

Schnellaufende Bodenfräsen - langsamlaufende Rotorgraber

Untersuchungen an Einzelwerkzeugen

W. Söhne und A. Eggenmüller

Über Bodenfräsen sind in den vergangenen Jahren umfangreiche Untersuchungen durchgeführt worden [1 bis 7]. Dabei wurden nicht nur konstruktive und allgemeine technische Probleme erörtert [2, 3], sondern auch die Frage untersucht, wann eine Fräse bevorzugt und vorteilhaft gegenüber anderen Bodenbearbeitungsgeräten eingesetzt werden kann [1, 6]. Die Fräsen sind durch eine hohe Umfangsgeschwindigkeit ihrer Werkzeuge bei relativ kleinen Arbeitsbissen und eine entsprechend intensive Zerkleinerungsarbeit gekennzeichnet. Für die Zukunft ist es nicht ausgeschlossen, daß neben der Fräse rotierende Bearbeitungsgeräte mit niedriger Umfangsgeschwindigkeit, großen Arbeitsbissen und geringerer Zerkleinerungsarbeit, die sogenannten Rotorgraber, eine gewisse Bedeutung erlangen.

Im folgenden soll vor allem der Leistungsbedarf der Fräsen mit dem der Rotorgraber verglichen werden. Dabei wurde bei den Fräsen noch zwischen schweren Fräsen mit einem auf 1 m Arbeitsbreite bezogenen Gewicht von 350 bis 500 kg/m und Leichtfräsen bzw. Rotoreggen von 160 bis 200 kg/m

Im Ackerbau haben die Leichtfräsen viel mehr Eingang gefunden als die schweren Fräsen, weil sie als Zusatzgeräte verwendet werden können und erheblich billiger sind.

Leistungsmessungen an Leichtfräsen

Bei den Leistungsmessungen an Leichtfräsen in verschiedenen Bodenverhältnissen bestätigte sich deren bereits früher gemessener hoher Leistungsbedarf an der Zapfwelle. In **Bild 1** ist der Streubereich des gemessenen Leistungsbedarfes einer Leichtfräse mit geraden Messern (Spatenmessern) und mit Winkelmessern auf einem dichtgelagerten lehmigen Sandboden in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit dargestellt. Der untere Teil des Streubereiches gilt für eine Arbeitstiefe $t = 7$ cm, der obere Teil für $t = 14$ cm. Bei einer flachen Bearbeitung der Bodenoberfläche (für $t = 7$ cm) und bei einer Fahrgeschwindigkeit $v = 0,5$ m/s beträgt die Zapfwellenleistung 12 bis 15 PS, für eine Arbeitstiefe von $t = 14$ cm steigt der Leistungsbedarf auf 20 bis 25 PS. Zwischen beiden Werkzeugformen (Spaten- und Winkelmesser) ergaben sich im leichten Boden keine Unterschiede im Leistungsbedarf.

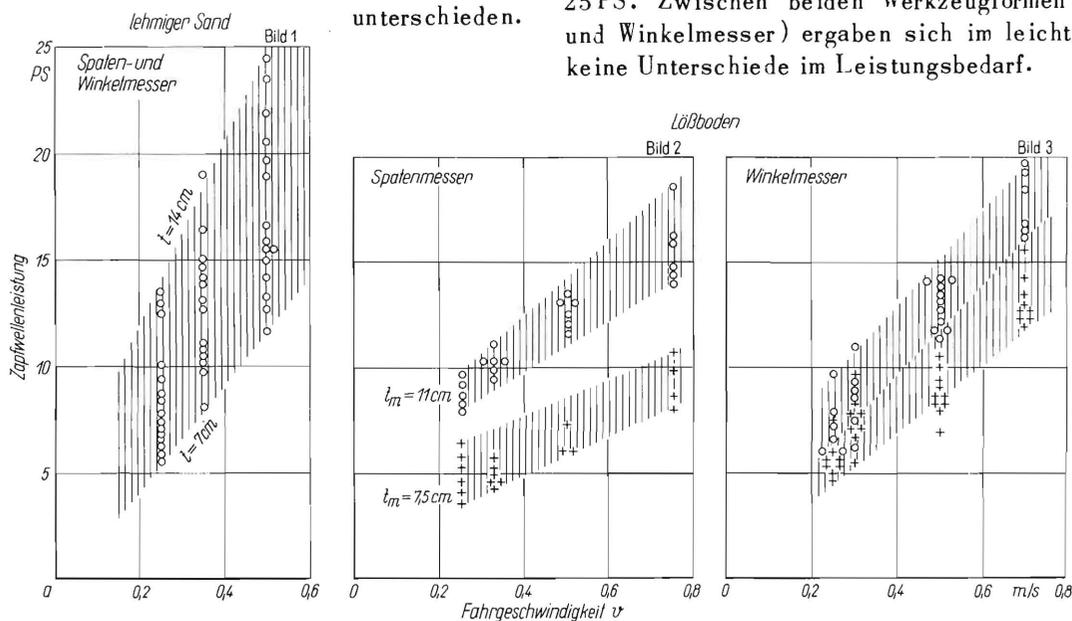


Bild 1. Zapfwellenleistung einer Leichtfräse mit Spaten- und mit Winkelmessern auf lehmigem Sandboden. Arbeitsbreite der Fräse: 1,8 m
Umfangsgeschwindigkeit der Fräsmesser: 5,4 m/s i. M
Boden: Wassergehalt 15,3% Porenanteil 38,5%

Bild 2 und 3. Zapfwellenleistung einer Leichtfräse mit Spaten- und Winkelmessern auf Lößboden. Arbeitsbreite der Fräse: 1,8 m
Umfangsgeschwindigkeit der Fräsmesser 5,4 m/s
Boden: Wassergehalt 21,8%

In einem Lößboden betrug nach **Bild 2** der Leistungsbedarf der mit Spatenmessern ausgerüsteten Fräse bei einer Fahrgeschwindigkeit von 0,8 m/s und einer Arbeitstiefe von 11 cm etwa 14 bis 20 PS. Bei Winkelmessern war der Leistungsbedarf etwas höher (**Bild 3**).

Im tonigen Lehm (**Bild 4 und 5**) sind noch beträchtlich höhere Zapfwellenleistungen erforderlich. Schon bei einer kleinen Arbeitstiefe von $t = 5$ cm liegt der Leistungsbedarf zwischen 15 und 30 PS und steigt bei $t = 12$ cm unter Umständen bis auf 50 PS an. Mit Schleppern kleiner oder mittlerer Größe würde man also nur bei mehrmaligem Fräsen eine größere Arbeitstiefe erreichen können.

Bild 4 und 5. Zapfwellenleistung einer Leichtfräse mit geraden Spaten- und Winkelmessern auf tonigem Lehm. Umfangsgeschw. der Fräsmesser 5,4 m/s Boden: Wassergehalt 19% Porenanteil 38%

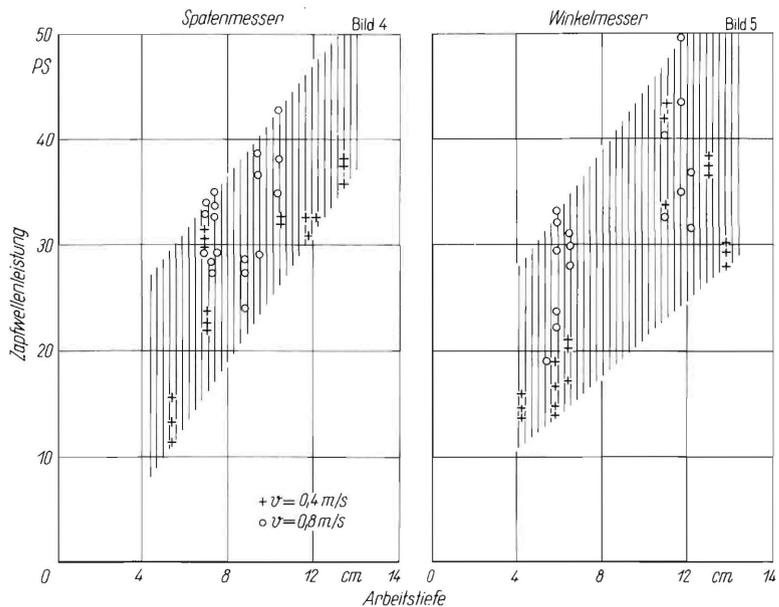
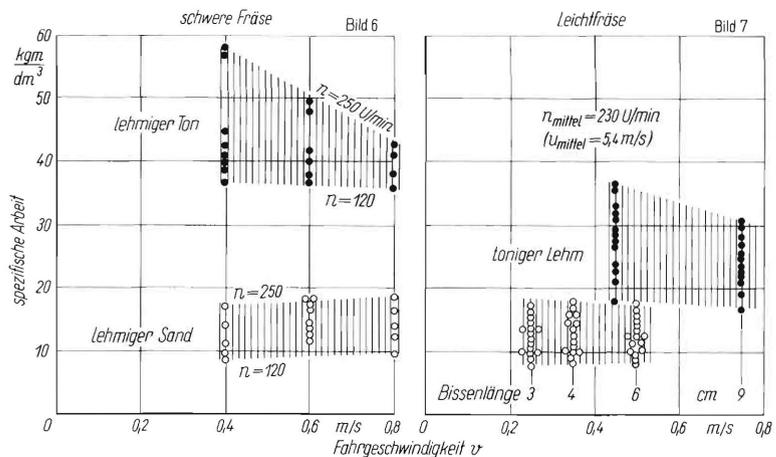


Bild 6 und 7. Auf 1 dm³ bearbeitetes Bodenvolumen bezogener Arbeitsaufwand von schweren Fräsen auf lehmigem Sand und lehmigem Ton und einer leichten Fräse auf lehmigem Sand und tonigem Lehm in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit. n Drehzahl der Fräsvalze schwere Fräsen: $C_{Spez} = 350$ bis 500 kg/m leichte Fräsen: $C_{Spez} = 160$ bis 200 kg/m



Leistungsbedarf von Fräse und Pflug

Eine einwandfreie Vergleichsgröße für den Leistungsbedarf verschiedener Bodenbearbeitungsgeräte ist der auf das bearbeitete Bodenvolumen bezogene Arbeitsaufwand in kgm/dm³ [2]. In **Bild 6** ist dieser spezifische Arbeitsaufwand, der in älteren Messungen [3] für verschiedene schwere Fräsen in lehmigem Sand und lehmigem Ton bei zwei verschiedenen Drehzahlen ermittelt wurde, in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit dargestellt. Im leichten Boden liegt die aufgewendete Arbeit zwischen 10 und 20 kgm/dm³ und ist unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit. Der untere Teil des Streubereiches kann der kleinen, der obere der großen Umfangsgeschwindigkeit zugeordnet werden. In lehmigem Ton ist der Leistungsaufwand wesentlich höher und beträgt bei 0,4 m/s Fahrgeschwindigkeit 35 bis 60 kgm/dm³. Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit

Bild 6. Die auf einem etwas humosen tonigen Lehm gemessenen Werte liegen zwischen 20 und 35 kgm/dm³. Sie können mit den Werten der schweren Fräse auf lehmigem Ton, die in einem früheren Jahr gemessen wurden, wegen des Unterschiedes der Bodenart und des Bodenzustandes nicht verglichen werden.

Der entsprechende spezifische Arbeitsaufwand für einen Streichblechpflug ist wesentlich geringer und liegt auf dem lehmigen Sandboden bei 4 kgm/dm³, entsprechend einem spezifischen Zugwiderstand von 40 kg/dm², auf dem humosen tonigen Lehm bei 6 kgm/dm³, entsprechend 60 kg/dm², und auf dem lehmigen Ton bei 8 kgm/dm³, entsprechend 80 kg/dm².

Zur Berechnung der erforderlichen Schlepperleistung muß beim Pflug noch der Wirkungsgrad zwischen Schleppertriebachse und Zughaken, der in-

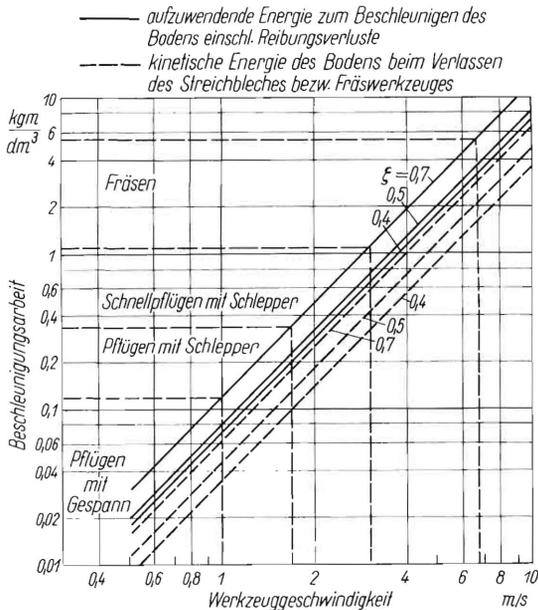


Bild 8. Arbeit zur Beschleunigung des Bodens in Abhängigkeit von der Werkzeuggeschwindigkeit.

folge der Schlupf- und Rollwiderstandsverluste zwischen Reifen und Boden nur 0,55 bis 0,70 beträgt und der Getriebewirkungsgrad von 0,85 bis 0,90 berücksichtigt werden. Bei der Fräse entfallen dagegen die Schlupfverluste der Schleppertriebräder, während die Rollwiderstandsverluste des Schleppers durch den Fräsenschub fast gänzlich aufgehoben werden. Der Getriebewirkungsgrad verschlechtert sich geringfügig, wenn man Zapfwellenübertragungsverluste darin einschließt.

Der auch unter Berücksichtigung dieser Wirkungsgrade gegenüber dem Pflug noch erheblich höher liegende Gesamtleistungsbedarf der Ackerfräsen läßt sich in gewissen Fällen durch die intensivere Bodenbearbeitung rechtfertigen. In vielen Fällen ist jedoch diese intensivere Bodenbearbeitung gar nicht erwünscht, womit sich die Frage erhebt, ob nicht mit entsprechend ausgebildeten, rotierenden Bodenbearbeitungsgeräten durch eine weniger intensive Zerkleinerungsarbeit der Leistungsaufwand verringert werden kann. Dabei sollte die Krümelung dieser Geräte etwa der eines Streichblechpfluges entsprechen und auch eine ähnliche Mischung und Wendung erzielt werden.

Beschleunigungsarbeit bei Fräse und Pflug

Die hohen Schnittgeschwindigkeiten der Fräsen und die den Bodenteilchen erteilten hohen Beschleunigungen sind ein Grund für deren hohen Leistungsaufwand. Bei Fräsen liegen die Umfangsgeschwindigkeiten zwischen 3 und 7 m/s, während die Geschwindigkeiten beim Pflügen seither zwischen 0,8 und 1,6 m/s betragen. Ein Vergleichsmaß für die dem Boden erteilte Beschleunigungsarbeit ist die (spezifische) Beschleunigungsarbeit je

dm³ Boden. Sie errechnet sich nach der Gleichung

$$A_b = \frac{\gamma (v \zeta)^2}{2g \eta_R} \quad [\text{kgm/dm}^3] \quad .$$

Dabei bedeutet γ das Raumgewicht von einem dm³ Boden, v die Fahrgeschwindigkeit des Pfluges bzw. u die Umfangsgeschwindigkeit der Fräse, ζ ein Faktor, der ausdrückt, auf wieviel Prozent der Arbeitsgeschwindigkeit die Bodenteilchen während des Schnitvorganges in Fahrtrichtung (beim Pflug) bzw. in Schnittrichtung (bei der Fräse) beschleunigt werden; er werde hier mit 0,7 als obere Grenze und 0,4 als untere Grenze angenommen. Als Folge der auf die Bodenteilchen einwirkenden Beschleunigungskräfte treten schließlich erhebliche Reibungsverluste auf Schar und Streichblech bzw. auf dem Fräswerkzeug auf, die durch den Wirkungsgrad $\eta_R \approx 0,5$ erfaßt sind.

Der Anteil der Beschleunigungsarbeit an der erforderlichen Gesamtarbeit beträgt beim Streichblechpflug bei 1 m/s Pfluggeschwindigkeit auf leichtem Boden rund 4%. Bei einer Fräse kann der Anteil der Beschleunigungsarbeit bis auf 30% der erforderlichen Gesamtarbeit ansteigen. Absolut genommen ist die spezifische Beschleunigungsarbeit bei der Fräse von gleicher Größenordnung wie die gesamte spezifische Pflugarbeit bei niedriger Geschwindigkeit.

In **Bild 8** ist die Beschleunigungsarbeit je Kubikdezimeter Boden über der Werkzeuggeschwindigkeit aufgetragen. Die unteren drei Linienzüge geben die Größe der kinetischen Energie von einem dm³ Boden beim Verlassen des Werkzeuges an, während die oberen Linienzüge die gesamte aufzuwendende Arbeit zum Beschleunigen des Bodens aus der Ruhelage einschließlich der Reibungsverluste darstellen. Beim Schlepperpflügen kann nach **Bild 8** die Beschleunigungsarbeit bis auf das 4fache und beim Fräsen infolge der hohen Werkzeuggeschwindigkeit bis auf das 50fache gegenüber dem Gespannpflügen wachsen. Dabei ist allerdings nicht berücksichtigt, daß man durch Anpassung der Werkzeugform an höhere Geschwindigkeit, z. B. bei Schnellpflugkörpern, diesen Beschleunigungsanteil wieder herabsetzen kann. Trotzdem sind die Unterschiede beträchtlich. Insbesondere sind beim Fräsen mit hoher Umfangsgeschwindigkeit das erforderliche Drehmoment und die spezifische Arbeit sehr hoch. Die hohen Beschleunigungskräfte führen andererseits aber auch zu einer intensiveren Krümelung des Bodens.

Die Schnittflächen im Boden von Pflug und Fräse

Nicht weniger wichtig als die unterschiedliche Beschleunigungsarbeit bei Pflug und Fräse sind die unterschiedlichen Schnittflächen F_s , die von den Werkzeugen eines Pfluges oder einer Fräse

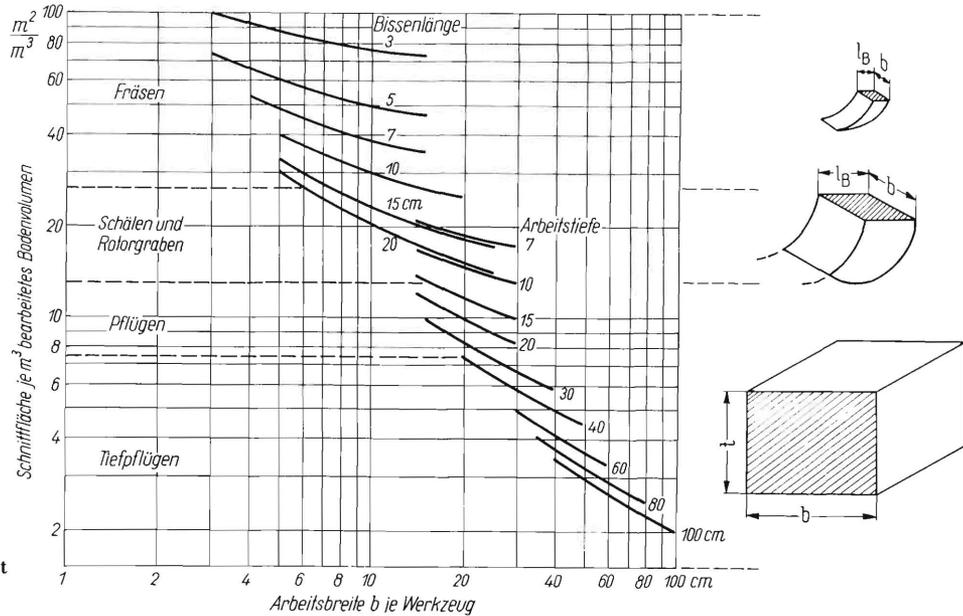


Bild 9.

Spezifische Schnittfläche in Abhängigkeit von der Art der Bodenbearbeitung.

im Boden erzeugt werden. Die (spezifische) Schnittfläche je Volumeneinheit des Bodens (im unbearbeiteten Zustand) beträgt beim Pflug

$$\frac{F_s}{V} = \frac{(t + b)l}{t b l} = \frac{t + b}{t b} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}^3} \right]$$

Bei einer Furchentiefe $t = 0,25\text{ m}$ und einer Furchenbreite $b = 0,30\text{ m}$ ergibt sich eine spezifische Schnittfläche von $7,34\text{ m}^2/\text{m}^3$ Boden.

Bei einer Fräse beträgt diese spezifische Schnittfläche:

$$\frac{F_s}{V} = \frac{(l_B + b \xi) t}{l_B b t} = \frac{l_B + b \xi}{l_B b} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}^3} \right]$$

Hierbei bedeutet l_B die Bissenlänge, b die Bissenbreite und ξ einen Faktor, der den Unterschied zwischen der Frästiefe t und der Länge des Zykloidenabschnittes bedeutet. Dieser Faktor liegt in der Größenordnung von 2 (**Bild 9**). Bei einer Bissenlänge $l_B = 0,05\text{ m}$, einer Bissenbreite $b = 0,1\text{ m}$ beträgt die spezifische Schnittfläche $50\text{ m}^2/\text{m}^3$ bearbeiteten Bodens, ist also rund 7 mal so groß wie bei dem gewählten Pflugbeispiel. In **Bild 9** sind die Schnittflächen pro Volumeneinheit bearbeiteten Bodens in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite für verschiedene Arbeitstiefen beim Pflug bzw. Bissenlängen bei der Fräse aufgetragen.

Aus diesen Überlegungen geht eindeutig hervor, daß man die Umfangsgeschwindigkeit der Fräsen herabsetzen und die Schnittbreite der Werkzeuge und die Bissenlänge erhöhen muß, wenn man ihren Leistungsbedarf verringern will. In **Bild 10** ist dargestellt, wie sich der (spezifische) Arbeitsaufwand beim Fräsen schon allein durch die Vergrößerung der Bissenlänge verringert. Aus früheren Arbeiten [2, 3] ist bekannt, wie sich die spezifische Fräsarbeit außerdem durch die Verkleinerung der Umfangsgeschwindigkeit verringert.

Rotorgraber

In der Vergangenheit wie auch in der jüngeren Zeit wurden schon eine ganze Anzahl fräsenähnlicher Geräte entwickelt, die wegen ihrer fräsenähnlichen Art des Grabens als Rotorgraber bezeichnet werden sollen. Diese Geräte sind gegenüber den Fräsen dadurch gekennzeichnet, daß ihre Werkzeuge bei kleiner Umfangsgeschwindigkeit große Bissen aus dem Boden herausschneiden und daß sie den Boden bei gleichzeitiger Wendung eher ablegen als wegschleudern.

Eine interessante Lösung dieser Art ist der italienische Umgraber von *Marciandi-Porta* [8] in **Bild 11**. An einem Schlepper ist hinten eine Walze mit rotierenden Umgrabewerkzeugen angebaut. Auf einem Kranz sind jeweils zwei Werkzeuge und ein

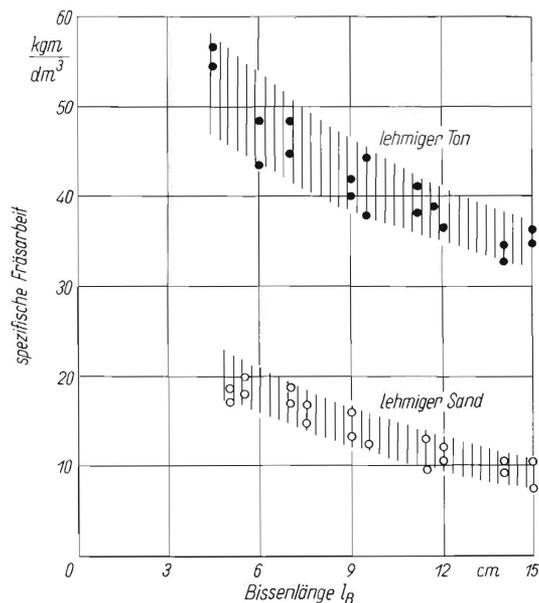


Bild 10. Spezifischer Arbeitsbedarf einer schweren Fräse bei verschiedener Bissenlänge (errechnet aus [3]).

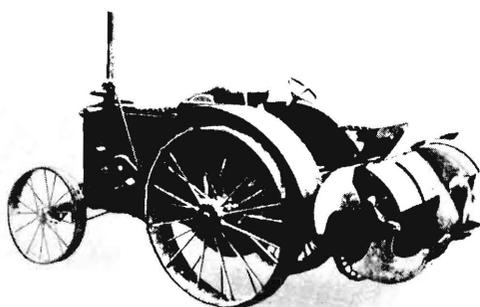


Bild 11. Italienischer Umgraber von Marciandi - Porta (1920).

Arbeitsbreite 1,6 m
 Arbeitstiefe $t_{\max} = 30 \text{ cm}$
 Fahrgeschwindigkeit $v = 0,9 \text{ km/h}$

fester Abstreifer angebracht. Die Drehrichtung ist gleichlaufend wie bei der üblichen Fräse. Von dem Werkzeug wird ein großer Bissen abgetrennt und mitgenommen und hinten durch den Abstreifer ausgeschoben und abgelegt, wobei die Bodenoberfläche in die Furchensohle gelegt wird.

Eine ähnliche deutsche Entwicklung neueren Datums ist das rotierende Schaufelpaar von Licht [9] in **Bild 12**. Das Werkzeug schneidet ebenfalls einen großen Bissen ab. Der Boden wird durch die

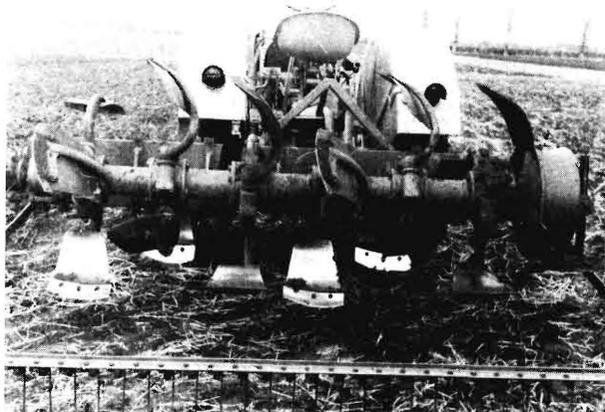


Bild 13 a und b. Rotierende Spatenmaschine Rotaspa von Mulder.

Arbeitsbreite $b = 2,1 \text{ m}$ (3×6 Spaten)
 Maschinengewicht $G = 450 \text{ kg}$
 Leistungsbedarf $N = 40 \text{ PS}$
 Arbeitsgeschwindigkeit $v = 2 \text{ km/h}$
 Arbeitstiefe $t = 18 \text{ cm}$ (Tonboden)

kegelförmige Außenfläche der Werkzeuge nach der Seite befördert. Bei dieser Lösung kann ein zweites Schaufelpaar nur seitlich und rückwärts versetzt dem vorhergehenden folgen. Dies bedingt für größere Arbeitsbreiten bei mehreren Schaufelpaaren eine ähnliche Staffelung der Werkzeuge wie bei einem Streichblechpflug.

Eine ebenfalls neuere Entwicklung ist der holländische Umgraber von Mulder (Erfinder: Horowitz) in **Bild 13**. Bei diesem fräsenähnlichen Gerät schneiden die großen spatenförmigen Werkzeuge einen breiten und langen Bissen aus dem Boden und wenden ihn dadurch, daß sie sich nach Beendigung des jeweiligen Schnittes um eine quer zur Werkzeugwelle befindliche Achse zwangsweise

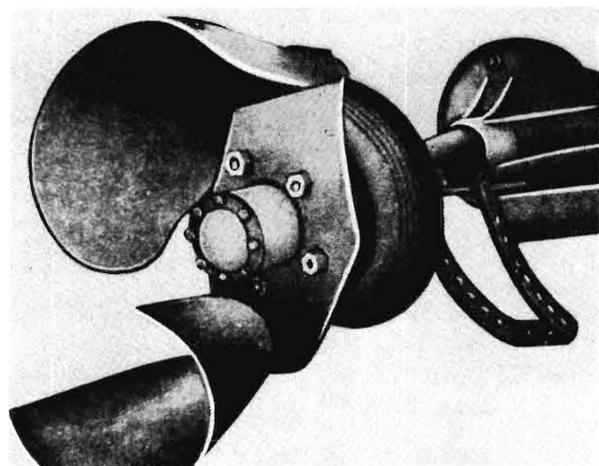


Bild 12. Rotierendes Schaufelpaar von Licht [9].

drehen und nach der Ablage des Bodens in die Schneidstellung zurückkehren. Die Kulissensteuerung für diesen Vorgang befindet sich in der Geräte-welle. Von dem Umgraber von Mulder ist bekannt, daß er mit einem relativ günstigen Leistungsaufwand arbeitet. Dieser Umstand sowie die oben angeführten Überlegungen veranlaßten zu Vergleichsuntersuchungen von Graber- und normalen Fräswerkzeugen in der Bodenrinne. Dabei wurde die in [2] beschriebene Versuchseinrichtung (**Bild 14**) verwendet.

Die untersuchten Werkzeuge unterscheiden sich von den bekannten Fräswerkzeugen einmal durch die größere Breite (Werkzeugbreite $b_n = 15, 20$ und 25 cm). Ferner wurden diese Werkzeuge so ausgebildet, daß sie in der Lage sind, den gesamten abgescherten Bissen auf- und mitzunehmen. Diese Eigenschaft unterscheidet Rotorgraberwerkzeuge von den üblichen Fräswerkzeugen. Schließlich muß der Bissen unter gleichzeitiger Wendung des Werkzeuges abgelegt werden. Bei den im folgenden beschriebenen Untersuchungen wurde die Ablage des Bisses nicht studiert. Es wurde lediglich die Größe der Drehmomente beim Durchgang des Werkzeuges durch den Boden gemessen.

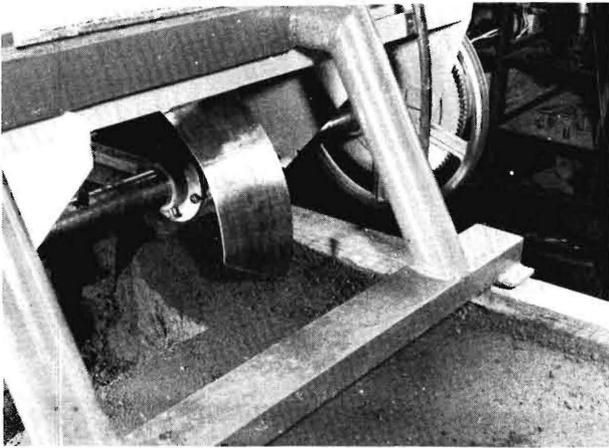


Bild 14. Messung des Drehmomentes eines Rotorgraber-Werkzeuges an der Versuchseinrichtung nach [2] in der Bodenrinne.

Der abgetrennte Bissen ist sehr grobschollig (**Bild 15**). Beim Abschneiden und Abscheren bilden sich einzelne Scherebenen, wodurch der Bissen bei der Ablage in weitere Teile auseinanderfällt.

Der Drehmomentenverlauf eines Rotorgraberwerkzeuges bei einem Durchgang durch den Boden (**Bild 16**) unterscheidet sich erheblich von dem eines normalen Fräswerkzeuges (Winkelmesser) bei hoher Umfangsgeschwindigkeit (**Bild 17**). Beim Fräswerkzeug steigt das Drehmoment mit dem Auftreffen des Werkzeuges auf den Boden plötzlich stark an und fällt dann mehr oder weniger schnell wieder ab. Beim Rotorgraberwerkzeug steigt das Drehmoment bei einem Durchgang durch den Boden allmählich an und nimmt relativ langsam wieder ab.

Bei dem systematischen Vergleich der Fräs- und Rotorgraberwerkzeuge wurden die Bissenbreite, die Bissenlänge, die Umfangsgeschwindigkeit und der Freiwinkel variiert. Die Arbeitstiefe betrug bei allen Messungen 13 cm. In **Bild 18 und 19** sind die Originaldiagramme über den Verlauf des Drehmomentes eines Rotorgraberwerkzeuges bei verschiedener Bissenlänge und zwei Umfangsgeschwindigkeiten



Bild 15. Abgetrennter Bissen des Rotorgraber-Werkzeuges nach Bild 14.

Werkzeugbreite $b = 20$ cm
 Bissenlänge $l_B = 26$ cm
 Umfangsgeschwindigkeit $u = 2,3$ m/s
 Bodenart: feinsandiger Lehm
 12% Grobsand, 54% Feinsand
 26% Schluff, 8% Ton
 Wassergehalt 18,5% i. M.
 Porenanteil 43,0% i. M.

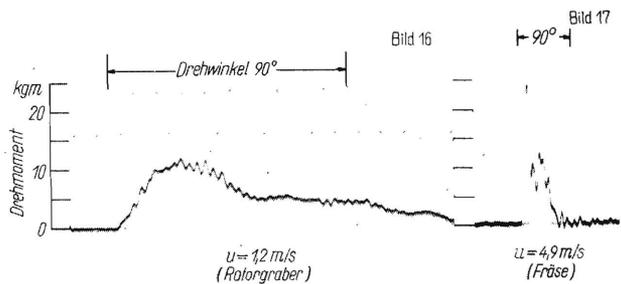


Bild 16. Drehmomentverlauf eines Rotorgraber-Werkzeuges und **Bild 17** eines Fräswerkzeuges bei einem Durchgang durch den Boden in der Bodenrinne.

| Werkzeug | Freiwinkel | Bissenlänge l_B | Bissenbreite b | Arbeitstiefe t | Drehzahl n | Umfangsgeschwindigkeit u |
|-------------|------------|-------------------|------------------|------------------|--------------|----------------------------|
| | Grad | cm | cm | cm | U/min | m/s |
| Rotorgraber | 5 | 26 | 20 | 13 | 45 | 1,2 |
| Fräse | 6 | 6 | 13 | 13 | 190 | 4,9 |

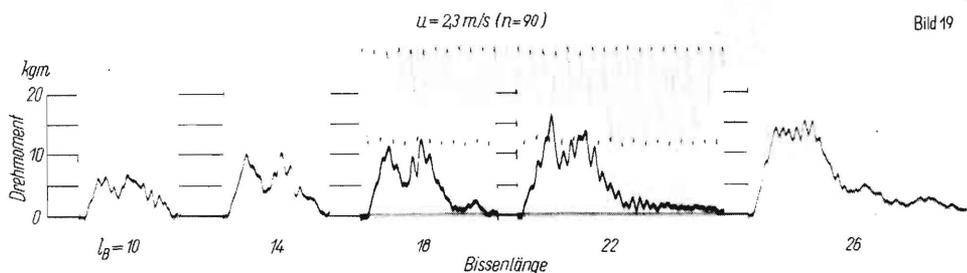
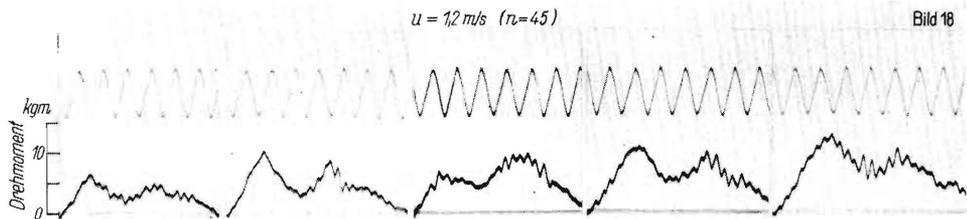


Bild 18 und 19. Drehmomentverläufe eines Rotorgraber-Werkzeuges bei verschiedenen Bissenlängen und Umfangsgeschwindigkeiten beim Durchgang durch den Boden (Bodenrinne).

Werkzeugbreite $b_n = 15$ cm
 Bissenbreite $b = 18$ cm
 Arbeitstiefe $t = 13$ cm
 Freiwinkel 5°

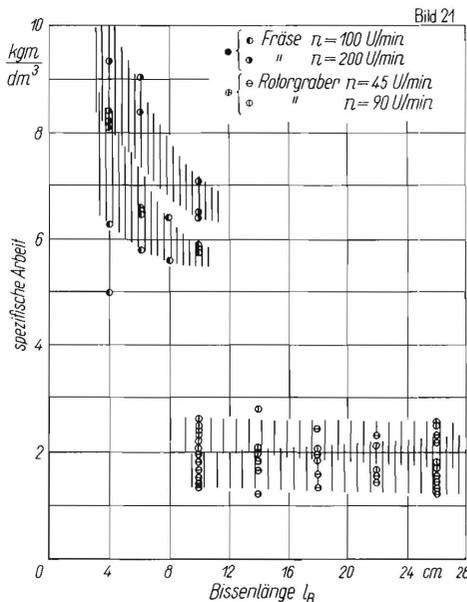
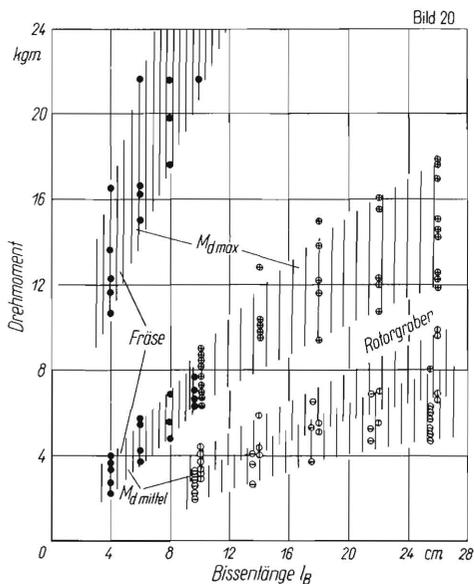


Bild 20 und 21. Maximale und mittlere Drehmomente sowie der spezifische Arbeitsaufwand von Fräs- und Rotorgraberwerkzeugen in Abhängigkeit von der Bissenlänge l_B bei Versuchen in der Bodenrinne.

keiten wiedergegeben. Mit zunehmender Bissenlänge wird das Spitzendrehmoment sowie das mittlere Drehmoment größer.

In **Bild 20** sind die maximalen und mittleren Drehmomente von Fräs- und Rotorgraberwerkzeugen in Abhängigkeit von der Bissenlänge einander gegenübergestellt. Bei einer Bissenlänge von 10 cm sind die maximalen Drehmomente der Fräswerkzeuge rund 4 mal so hoch wie die des Rotorgrabers und die mittleren Drehmomente sind rund doppelt so hoch. Die maximalen Drehmomente sind bei den Fräswerkzeugen rund 4 mal höher als ihre mittleren Drehmomente und beim Rotorgraberwerkzeug etwa doppelt so hoch. Vergleicht man die spezifischen Arbeiten von Fräsen- und Rotorgraberwerkzeugen in der Bodenrinne in **Bild 21**, so ist der Unterschied zwischen den beiden Werkzeugarten noch ausgeprägter. Während die spezifische Arbeit des Fräswerkzeuges zwischen 6 und 10 kgm/dm^3 liegt, ist die spezifische Arbeit von Rotorgraberwerkzeugen wesentlich geringer und liegt zwischen 1,5 und 2,5 kgm/dm^3 . Sie beträgt also nur ein Drittel der Fräswerkzeuge. Ein wesentlicher Grund für die niedrigen Werte der Rotorgraberwerkzeuge ist auch, daß diese Werkzeuge keine seitliche Halterung wie die Winkelmesser haben, die den Boden sechartig durchschneiden. Ferner ist zu berücksichtigen, daß bei beiden Werkzeugarten der im Feldversuch auf

| Werkzeug | Freiwinkel Grad | Werkzeugbreite b_n cm | Bissenbreite b cm | Arbeits-tiefe t cm | Drehzahl n U/min | Umfangsgeschwindigkeit u m/s |
|-------------|--------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Rotorgraber | 5 | 15 | 18 | 13 | 49 u. 90 | 1,2 u. 2,3 |
| Fräse | 5 | 10 | 13 | 13 | 100 u. 200 | 2,5 u. 5,3 |

natürlich abgesetztem Boden auftretende spezifische Arbeitsbedarf erheblich höher ist, als der in dem künstlich verdichteten, feinsandigen Lehm der Bodenrinne.

Bild 22 gibt die Oszillogramme der Antriebsmomente eines Rotorgraberwerkzeuges bei verschiedener Umfangsgeschwindigkeit wieder. Bei höherer Umfangsgeschwindigkeit steigt der Drehmomentverlauf beim Einschlag des Werkzeuges in den Boden, ähnlich wie bei normalen Fräswerkzeugen, steil an.

Die mittleren Drehmomente bzw. die spezifische Arbeit eines Rotorgraberwerkzeuges werden mit zunehmender Drehzahl größer (**Bild 23 und 24**). Während die spezifische Arbeit bei einer Drehzahl von $n = 50 \text{ U/min}$ im Mittel 1,5 kgm/dm^3 beträgt, steigt sie bei einer Drehzahl von 100 U/min auf 2,5 kgm/dm^3 an. Ähnlich verhalten sich auch die mittleren Drehmomente und die spezifischen Arbei-



Bild 22. Drehmomentverlauf eines Rotorgraberwerkzeuges bei verschiedener Umfangsgeschwindigkeit.

Werkzeugbreite $b_n = 15 \text{ cm}$
 Bissenbreite $b = 18 \text{ cm}$
 Bissenlänge $l_B = 26 \text{ cm}$
 Bodenart: milder Lehm
 Bodenfeuchtigkeit 18,5%
 Porenanteil 43,0%

ten normaler Fräswerkzeuge (Bild 23 und 24). Die spezifische Arbeit der Fräswerkzeuge liegt allerdings wesentlich höher als bei den Rotorgraberwerkzeugen. Bei einer Drehzahl von 100 U/min beträgt die spezifische Arbeit bei Fräswerkzeugen 5 bis 8 kgm/dm³, bei den Rotorgraberwerkzeugen 1,8 bis 2,8 kgm/dm³.

Die Rotorgraberwerkzeuge müssen zur Aufnahme des großen Bissens eine große Fläche haben. Es ist wichtig, daß das Werkzeug beim Durchgang durch den Boden nicht an seiner Rückseite reibt. In [2] wurde für Fräswerkzeuge eingehend beschrieben, wie sich der erforderliche konstruktive Schnittwinkel und die Werkzeugform aus dem gewünschten effektiven Schnittwinkel unter Berücksichtigung der Zykloidenbahn aus Umfangsgeschwindigkeit und Fahrgeschwindigkeit bestimmen läßt. In gleicher Weise muß die Form von Rotorgraberwerkzeugen festgelegt werden. Das Werkzeug muß so ausgebildet sein, daß auch bei der größten in Frage kommenden Fahrgeschwindigkeit ein genügender Freiwinkel an der Außenseite vorhanden ist.

Es ist konstruktiv nicht ganz leicht, diese Forderung einzuhalten, da die Umfangsgeschwindigkeit eines Rotorgrabers im Verhältnis zur Fahrgeschwin-

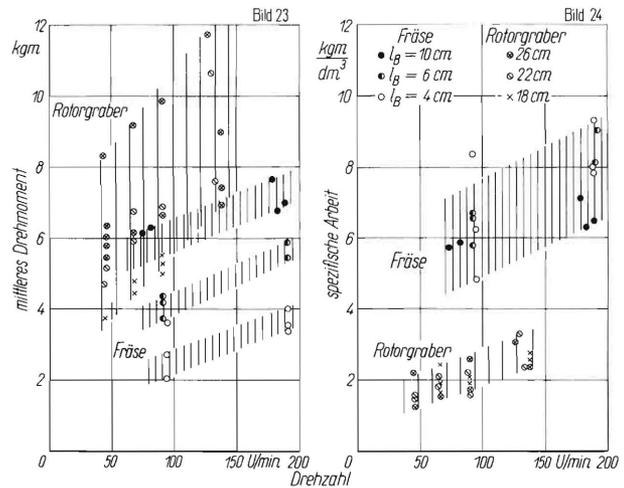


Bild 23 und 24. Mittlere Drehmomente und spezifische Arbeit von Werkzeugen einer Fräse und eines Rotorgrabers in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit bei verschiedener Bissenlänge.

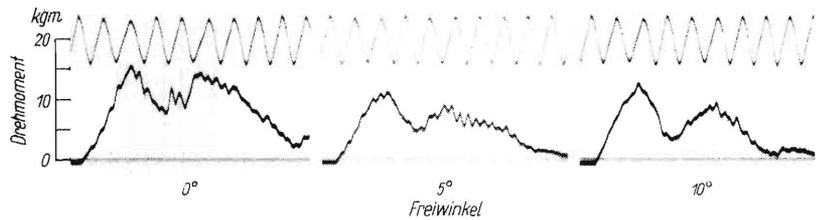
Die Drehzahl $n = 100$ U/min entspricht etwa einer Umfangsgeschwindigkeit $v = 3$ m/s

Bodenart: milder Lehm, Feuchtigkeit 18,5%, Porenanteil 43,0%

| | Rotorgraber cm | Fräse cm |
|----------------------|-------------------|-------------|
| Werkzeugbreite b_n | 15 | 10 |
| Bissenbreite b | 18 | 13 |

Bild 25. Drehmomentverlauf eines Rotorgraberwerkzeuges bei verschiedenem Drehwinkel.

Werkzeugbreite $b_n = 15$ cm
Bissenbreite $b = 20$ cm
Bissenlänge $l_B = 22$ cm
Umfangsgeschwindigkeit $v = 1,2$ m/s
($n = 45$ U/min)



digkeit relativ niedrig ist. Während bei den bisherigen Untersuchungen der Freiwinkel jeweils 5° betrug, wurde bei dem nachfolgenden Versuch dieser Freiwinkel zwischen 0° und 10° variiert. In **Bild 25** sind einige Drehmomentverläufe, in **Bild 26 und 27** die maximalen und mittleren Drehmomente und die spezifische Arbeit eines Rotorgraberwerkzeuges bei verschiedenem Freiwinkel einander gegenübergestellt. Das Drehmoment und die spezifische Arbeit ist bei 0° Freiwinkel, d. h. bei Reibung an der Rückseite des Werkzeuges, höher als bei 5° und wird noch günstiger bei einem Freiwinkel von 10°. Ein noch größerer Freiwinkel – mit dem sich ja auch zugleich der Anstellwinkel des Werkzeuges gegenüber dem Boden ändert – würde wieder ein Anwachsen des Drehmomentes mit sich bringen.

Für das Ablegen und Wenden des Bodens gibt es die in Bild 11 bis 13 dargestellten und daneben beschriebenen Lösungen von *Marciandi-Porta*, *Licht* und *Mulder*. Sie sind in **Bild 28 bis 30** noch einmal schematisch dargestellt.

Diese drei Lösungen, den Boden abzulegen und zu wenden, dürften für die weitere Entwicklung grundlegend sein. Die elegante Art, wie das Ablegen und

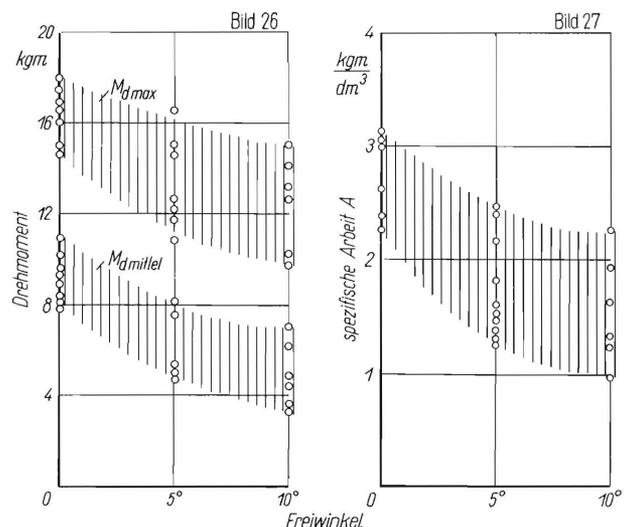


Bild 26 und 27. Mittlere und maximale Drehmomente sowie spezifische Arbeit eines Rotorgraberwerkzeuges in Abhängigkeit vom Freiwinkel.

Werkzeugbreite $b_n = 15$ bis 20 cm
Bissenbreite $b = 18$ bis 22 cm
Umfangsgeschwindigkeit $v = 1,2$ m/s

Bodenart: milder Lehm, Feuchtigkeit 18,5%, Porenanteil 43,0%

Wenden bei dem Umgraber von *Mulder* gelöst ist, bedingt allerdings einen erheblichen konstruktiven Aufwand. Bei den Werkzeugen mit einer rück-

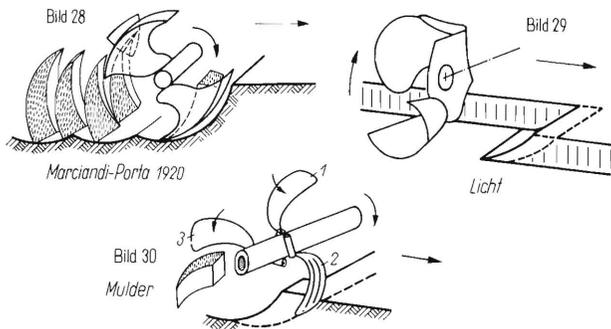


Bild 28 bis 30. Schemas von Rotorgrabern.

Bild 30: 3 ist gegenüber 2 um 90° geschwenkt.

wärtigen Ablage des Bissens, wie sie *Marciandi-Porta* und *Mulder* durchführt, können wie bei einer Fräse mehrere Werkzeuge in Form von Werkzeugkränzen auf einer querliegenden Welle angeordnet werden, während bei einer seitlichen Ablage des Bodens, wie es beispielsweise *Licht* durchführt, eine Staffelung der Werkzeuge nach hinten und ein Einzelantrieb jedes Werkzeugpaares notwendig ist. Für Anbaugeräte dürfte daher diese Art nicht sehr zweckmäßig sein.

Zusammenfassung

Es werden zunächst Ergebnisse von Leistungsbedarfsmessungen an Ackerfräsen vornehmlich an Leichtfräsen oder Rotoreggen mitgeteilt, die die hohe Leistungsaufnahme dieser Geräte erneut zeigen. Das geht besonders aus einem Vergleich der spezifischen Arbeit (Arbeitsbedarf in kgm pro dm^3 Boden) von Fräsen und Streichblechpflügen hervor. Der hohe Leistungsbedarf sowie die oft zu intensive Zerkleinerung des Bodens machen diese Geräte, trotz ihrer Vorzüge für spezielle Aufgaben, und obwohl eine günstige Kraftübertragung zwischen Schleppermotor und Gerät durch die Zapfwelle vorhanden ist, nicht zu universellen Bodenbearbeitungsgeräten. Der hohe Leistungsbedarf der Fräsen ist zum Teil technologisch bedingt; so ist die dem Boden erteilte Beschleunigungsenergie bei Fräsen rund 12mal so hoch wie bei Schlepperpflügen und die im Boden erzeugten Werkzeug-Schnittflächen je Volumeneinheit rund siebenmal so hoch wie beim Pflug. Im Gegensatz zu schnellaufenden Fräswork-

zeugen mit kleinen Bissen haben langsam laufende Werkzeuge mit großen Bissen einen erheblich kleineren Leistungsbedarf, wie es die vorliegenden Untersuchungen mit Modellwerkzeugen in der Bodenrinne gezeigt haben und wie es von dem Rotorgraber von *Mulder* bekannt wurde. Die spezifische Arbeit von Rotorgraberwerkzeugen in der Bodenrinne betrug nur rund ein Drittel der von Fräsworkzeugen. Jedoch bedingt das zusätzliche Wenden und Ablegen der Bodenbissen einen erheblichen konstruktiven Aufwand. Um bei der kleinen Drehzahl und entsprechend kleiner Fahrgeschwindigkeit eine genügende Flächenleistung zu erzielen, müssen die Geräte relativ breit sein. Dadurch werden sie schwer und erzeugen einen erheblichen Schub auf den Schlepper, der nicht leicht zu beherrschen ist. Ohne Zweifel wird es einer sorgfältigen Entwicklungsarbeit bedürfen, bis Rotorgraber so robust, preiswert und arbeitsgünstig sind, daß sie mit einem so klassisch einfachen Gerät wie dem Streichblechpflug konkurrieren können.

Schrifttum

- [1] *Feuerlein, Walter*: Die Fräse im landwirtschaftlichen Einsatz.
In: 14. Konstrukteurheft. Düsseldorf: VDI-Verlag 1957. S. 88/98 (Grundlagen d. Landtechn. Heft 9).
- [2] *Söhne, Walter*: Form und Anordnung von Fräsworkzeugen.
In: 14. Konstrukteurheft. Düsseldorf: VDI-Verlag 1957. S. 69/87 (Grundlagen d. Landtechn. Heft 9).
- [3] *Söhne, Walter und Roman Thiel*: Technische Probleme an Bodenfräsen.
In: 14. Konstrukteurheft. Düsseldorf: VDI-Verlag 1957. S. 39/49 (Grundlagen d. Landtechn. Heft 9).
- [4] *Söhne, Walter*: zur Weiterentwicklung der Ackerfräse.
Landtechnik 13 (1958) 602/606.
- [5] *Söhne, Walter*: Fräsen und Leichtfräsen.
Landtechnik 14 (1959) 28/30.
- [6] *Loyke, H. J.*: Die Bodenfräse in der Forstwirtschaft.
In: 14. Konstrukteurheft. Düsseldorf: VDI-Verlag 1957. S. 58/60 (Grundlagen d. Landtechn. Heft 9).
- [7] *Galwitz, Karl*: Arbeitsaufwand und Krümelbildung von Fräsworkzeugen in der Bodenrinne.
In: 14. Konstrukteurheft. Düsseldorf: VDI-Verlag 1957. S. 54/57 (Grundlagen d. Landtechn. Heft 9).
- [8] *Bibi, E.*: Le macchine per lavorazione del terreno.
Macchine e motori agricoli 14 (1956) Nr. 1, S. 61/83.
- [9] *Licht, H.*: Ein neuartiges Bodenbearbeitungsgerät.
Dt. Agrartechn. 5 (1955) H. 7, S. 269.

Institut für landtechnische Grundlagenforschung
der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode
Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Batel

Anschrift der Verfasser: Dr.-Ing. Walter Söhne, (20b) Braunschweig, Bundesallee 50
Dr.-Ing. Alfred Eggenmüller (jetzt: Bayerische Pflugfabrik A.G., Landsberg/Lech)