

Arbeitsaufwand und Krümelbildung von Fräsworkzeugen in der Bodenrinne

Von Karl Gallwitz

Der Ausgangspunkt unserer Untersuchungen über Bodenfräsen war die Frage, welche Zusammenhänge zwischen der erzielten Bodenzerkleinerung und der aufgewendeten Energie bestehen. Wir haben zuerst in den Jahren 1947 und 1949 versucht, im Freiland auf etwas vorbereitetem Boden durch Zeitlupenaufnahmen in die Zusammenhänge zwischen der Werkzeugbewegung und dem technologischen Erfolg, also der Krümelung, einzudringen. **Bild 1** ist einem Film, der damals mit Zuhilfenahme des *Instituts für den Wissenschaftlichen Film* entstanden ist, entnommen.



Bild 1. Zeitlupenaufnahmen der Werkzeugbewegung und der Krümelung beim Fräsen.

Wir hatten einen Bodenstreifen mit seiner senkrechten Wand freigelegt, diese weiß eingestäubt, und dann die Fräse an einer Führung, um Breite und Höhe unbeeinflusst zu lassen, diesen Streifen durcharbeiten lassen. Dann sah man ganz gut, wie der Boden bei verschiedener Werkzeugform und -geschwindigkeit auch mit verschiedenen Ribbildungen aufbrach. Interessant waren bei der Auswertung dieses Films vor allen Dingen die Änderungen der Winkelgeschwindigkeiten der gefederten Werkzeuge [1]. Die Versuche waren aber nicht so fruchtbar, daß es lohnend erschien, sie in dieser Richtung fortzusetzen. Zunächst sind wir dazu übergegangen, die Untersuchungen aus dem gewachsenen Boden herauszunehmen und in einem künstlich aufbereiteten Boden mit Einzelwerkzeugen im einmaligen Durchgang zu arbeiten. Über diese Versuche wurde be-

reits 1953 [2] berichtet; es soll aber noch einmal kurz auf sie eingegangen werden, weil sie grundlegende Ergebnisse hatten.

Bild 2 zeigt die verwendete Versuchseinrichtung. Als Antriebsorgan nahmen wir einen einem Pendel-schlagwerk ähnlichen Pendelhammer, der über ein Drahtseil und eine Scheibe die Fräswelle antrieb. Es wurde die Differenz der Steigwinkel des Pendels bei Leerlauf und nach Eindringen des Werkzeugs in den Boden gemessen und daraus die vom Werkzeug geleistete Arbeit am Boden errechnet.

Wir haben zwei verschiedene, einen leichteren und einen schwereren Boden bei konstant gehaltener Feuchtigkeit in einen Kasten eingesiebt, verdichtet und dann die Wirkung verschiedener Fräsworkzeuge in diesen Böden beobachtet. Als Maß für die Krümelungswirkung haben wir einen Wert errechnet, den wir als die innere Oberfläche bezeichnet haben. Dazu haben wir die entstandenen Krümel in einzelne Größenordnungen abgesiebt, haben dann für diese einzelnen Größenordnungen einen mittleren Durchmesser gebildet und die Oberfläche der so theoretisch entstandenen Kugeln ausgerechnet. Je feiner der Boden gekrümelt wurde, umso größer war also die erzielte Oberfläche. Auf diese Weise konnten wir den Effekt eines Werkzeugdurchgangs in einer Zahl zusammenfassen.

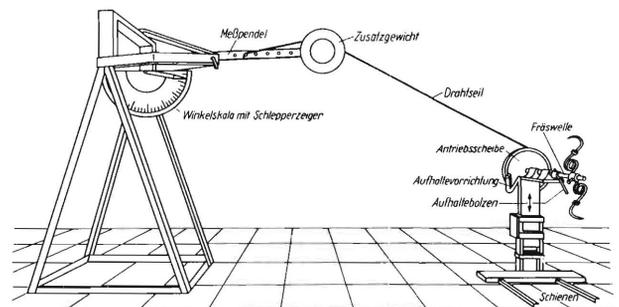
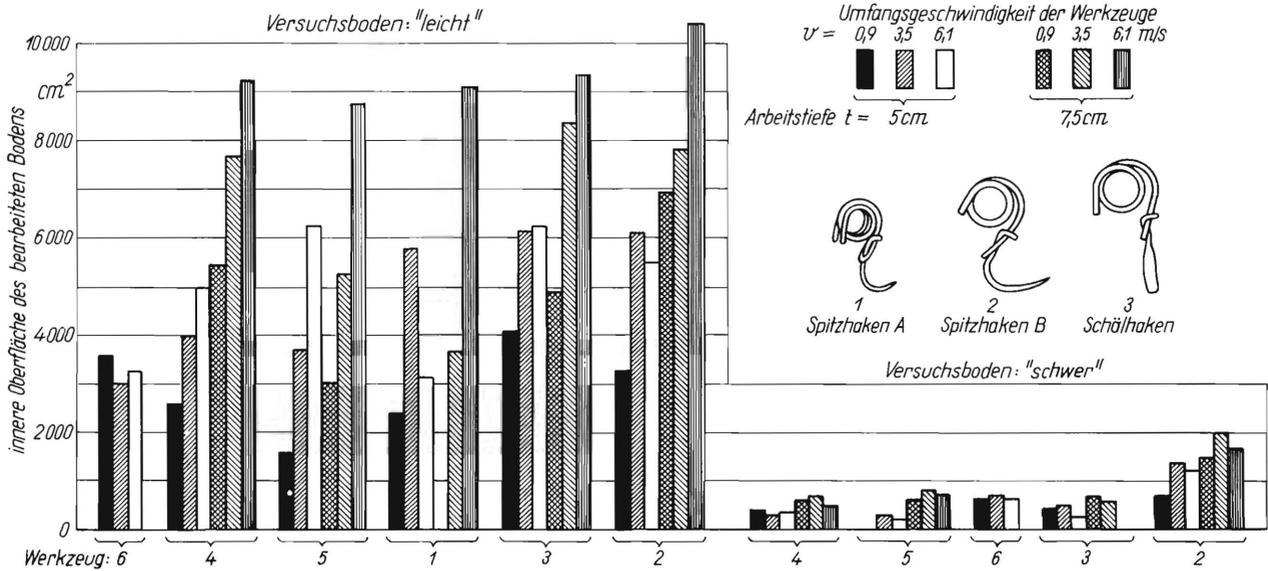


Bild 2. Versuchseinrichtung zum Messen der vom Fräsworkzeug geleisteten Arbeit.

Bild 3 zeigt eine gedrängte Zusammenstellung dieser Versuchsergebnisse. Die verschiedenen Werkzeuge sind mit den Ziffern 1 bis 6 gekennzeichnet



net. In der Ordinate ist die entstandene innere Oberfläche eines leichten Bodens dargestellt und in der Abszisse jeweils die Geschwindigkeiten der Werkzeugspitzen mit $v = 0,9, 3,5$ und $6,1$ m/s bei einer Arbeitstiefe von $t = 5$ bzw. $7,5$ cm variiert. Im schweren Boden sind die Ergebnisse ähnlich. Man sieht nun, daß die höhere Geschwindigkeit im allgemeinen auch die innere Oberfläche wesentlich vergrößert hat. Es kommen aber auch Ausnahmen vor. Außerdem ist die Zunahme der Krümelung (innere Oberfläche) außerordentlich verschieden, ist also sehr stark eine Funktion der Werkzeugform.

Die Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:
Bei größerer Umfangsgeschwindigkeit ergibt sich eine größere Feinkrümelung, aber auch ein zunehmender Leistungsbedarf, bei schwerem Boden ein zunehmender Leistungsbedarf und geringere Feinkrümelung als bei leichtem Boden. Gefederte Werkzeuge auf schwerem Boden haben einen geringeren Leistungsbedarf und bessere Feinkrümelung als starre Werkzeuge. Werkzeuge mit messerscheidenartiger Form haben bei steigender Umfangsgeschwindigkeit einen geringeren Leistungsbedarf; d.h., langsamer Schnitt erfordert eine relativ höhere Leistung für die Erzielung einer bestimmten inneren Oberfläche je Volumeneinheit. Schließlich war insgesamt zu erkennen, daß es Bereiche gibt, in denen verschiedene Werkzeuge bei unterschiedlichem Leistungsaufwand fast gleiche Krümelung hervorrufen. Es liegt also in der Hand der Werkzeughersteller, Werkzeuge herauszufinden, die für bestimmte Bodenarten mit einem Minimum an Aufwand ein Maximum an Feinkrümelung ergeben.

In Bild 4 sind die Zusammenhänge noch einmal im ganzen dargestellt. Wenn wir in der Ordinate die innere Oberfläche als Maß für die erzielte Feinkrümelung und in der Abszisse den Leistungsbedarf

Bild 3. Durch das Fräsen mit verschiedenen Werkzeugen entstandene „innere“ Bodenoberfläche als Maß für die Krümelung.

- 1 Spitzhaken A 4 Ritzmesser A
- 2 Spitzhaken B 5 Ritzmesser B
- 3 Schälhaken 6 Hackmesser

auftragen, so ergibt sich, daß insgesamt eine bessere Feinkrümelung mit einer höheren Leistung erkauft wird. Aber es gibt Werkzeuge, die schon bei verhältnismäßig geringen Leistungen einen sehr steilen Anstieg der inneren Oberfläche haben, aber auch Werkzeuge, bei denen erst mit höherem Leistungsaufwand eine stärkere Krümelung erzielt

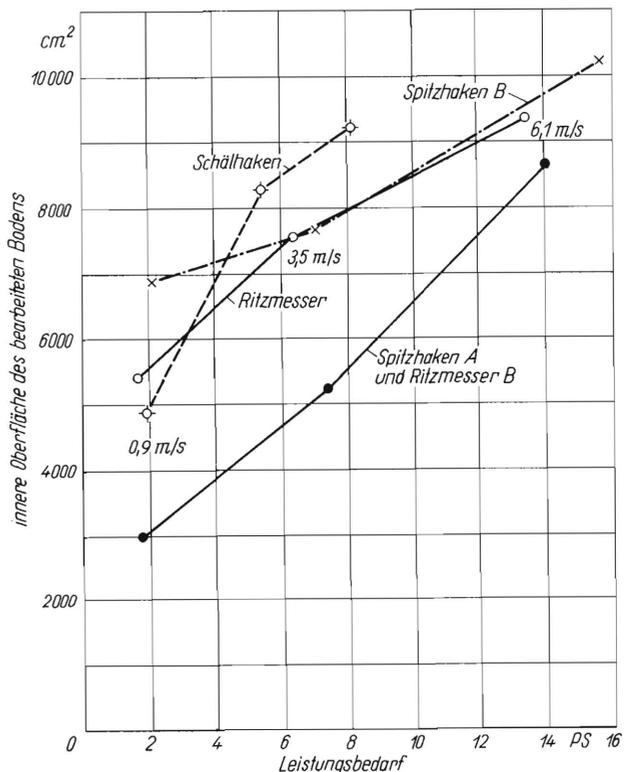


Bild 4. Abhängigkeit des Leistungsbedarfs von der erzielten Krümeloberfläche.

Versuchsboden leicht Arbeitstiefe 7,5 cm

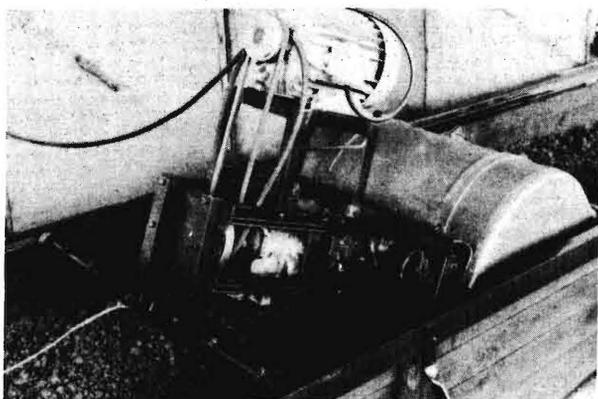


Bild 5. Elektrisch angetriebener Versuchsfrässhwanz in der Bodenrinne. Vorschub erfolgt durch Seilzug einer Winde.

wird, die also trotz größerer Steigerung der Leistung keine wesentliche, zusätzliche Zertrümmerungsarbeit mehr ergeben.

In den letzten Jahren haben wir weitere Versuche an einem kompletten Frässhwanz in einer Bodenrinne mit 50cm Arbeitsbreite gemacht [3]. Hier haben wir nur noch verschiedene gefederte Werkzeuge benutzt. Dabei wurde die Umfangsgeschwindigkeit und der Vorschub geändert, um zu sehen, wie sich der Leistungsbedarf auf die Krümelung auswirkt. Der Frässhwanz der Versuchseinrichtung (**Bild 5**) wurde hierbei elektrisch angetrieben und die Leistungsaufnahme des Elektromotors gemessen. Der Vorschub der Fräse erfolgte durch eine Seilwinde. Damit uns die Fräse nicht davon lief, wurde hinten ein Bremssporn angebaut. Auf diese Weise haben wir auch wieder mit verschiedenen Geschwindigkeiten, d.h. mit verschiedenen Bissenlängen, gearbeitet und haben die Krümelung des Bodens jeweils gemessen. Auffallenderweise zeigte sich, daß der Boden eine charakteristische Krümelgröße beibehielt und daß die Werkzeuge nur am Rande die Krümelung beeinflussten. Von Versuch zu Versuch mußten wir den Boden neu aufbereiten, und es machte gewisse Schwierigkeiten, immer wieder den-

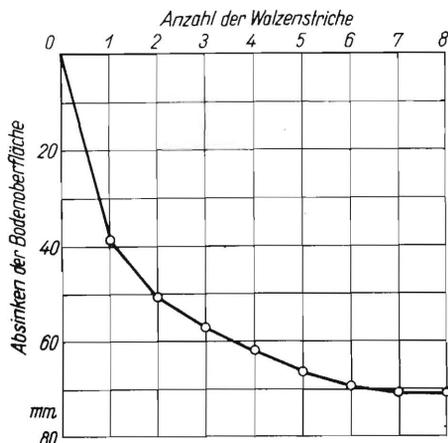


Bild 6. Verdichtung des aufbereiteten Bodens in der Bodenrinne durch mehrmaliges Walzen.

selben Ausgangszustand herbeizuführen. Dazu haben wir den Boden zunächst mehrfach gründlich gefräst und ihn dann so gewalzt, daß eine Sonde immer den gleichen Eindringwiderstand ergab. **Bild 6** zeigt, wieviel verschiedene Walzenstriche notwendig waren und daß nach dem 5., 6. und 7. Walzenstrich kaum noch eine weitere Verdichtung erzielt wurde. Wir mußten also so oft walzen, bis der gewünschte, endgültige Zustand erreicht war.

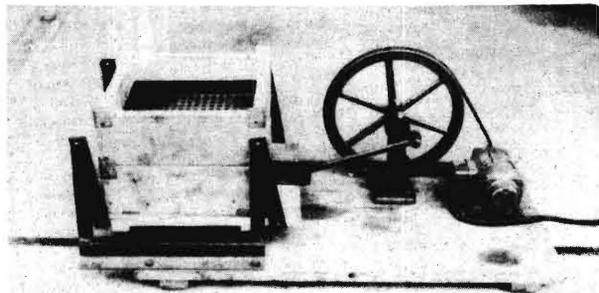


Bild 7. Siebvorrichtung zur Bestimmung der Krümelanalyse.

In **Bild 7** ist die Siebvorrichtung, mit der wir die Krümel abgeseibt haben, wiedergegeben. Dies ist ja ein etwas wunder Punkt bei den Bodenanalysen. Wenn man aber dafür sorgt, daß die Amplitude und die Frequenz der Siebbewegung und die Zeitdauer der Einwirkung konstant bleiben, so bekommt man doch recht brauchbare Werte. Diese Ergebnisse zeigen **Bild 8 und 9**. Der mehrfach aufgefäste Boden hatte vor dem Walzen die mit Grundstruktur bezeichnete Krümelzusammensetzung. Dieser Boden

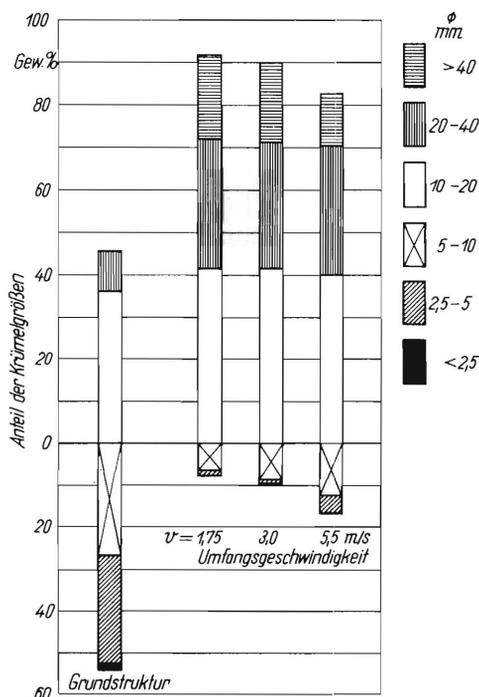


Bild 8. Krümelanalysen des mehrfach aufgefästen Bodens in der Bodenrinne vor dem Walzen (Grundstruktur) und nach dem Walzen beim Fräsen mit verschiedenen Geschwindigkeiten.

Werkzeug: Spitzhaken Arbeitstiefe: 8cm Bissenlänge: 69mm

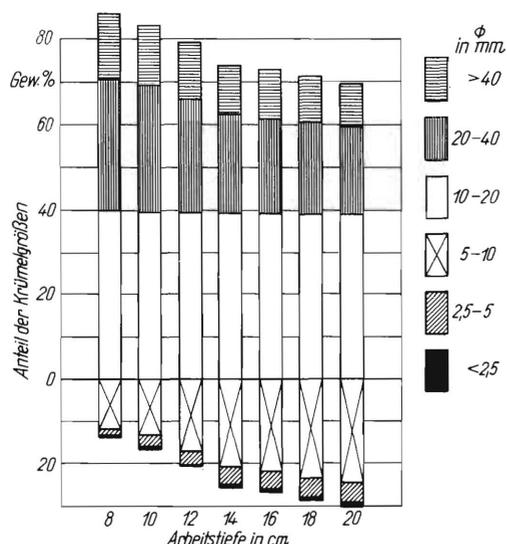


Bild 9. Die Krümelung durch das Fräsen in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe.

Werkzeug: Spitzhaken Vorschub: 0,148 m/s
Umfangsgeschwindigkeit: 3,0 m/s Bissenlänge: 39 mm

wurde dann verfestigt, und es ergaben sich bei verschiedenen Fräsgeschwindigkeiten die in Bild 8 dargestellten Krümelzusammensetzungen. In Bild 9 ist die Krümelung als Funktion der Arbeitstiefe dargestellt. Es tritt hier das merkwürdige Phänomen auf, daß die Krümelgröße von 10 bis 20 mm, die

hier weiß gezeichnet ist, konstant erhalten bleibt, obgleich sich die Bearbeitungsbedingungen (die Arbeitstiefe wurde von 8 bis 20 cm variiert) geändert haben. Wir sehen, daß also nur sehr langsam eine Verfeinerung des Bodens eintritt und daß praktisch das Hauptvolumen eine ziemlich unveränderte Krümelgröße behält. Es mag dies mit an der Versuchseinrichtung, also an der Bodenrinne, liegen, aber andererseits wird auch von erfahrenen Fräsenpraktikern gesagt, daß es tatsächlich eine Eigenart der Böden ist, eine bestimmte Krümelstruktur bevorzugt aufrechtzuerhalten, so wie es in Bild 9 der Fall ist.

Über die sonstigen Ergebnisse soll später berichtet werden, weil die Arbeiten noch nicht ganz abgeschlossen sind und auch auf die Firma Rücksicht genommen werden muß, die die Möglichkeit zu dieser Untersuchung gab.

Schrifttum

- [1] Gallwitz, Karl: Untersuchung über den Einfluss der Schnittgeschwindigkeit des Fräsworkzeugs auf die Krümelbildung im Boden. In: Der Schlepper und sein Gerät. Ber. d. Landtechn., Heft XI, Wolfratshausen 1950, S. 60/63, 5 B.
- [2] Gallwitz, Karl, und J. Breitfuss: Vergleichende Untersuchungen an Bodenfräsworkzeugen in zwei Modellböden. Landtechn. Forsch. 3 (1953) S. 125/129.
- [3] Böttcher, Gottfried: Untersuchungen an Fräsworkzeugen in einem Bodenkanal. Diss. Göttingen 1955.

Eingegangen am 29. 3. 1956

Landmaschinen - Institut der Universität Göttingen

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr.-Ing. Karl Gallwitz, (20b) Göttingen, Kreuzberggring 34