

KRÄFTE AN PFLUGSCHEIBEN MIT FREMDANTRIEB

Von Günter Getzlaff

Seit mehr als 20 Jahren wird die Frage diskutiert, wie der schlechte Wirkungsgrad bei der Kraftübertragung zwischen Motor und Zughaken des Schleppers verbessert werden kann. An der Berührungsstelle der Triebäder des Schleppers mit dem Boden entstehen Verluste, die besonders bei hohen Zugkräften und ungünstigen Bodenverhältnissen beträchtliche Werte annehmen können. Die Situation würde in dem Masse günstiger, wie man die Zugkräfte verringern könnte und die erforderliche Arbeit etwa durch Drehbewegungen über die Zapfwelle übertragen würde. Da beim Pflügen mit die grössten Zugkräfte benötigt werden, ist das Problem einer Bodenbearbeitung mit rotierenden Werkzeugen besonders wichtig.

Es kommt ausserdem hinzu, dass beim Streichblechpflug ein sehr grosser Teil der zugeführten Energie durch Reibung zwischen Boden und Streichblechfläche verloren geht. Daher lag der Gedanke nahe, den Reibungsweg zu verkleinern, indem man eine Pflugscheibe von der Zapfwelle her antreibt. Die

Versuche sollten feststellen, ob dadurch eine Verringerung der Zugkraft oder der aufgewendeten Arbeit möglich ist.

Im Institut wurden im Herbst 1952 6-Komponenten-Kraftmessungen an einer fremd angetriebenen Pflugscheibe von 656 mm Φ , 100 mm Wölbung und glattem Rand, auf lehmigem Sandboden in Völklenrode vorgenommen. Das regnerische Herbstwetter liess nur ein beschränktes Arbeiten zu, so dass hier nur über die ersten Messungen auf diesem Gebiet, die noch keinen vollständigen Einblick geben, berichtet werden kann.

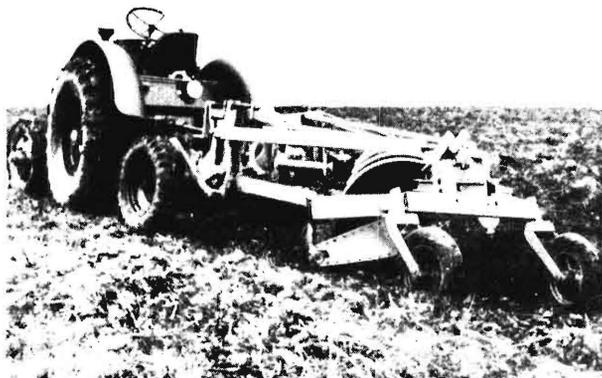


Bild 2. Französischer Pflug (Chevalier 1951) mit von der Schlepperzapfwelle angetriebenen Scheiben.

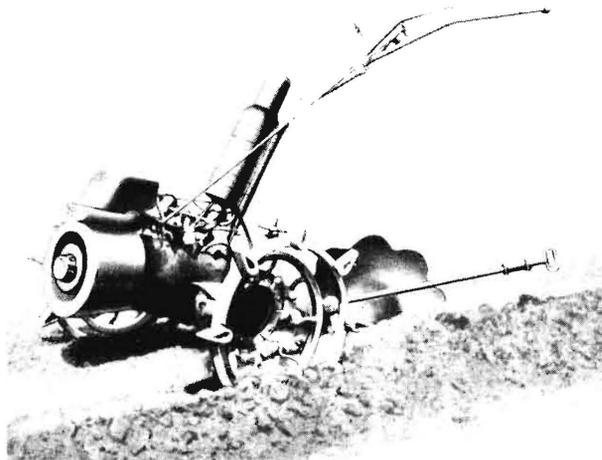


Bild 1. Dufour-Pflug mit gezahnter, motorgetriebener Pflugscheibe aus dem Jahre 1934.

Pflüge mit angetriebener Scheibe

Zu den ersten bekannt gewordenen Pflügen mit fremd angetriebener Pflugscheibe gehört der um das Jahr 1934 von der Schweizer Firma Simar-Bodenfräsen gebaute Dufourpflug (Bild 1) [1], einem handgeführten Einachsschlepper mit einer glatten oder gezahnten Scheibe (9 wellenförmige Zähne). Der Pflug konnte mit zwei Pfluggeschwindigkeiten

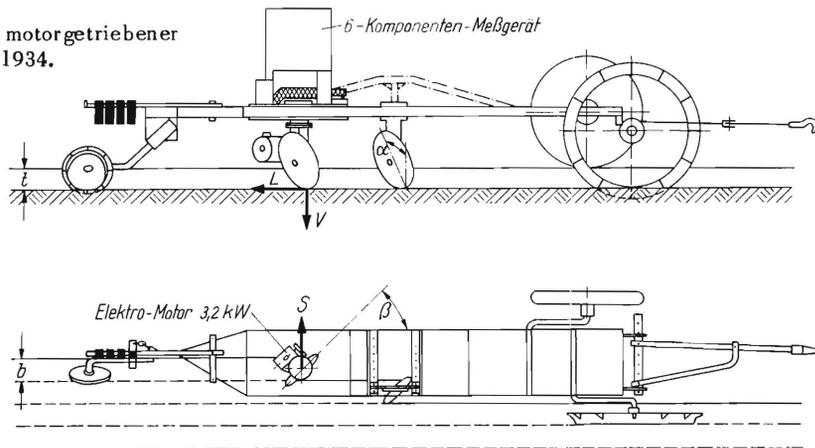


Bild 3. Messpflug mit einer von einem Elektromotor angetriebenen Pflugscheibe.

L Längskraft
S Seitenkraft
V Vertikalkraft
 α Scheibenneigungswinkel
 β Scheibenrichtungswinkel

$v = 0,5 \text{ m/s}$ und 1 m/s betrieben werden, wobei die Umfangsgeschwindigkeit der Scheibe v_s jeweils das Dreifache von v betrug. Die Schräglage der Scheibe konnte in weiten Grenzen geändert werden.

Der Versuchsbericht über diesen Pflug sagt aus, dass beim Arbeiten mit der gezahnten Scheibe, ähnlich wie bei der Fräse, ein geringer Vortrieb erzeugt wurde, so dass die Räder ohne Greifer nur eine geringe Triebkraft auf den Boden abzustützen hatten. Der Arbeitsaufwand beim Pflügen einer bestimmten Furche wird als etwa gleich dem eines Streichblechpfluges angegeben. Für die Aufnahme der Seiten-

kräfte war ursprünglich ein kleines schräg stehendes Furchenrad vorgesehen, das der Grösse dieser Kräfte jedoch nicht gewachsen war, so dass Änderungen erforderlich waren. Die schwierige, wenn nicht unmögliche Seitenführung dieses Pfluges wird auch von anderen Versuchsanstellern betont. Man muss feststellen, dass eine grössere Anwendung des *Dufour*-Pfluges hauptsächlich an den hohen Seitenkräften gescheitert ist.

In neuester Zeit wird im französischen Landmaschinenkatalog [2] ein Scheibenpflug angeboten, der vier von der Schlepperzapfwelle angetriebene Schei-

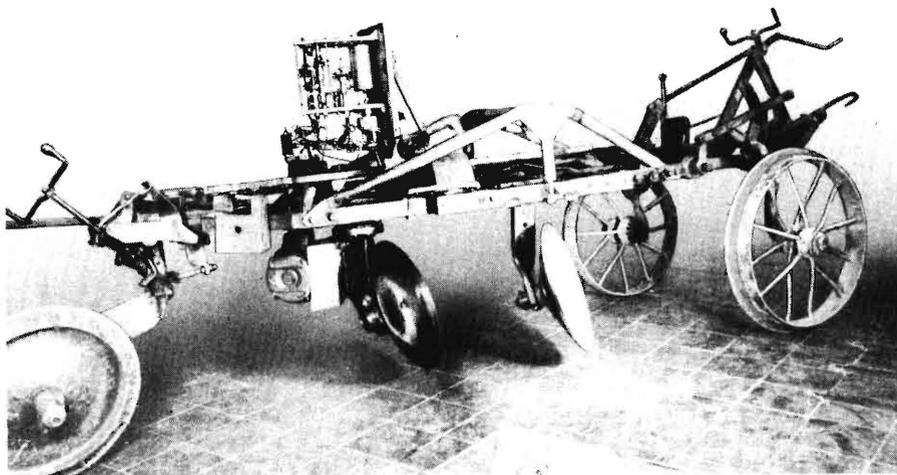


Bild 4. Gesamtansicht des Messpfluges.

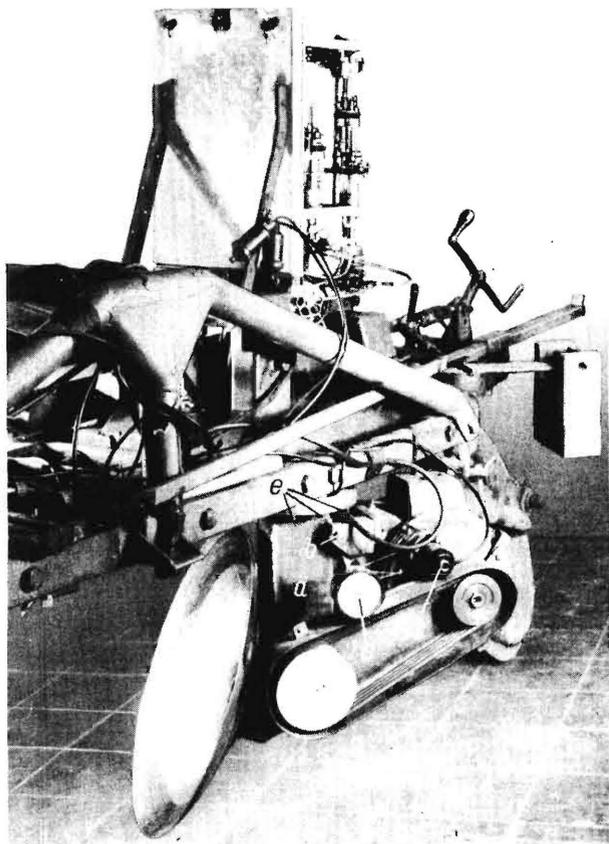


Bild 5. Antriebsseite der Pflugscheibe.

ben besitzt (Bild 2). Der Scheibenneigungswinkel α (s.a. Bild 3) scheint Null zu sein, d.h. die Scheiben stehen senkrecht. Am Pflugende sind (etwas schwer zu erkennen) zwei Stützräder in schräg stehenden, schwenkbaren Gabeln angebracht, die aber beide kaum grössere Seitenkräfte aufnehmen können. Der Antrieb der gemeinsamen Scheibenachse erfolgt vermutlich über eine Triebkette von der Zapfwelle des Schleppers. Das Gerät hat vier gummibereitete Räder. Als Scheibendurchmesser wird 810–900 mm angegeben; die Scheibenumfangsgeschwindigkeit v_s errechnet sich auf Grund der genannten Drehzahlen zu etwa 3 m/s . Die gesamte Arbeitsbreite beträgt 50 cm, d.h. 12,5 cm je Scheibe; das Gewicht des Gerätes wird mit 1,4 t und die notwendige Antriebskraft mit etwa 45 bis 50 PS angegeben. Hersteller ist *Ets. R. Chevallier*, St. André de l'Eure (Frankreich).

Versuchsgerät und Messeinrichtung

Eigene Messungen, über deren Ergebnis nachfolgend berichtet wird, wurden an einem Versuchsgerät nach Bild 3 vorgenommen. Es besteht aus dem in früheren Arbeiten [3] beschriebenen Rahmenanhängepflug, dessen Räder zur Aufnahme der zu erwartenden hohen Seitenkräfte mit Spurkränzen versehen wurden. Am Pflugende konnte ferner der Pflug zusätzlich mit Gewichten belastet werden. Der Rahmen war durch einen Dreiecksverband verstärkt worden. Die

Halterung der Versuchsscheibe war fest verbunden mit dem Sechskomponenten-Messgerät (siehe auch Bild 4 und 5). Zum Einstellen der Furchenbreite arbeitete vor der Versuchsscheibe eine gleichgrosse Vorscheibe. Die Lagerung der Scheibe befand sich in einem senkrecht stehenden Vierkantrohr *a*, welches gleichzeitig einen Gleichstrommotor mit einer Leistung von 3,2 kW trug. Der benötigte Strom wurde von einem Generator auf dem Schlepper geliefert. Der Antrieb vom Motor auf die Pflugscheibe erfolgte durch vier Keilriemen auf eine Schneckenwelle; das Schneckenrad sass auf dem Zapfen der Pflugscheibe. Die Scheibendrehzahl kann durch Regelung der Motordrehzahl und Auswechseln der Keilriemenscheiben in weiten Grenzen geändert werden. Zur Einstellung der Riemen Spannung wurde der Elektromotor um die Drehachse *b* geschwenkt. Auf Bild 5 ist ferner bei *c* ein Anzeigergerät für die Motordrehzahl und ein Generator *d* zur Drehzahlfernanzeige bzw. -registrierung zu erkennen. Die gesamte Antriebsvorrichtung wurde abhängig von Drehzahl, Last und Temperatur geeicht, so dass sich der jeweilige Nettoleistungsverbrauch der Scheibe feststellen liess. Die Ermittlung der Bruttoantriebsleistung erfolgte durch Ablesen der elektrischen Messgeräte. In der senkrechten Lage des Vierkantrohres *a* war ein Scheibenneigungswinkel $\alpha = 20^\circ$ vorhanden, der durch Keilstücke in der Messgerätanschlussebene nach beiden Seiten variiert werden kann. Der Scheibenrichtungswinkel β liess sich durch Lösen der Flanschschrauben *e* und Drehen um die Hochachse beliebig verändern.

Nachfolgend wird über den Verlauf der drei Kräfte: Längskraft *L*, Vertikalkraft *V*, und Seitenkraft *S* bei folgender Einstellung berichtet:

Scheibenrichtungswinkel	$\beta = 45^\circ$
Scheibenneigungswinkel	$\alpha = 20^\circ$
Schnittbreite	$b \approx 25 \text{ cm}$
Furchentiefe	$t = 14 \text{ bis } 26 \text{ cm}$
Pfluggeschwindigkeit	$v = 1,0 \text{ u. } 1,8 \text{ m/s}$
Scheibenumfangsgeschwindigkeit	$v_s = 0 \text{ bis } 2,2 \text{ m/s}$

Der Drehsinn der angetriebenen Pflugscheibe ist, von hinten auf die Scheibe gesehen, entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn, d.h. derselbe, wie bei der Scheibe mit Bodenantrieb. Der Versuchsacker bestand aus einem lehmigen Sand mit $\approx 15 \text{ Gew. \%}$ Feuchte. Ein Abstreifblech war nicht vorhanden.

Die Kräfte an der angetriebenen, glatten Scheibe

Die zunächst ermittelte Abhängigkeit der Drehzahl der Pflugscheibe ohne Fremdantrieb von der Pfluggeschwindigkeit ergibt ein Verhältnis $v_s/v \approx 0,9$ (Bild 6). Dieses Verhältnis war bei den beiden untersuchten Geschwindigkeiten ($v = 1,0$ bzw. $1,8 \text{ m/s}$)

gleich gross und unabhängig von der Furchentiefe. Die Furchentiefe wechselte in dem in Bild 6 gezeigten Streubereich zwischen 10 und 24 cm.

Die Ergebnisse der Kraftmessungen sind im Bild 7 und 8 in Abhängigkeit von der Furchentiefe dargestellt. Bild 7 für $v = 1 \text{ m/s}$ zeigt oben den Verlauf der Längskraft *L* (ausgezogen) mit und (gestrichelt) ohne Scheibenfremdantrieb. Die Linien der Mittelwerte liegen nahe beieinander; die Kurve mit Fremdantrieb liegt etwas höher, d.h. der Zugkraftaufwand wird trotz Antrieb grösser. Jedoch überdecken sich die Streubereiche weitgehend.

Die Seitenkraft *S* bleibt bei Bodenantrieb über der Furchentiefe nahezu konstant zwischen 40 und 50 kg. Wird die Scheibe zusätzlich angetrieben, dann wird die Seitenkraft grösser und zwar umso mehr, je grösser die Scheibenumfangsgeschwindigkeit v_s ist. So ergeben sich zum Beispiel für $t = 18 \text{ cm}$ etwa folgende mittlere Seitenkräfte:

Betriebszustand	v_s m/s	S_m kg
Bodenantrieb	$\sim 0,9$	45
Fremdantrieb	0,8–1,6	70
„ „	1,7–2,0	110

Die untere Kurvengruppe gibt den Verlauf der Vertikalkraft *V* wieder. Bei der Pflugscheibe mit Bodenantrieb ändert sich *V* nur wenig mit der Tiefe und liegt nahezu bei 0 bzw. kleinen negativen Werten, wobei das negative Vorzeichen die Krafttrichtung von unten nach oben bedeutet. Erhält die Scheibe einen zusätzlichen Antrieb, dann ist in dem untersuchten Bereich $v_s = 0,8 - 2 \text{ m/s}$ die Vertikalkraft mit der Tiefe stark ansteigend negativ. Sie ändert sich also

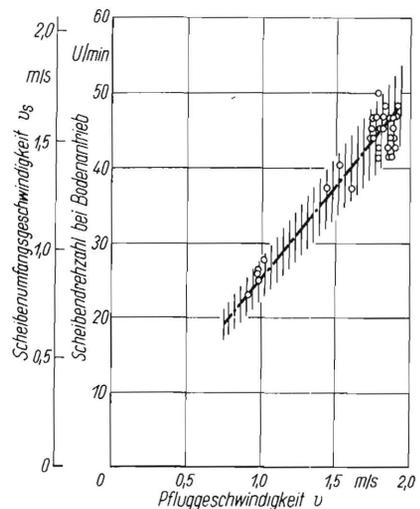


Bild 6. Abhängigkeit der Umfangsgeschwindigkeit v_s der vom Boden angetriebenen Pflugscheibe von der Pfluggeschwindigkeit v . Das Verhältnis v_s/v beträgt etwa 0,9.

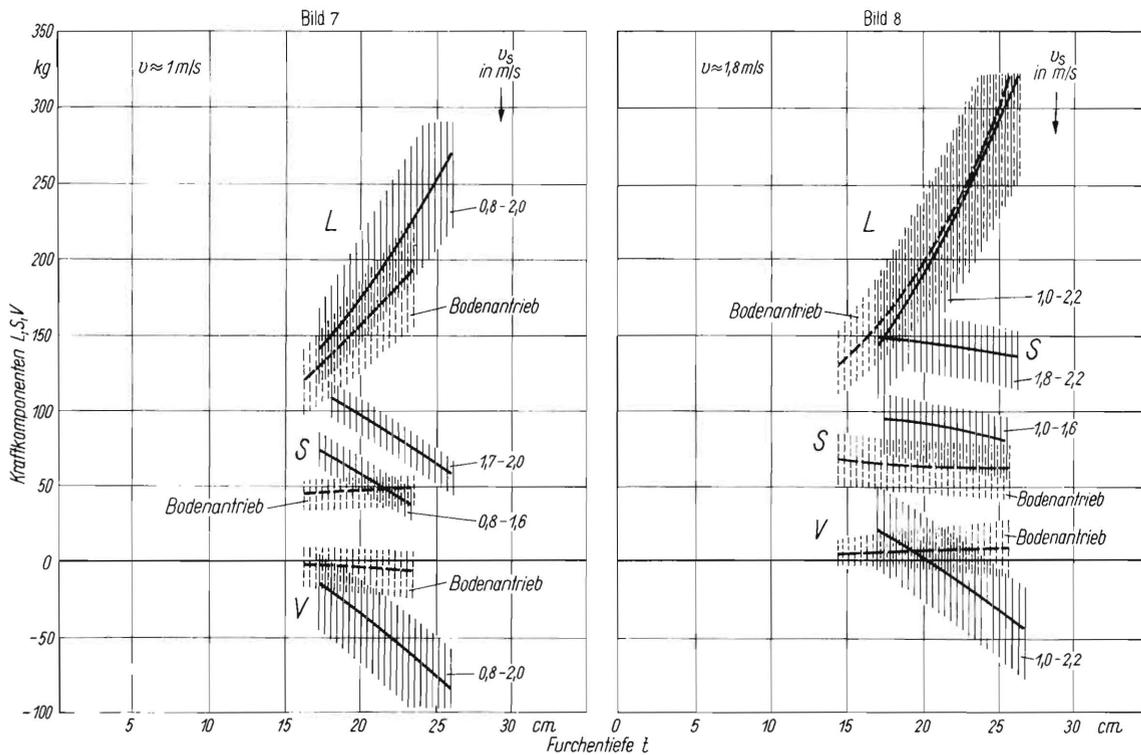


Bild 7 und 8. Kraftkomponenten L , S und V in Abhängigkeit von der Furchentiefe, bei Boden-antrieb bzw. Fremdantrieb der Pflugscheibe. Furchenbreite $b \approx 25 \text{ cm}$.

im unerwünschten Sinne, da eine negative, d.h. nach oben gerichtete Vertikalkraft, eine Erschwerung des Eindringens der Scheibe in den Boden bedeutet.

Nach Bild 8 ergibt sich für eine Pfluggeschwindigkeit von $v = 1,8 \text{ m/s}$ (3. Gang des Schleppers) im wesentlichen das gleiche Bild wie für $v = 1 \text{ m/s}$. Die Längskräfte mit und ohne Fremdantrieb sind gleich gross; die Mittel- und Streuwerte decken sich fast vollständig. Die Seitenkraft erhöht sich ganz ausgeprägt mit steigender Scheibendrehzahl, wenn auch die mit wachsender Furchentiefe abnehmende Tendenz etwas geringer als in Bild 7 ist. Die Vertikalkraft verhält sich wie in Bild 7, lediglich die Absolutwerte werden kleiner und werden teilweise positiv.

Es kann also nach diesen Ergebnissen eindeutig festgestellt werden, dass der Fremdantrieb der Pflugscheibe unter den vorliegenden Verhältnissen keine Veränderung der Zugkraft bewirkt hat, vielmehr musste die Antriebsleistung, über deren Grösse noch zu sprechen sein wird, zusätzlich aufgewendet werden. Die Vertikal- und Seitenkräfte werden durch den Scheibenantrieb ungünstig beeinflusst.

Nach amerikanischen Messungen an Pflugscheiben mit Eigenantrieb [4] wurden die Seitenkräfte kleiner, wenn die Scheibe festgestellt wurde ($v_s = 0$). Diese Tendenz würde durch die in Bild 7 und 8 festgestellten Verhältnisse fortgesetzt werden: Je höher die Scheibenumfangsgeschwindigkeit ist, umso grösser ist die Seitenkraft. Allerdings ergab sich bei den

amerikanischen Messungen neben einer Verringerung der Seitenkraft eine Erhöhung der Längskraft bei feststehender Scheibe.

Die Messergebnisse sind in einigen Punkten durchaus überraschend, denn auf Grund der Energiebilanzen am Streichblechpflug [5] hätte erwartet werden können, dass ein hoher Prozentsatz (mehr als 50%) der dort für die Wendung und Überwindung der Reibung aufgewendeten Energie durch den Fremdantrieb der Scheibe zumindest aus der Zugkraftbilanz herausfallen müsste. Es muss allerdings bedacht werden, dass der leichte, von Natur aus gut krümelnde Boden für diese Untersuchungen nicht sehr geeignet ist. Bevor diese Untersuchungen nicht in genügendem Umfang für die verschiedenen Einflussgrössen auch auf bindigen Böden durchgeführt sind, haben deshalb Erörterungen über die Ursachen des Verhaltens mehr oder weniger spekulativen Charakter.

Bei der Beobachtung der Pflugarbeit konnte man feststellen, dass die Furche bei angetriebener Scheibe breiter auseinandergeworfen war. Der Fremdantrieb der Pflugscheibe bewirkte dasselbe, wie eine erhöhte Arbeitsgeschwindigkeit der Pflugscheibe mit Boden-antrieb. Auch schien der Boden besser gewendet zu sein. Man konnte bei den höheren Scheibendrehzahlen beobachten, dass die Scheibe einen starken Schlupf gegenüber dem Boden hatte; sie drehte sich schneller als der Boden nachkam. Dieser Eindruck war so ausgeprägt, dass der Beobachter sofort überlegte, wie die Griffigkeit der Scheibe erhöht werden könnte.

Leistungsverbrauch der angetriebenen, glatten Scheibe

Einen Überblick über die verbrauchten Nettoleistungen (ohne Getriebeverluste) bei den beiden Fahrgeschwindigkeiten gibt der untere Teil von Bild 9. Die Leistung steigt mit der Furchentiefe an; sie ist im ganzen bei der höheren Fahrgeschwindigkeit kleiner. Als Beispiel für die Größenordnung ergeben sich für Furchentiefe $t = 22$ cm ein mittlerer Leistungsverbrauch von etwa 1,1 PS für $v = 1$ m/s und 0,6 PS für $v = 1,8$ m/s.

Im oberen Teil der Darstellung sind die Mittelwerte der Längskraft L_m für beide Geschwindigkeiten miteinander verglichen. L_m ist bei $v = 1$ m/s etwas niedriger, der Kurvenverlauf in beiden Fällen wenig unterschiedlich.

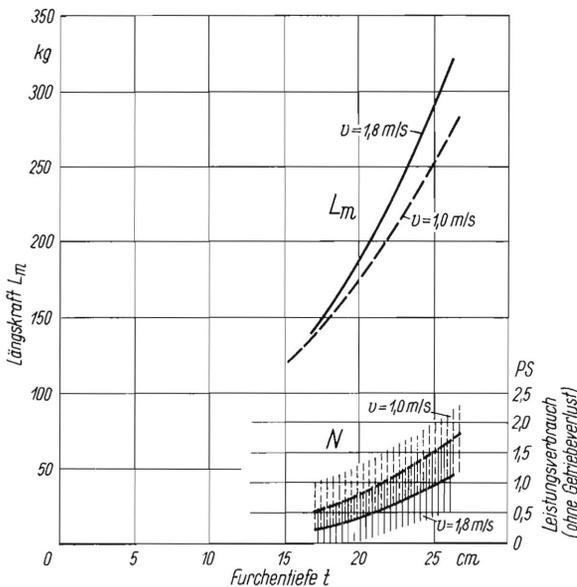


Bild 9. Mittelwerte der Längskraft und Leistungsverbrauch (ausschl. Getriebeverlust) der angetriebenen Pflugscheibe bei zwei verschiedenen Pfluggeschwindigkeiten. Furchenbreite ≈ 25 cm.

Scheibenpflug und Streichblechpflug

In der letzten Darstellung (Bild 10) werden die Mittelwerte der Längskraft am Scheibenpflug mit Bodenantrieb (ausgezogene Linien) verglichen mit denen eines steilen Streichblechpflugkörpers (gestrichelt), die auf dem gleichen Acker gemessen worden waren. Die beiden unteren Vergleichskurven $v = 1$ m/s zeigen keine wesentlichen Unterschiede, d.h. die Pflugscheibe (ohne Rollwiderstand der Räder) erfordert etwa den gleichen Zugkraftaufwand wie der Streichblechkörper (ohne Anlagen und Sohlenreibung, sowie ohne Rollwiderstand der Räder). Die beiden oberen Kurven gestatten den Vergleich des Geschwindigkeitseinflusses an der Pflugscheibe ohne Fremdantrieb. Bei Erhöhung von v um 80% auf 1,8 m/s steigt die Längskraft L_m und damit die mechanische Arbeit etwa um 30–40% an.

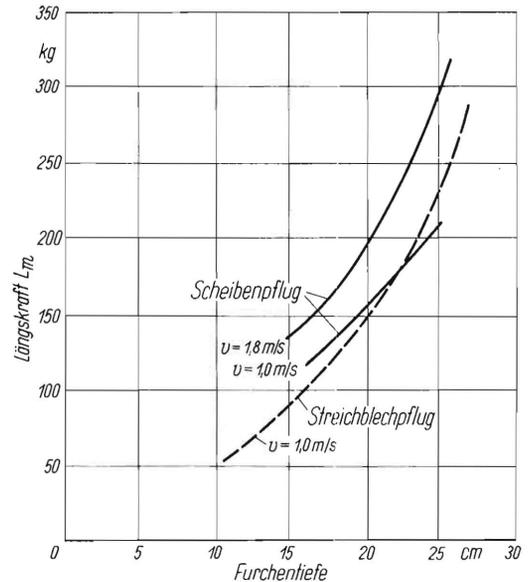


Bild 10. Vergleich der mittleren Längskräfte eines Scheibenpfluges (Scheibe mit Bodenantrieb) mit den Längskräften eines Streichblechpfluges mit steilem Pflugkörper auf demselben Boden.

Zusammenfassung

Die auf einem krümeligen, lehmigen Sandboden durchgeführten Messungen beziehen sich auf einen Scheibenrichtungswinkel $\beta = 45^\circ$ und einen Scheibenneigungswinkel $\alpha = 20^\circ$, wobei die Scheibendrehrichtung die gleiche war wie bei Bodenantrieb. Verglichen mit der Pflugscheibe mit Bodenantrieb ergibt der Fremdantrieb der glatten Pflugscheibe unter den untersuchten Verhältnissen keine Verringerung der Längs- bzw. Zugkraft; die Seitenkräfte sind teilweise erheblich grösser. Sie wachsen ausserdem mit zunehmender Scheibenumfangsgeschwindigkeit v_s . Die Vertikalkräfte werden durch den Fremdantrieb ebenfalls ungünstig beeinflusst, da sie von unten nach oben gerichtet sind. Die Bodenwendung und Krümelung erscheint etwas besser.

*

Angetriebene, gezahnte Pflugscheibe

Zu dem Ergebnis der vorstehenden Untersuchung nimmt Prof. Dr. Speiser, Hannover, wie folgt Stellung: In den letzten Jahren wurden mit dem *Dufourpflug* auch im Landmaschineninstitut in Kiel Versuche gemacht. Zum Unterschied von den Messungen von Getzlaff war der *Dufourpflug* nicht mit einer normalen runden, mit glattem Rand versehenen Scheibe ausgerüstet, sondern mit einer Zackscheibe mit gewelltem Rand, wie wir sie teilweise auch bei den Scheibenpflügen haben. Darauf wird es zurückzuführen sein, dass die Längskräfte negativ wurden; denn die gewellten Scheiben üben im Boden eine Art Greiferwirkung aus, die den Pflug vorwärtstreiben, entsprechend den früheren Versuchen von H. Meyer in Bornim [1].

Andererseits ist aber zu vermuten, dass dieses Festkrallen im Boden durch den gewellten Rand die Seiten- und Vertikalkräfte noch grösser werden, als sie von *Getzlaff* festgestellt worden sind. Denn tatsächlich lässt sich der *Dufourpflug* kaum führen, wenn man nicht Mittel anbringt, um zumindest die Seitenkräfte abzufangen. Über die Pflugarbeit ist zu berichten, dass die Wendearbeit nicht ganz so gut ist, wie die des Streichblechpfluges, dagegen ist die Krümelarbeit besser: Es ergeben sich gleichmässigere Krümel über der ganzen Tiefe und bessere Durchmischung des Bodens. Es stehen einander die

Alternativen gegenüber: Will man den Boden stürzen, also wenden, wobei man sich nicht um die Krümelgrössen kümmert, oder will man gute, gleichmässige Krümelgrössen und gleichzeitig eine bessere Durchmischung erreichen. Dieses letztere tut der *Dufourpflug* sehr gut. Die Untersuchungen einschliesslich vergleichender Ertragsmessungen haben ergeben, dass der *Dufourpflug* in keiner Weise über- oder unterlegen ist. Die Ergebnisse decken sich absolut mit denen normaler Bodenbearbeitung, so dass zumindest keine Gefahr besteht, den Boden mit diesem Gerät falsch zu bearbeiten.

Schrifttum

- [1] Der *Dufour*-Pflug. (Aus den Arbeiten des Schlepperprüffeldes Bornim.) *Techn.i.d.Landw.* 15 (1934) S. 49/50.
- [2] *Prestige de la machine agricole francaise*, Nachtrag Nr. 1. Paris 1951, S. 12/13.
- [3] *Getzlaff, G.*: Messung der Kraftkomponenten an einem Pflugkörper. In: *Grundlg. d. Landtechn.* Heft 1, Düsseldorf 1951. S. 16/22.
- [4] *Gordon, E.D.*: A laboratory study of soil reactions on disks. *Agricult. Engng.* 1940.
- [5] *Söhne, W.*: Das mechanische Verhalten des Ackerbodens bei Belastungen unter rollenden Rädern sowie bei der Bodenbearbeitung. In: *Grundlg. d. Landtechn.* Heft 1, Düsseldorf 1951. S. 93.
- [6] *Freiberg, O.*: Untersuchungen an Scheibeneggen. *Techn.i.d.Landw.* 15 (1934) S. 200.
- [7] *Clyde, A.W.*: Improvement on tillage tools. *Agricult. Engng.* 1937, Nr. 3.

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

Anschrift des Verfassers: Ing. Günter Getzlaff, (20b) Braunschweig, Bundesallee 50