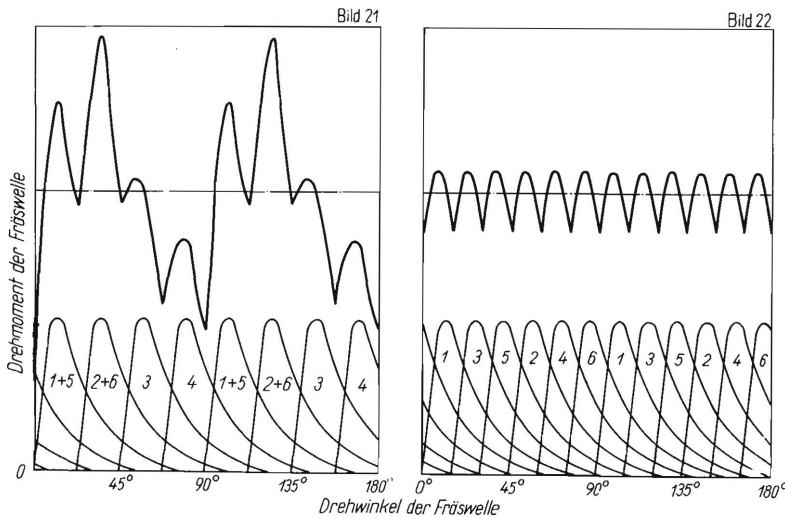
In **Bild 20** sind schließlich die Drehmomente der Fräswelle in Abhängigkeit von der Bissengröße bei verschiedenen Drehzahlen der Fräswelle wiedergeben. Es zeigt sich, daß gleich große Bissen bei niedrigerer Drehzahl mit kleinerer Kraft aus dem Boden herausgeschnitten werden können als bei hoher Drehzahl.

Aus diesen Messungen geht folgendes hervor: Mit Rücksicht auf die erforderliche Motorleistung sollte die Drehzahl der Fräse herabgesetzt werden. Mit Rücksicht auf die Drehmomente der Fräswelle, mit Rücksicht auf die Bissengröße und die Reaktionskräfte der Fräse auf den Schlepper kann man dies jedoch nicht zu weit treiben. Der Konstrukteur muß einen günstigen Kompromiß zwischen den beiden Forderungen schließen. Dieser scheint m.E. bei einem Verhältnis von Umfangs- zu Fahrgeschwindigkeit von etwa 5 bis 6 zu liegen. Das gilt für einen Fräswelldurchmesser von 50 cm. Dabei muß der Konstrukteur auch die Fräsbreite mit

in die Überlegungen einbeziehen. Man kann z.B. Fräsendrehzahl und Schleppergeschwindigkeit proportional herabsetzen, gleichzeitig aber die Fräsbreite erhöhen. In diesem Falle sind es wieder die Reaktionskräfte der Fräse auf den Schlepper, also der Schub der Fräse, die die Breite begrenzen. Wir glauben, daß es später möglich sein wird, in Schaubildern alle diese Beziehungen zu erläutern und die optimalen Verhältnisse daraus ablesen zu können. Dazu sind aber noch Messungen der Reaktionskräfte der Fräse auf den Schlepper nötig.

Die Anordnung der Fräswerkzeuge

Von besonderer Bedeutung für einen einigermaßen gleichmäßigen Drehmomentenverlauf ist die Art, wie die Fräswerkzeuge auf der Fräswelle angeordnet sind und wie sie nacheinander den Boden durchschneiden. In **Bild 21** sind unten die Drehmomente von Einzelwerkzeugen etwas schematisiert aufgetragen. Wenn ein einzelnes Werkzeug in den Boden einschneidet, so steigt die erforderliche Schnittkraft zunächst steil an und fällt dann, sobald sich die ersten Risse im Boden bilden, relativ schnell wieder ab. Die Werkzeuge müssen so auf der Welle angeordnet werden, daß sich möglichst ein Ausgleich dieser Drehmomentspitzen während einer Umdrehung ergibt. Es handelt sich in **Bild 21** und **22** um eine Fräse mit sechs Werkzeugkränzen mit je vier Einzelwerkzeugen, von denen jeweils zwei um 180° versetzte Werkzeuge nach links und die anderen beiden nach rechts abgebogen sind. Dann müssen 6 Einzelwerkzeuge auf einem Drehsektor von 90° verteilt werden. Das kann etwa in der Weise



nur um + 7,5% und im Minimum - 14% vom Mittelwert abweicht. Ein Abweichen von der Forderung nach gleichmäßiger Werkzeugverteilung auf die Fräsenbreite kann also zu außerordentlichen Schwankungen des Drehmomentes führen.

Bild 21 und 22. Einzeldrehmomente von Werkzeugen und daraus zusammengesetzte Drehmomente einer Fräswelle mit 6 Werkzeugkränzen bei verschiedenen Werkzeuganordnungen über einer halben Umdrehung.

geschehen, wie in Bild 21 dargestellt ist. Hierbei sind die Werkzeuge zweier benachbarter Kränze jeweils um $22,5^\circ$ gegeneinander verdreht, so daß die Werkzeuge der Kränze 1 und 5 sowie 2 und 6 zusammen und die Werkzeuge der Kränze 3 und 4 je einzeln den Boden durchschneiden. Eine Addition der Drehmomente der einzelnen Werkzeuge ergibt die Drehmomentenverteilung in Bild 21 oben. Dabei ergibt sich durch die Überlagerung der zwei Werkzeuge 1 und 5 sowie 2 und 6 ein Drehmomentmaximum von 150% des Mittelwertes, während das Minimum am Ende der einzeln einschlagenden Werkzeuge 3 und 4 nur 50% des Mittelwertes ausmacht. In Bild 22 sind ebenfalls sechs Werkzeuge mit einem gleichmäßigen Abstand von 15° auf einem Sektor von 90° angeordnet. Eine Überlagerung der einzelnen Drehmomente ergibt einen Verlauf, der im Maximum

In Bild 23 oben sind die Werkzeuge einer Fräse mit sieben Drehkränzen mit gleichmäßigem Winkelabstand auf einem Sektor von 90° verteilt. Dann ergibt sich die Frage, in welcher Reihenfolge die Werkzeuge der sieben Fräskränze nacheinander in den Boden einschlagen sollen. Das kann etwa in der in Bild 23 links unten gezeichneten Weise, in Form einer flachen Spirale, geschehen, bei der jedes Werkzeug von seinem benachbarten um $12,9^\circ$ verdreht ist. Diese Anordnung hat aber den Nachteil, daß die Werkzeuge auf zwei benachbarten Kränzen jeweils nur um $12,9^\circ$ gegeneinander verdreht sind. Dabei kann das Aufbrechen des Bodens bei einem Werkzeug das Aufbrechen bei dem benachbarten Werkzeug noch ungünstig beeinflussen. Außerdem besteht bei feuchtem Boden oder bei Boden mit Stoppeln und Stallmist die Gefahr des Verstopfens. Das Verstopfen der Fräsen tritt bereits bei einer Feuchtigkeit auf, bei der man den Boden noch pflügen kann, d.h., die Feuchtigkeitsgrenze nach oben ist bei der Fräse etwas früher als beim Pflug erreicht. In diesem Zusammenhang muß auch die Forderung erhoben werden, daß der innere Raum der Fräswalze möglichst frei von Störkörpern sein muß. Man konnte beobachten, daß die Verstopfung in Form von Erdbrücken mit Stoppelresten von den Sechskantschrauben und Muttern ausging, mit denen die Werkzeuge an dem Werkzeugkranz gehalten waren. Es ist nun sehr einfach, die Sechskantschrauben durch Senkschrauben zu ersetzen, bei denen dann wenigstens auf einer Seite keine Störung mehr durch den Schraubenkopf entsteht. Um die Verstopfungsgefahr möglichst klein zu halten, sollen zwei benachbarte Werkzeuge um einen möglichst großen Winkel gegeneinander verdreht sein. Der größte Drehwinkel, der erreicht werden kann, ist 45° . Das steht aber mit der ersten Forderung in Widerspruch, daß niemals zwei Werkzeuge gleichzeitig in den Boden schneiden sollen. In Bild 23 rechts unten ist die optimal erreichbare Lösung für eine Fräse mit sieben Werkzeugkränzen aufgezeichnet. Hierbei

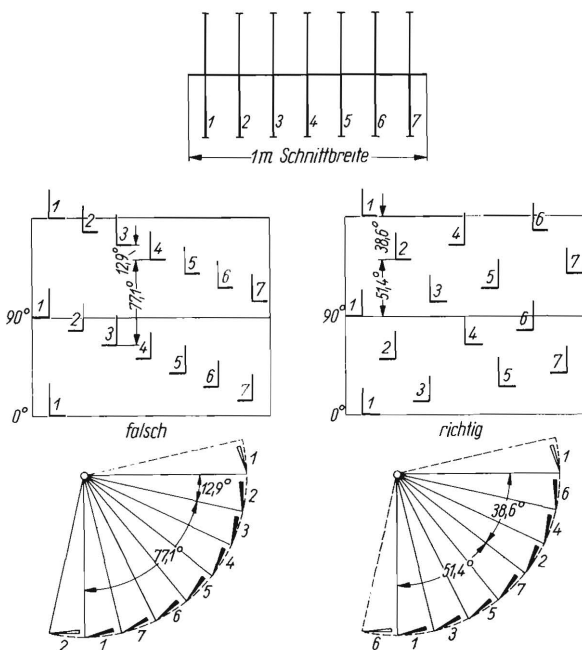


Bild 23. Optimale Anordnung der Werkzeugkränze einer Fräswelle mit 7 Kränzen bei gleichmäßiger Einschlagfolge und möglichst grossem Abstand zweier benachbarter Werkzeuge (rechte Darstellung). Als Vergleich eine weniger günstige Anordnung (linke Darstellung).

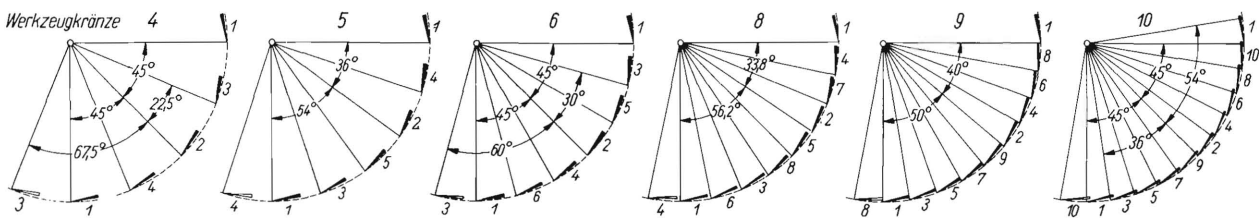


Bild 24. Optimale Anordnung der Werkzeugkränze von Fräswellen mit 4 bis 10 Kränzen.
Die Zahlen an den Werkzeugschneiden bedeuten die Nummern der Kränze (s. Bild 23)

sind zwei benachbarte Werkzeuge jeweils um $38,6^\circ$ bzw. $51,4^\circ$, also relativ nahe bei 45° , gegeneinander verdreht; gleichzeitig folgt aber ein Werkzeug dem anderen immer um den gleichen Drehwinkel von $12,9^\circ$; niemals schlagen zwei Werkzeuge gleichzeitig in den Boden hinein.

In Bild 24 sind die Werkzeuganordnungen für Fräsen mit verschiedener Anzahl von Werkzeugkränzen wiedergegeben. Die Zahlen an den Werkzeugspitzen bedeuten immer die Nummer des Werkzeugkranzes. Bei vier Kränzen beträgt der Winkel zwischen zwei aufeinander folgenden Werkzeugen $22,5^\circ$. Der Winkel zwischen zwei benachbarten Werkzeugen, etwa des Kranzes 1 und 2, ist 45° , allerdings ist dann der Abstand des Kranzes 2 und 3 nur $22,5^\circ$. Diese Anordnung ist also nicht übermäßig günstig. Jedoch werden vier Werkzeugkränze im allgemeinen nur bei Fräsen mit Mitteltrieb verwendet und in diesem Falle würde man die beiden Fräskränze, die nur $22,5^\circ$ gegeneinander verdreht sind, auf beiden Seiten des Mitteltriebs anordnen. Bei fünf Werkzeugkränzen beträgt der Winkel zwischen zwei benachbarten Werkzeugen 36° bzw. 54° . Bei der Anordnung mit sechs Werkzeugkränzen beträgt der Winkel zwischen zwei aufeinander folgenden Werkzeugen 15° und der Winkel zwischen zwei benachbarten Werkzeugen entweder 45° , wie zwischen 1 und 2, oder 30° , wie zwischen 2 und 3. Auch bei sechs Werkzeugkränzen ist also keine günstigere Lösung möglich. Die Lösung bei sieben Werkzeugkränzen wurde bereits auf Bild 23 angegeben. Es folgen dann noch die optimalen Lösungen für Fräsen mit acht bis zehn Werkzeugkränzen, die die beiden Forderungen erfüllen:

1. zwei aufeinanderfolgende Werkzeuge sollen immer um den gleichen Winkel gegeneinander verdreht sein, der sich aus 90° , dividiert durch die Zahl der Werkzeugkränze, ergibt, und
2. zwei benachbarte Werkzeuge sollen immer um einen möglichst großen Winkel nahe bei 45° gegeneinander verdreht sein.

Diese Forderung soll man auch streng einhalten, wenn es sich um breite Fräsen mit 11 bis 15 Werkzeugkränzen handelt. Nur auf diese Weise ist ein relativ gleichmäßiger Drehmomentverlauf der Fräsen gewährleistet. Untersucht man die verschiedenen auf dem Markt erschienenen Fräsen, so kann man mehr oder weniger große Abweichungen hiervon beobachten.

Wie aus Messungen bekannt ist, haben Messerseehe beim Pflügen einen relativ hohen Zugwiderstand. Ganz analog dazu haben die sechartigen Halterungen der Fräswerkzeuge ebenfalls einen relativ hohen Schnittwiderstand. Es wäre günstiger, wenn die Halterung eines Werkzeuges erst dann den Boden durchschneidet, wenn der Boden bereits durch das Werkzeug selbst aufgebrochen und aufgelockert ist. Das ist beispielsweise bei Gänsefußscharen der Fall, die erst hinter dem Werkzeug gehalten werden. Es wurden daher Versuche mit Fräswerkzeugen dieser Ausführung gemacht (Bild 25). Dabei waren wir uns natürlich der Gefahr bewußt, daß diese Werkzeuge besonders leicht zum Verstopfen neigen. Das zeigt sich dann auch bei einem Stoppelacker mit relativ langen Stoppeln (Bild 26). Allerdings trat ein solch starkes Verstopfen wie in diesem Bild nur bei einer relativ hohen Fahrge-



Bild 25 und 26. Versuchsfräse mit gänsefußscharartigen Werkzeugen, unten durch lange Stoppeln bei hoher Fahrgeschwindigkeit verstopfte Fräswalze.

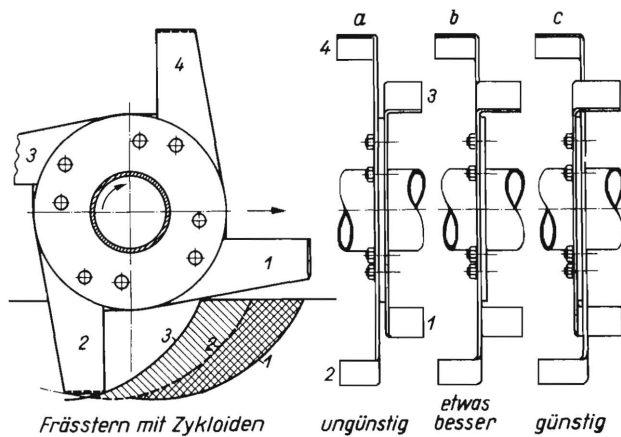


Bild 27. Verschiedene Anordnung der Werkzeughalterung auf einem Kranz unter Berücksichtigung des Schnittwiderstandes am Werkzeugstiel.

schwindigkeit von 0,8 m/s auf. Bei 0,4 m/s wurden die Stoppeln durchgeschlagen. Man kann also solche Gänsefußschar nur auf Böden mit wenig Pflanzenrückständen und ohne Stallmist einsetzen. Bei einer amerikanischen Fräse, dem „Landmaster“, werden Gänsefußscharwerkzeuge benutzt, bei denen der Halterungsstiel vorn bis zur Scharspitze vorgezogen ist. Damit dürfte aber der Vorteil von gänsefußscharartigen Werkzeugen infolge des Stielwiderstandes zum größten Teil wieder aufgehoben sein. Obwohl der Werkzeugstiel einen beträchtlichen Anteil am Schnittwiderstand des Werkzeuges hat, trägt er wenig zur Zertrümmerung des Bodens bei. Die wesentliche Zerkleinerungsarbeit wird von dem abgebogenen Messer geleistet. Man muß also bestrebt sein, den Anteil der Schneidarbeit des Stiels möglichst herabzusetzen. Das kann vor allem durch eine günstige Anordnung der Einzelwerkzeuge auf einem Fräskranz geschehen. In **Bild 27** ist ein Fräskranz mit vier Werkzeugen wiedergegeben und gleichzeitig der Bissen eingezeichnet, der von dem Werkzeug 1 herausgeschnitten wird. Werkzeug 2 und 4 sind zur anderen Seite abgebogen. Wenn nun die einzelnen Werkzeuge nach der Ausführung a auf der Scheibe angeordnet sind, muß jeder Werkzeugstiel

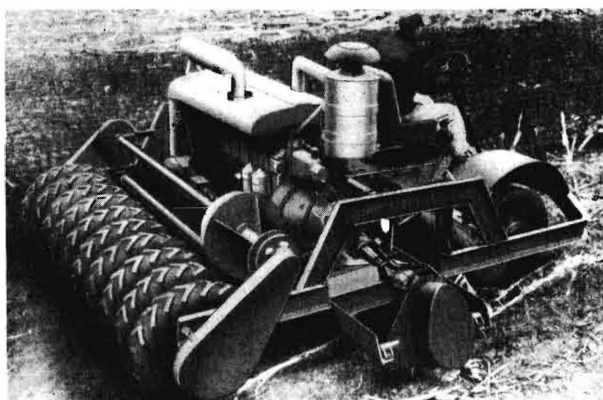


Bild 28. Amerikanische Fräsmaschine „Landmaster“. Motorleistung 180 PS, Schnittbreite 2,40 m, größte Schnitttiefe 18 cm

sich seinen Weg in der ganzen Bissenbreite durch den Boden schneiden. Wählt man jedoch die Lösung c, so hat bereits das Werkzeug 2, welches den Bereich des Werkzeuges 1 geringfügig überdeckt, soviel Boden weggeschnitten, daß der Stiel des Werkzeuges 1 nur noch bis zur halben Bissenbreite in den Boden einschneidet. Zwischen den Lösungen a und c liegt die Lösung b, bei der zwar ebenfalls das Werkzeug 2 die halbe Bissenbreite für den Stiel des Werkzeuges 1 vorwegschneidet, bei dem aber immer noch eine Reibung an einer Stielseite erfolgt.

Bild 28 zeigt eine Aufnahme des „Landmaster“. Diese Fräsmaschine hat eine Motorleistung von 180 PS und erreicht eine Schnitttiefe von 18 cm bei einer Schnittbreite von 2,40 m. Konstruktiv ist daran interessant, daß die Maschine sich über zehn Gummireifen auf dem gefrästen Boden abstützt und diesen wieder soweit verdichtet, daß er Bodenschluß hat. Weiterhin fällt auf, daß der Fräswellenantrieb über eine Gelenkwelle auf ein Zahnradgetriebe und von dort wieder über eine Gelenkwelle auf die Fräswelle erfolgt. Der „Landmaster“ ist für andere Verhältnisse, als sie in der deutschen Landwirtschaft auftreten, entworfen.

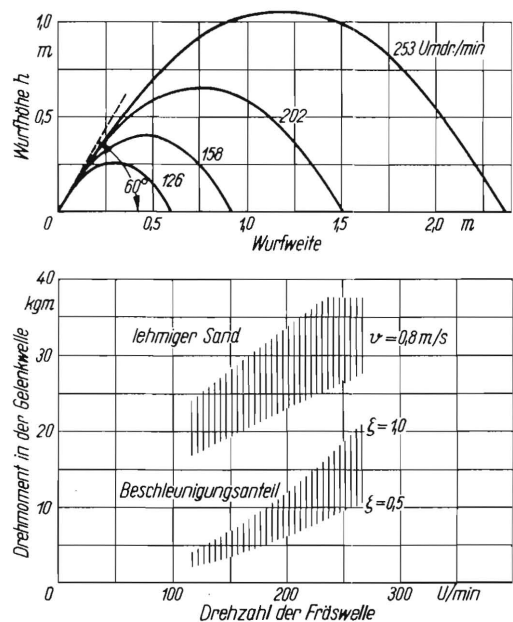


Bild 29. Wurfparabeln an einer Fräse bei verschiedenen Umdrehungszahlen. Anteil der Beschleunigung am Gesamtdrehmoment.

Für eine Energiebilanz der Fräse ist es wichtig, den Arbeitsanteil zu wissen, der zur Beschleunigung des Bodens aufgewendet wird. **Bild 29** zeigt einige Wurfparabeln, die sich unter der Voraussetzung ergeben, daß der Boden mit 75% der Umfangsgeschwindigkeit unter einem Steigungswinkel von 60° bei Fräsendrehzahlen von 126 bis 253 U/min nach hinten geschleudert wird. Darunter sind die gemessenen Drehmomente bei einer Geschwindigkeit von 0,8 m/s in Abhängigkeit von der Fräs-

wellendrehzahl für einen leichten, lehmigen Sandboden aufgetragen und, als Vergleich dazu, der errechnete Beschleunigungsanteil unter der Voraussetzung, daß der Boden einmal bis zur vollen Umfangsgeschwindigkeit ($\xi = 1$) und bis zur halben Umfangsgeschwindigkeit ($\xi = 0,5$) beschleunigt wird. Daraus geht hervor, daß ein erheblicher Teil des Drehmomentes zur Beschleunigung des Bodens aufgewendet werden muß.

Es gibt nun eine ganze Reihe von technischen Problemen bei der Fräse, die im Rahmen dieses ersten Berichtes nicht erörtert werden konnten, die aber doch wenigstens genannt werden sollen. Dazu gehört die Wahl des Fräsendurchmessers. Anzustreben ist ein möglichst kleiner Durchmesser mit einem Verhältnis von Arbeitstiefe zu Fräsenradius von 1 zu 1. Denn je kleiner der Fräsendurchmesser bei einer gewünschten Umfangsgeschwindigkeit ist, um so kleiner ist das Drehmoment der Fräswelle. Dieses Verhältnis kann jedoch bei seitlichem Fräsantrieb infolge des Kettenkastens nicht erreicht werden, wenn nicht andere konstruktive Lösungen gefunden werden. Eine weitere, dringende Aufgabe ist die Untersuchung der Werkzeugformen und die Auswahl verschiedener, für bestimmte Zwecke jeweils optimaler Formen. Diese Aufgabe wurde bereits durch die Entwicklung eines Geräts in Angriff genommen, welches gestattet, die Drehmomente und Kräfte von Einzelwerkzeugen mit Dehnungsmeßstreifen zu messen.

Außer den oben genannten Forderungen für eine günstige Anordnung der Fräswerkzeuge mit Rücksicht auf ein gleichmäßiges Drehmoment der Fräswelle muß noch die Forderung nach einem annähernd symmetrischen Einschlag der Fräswerkzeuge rechts und links der Fräsenlängsachse gestellt werden, damit sich möglichst kleine Momente um die Längs- und Hochachse und ein ruhiger Lauf der Fräse ergeben.

Weitere Probleme sind: eine einfache, funktions-sichere Rutschkupplung, günstige Anordnung der Gelenkwelle, Dimensionierung der Schlepperzapf-

welle, die Frage der Anbringung der Fräse am Schlepper als Anbau-, Aufsattel- oder AnhängEFRäse, die Regulierung des Tiefganges, die Beeinflussung der Steuerfähigkeit des Schleppers durch den Fräsen-schub und schließlich die Art des Antriebes der Fräswelle. Die Vielzahl dieser offenen, technischen Probleme verlangt in der Zukunft noch intensive Forschungsarbeiten.

Schrifttum

- [1] Werner, R.: Die Motorfräse. Techn. i. d. Landw. 2 (1920/21) S. 30/32.
- [2] Werner, R.: Die Motorfräse. Mitt. Vereinig. d. Elektr. Werke Nr. 267, Gieshof 1920. S. 145 bis 148.
- [3] Bornemann: Die Fräskultur und ihre Beziehungen zur Ernährung der Kulturpflanzen. Techn. i. d. Landw. 3 (1921/22) S. 182/185.
- [4] Bornemann: Fortschritte in der Fräskultur. Techn. i. d. Landw. 5 (1924) S. 32/33.
- [5] Kind, Wilm: Über die Vorteile der Verwendung rotierender Bodenbearbeitungswerkzeuge. Techn. i. d. Landw. 5 (1924) S. 68/70.
- [6] Kind, Wilm: Die 4-PS-Gartenfräse (Type K IV) der Siemens-Schuckert-Werke. Techn. i. d. Landw. 7 (1926) S. 28/32.
- [7] Kind, Wilm: Die Werkzeuge der Siemens-Schuckert-Fräse und ihre Entwicklung aus arbeitstechnischen Forderungen. Techn. i. d. Landw. 8 (1927) S. 153/155 und S. 176/178.
- [8] Kind, Wilm: Eine Versuchseinrichtung zur Untersuchung der günstigsten Arbeitsbedingungen rotierender Werkzeuge. Techn. i. d. Landw. 9 (1928) S. 206/210.
- [9] Nitzsch, W. v.: Bessere Bodenbearbeitung. RKTl Schriften Nr. 70, Berlin 1938. S. 143/150.
- [10] Meyenburg, Konrad von: Gedanken über die Bodenfräse. Landtechnik 4 (1949) S. 7.
- [11] Gallwitz, K., und J. Breitfuss: Vergleichende Untersuchungen an Bodenfräsworkzeugen in zwei Modellböden. Landtechn. Forsch. 3 (1953) S. 125/129.
- [12] Schnerch, J.: Wirkt die Bodenfräse strukturzerstörend? Dt. Agrartechn. (1954) S. 330/331.
- [13] Peneff, G.: Messversuche mit der Bodenfräse. VDI-Z. 75, (1931) S. 1365/68.
- [14] Holldack, Hans, und Walter Renard: Experimentelle Untersuchungen über Beanspruchung und Verhalten verschiedener Bodenfräsworkzeuge. Die Landmaschine 9 (1929) S. 621/624 und 637/640.

Eingegangen am 23. 3. 1956

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

Anschrift der Verfasser: Dr.-Ing. Walter Söhne und Dipl.-Ing. Roman Thiel, beide (20b) Braunschweig, Bundesallee 50