

Feldversuche mit einem schwingenden Pflugkörper

Von Alfred Eggenmüller

Die bisher an schwingenden Modellwerkzeugen und einfachen Hackwerkzeugen gewonnenen Erfahrungen [1 und 2] galt es nun auf schwierigere Bodenbearbeitungswerkzeuge zu übertragen. Im Vordergrund steht dabei der Streichblechpflug, bei dem vor allem seine hohen Zugkräfte verringert werden müssen. Allerdings sind am Streichblechpflug die Vorgänge des Abtrennens des Bodenquerschnittes von Landseite und Furchensohle, des Hoch- und Seitentransportes, der Krümelung, Lockerung, Mischung und Wendung so vielfältig und ineinandergreifend, daß man sich an eine Lösung nur herantasten kann, wobei allerdings auch grundsätzliche Überlegungen über die (technologische) Eignung eines Pflugkörpers für den Schwingantrieb angestellt werden müssen.

Getrennte Schwingung von Schar und Streichblech

Bei einer starken Vereinfachung der Verhältnisse an einem Streichblechpflug können die Funktionen des Schar und des Streichbleches abgegrenzt werden. Das Schar schneidet den Boden ab und hebt ihn an. Das Streichblech übt Kräfte auf den Bodenbalken aus, die zwar eine weitere Krümelung, verbunden mit Mischung und Wendung, hervorrufen, ihn im wesentlichen aber dabei zur Seite transportieren.

Das Pflugschar kann also in seiner Form und Aufgabe mit einer geneigten Fläche verglichen werden, die schon früher als schwingendes Modellwerkzeug eingehend untersucht wurde [1]. Somit dürften für Frequenz, Amplitude und Schwingungsrichtung in Verbindung mit der Fahrgeschwindigkeit am Pflugschar die gleichen Gesichtspunkte gelten wie für eine schwingende, geneigte Fläche. Die Schrägstellung der Scharsschneide (Scharsschneidenwinkel) kann dadurch berücksichtigt werden, daß man das Schar nicht parallel zur Fahrtrichtung, sondern etwa in einem Winkel senkrecht auf die Scharsschneide schwingen läßt.

Das Streichblech kann man zur Vereinfachung als eine im wesentlichen senkrechte, mit einem Winkel gegen die Fahrtrichtung gestellte Fläche betrachten. Es lassen sich dann für den Transport des Bodens nach der Seite durch ein Streichblech ähnliche Überlegungen anstellen wie für den Transport des Bodens von einem schwingenden Modell-

werkzeug nach oben (Bild 1). Am Streichblech entfällt allerdings der Schneidvorgang. Es findet lediglich ein Transport des Bodens statt, wobei Kräfte auf ihn wirken, welche eine weitere Krümelung, Lockerung und Wendung zur Folge haben. Zwischen Bodenbalken und Streichblech entstehen Reibungskräfte sowie Beschleunigungskräfte durch die Umlenkung des Bodens von einer mehr aufwärts gerichteten, vom Schar hervorgerufenen Bewegung in eine mehr seitliche Bewegung. Diese Kräfte verursachen mit ihren Längskomponenten Widerstände in Fahrtrichtung, tragen also zum Zugwiderstand des Körpers bei.

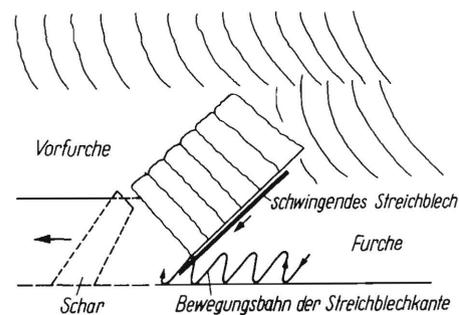


Bild 1. Seitlicher Transport des Bodens bei einem schwingenden Streichblech (im Grundriß gesehen).

Überträgt man die Bewegungsbahnen eines schwingenden Werkzeuges, wie sie für die Bewegung eines scharähnlichen Werkzeuges in der Seitenansicht aufgezeichnet wurden ¹⁾, auf die Bewegung, die ein senkrecht stehendes Werkzeug im Grundriß beschreiben würde, so gelten ähnliche Gesichtspunkte für einen Bodentransport nach der Seite wie vorher für einen solchen nach oben. Schwingt also das Streichblech, im Grundriß betrachtet, in einem Winkel zur Fahrtrichtung, so bewegt sich jeder Punkt seiner Oberfläche in einer jener aufgezeichneten (oder ähnlichen) Schwingungsbahnen, die von der Frequenz, der Amplitude, der Schwingungsrichtung und der Fahrgeschwindigkeit abhängen. Die Bewegung des schwingenden Streichbleches kann dann ebenfalls in zwei Phasen aufgeteilt werden: in eine Vorwärtsbewegung und eine seitliche Bewegung. Bei der seitlichen Bewegung wird der auf dem Streichblech liegende Boden zur Seite bewegt, und wenn die darauf folgende Vorwärtsbewegung so abgestimmt ist, daß ihr Win-

¹⁾ Siehe Bild 11 bis 13 in [1].

kel zur Fahrtrichtung steiler ist als der Seitenwinkel des Streichbleches, dann erfolgt diese Bewegung ohne Berührung mit dem Boden (Bild 1), also ohne Reibung.

Die bei der seitlichen Bewegung auftretenden Kräfte stehen fast senkrecht zur Fahrtrichtung, verursachen also keinen oder nur einen geringen Zugwiderstand. Bei der Vorwärtsbewegung ist der Boden mehr oder weniger vom Werkzeug abgehoben, wodurch nur noch kleine Kräfte auftreten, was wiederum eine Verringerung der Zugkraft zur Folge hat.

Nun entspricht die Form eines Streichbleches bei den meisten Körperformen nicht ganz dieser stark vereinfachten Vorstellung. Die S-Form dürfte am ehesten einer schräg im Raum stehenden Fläche mit leichter Krümmung gleichkommen. Auch kann

man eine optimale Form eines schwingenden Streichblechs ohne eingehende Versuche nicht festlegen, dabei werden sicher ganz andere Kräfte auf den Boden übertragen, so daß sich die Verhältnisse vor allem im Hinblick auf die Wendung gegenüber einem starren Körper ändern können.

Entsprechend ihren verschiedenen Aufgaben müssen also Schar und Streichblech in verschiedenen Richtungen schwingen, d.h. sie müssen getrennt voneinander aufgehängt sein und getrennt angetrieben werden. Dabei ist es notwendig, daß ein möglichst guter Massenausgleich der schwingenden Teile erzielt wird, wobei nach Möglichkeit die mit-schwingende Bodenmasse und die an den Werkzeugen auftretenden Bodenkräfte berücksichtigt werden sollten.

Versuchsausführung des schwingenden Pflugkörpers

Die günstige Schwingungsrichtung für das Schar ist, im Seitenriß gesehen, ein Winkel von 30° zur Furchensohle und, im Grundriß betrachtet, ein Winkel von 15° bis 30° zur Fahrtrichtung. Das Streichblech soll, im Seitenriß gesehen, ebenfalls unter einem Winkel von 30° zur Furchensohle schräg nach oben und, im Grundriß betrachtet, unter einem Winkel von 45° zur Furchenwand schräg nach hinten schwingen (Bild 2). Ein teilweiser Massenausgleich kann nun durch eine geeignete Kurbelversetzung der schwingenden Werkzeuge erzielt werden. Ein weiterer Massenausgleich ist durch Ausgleichsgewichte A auf der Antriebswelle möglich, deren Größe allerdings konstruktiv beschränkt ist. Durch eine entsprechende Verteilung der Ausgleichsgewichte längs der Antriebswelle kann ein teilweiser Ausgleich der Momente um die Körperbefestigung erzielt werden.

Eine weitere Schwierigkeit bereitet bei der konstruktiven Lösung die Ausbildung des Antriebes. Durch eine geeignete Lage der Antriebswelle zu den bewegten Teilen kann allerdings ein günstiger Kompromiß zwischen Aufwand, günstigem Massenausgleich und günstiger Schwingungsrichtung gefunden werden. In Bild 3 ist die Anordnung von Schar und Streichblech, ihre Anlenkung, der Antrieb und die Lage der Ausgleichsgewichte schematisch dargestellt. Eine Schrägstellung der Antriebswelle vereinfacht die konstruktive Ausbildung von Werkzeugaufhängung und -antrieb. Zwischen Schar und Streichblech mußte ein genügend großer Spalt gelassen werden, damit durch Steine keine Störungen verursacht werden. Bei den Versuchen konnte jedoch keine große Beeinflussung des Bodenflusses infolge des Spaltes beobachtet werden.

Bild 4 und 5 zeigen den ausgeführten Körper. Er besteht aus dem als Lagergehäuse ausgebildeten Rumpf, an dem Schar und Streichblech an je

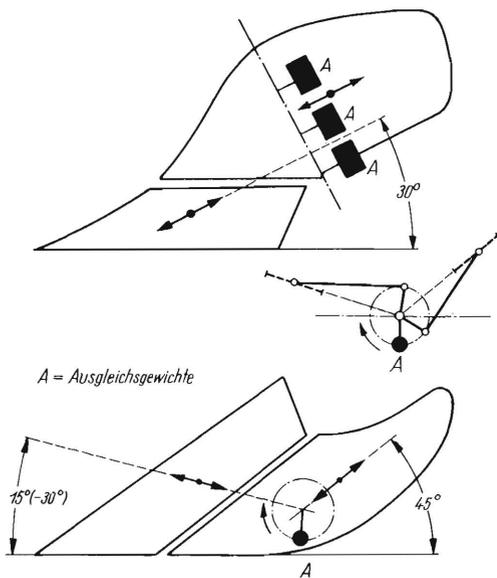


Bild 2. Schwingungsrichtungen und Möglichkeit eines teilweisen Massenausgleiches bei gegeneinander schwingendem Schar und Streichblech.

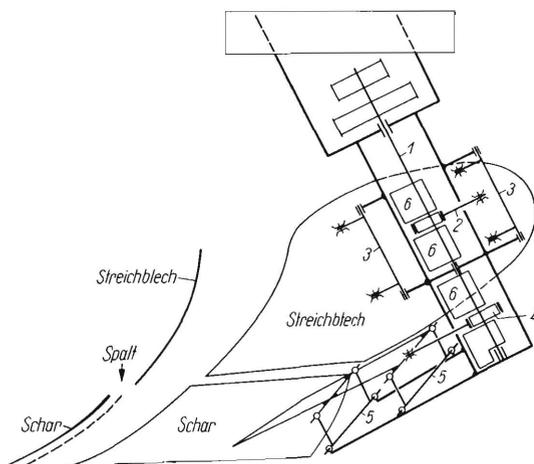


Bild 3. Schematische Darstellung des Antriebes und der Führung des schwingenden Werkzeuges des Versuchspfluges.

- | | |
|--------------------------------|-------------------------|
| 1 Antriebswelle | 4 Kurbeltrieb für Schar |
| 2 Kurbeltrieb für Streichblech | 5 Lenkerpaare „ „ |
| 3 Lenkerpaare „ „ | 6 Ausgleichsgewichte |

einem schwingenden Parallelogramm aus zwei Lenkerpaaren angelenkt sind. Schar und Scharträger sind, wie alle anderen Teile des Körpers, in Leichtbauweise ausgeführt. Der als Zentralrohr ausgebildete Rumpf enthält die Keilriemenscheiben für den Antrieb, die Antriebswelle mit Exzentrern und Ausgleichsgewichten. Die Lenkerpaare und die Kurbelstangen sind in Schwingmetall gelagert. Um eine genügende Stabilität der Parallelogrammführung zu erreichen, wurden für die Lenker große Lagerabstände gewählt und jeweils zwei über eine Rohrverbindung zusammengefaßt.

Der Körper wurde für die Versuche in der in Bild 5 dargestellten Weise am Einkomponentenmeßpflug angebaut, womit die Zugkraftkomponente in Fahrtrichtung gemessen werden konnte.

Die Messungen wurden ohne und mit (nicht mit-schwingender) Anlage und Sohle durchgeführt. Im ersteren Falle wurden sie durch ein am Rahmen des Pfluges angebrachtes Furchenrad ersetzt, dessen Rollwiderstand wie auch der Arbeitswiderstand des Messersechs nicht mit gemessen wurde. Der Antrieb der schwingenden Werkzeuge erfolgte von einem zweistufigen Elektromotor über einen zweistufigen Keilriemenantrieb, wobei durch Drehzahländerung ein Frequenzbereich von 10 bis 40 Hz erreicht werden konnte. Die Amplituden konnten durch Auswechseln der Exzenter variiert werden. Die Leistungsaufnahme des Elektromotors wurde durch ein Wattmeter gemessen; die vom Motor aufgenommene und abgegebene Leistung konnte durch eine Eichmessung mit dem Motor als Pendelmotor bestimmt werden. Auf eine Änderung der Schwingungsrichtung wurde verzichtet.

Infolge der federnden Aufhängung des ganzen Pflugkörpers in den Federplatten des Meßgehäuses traten am Rumpf des Körpers Gegenschwingungen auf, so daß beim Pflügen die tatsächlichen Amplituden kleiner waren als sie der Einstellung nach hätten sein müssen. Eine Verbesserung wurde dadurch erzielt, daß die Meßeinrichtung unter eine Federvorspannung gesetzt wurde. Die Resonanz-

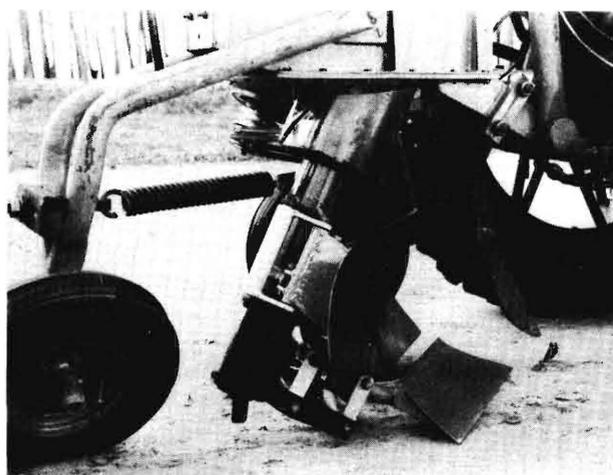


Bild 4. Schwingender Pflugkörper mit Antrieb. (Schar und Streichblech nach Körperform S 20)



Bild 5. Schwingender Pflugkörper am Einkomponenten-Messpflug zur Messung des Zugwiderstandes in Fahrtrichtung.

schwingungen können dann bei Frequenzen unter 20 Hz vernachlässigt werden. Bei den Versuchen mit fester Anlage und Sohle war diese Federvorspannung nicht notwendig, weil durch die Abstützung des Pflugkörpers an der Furchenwand die Resonanzschwingungen im unteren Frequenzbereich größtenteils verhindert wurden.

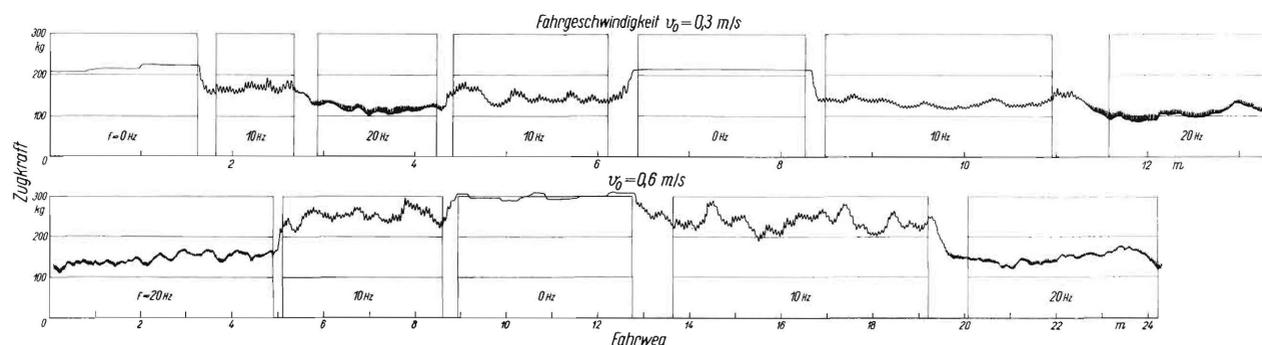


Bild 6. Beispiele von Zugkraftdiagrammen, die mit starrem und schwingendem Pflugkörper in einem lehmigen Sandboden aufgenommen wurden.

Arbeitsbreite	$b = 25 \text{ cm}$	Amplitude der Werkzeuge	$A = 9 \text{ mm}$	Wassergehalt des Bodens	15% i. M.
Arbeitstiefe	$f = 25 \text{ cm}$	Frequenz	$f = 10 \text{ und } 20 \text{ Hz}$	Porenanteil	„ „ 41% i. M.
Fahrgeschwindigkeit	$v = 0,3 \text{ und } 0,6 \text{ m/s}$				

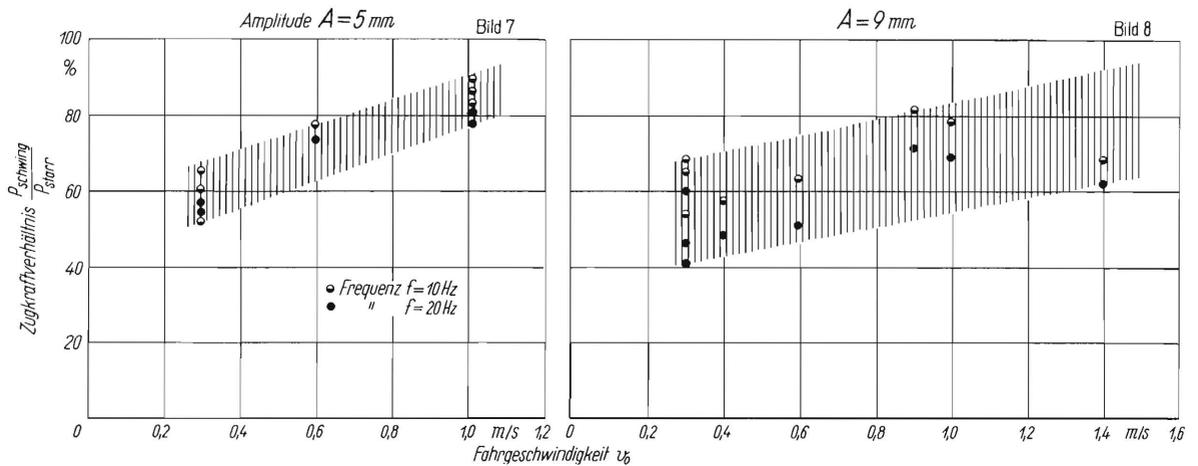


Bild 7 und 8. Zugkraftverringerng an einem schwingenden Pflugkörper in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei Schwingungsamplituden von 5 und 9 mm an Schar und Streichblech. Pflugkörper ohne Anlage und Sohle im Vergleich zu einem starren Pflugkörper.

Feldversuche auf lehmigem Sand

Sämtliche Versuche wurden in einem lehmigen Sandboden durchgeführt, wobei zum Vergleich die Zugkräfte bei starrem und schwingendem Körper gemessen wurden. In **Bild 6** sind einige Beispiele von den Zugkraftdiagrammen zusammengestellt. Bei den mit schwingenden Werkzeugen erhaltenen Schrieben kann man deutlich die Schwankungen im Zugkraftverlauf, die die gleiche Frequenz wie die Antriebsfrequenz haben, erkennen.

Bei den Versuchen ohne Anlage und Sohle konnte bei der kleinen Amplitude von 5 mm und bei einer kleinen Fahrgeschwindigkeit von 0,3 m/s sowie bei einer Frequenz von 20 Hz die Zugkraft auf etwa 50% der Zugkraft des starren Körpers verringert werden (**Bild 7**). Allerdings geht die Zugkraftverringerng mit höher werdender Fahrgeschwindigkeit stark zurück. Bei einer Amplitude von 9 mm (**Bild 8**) erreicht man bei der Fahrgeschwindigkeit von 0,3 m/s sogar Zugkraftverringerngen um 60%; auch hier geht die Zugkraftver-

ringerung mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit erheblich zurück wenn auch nicht so stark wie bei der kleinen Amplitude.

Günstiger sind die Ergebnisse bei den Versuchen mit fester Anlage und Sohle. In **Bild 9 und 10** sind die absoluten Zugkräfte bei starrem Körper und bei schwingenden Körpern bei Frequenzen von 10 und 20 Hz über der Fahrgeschwindigkeit aufgetragen. Infolge der großen Streuung gehen die einzelnen Zugkraftbereiche zwar ineinander über, es läßt sich jedoch deutlich eine Verringerung der Zugkraft schon bei 10 Hz und eine beträchtliche bei 20 Hz erkennen.

Bezogen auf die Zugkraft des starren Körpers verringert sich bei der Amplitude von 5 mm und bei einer kleinen Fahrgeschwindigkeit die Zugkraft bei einer Frequenz von 20 Hz um 40 bis 65%, bei 10 Hz um 10 bis 30% (**Bild 11**). Die Werte bei der Amplitude von 9 mm (**Bild 12**) liegen günstiger und erreichen bei kleiner Fahrgeschwindigkeit und einer Frequenz von 20 Hz Zugkraftverringerngen um 70%.

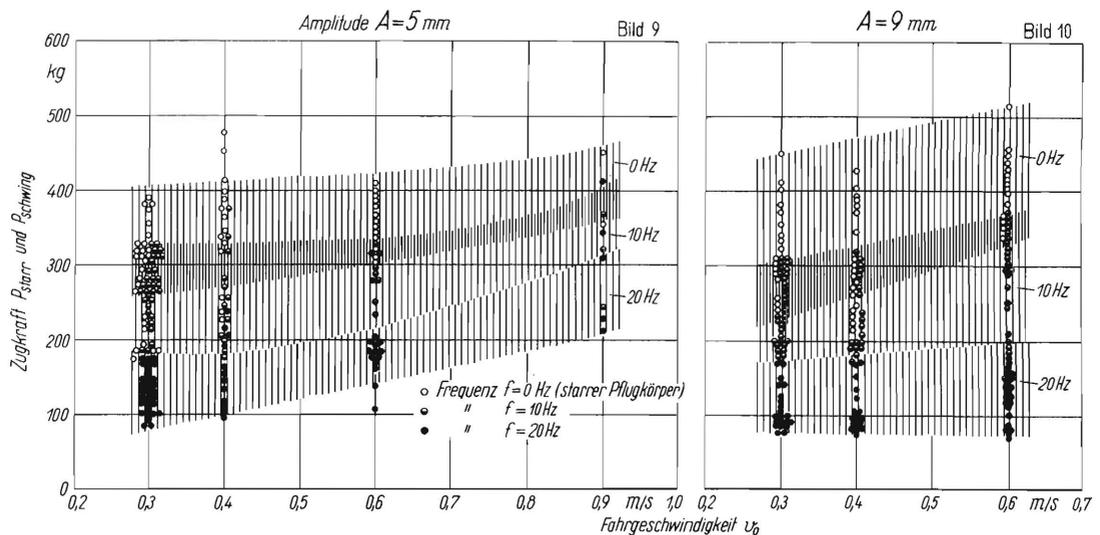


Bild 9 und 10. Absolute Zugkräfte an einem starren und an schwingenden Pflugkörpern in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei Amplituden von 5 und 9 mm. Pflugkörper mit Anlage und Sohle.

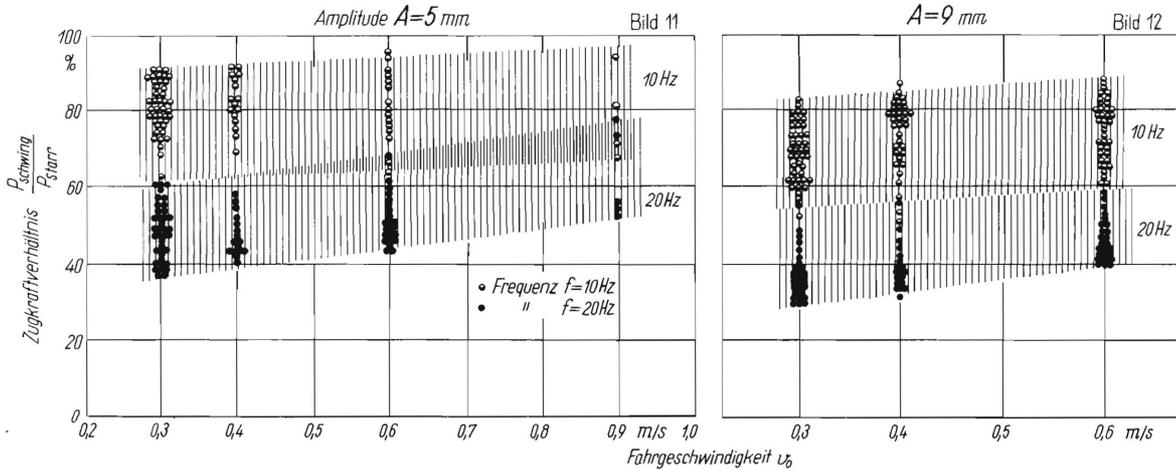


Bild 11 und 12. Zugkraftverringern an einem schwingenden Pflugkörper in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei Amplituden von 5 und 9 mm. Pflugkörper mit Anlage und Sohle im Vergleich zu einem starren Pflugkörper.

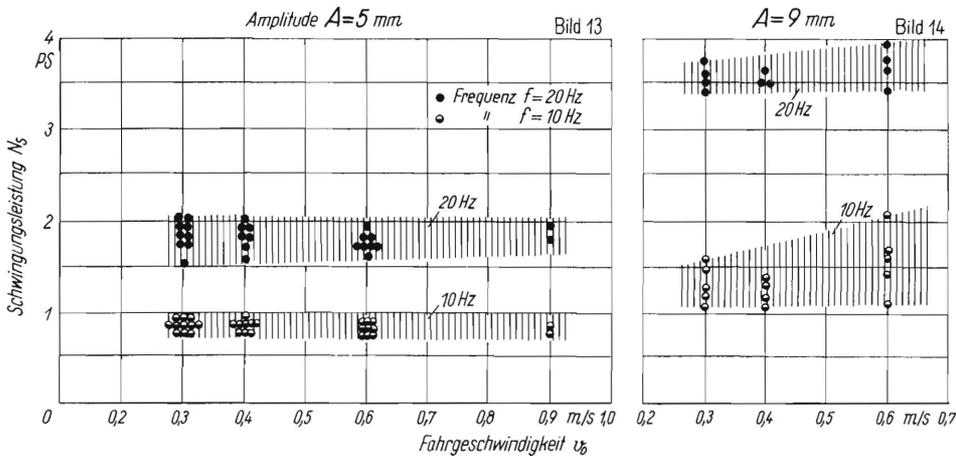


Bild 13 und 14. Leistungsaufwand für den Antrieb des schwingenden Pflugkörpers in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei Amplituden von 5 und 9 mm.

Bei den Versuchen wurde die von dem Elektromotor abgegebene Leistung für den Schwingantrieb gemessen. Die angegebenen Werte enthalten also die Leerlaufverluste und Reibungsverluste sowie die Verluste im Keilriemenantrieb. Bei einer Frequenz von 10 Hz und einer Amplitude von 5 mm (Bild 13) genügt für den Antrieb des Körpers in dem ganzen untersuchten Fahrgeschwindigkeitsbereich 1 PS; bei 20 Hz sind jedoch dafür 2 PS erforderlich. Bei einer Amplitude von 9 mm (Bild 14) war die erforderliche Antriebsleistung auch bei 10 Hz höher und erreichte Werte bis zu 2 PS; die bei 20 Hz notwendige Antriebsleistung liegt hier allerdings schon bei 3,5 bis 4 PS. Große Amplituden bei relativ hohen Frequenzen erfordern hohe Antriebsleistungen, wie schon in den früheren Versuchen festgestellt wurde.

Trägt man den Verlauf der Antriebsleistung über der Frequenz auf (Bild 15), so erkennt man deutlich den starken Anstieg der Leistung von 10 auf 20 Hz, vor allem bei der großen Amplitude. Ein ähnlich starker Anstieg ist zwischen den beiden Amplituden von 5 und 9 mm festzustellen (Bild 16), und zwar hier vor allem bei der hohen Frequenz.

Interessant ist nun ein Vergleich des Gesamtleistungsverbrauches zwischen dem starren und dem schwingenden Körper (Bild 17 und 18). In allen Fällen liegt die erforderliche Gesamtleistung des schwingenden Pflugkörpers, also die verbleibende Zugleistung zuzüglich der erforderlichen Leistung für den Schwingungsantrieb, über der Zugleistung des starren Körpers. Allerdings wird mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit das Verhältnis „Gesamtleistung des schwingenden Pflugkörpers zur Zug-

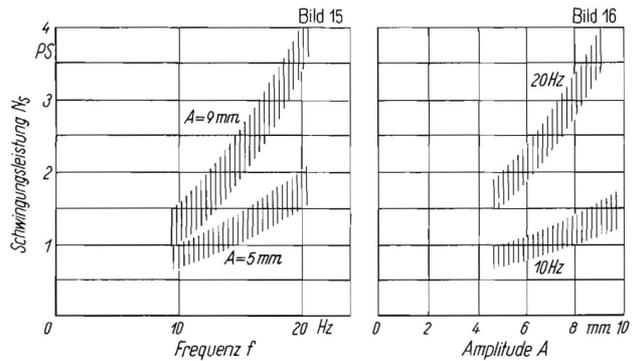


Bild 15 und 16. Leistungsaufwand für den Antrieb des schwingenden Pflugkörpers in Abhängigkeit von Frequenz und Amplitude für Fahrgeschwindigkeiten zwischen 0,3 und 0,9 m/s.

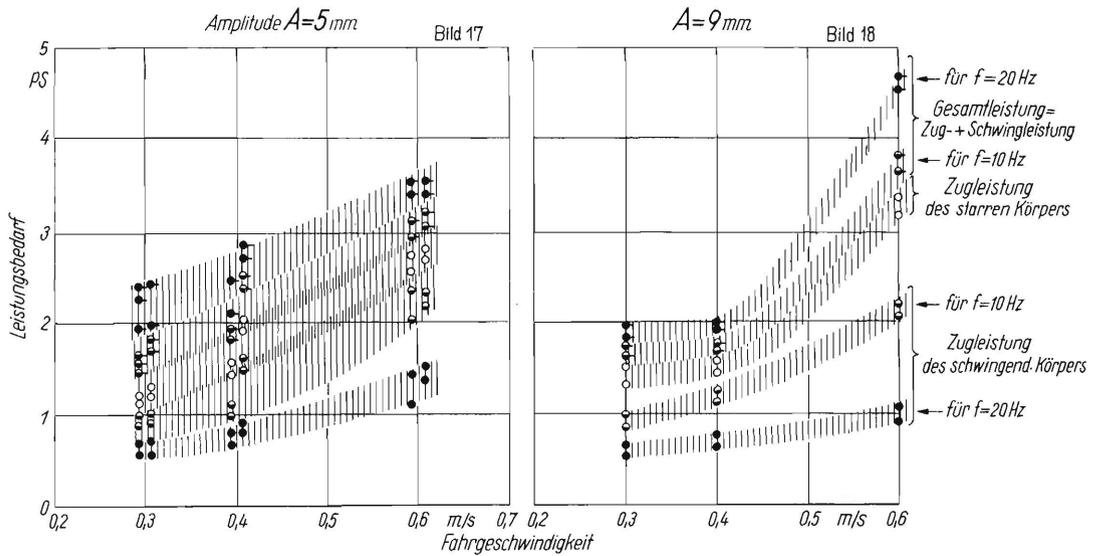


Bild 17 und 18. Gesamleistungsbedarf eines schwingenden Pflugkörpers als Summe aus der Zugleistung und der Leistung für den Schwingantrieb im Vergleich mit der Zugleistung des starren Körpers.

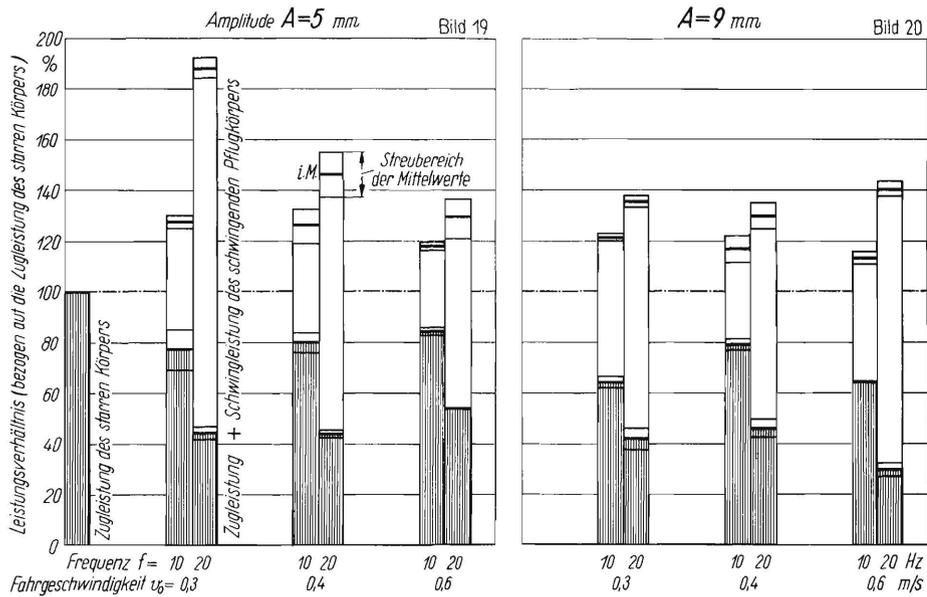


Bild 19 und 20. Prozentualer Leistungsvergleich zwischen schwingendem und starrem Pflugkörper. GesamtLeistungsverbrauch (und Zugleistung) des schwingenden Körpers, bezogen auf die entsprechende Zugleistung des starren Körpers, bei Amplituden von 5 und 9 mm.

leistung des normalen Pflugkörpers” zugunsten der Gesamtleistung des schwingenden Körpers kleiner, wie aus **Bild 19 und 20** hervorgeht, in denen der GesamtLeistungsverbrauch des schwingenden Pflugkörpers auf die jeweilig entsprechende Zugleistung des starren Körpers gleich 100% bezogen ist. Dieser GesamtLeistungsverbrauch kann hierbei das Doppelte der Zugleistung des starren Körpers betragen; dies ist vor allem bei der kleinen Fahrgeschwindigkeit der Fall. Bei der großen Fahrgeschwindigkeit liegt die Gesamtleistung nur etwa 30% über der jeweiligen Zugleistung des starren Körpers.

Die Ergebnisse der Zugkraftverringerung könnten auch hier über der Verhältniszahl z aus den früheren Untersuchungen ²⁾ zusammenfassend dargestellt werden. Bei dem untersuchten schwingenden

Pflugkörper sind jedoch die Schwingungsrichtungen konstant und die Verhältnisse schwieriger, als daß sie einer solchen einfachen Gesetzmäßigkeit ohne große Streuung gehorchen würden. Es wurde trotzdem in **Bild 21** der Versuch gemacht, die Ergebnisse über einer anderen einfachen Verhältniszahl

$$z' = \frac{v_0}{A f}$$

die allerdings nicht alle Schwingungsdaten enthält, aufzuzeigen. Dabei liegen die Streubereiche der verschiedenen Frequenzen getrennt. Der Einfluß der Frequenz ist also größer, als er in der Verhältniszahl zum Ausdruck kommt, in der er als linearer Faktor enthalten ist. Das Bild zeigt jedoch, daß mit $z' = 1,5$ bis $2,5$ schon ein günstiger Wert für die

²⁾ Verhältniszahl $z = \frac{\text{Schwingungslänge } l}{\text{Schwingungshöhe } h} = \frac{v_0}{2 A f \sin \varphi}$

Zugkraft am schwingenden Körper erreicht werden kann, und wie mit kleinem z' eine weitere Zugkraftverringering erzielt werden kann.

Die Tendenz der Ergebnisse und ein Vergleich mit den Ergebnissen bei anderen Werkzeugen lassen den Schluß zu, daß mit größeren Frequenzen und größeren Amplituden auch bei hoher Fahrgeschwindigkeit die Zugkraft entsprechend den erreichten Werten bei kleiner Fahrgeschwindigkeit verringert werden kann. Untersuchungen bei höheren Frequenzen waren leider wegen der geschilderten Resonanzschwingungen infolge der federnden Aufhängung des Pfluges in der Meßeinrichtung nicht möglich.

Zusammenfassung

Aus den Ergebnissen über die günstigste Schwingungsform eines Werkzeuges in Form einer geneigten Fläche wurden Rückschlüsse über die Auslegung der Schwingungsdaten an Schar und Streichblech eines Pflugkörpers gezogen. Nach diesen Überlegungen wurde ein schwingender Pflugkörper gebaut, bei dem Schar und Streichblech in verschiedenen räumlichen Schwingungsrichtungen gegeneinander schwingen.

Die Versuche in einem lehmigen Sandboden ergaben bei einer Amplitude von 9 mm und einer Frequenz von 20 Hz bei einer Fahrgeschwindigkeit von 1 km/h eine Zugkraftminderung bis zu 70%. Bei höherer Fahrgeschwindigkeit geht bei gleichen

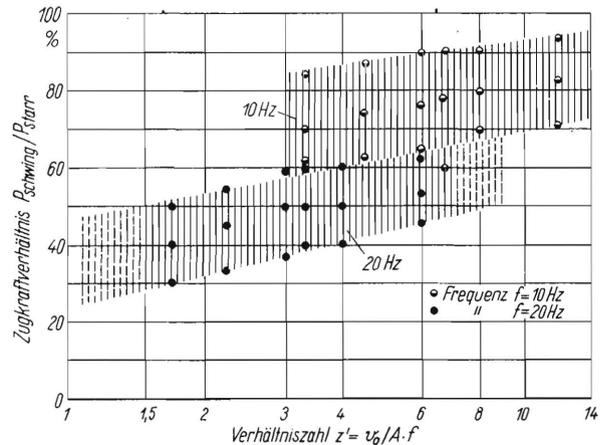


Bild 21. Zugkraftverhältnis des schwingenden Pflugkörpers, auf die Zugkraft des starren Körpers bezogen, in Abhängigkeit von der Verhältniszahl z' .

Schwingungsdaten die Zugkraftminderung zwar wieder zurück, eine höhere Frequenz würde das aber ausgleichen. Der gesamte Leistungsaufwand für den schwingenden Pflugkörper (Zugleistung und Schwingleistung zusammen) ist allerdings um 30 bis 100% höher als bei starren Körpern.

Schrifttum

- [1] Eggenmüller, Alfred: Schwingende Bodenbearbeitungswerkzeuge. Kinematik und Versuche mit einzelnen Modellwerkzeugen. (In diesem Heft)
- [2] Eggenmüller, Alfred: Versuche mit Gruppen gegeneinander schwingender Hackwerkzeuge. (In diesem Heft)

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

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