

Kräfte- und Leistungsbedarf frei drehender und angetriebener Pflugscheiben auf hartem, trockenem, tonigem Lehm

Von G. Getzlaff und W. Söhne ¹⁾

In der Vergangenheit wurde verschiedentlich die Frage untersucht [1, 2], ob der relativ hohe Zugkraftbedarf von Scheibenpflügen durch einen Antrieb der Scheiben verringert werden kann. Bei Versuchen auf einem feuchten, sandigen Lehmboden hatte sich dabei gezeigt, daß die erforderliche Zugkraft bei angetriebenen Scheiben entgegen den Vermutungen nicht kleiner war und daß darüber hinaus die Seiten- und Vertikalkräfte erheblich größer waren [3], wodurch die Führung des Pfluges erschwert wurde. Unbeantwortet war dabei die Frage geblieben, wie sich ein angetriebener Scheibenpflug auf trockenem, hartem, schweren Böden verhält, auf denen Scheibenpflüge vorzugsweise eingesetzt werden. Es wurden daher weitere Messungen mit frei drehenden und angetriebenen Scheiben auf einem derartigen Boden angestellt, über die im folgenden berichtet wird.

die Schneckenwelle ausgebaut. Die Leistungsaufnahme des Motors und die Kräfte in der Pflugscheibe wurden unabhängig voneinander registriert und die Schriebe durch elektro-magnetisch betätigte Wegmarken einander und der Meßstrecke zugeordnet. Die Nettoleistungen wurden unter Berücksichtigung der Erwärmung aus sorgfältigen Eichungen des Getriebewirkungsgrades auf einem Prüfstand ermittelt.

Die Versuche wurden mit einem 55PS-HANOMAG-Schlepper durchgeführt, der mit einem Generator für die Erzeugung des für den Scheibenantrieb benötigten Gleichstroms ausgerüstet war ²⁾.

Vor der Meß-Pflugscheibe war eine zweite Scheibe angebracht, um die Furchenbreite $b = 20$ cm der Meßscheibe konstant zu halten. Trotzdem ergaben sich Schwankungen in der Furchenbreite um

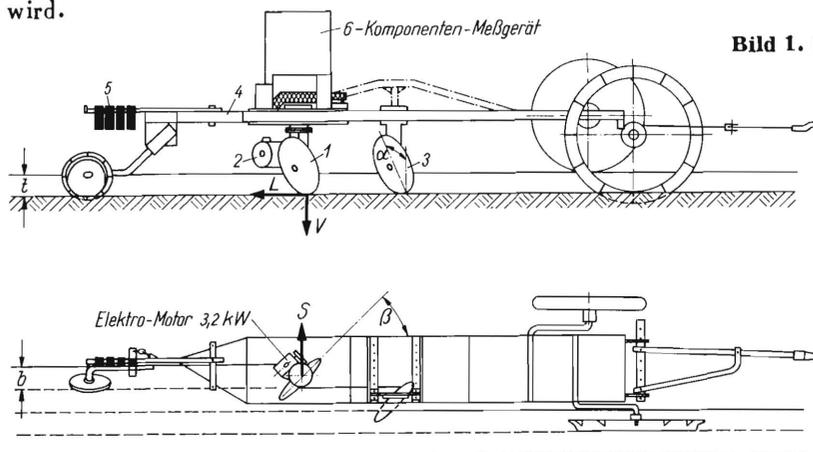


Bild 1. Messpflug mit einer von einem Elektromotor angetriebenen Pflugscheibe.

L Längskraft
S Seitenkraft
V Vertikalkraft
 α Scheibenneigungswinkel
 β Scheibenrichtungswinkel

1 Meßpflugscheibe
2 Elektromotor zum Antrieb der Meßpflugscheibe
3 Pflugscheibe in der Vorfurche
4 Pflugrahmen
5 Belastungsgewichte für das Heckrad (250 kg)
6 Sechskomponenten-Meßgerät

Als Versuchs- und Meßgeräte wurde die gleiche Einrichtung benutzt wie bei den früheren Versuchen [3]. Dabei war die Pflugscheibe (Bild 1) an einem Sechskomponentenmeßgerät im Rahmen eines Anhängerpfluges befestigt. Sie konnte durch einen regelbaren Gleichstrom-Elektromotor über Keilriemen und Schneckengetriebe angetrieben werden. Für die Messung mit frei drehender Scheibe wurde

± 2 cm durch das Schwenken des ganzen Pfluges um seine Hochachse infolge der großen Seitenkräfte. Beim größten Teil der Messungen weicht die Furchenbreite jedoch nur wenig vom Nennmaß ab. Bei allen Versuchen mußte das Heckrad mit 250 kg Gewicht zusätzlich belastet werden.

Bodenverhältnisse

Bei der Wahl des Versuchsackers wurde sorgfältig darauf geachtet, gleichmäßige Bodenverhältnisse zu haben. Dazu wurden vor den Messungen an neun gleichmäßig über der Ackerfläche verteilten Stellen Bodenproben zur Bestimmung der Korngrößenverteilung und weitere Proben zur Bestimmung des Wassergehaltes und Porenvolumens vor und während der Messungen entnommen.

¹⁾ Die Messungen wurden von G. Getzlaff im Institut für landtechnische Grundlagenforschung, Braunschweig-Völkenrode, durchgeführt. Aus den sehr umfangreichen Meßergebnissen und dem Untersuchungsbericht von G. Getzlaff wurde nach dessen Ausscheiden aus dem Institut dieser Auszug von W. Söhne ausgearbeitet.

²⁾ Der Firma RHEINSTAHL HANOMAG A. G., Hannover-Linden, sei auch an dieser Stelle für die Überlassung des Schleppers und der Sonderausrüstung für die Versuche bestens gedankt.

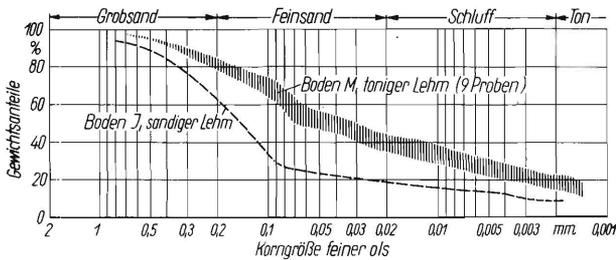


Bild 2. Korngrößenverteilung der Versuchsböden. Für Boden M ist das Streugebiet von 9 Analysen schraffiert eingezeichnet.

Den Streubereich der Korngrößenverteilung der 9 Bodenproben gibt **Bild 2** (schraffierte Fläche) wieder. Der einigermaßen gleichmäßige Anstieg der Kurven zeigt, daß die verschiedenen Kornfraktionen mit annähernd gleichen Anteilen vorhanden sind. Nach dem Dreiecksdiagramm **Bild 3** ist es ein toniger Lehm, hart an der Grenze zum sandig tonigen Lehm (Boden M).

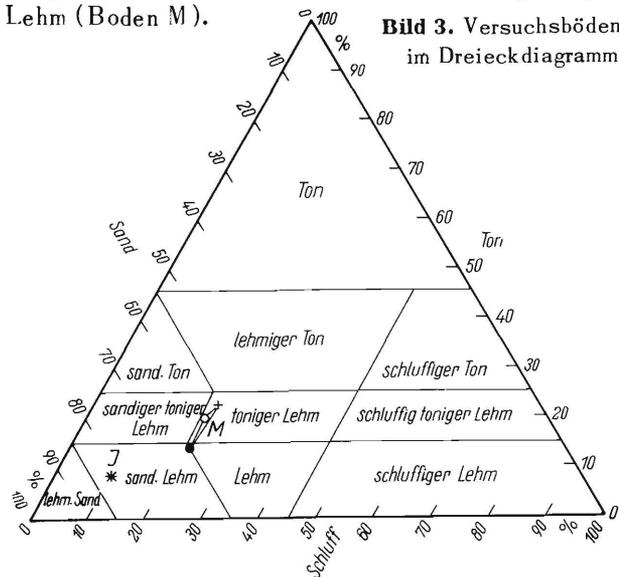


Bild 3. Versuchsböden im Dreiecksdiagramm.

Die Messungen erfolgten nach einer langen Trockenperiode auf Luzernestoppel. Der Acker hatte in den letzten drei Jahren vor der Messung Luzerne getragen. Es war ein stark abgesetzter Boden mit sehr harter Oberfläche, womit sehr schwierige Bodenbearbeitungsverhältnisse (schlechtes Eindringen und hohe spezifische Zugkraft) gegeben waren.



Bild 4. Scholliger Aufbruch des schweren Versuchsbodens M.

Der Wassergehalt der Proben war entsprechend niedrig: 8 Gew.% in 8 cm- und 10 Gew.% in 22 cm- Furchentiefe. Auch das Porenvolumen war mit 38 bis 39% sehr niedrig, obwohl der Boden gut durchwurzelt war und viele Regenwürmer enthielt.

Beim Pflügen brach der Boden in großen Schollen auf (**Bild 4**). Bei Furchentiefen über 23 cm wurden teilweise ortsteinähnliche Schichten angeschnitten.

Die untersuchten Pflugscheiben und das Versuchsprogramm

Die Versuche wurden mit einer glatten und einer gezahnten Scheibe mit 11 Zähnen durchgeführt. Scheibendurchmesser und Wölbung waren bei beiden Scheiben gleich groß und betragen 656 mm bzw. 97 mm. Bei den Messungen wurden als Mittelwerte üblicher Scheibenpflüge ein Neigungswinkel $\alpha = 20^\circ$ und ein Richtungswinkel $\beta = 45^\circ$ eingestellt. Der Zuschärfwinkel des Scheibenrandes gegen die Kallotensehne betrug bei der glatten Scheibe $\gamma = 43^\circ$, bei der gezahnten Scheibe $\gamma = 44^\circ$. Beide Scheiben waren an der Außenseite zugeschärft. **Bild 5 und 6** gibt den Scheibenanbau wieder. Die Meßscheibe ist in diesen Bildern eine gezahnte, die Vorscheibe eine glatte Scheibe. Sowohl die glatte wie auch die gezahnte Scheibe wurden mit zwei Arbeitsgeschwindigkeiten $v = 1,0$ bzw. $1,9$ m/s gefahren. Bei den Versuchen mit angetriebener Scheibe wurden zwei Scheibenumfangsgeschwindigkeiten $u = 1,2$ bis $1,5$ m/s und $2,4$ bis $2,6$ m/s gewählt. Ferner wurden bei der niedrigen Arbeitsgeschwindigkeit ($v = 1,0$ m/s) einige Messungen bei blockierter Pflugscheibe ($u = 0$) durchgeführt. Somit ergeben sich einschließlich der blockierten und frei drehenden Scheibe 3 bzw. 4 Abstufungen der Scheibenumfangsgeschwindigkeit u bei jeder Pfluggeschwindigkeit. Das gesamte Meßprogramm ist in **Tafel 1** zusammengestellt.

Tafel 1. Zusammenstellung des Messprogramms an zwei Pflugscheiben mit normaler Scheibeneinstellung: $\alpha = 20^\circ$, $\beta = 45^\circ$.

Messreihe	Scheibe	Pfluggeschw. v m/s	Scheibenumfangsgeschwindigkeit u		
			bei festgestellter Scheibe m/s	bei frei drehenden Scheiben m/s	bei angetriebenen Scheiben u_1 m/s u_2 m/s
1	glatt	1,0	0	0,4–0,6	1,2 2,5
2	glatt	1,9	–	0,5–1,3	1,5 2,6
3	gezahnt	1,0	0	0,5–0,7	1,4 2,4
4	gezahnt	1,9	–	0,7–1,1	1,5 2,4

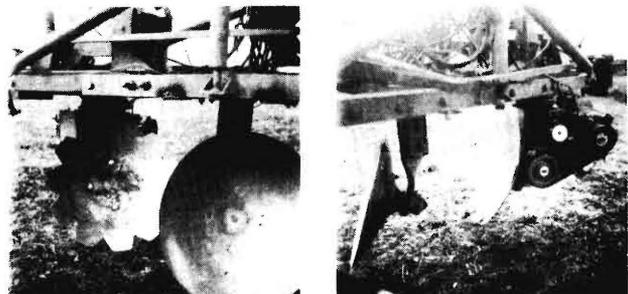


Bild 5 und 6. Ansichten der beiden Pflugscheiben. Die gezahnte Scheibe ist in diesem Falle die Versuchsscheibe, die glatte Scheibe dient als Vorscheibe.

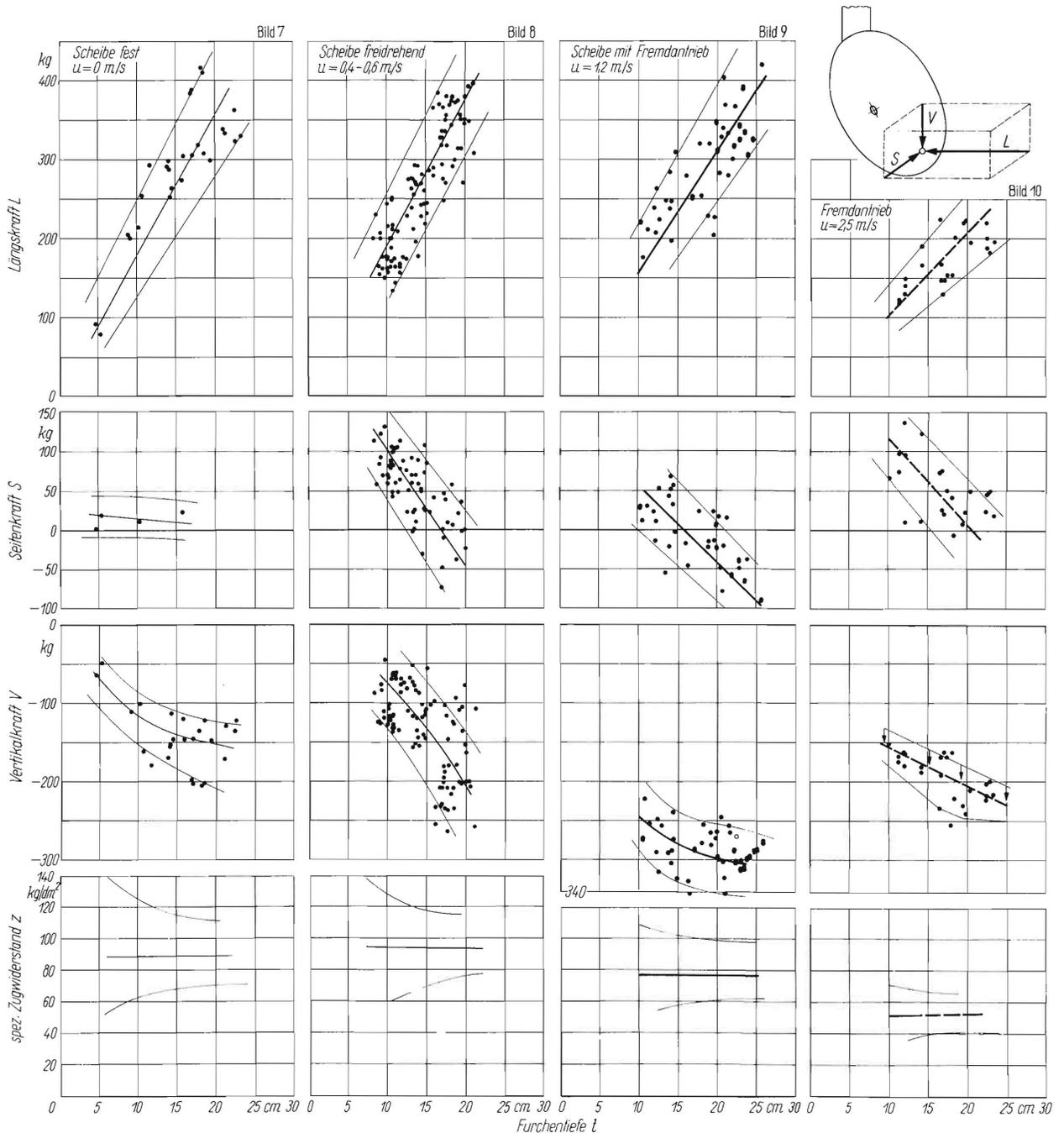


Bild 7 bis 10. Die Kraftkomponenten L , S , V sowie der spezifische Zugwiderstand z der glatten Scheibe in Abhängigkeit von der Furchentiefe bei verschiedener Scheibenumfangsgeschwindigkeit u .

Arbeitsgeschwindigkeit $v = 1 \text{ m/s}$ Bodenart: schwerer, trockener Boden M

Die Kräfte an glatten und gezahnten Pflugscheiben.

In Bild 7 bis 10 sind die Längskräfte L , die Seitenkräfte S , die Vertikalkräfte V und der spezifische Zugwiderstand z einer glatten Scheibe in Abhängigkeit von der Furchentiefe für verschiedene Scheibenumfangsgeschwindigkeiten u bei der Arbeitsgeschwindigkeit $v \approx 1,0 \text{ m/s}$ dargestellt (siehe Meßreihe 1 in Tafel 1). Jeder eingetragene Meßpunkt ist der Mittelwert über ein 5 m langes Teilstück der Versuchsstrecke.

Bei der Seitenkraft ergaben sich in einigen Fällen so grosse negative ³⁾ Kraftkomponenten, dass diese von der Messeinrichtung, in der eine positive Federkraft als Vorspannung vorgegeben ist, nicht mehr aufgezeichnet werden konnten. In diesem Fall musste auf die Auswertung

der Seitenkraft verzichtet werden. Gelegentlich war dies auch bei den Vertikalkräften der Fall. Aus diesem Grunde enthalten die senkrecht untereinander liegenden Diagramme der drei Kraftkomponenten (z. B. die Seitenkraft S in Bild 7) nicht immer die gleiche Anzahl Messpunkte. In zwei Fällen wurde bei den Vertikalkräften V durch die Messeinrichtung nur eine Komponente V_{hinten} gemessen, da bei den Messschrieben lediglich die Komponenten V_{vorn} am Nullanschlag war. Daraus kann über $V = V_{\text{vorn}} - V_{\text{hinten}}$ zumindest die Aussage gemacht werden, dass V mit Sicherheit grösser (im negativen Sinne) ist, als durch die eingetragenen Punkte angegeben ist. Dies wurde in Bild 10 durch Pfeile angedeutet. Der Kräfteverlauf von V_{vorne} reichte im übrigen ins positive Gebiet herein, so dass die wirklichen Werte von V nicht allzu weit unter den eingetragenen liegen dürften.

³⁾ Als positiv wurde entsprechend den früheren Messungen an Pflugkörpern [4 und 5] bei der Seitenkraft eine zur Landseite gerichtete Kraft und bei der Vertikalkraft eine nach unten gerichtete Kraft bezeichnet.

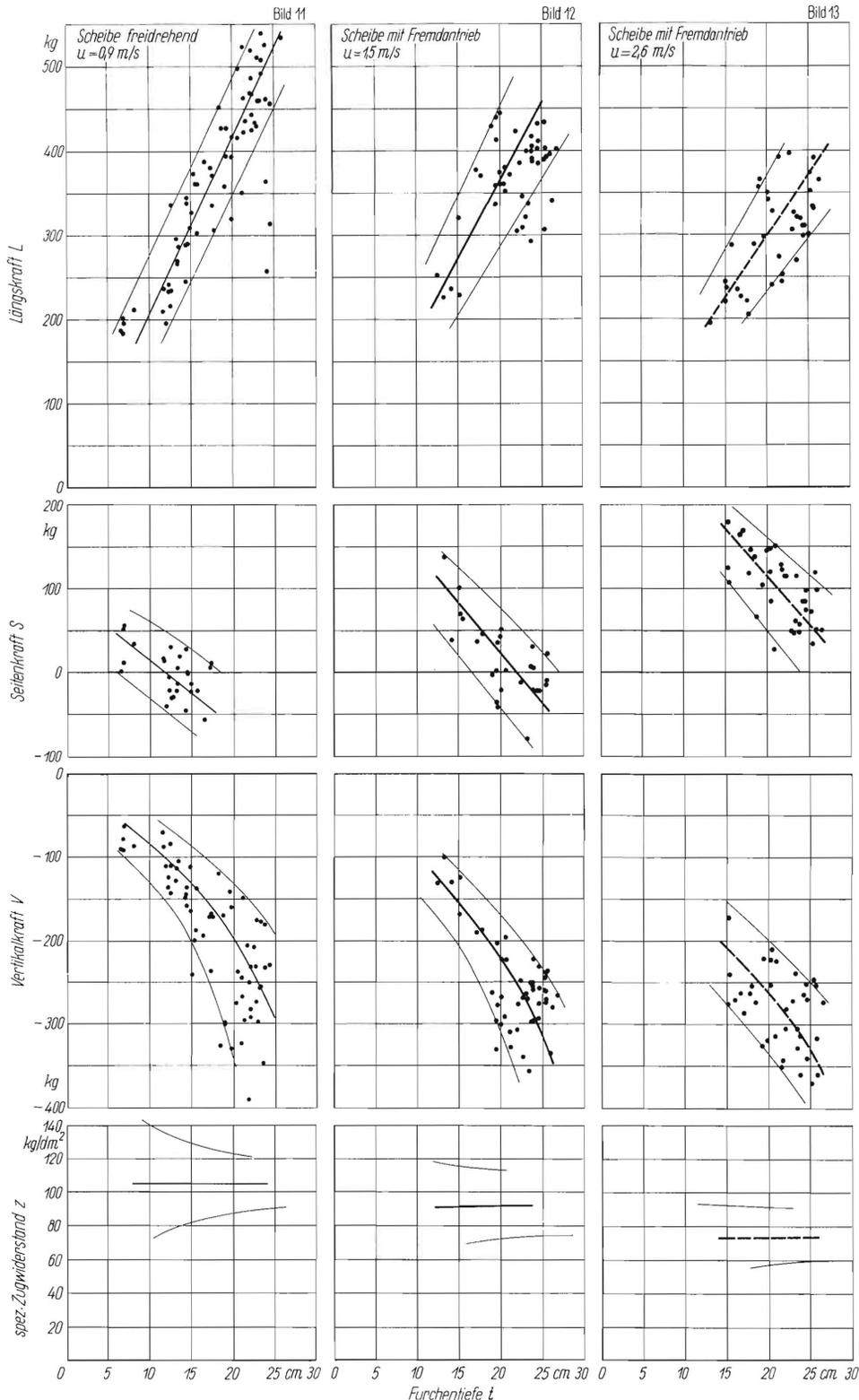


Bild 11 bis 13. Die Kraftkomponenten L , S , V der glatten Scheibe in Abhängigkeit von der Furchentiefe bei verschiedener Umfangsgeschwindigkeit u .

Arbeitsgeschwindigkeit $v = 1,9 \text{ m/s}$ Bodenart: schwerer, trockener Boden M

Die Längskraft steigt in Bild 7 bis 10 linear mit der Furchentiefe an, wobei sich der mittlere Verlauf zwanglos durch den Nullpunkt der Ordinaten legen läßt, d.h., der mittlere spezifische Arbeitswiderstand ist unabhängig von der Furchentiefe und die entsprechenden Kurven z verlaufen in Bild 7 bis 10 parallel zur Abszissenachse. Bei der mit hoher Umfangsgeschwindigkeit angetriebenen Pflugscheibe

(Bild 10) ist die Zugkraft merklich niedriger als in den drei anderen Fällen.

Die mittleren spezifischen Zugkräfte liegen bei den frei drehenden Scheiben ebenso wie bei den zum Vergleich eingesetzten Streichblechpflügen bei 100 kg/dm^2 (Bild 8), sind also für deutsche Bodenverhältnisse recht hoch. Die prozentuale Streuung der Längskräfte ist etwa gleich der bei den früheren

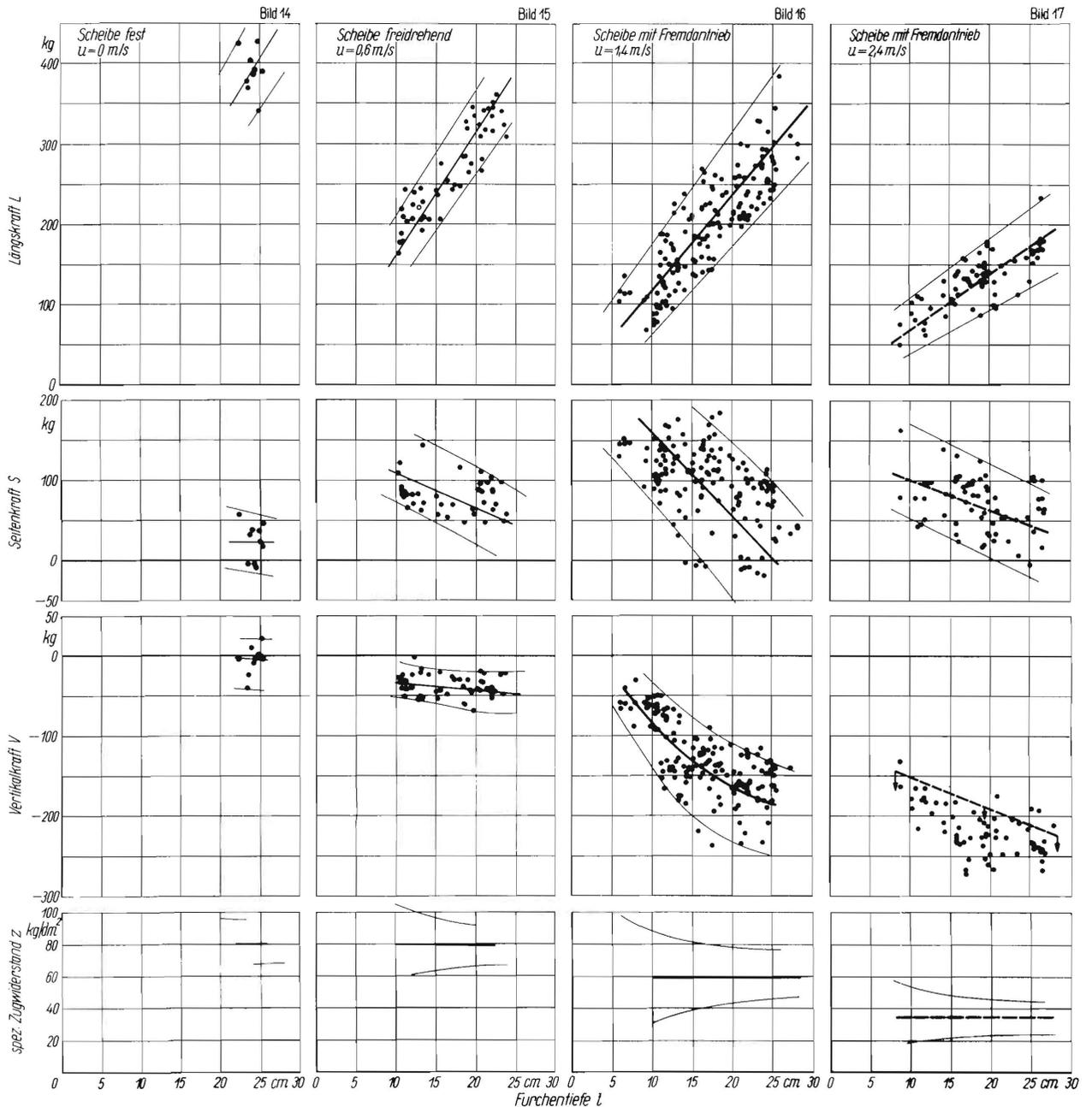


Bild 14 bis 17. Die Kraftkomponenten L , S , V und der spezifische Zugwiderstand z der gezahnten Scheibe in Abhängigkeit von der Furchentiefe bei verschiedener Scheibenumfangsgeschwindigkeit u .

Arbeitsgeschwindigkeit $v = 1 \text{ m/s}$ Bodenart: schwerer, trockener Boden M

Messungen an Streichblechpflügen [4]. Die Streuung der Seiten- und Vertikalkräfte ist jedoch höher, so daß bei einigen Versuchsreihen mit wenig Einzelmessungen der mittlere Verlauf von S und V nicht gesichert ist. In allen Fällen ließ sich jedoch die Tendenz klar erkennen. Besonders groß sind teilweise die negativen Vertikalkräfte.

In gleicher Weise wurden in **Bild 11 bis 13** die gemessenen Kraftkomponenten L , S , V , und die spezifische Zugkraft z in Abhängigkeit von der Furchentiefe bei der glatten Scheibe für eine Pfluggeschwindigkeit $v = 1,9 \text{ m/s}$ (Meßreihe 2, Tafel 1) dargestellt. **Bild 14 bis 20** zeigen die Ergebnisse für die gezahnte Scheibe (Meßreihe 3 und 4, Ta-

fel 1). Im folgenden werden nur die Mittelwerte aller Meßreihen zusammenfassend erörtert.

Von besonderem Interesse ist dabei der Einfluß der Scheibenumfangsgeschwindigkeit. Bei nicht angetriebenen Scheiben stellt sich eine Scheibenumfangsgeschwindigkeit u ein, bei der die Summe der tangentialen Schubkräfte auf die Scheibe vektoriell multipliziert mit dem Abstand zur Scheibenachse r gleich der Lagerreibung der Scheibe, also annähernd gleich Null ist. Man kann aus der Änderung der Scheibenumfangsgeschwindigkeit bei den verschiedenen Versuchsbedingungen Rückschlüsse darauf ziehen, wie die Furchenwand geschnitten wird bzw. wie sich der Boden über die Scheibe bewegt.

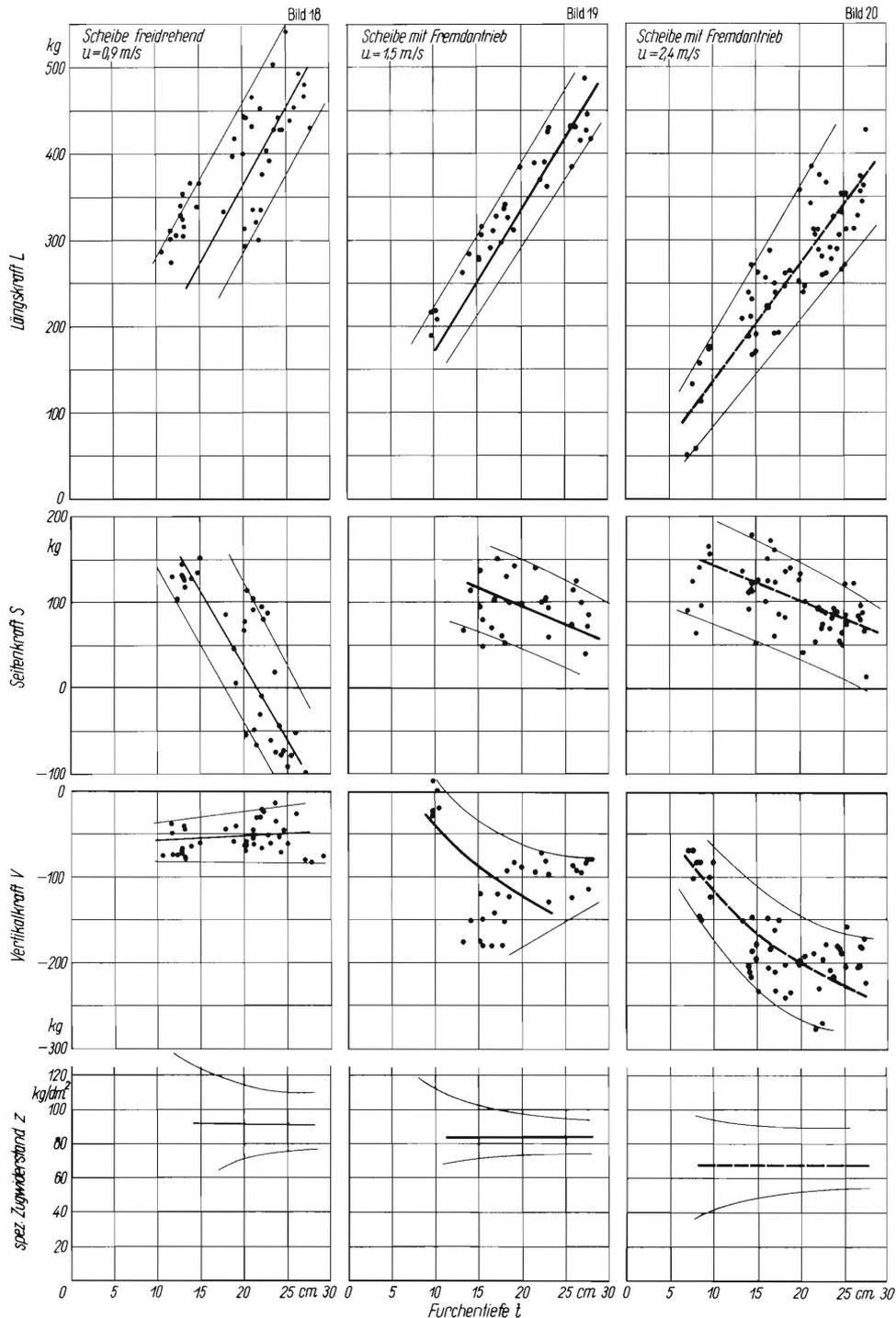


Bild 18 bis 20. Die Kraftkomponenten L , S , V und z der gezahnten Scheibe in Abhängigkeit von der Furchentiefe bei verschiedener Scheibenumfangsgeschwindigkeit u .

Arbeitsgeschwindigkeit $v = 1,9 \text{ m/s}$ Bodenart: schwerer, trockener Boden M

Es wurden daher auch bei allen Messungen mit nicht angetriebenen Scheiben die Scheibenumfangsgeschwindigkeit bestimmt. Die einzelnen Messungen an der glatten und der gezahnten, sich frei drehenden Scheibe sind in **Bild 21 und 22** einander gegenübergestellt. Dabei wurden auch die Meßergebnisse auf einem leichten Boden J (siehe Bild 2 und 3) für die glatte Scheibe mit eingetragen. In allen Fällen nahm die Scheibenumfangsgeschwindigkeit mit zunehmender Furchentiefe ab, und zwar bei der glatten Scheibe mehr als bei der gezahnten Scheibe.

Auf dem leichten Boden war die Umfangsgeschwindigkeit erheblich höher als auf schwerem Boden. Das Verhältnis der Umfangs- zur Fahrgeschwindigkeit beträgt je nach der Furchentiefe auf dem schweren Boden im Mittel zwischen $u/v = 0,6$ bis $0,3$ und auf dem leichten Boden $u/v = 0,9$ bis $0,7$. Die höhere Pfluggeschwindigkeit beeinflusst diese mittleren Verhältniswerte nur wenig. Die frei drehende und angetriebenen Scheiben beschreiben die in **Bild 23** dargestellten Zykloiden.

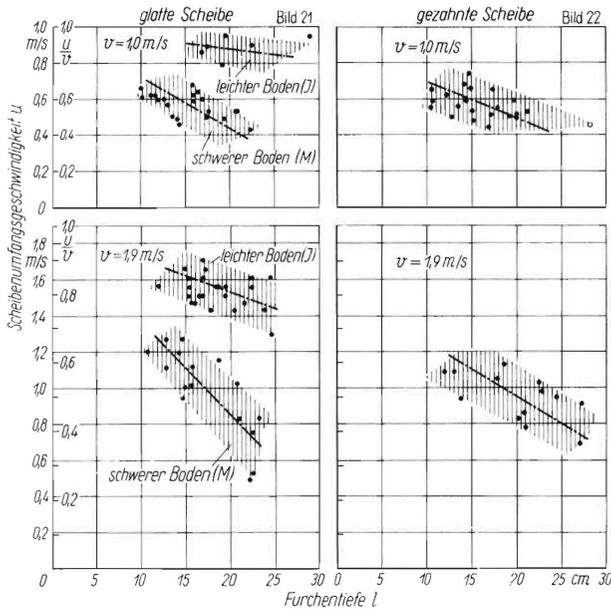


Bild 21 und 22. Scheibenumfangsgeschwindigkeit u der glatten und gezahnten Scheibe bei frei drehenden Scheiben in Abhängigkeit von der Furchentiefe auf zwei verschiedenen Böden und zwei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten.

Der mittlere Verlauf der Kraftkomponenten und der spezifische Pflugwiderstand z ist in Abhängigkeit von der Furchentiefe für die glatte Scheibe in **Bild 24 und 25** und für die gezahnte Scheibe in **Bild 26 und 27** zusammengestellt. Die Längskräfte der blockierten Scheiben ($u = 0$) unterscheiden sich überraschenderweise kaum von denen der frei drehenden Scheibe. Bei beiden Scheiben sind die Längskräfte bei den angetriebenen Scheiben kleiner als bei der frei drehenden Scheibe, und zwar vermindern sie sich umso mehr, je höher die Umfangsgeschwindigkeit ist. Das geht besonders aus **Bild 28 und 29** hervor, in dem die Kraftkomponenten für einen mittleren Furchenquerschnitt ($b = 20\text{ cm}$, $t = 15\text{ cm}$) in Abhängigkeit von der Scheibenumfangsgeschwindigkeit dargestellt sind. Um wieviel Prozent sich die Längskräfte der angetriebenen Scheiben gegenüber der frei drehenden Scheibe vermindern, ist in **Zahlentafel 2** zusammengefaßt.

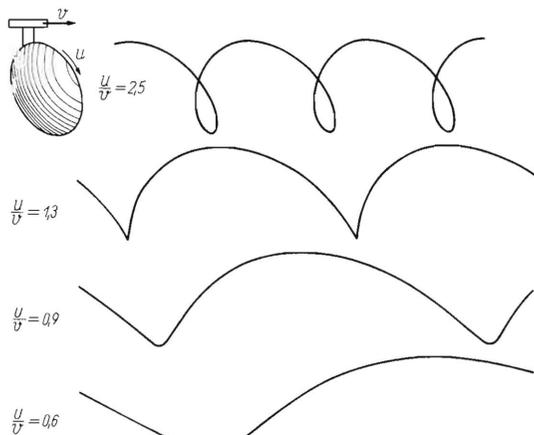


Bild 23. Die von den frei drehenden und angetriebenen Scheiben beschriebenen Zykloiden.

Zahlentafel 2: Zugkraftänderung mit steigender Scheibenumfangsgeschwindigkeit gegenüber frei drehenden Scheiben in Prozenten.

	Scheibenumfangsgeschwindigkeit u m/s	Fahrgeschwindigkeit v			
		$v = 1,0\text{ m/s}$	$v = 1,9\text{ m/s}$	$v = 1,0\text{ m/s}$	$v = 1,9\text{ m/s}$
blockierte Scheibe	0	-5%	+3%	-	-
frei drehende Scheibe	0,5-0,9	0	0	0	0
angetriebene Scheibe	1,2-1,4	-18%	-26%	-12%	-9%
„ „	2,4-2,6	-45%	-58%	-30%	-26%

Die Zugkraftverringeringung ist danach bei der kleinen Fahrgeschwindigkeit bei beiden Scheiben größer als bei der großen. Sie ist eine Funktion des Verhältnisses der Umfangsgeschwindigkeit zur Fahrgeschwindigkeit u/v und nicht der Umfangsgeschwindigkeit allein. Gegenüber frei drehenden Scheiben ergeben sich bei den angetriebenen Scheiben Zugkraftverringeringungen von rund 30 bis 50%.

Die Längskräfte bei der großen Pfluggeschwindigkeit sind nicht viel größer als bei der kleinen Pfluggeschwindigkeit. Das ist ein Beweis dafür, daß die zur Überwindung der Kohäsion bei diesem harten Boden benötigten Kräfte, die von der Pfluggeschwindigkeit annähernd unabhängig sind, gegenüber den Beschleunigungskräften dominieren.

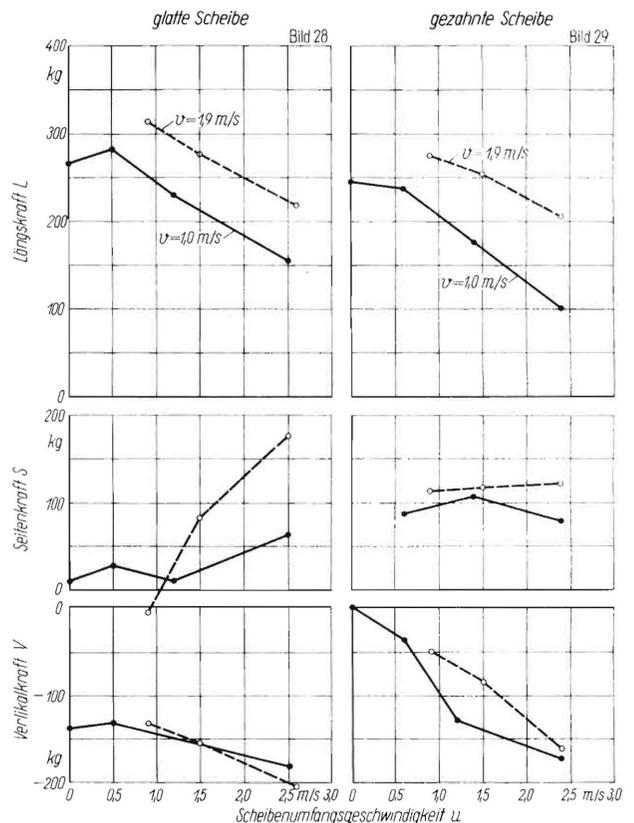


Bild 28 und 29. Kraftkomponenten L , S , V in Abhängigkeit von der Scheibenumfangsgeschwindigkeit u für einen bestimmten Furchenquerschnitt: $b = 20 \pm 2\text{ cm}$, $t = 15\text{ cm}$ (Mittelwerte ohne Streubereich). Bodenart: schwerer, trockener Boden M

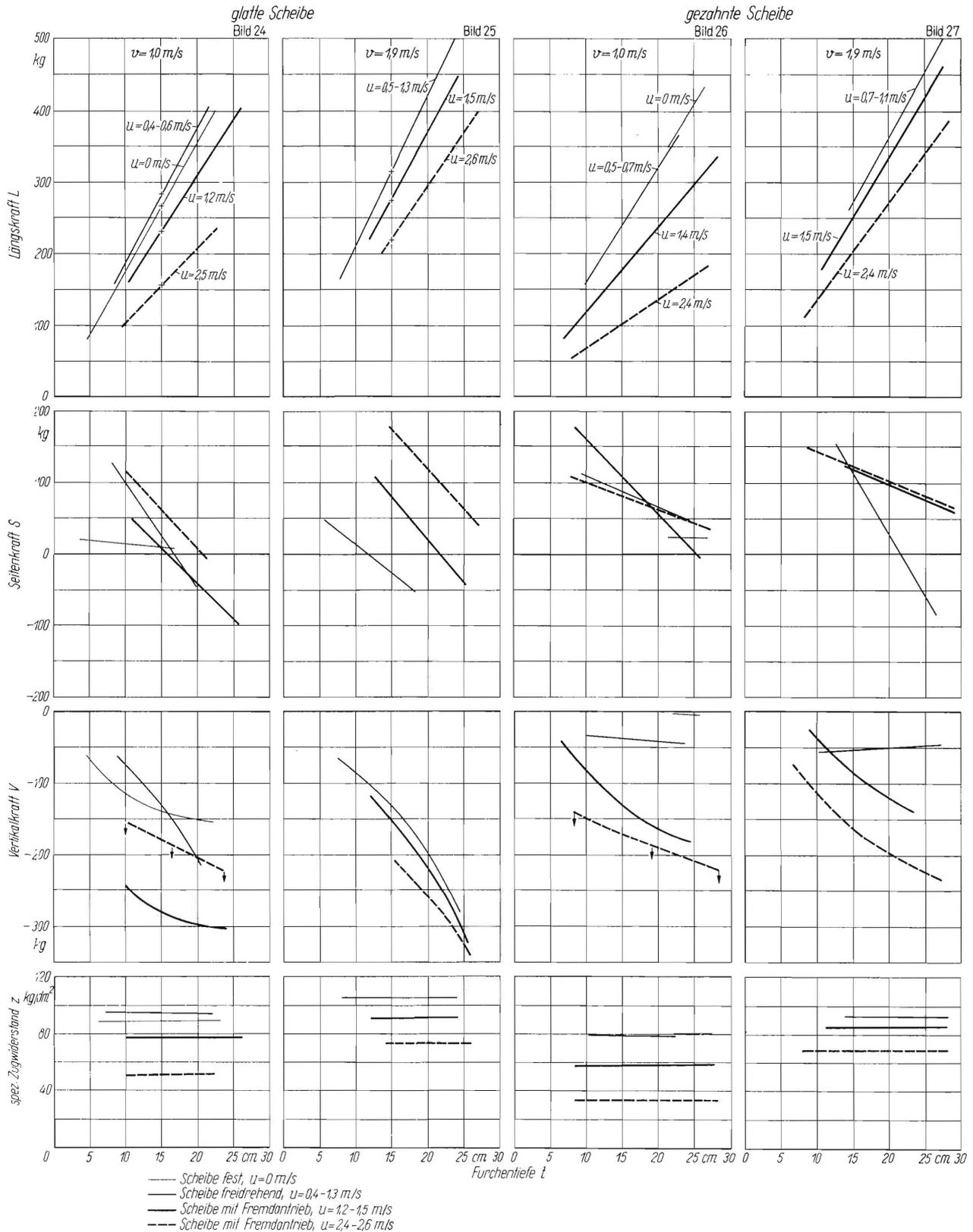


Bild 24 bis 27. Vergleich der Kraftkomponenten L , S , V und des spezifischen Zugwiderstandes z der glatten und der gezahnten Scheibe bei verschiedenen Scheibenumfangsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Furchentiefe (Mittelwerte ohne Streugebiet aus Bild 7 bis 20).

Bodenart: schwerer, trockener Boden M

Bei der gezahnten Scheibe sind die Längskräfte, und damit die spezifischen Zugkräfte, im Mittel um etwa 15% kleiner als bei der glatten Scheibe. Dar-

über hinaus nehmen sie bei der kleinen Pflugeschwindigkeit auch noch mit zunehmender Umfangsgeschwindigkeit ab.

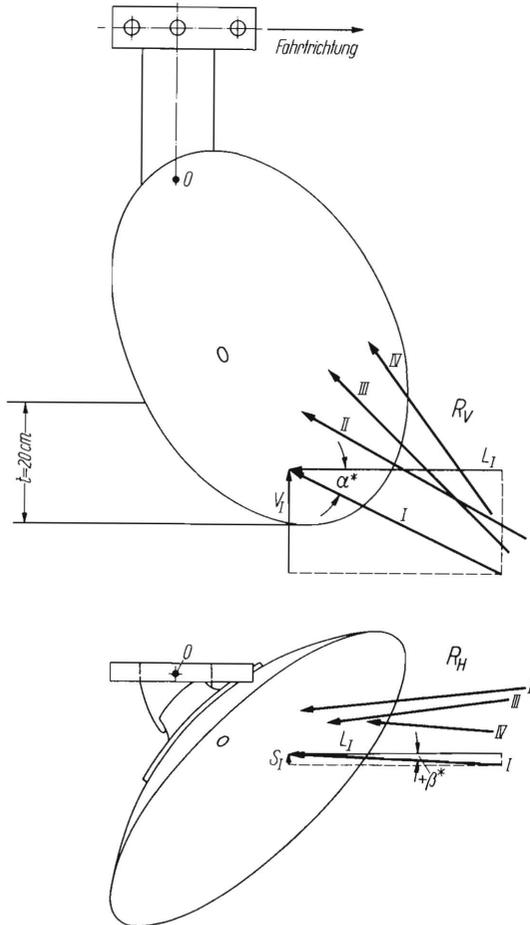


Bild 30. Richtungswinkel α^* und β^* des resultierenden Bodenwiderstandes R für eine glatte Scheibe für $v = 1 \text{ m/s}$.
 I Scheibe, fest
 II Scheibe, frei drehend
 III Fremdantrieb der Scheibe $u = 1,2 \text{ m/s}$
 IV Fremdantrieb der Scheibe $u = 2,5 \text{ m/s}$

Infolge des großen Streubereichs der Messungen und der in einigen Fällen geringeren Zahl der Meßpunkte, ist der mittlere Verlauf der Seiten- und Vertikalkräfte in einigen Fällen unsicher. Die Seitenkraft wird mit steigender Umfangsgeschwindigkeit größer, jedoch ist der Einfluß der Umfangsgeschwindigkeit unterschiedlich. An der glatten Scheibe wurde bei $v = 1,9 \text{ m/s}$ ein erheblicher Zuwachs

ermittelt (Bild 25). Bei der gezahnten Scheibe ($v = 1,0 \text{ m/s}$, Bild 26) waren die Unterschiede teilweise nur gering.

Die Vertikalkraft war bei beiden Scheiben infolge des hohen Eindringwiderstandes der Scheibenschneide immer negativ, d.h. von unten nach oben gerichtet, und nahm mit wachsender Furchentiefe stark zu. Sie wurde durch steigende Scheibenumfangsgeschwindigkeit in allen Fällen zusätzlich vergrößert. Auf die Bedeutung der Pfeile an den Kurven Bild 24 und 26 wurde bereits bei Bild 10 hingewiesen. In diesen beiden Fällen kann nur die obere Grenze der Vertikalkräfte angegeben werden. Die wirklichen Vertikalkräfte liegen also etwas unterhalb der angegebenen Linie. Die nach oben gerichteten Vertikalkräfte V der gezahnten Scheibe sind nicht so groß wie bei der glatten Scheibe. Im Gegensatz zur glatten Scheibe ändert sich die Vertikalkraft der frei drehenden Scheibe mit zunehmender Furchentiefe nur wenig. Dies stimmt mit der Beobachtung überein, daß die gezahnte Scheibe leichter in den Boden eindringt. Das mag damit zusammenhängen, daß die glatte Scheibe mit einer fortlaufenden, die gezahnte Scheibe mit einer unterbrochenen Schneide in den Boden eindringt. Damit allein können die Unterschiede jedoch nicht ausreichend erklärt werden, da die größten Differenzen gerade bei großen Furchentiefen auftreten. Man wird wohl Abstützflächen an der Schneiderrückseite annehmen müssen, die sich bei der glatten Scheibe mehr auswirken als bei der gezahnten. Die Zuschärfwinkel beider Scheiben differieren nur um 1° ($\gamma_{\text{glatt}} = 44^\circ$, $\gamma_{\text{gezahnt}} = 43^\circ$). Bei späteren Versuchen mit Scheibenanstellwinkeln von $\beta = 41,5^\circ$ konnte die glatte Scheibe nicht mehr zum Schneiden gebracht werden, weil die Schneiderrückseite sich an der Furchenseitenwand abstützte, während mit der gezahnten Scheibe in dieser Winkelstellung noch Messungen durchgeführt werden konnten. Es ist anzunehmen, daß ein Zuschärfen an der Vorderseite das Eindringen erleichtern würde.

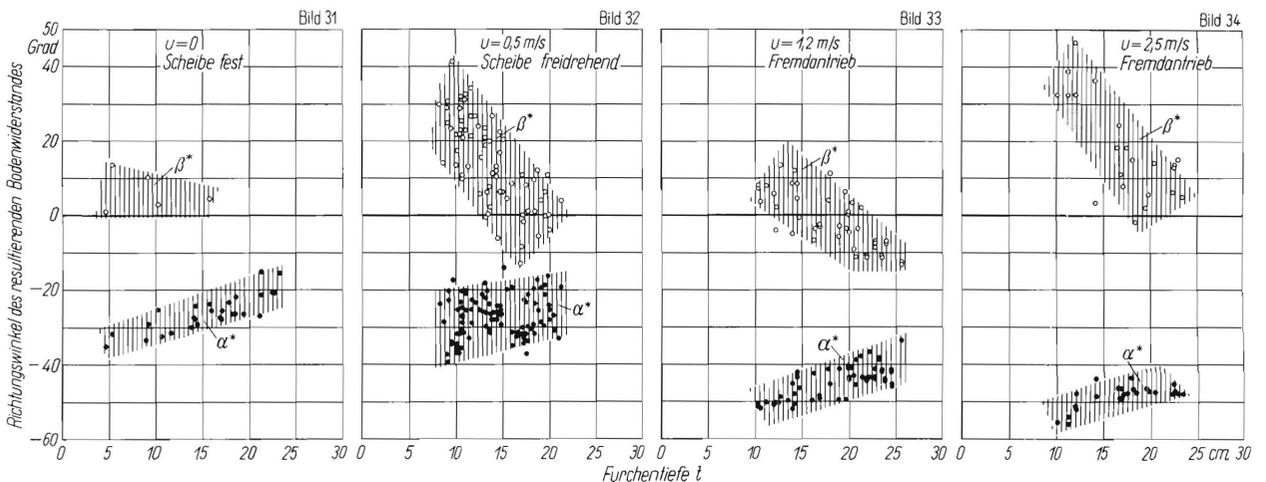


Bild 31 bis 34. Richtungswinkel α^* und β^* des resultierenden Bodenwiderstandes R in Abhängigkeit von der Furchentiefe bei verschiedener Umfangsgeschwindigkeit u der glatten Scheibe.

Arbeitsgeschwindigkeit $v = 1,0 \text{ m/s}$

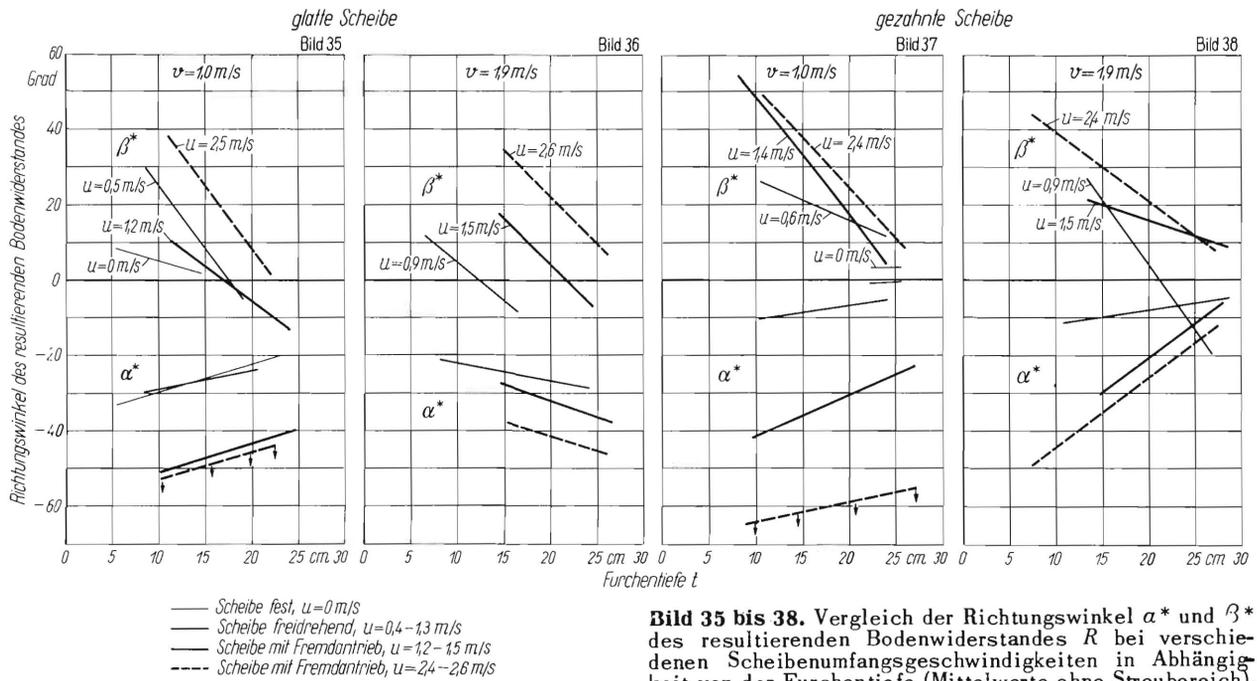


Bild 35 bis 38. Vergleich der Richtungswinkel α^* und β^* des resultierenden Bodenwiderstandes R bei verschiedenen Scheibenumfangsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Furchentiefe (Mittelwerte ohne Streubereich).

Im ganzen werden also mit zunehmender Umfangsgeschwindigkeit die Längskräfte kleiner, die Seiten- und Vertikalkräfte aber größer.

Um Verwechslungen mit den Scheibeneinstellwinkeln zu vermeiden, wird mit α^* der Winkel zwischen dem resultierenden Bodenwiderstand und der Längskraft in der Seitenansicht und mit β^* im Grundriß bezeichnet (Bild 30). Bild 31 bis 34 zeigt den Verlauf von α^* und β^* in Abhängigkeit von der Furchentiefe für die glatte Scheibe (Meßreihe 1 in Tafel 1). Infolge der negativen, also nach oben gerichteten Vertikalkräfte hat α^* in allen Fällen relativ große negative Werte, wird aber durch Furchentiefenänderungen weniger beeinflusst als β^* . Der bei kleinen Furchentiefen positive Winkel β^* nimmt in allen Fällen (außer $u = 0$) mit zunehmender Furchentiefe stark ab und wird z. T. sogar negativ.

Die mittleren Verläufe der Winkel α^* und β^* bei der Scheiben sind in Bild 35 bis 38 zusammengestellt. Bei beiden Scheiben verläuft α^* mit zunehmender Furchentiefe wesentlich flacher als die zugehörigen Vertikalkräfte (Bild 24 bis 27). Im übrigen entsprechen die Kurventendenzen etwa denen der Kraftkomponenten S und V .

Für einen mittleren Furchenquerschnitt ($b = 20$ cm, $t = 15$ cm) ergibt sich der in Bild 39 dargestellte Verlauf von α^* und β^* in Abhängigkeit von der Scheibenumfangsgeschwindigkeit u . Bei beiden Scheiben und beiden Pfluggeschwindigkeiten fällt Winkel α^* mit steigendem u ab und erreicht bei $v = 1,9$ m/s und $u = 2,6$ m/s den Wert $\alpha^* \approx -40^\circ$, während β^* umgekehrt bis etwa 35° ansteigt.

Der Leistungsbedarf für die angetriebenen Scheiben

Die Scheibenantriebsleistung N_s ist für die einzelnen Meßreihen in Bild 40 und 41 miteinander verglichen. Sie steigt bei beiden Pfluggeschwindigkeiten mit zunehmender Furchentiefe nur wenig an. Offenbar ist die am Scheibenrand, also am größten

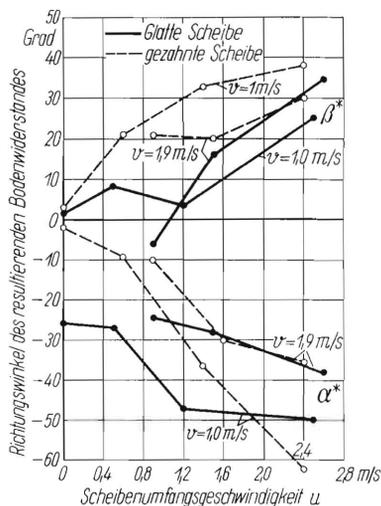


Bild 39. Richtungswinkel des resultierenden Bodenwiderstandes in Abhängigkeit von der Scheibenumfangsgeschwindigkeit u für einen bestimmten Furchenquerschnitt: $b = 20 \pm 2$ cm, $t = 15$ cm (Mittelwerte ohne Streubereich).

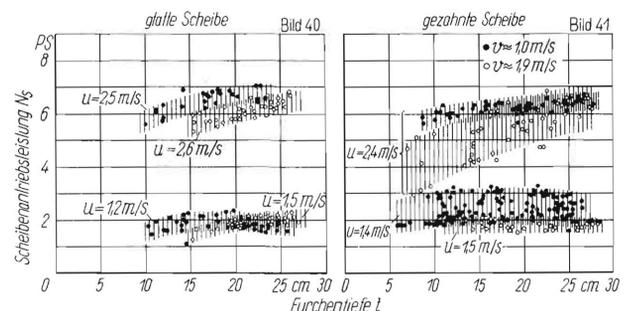


Bild 40 und 41. Scheibenantriebsleistung N_s bei der Furchentiefe t bei verschiedenen Scheibenumfangsgeschwindigkeiten.

Durchmesser, auftretende Reibung für die Größe der aufgenommenen Leistung ausschlaggebend. Bei hö-

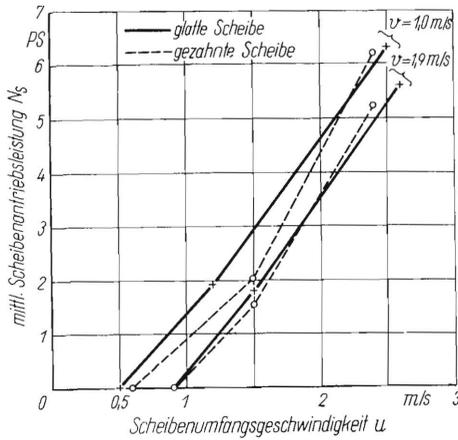


Bild 42. Scheibenantriebsleistung in Abhängigkeit von der Scheibenumfangsgeschwindigkeit.

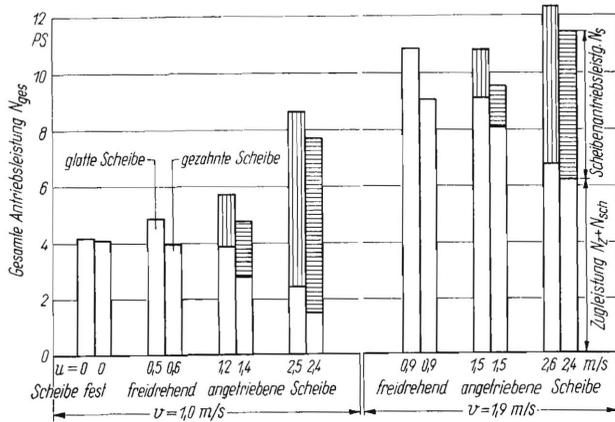


Bild 43. Energiebilanz der Zug- und Antriebsleistung bei der Pflugscheiben für zwei Pfluggeschwindigkeiten und einen Furchenquerschnitt (Mittelwerte): $b = 20 \pm 2$ cm, $t = 15$ cm.

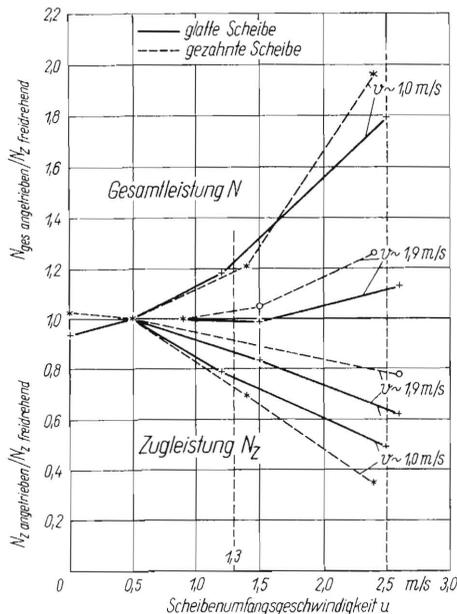


Bild 44. Gesamtleistungsbedarf von angetriebenen Pflugscheiben, bezogen auf die Zugleistung der frei drehenden Scheibe, in Abhängigkeit von der Scheibenumfangsgeschwindigkeit. (Mittelwerte für einen Furchenquerschnitt: $b = 20 \pm 2$ cm, $t = 15$ cm).

herer Pfluggeschwindigkeit (offene Meßpunkte) sind etwas geringere Leistungen erforderlich. Bei der höheren Scheibenumfangsgeschwindigkeit $u = 2,4$ bis $2,6$ m/s ist die Nettoleistung rund dreimal so hoch wie bei $u = 1,5$ m/s. Die Streuung der Leistungsaufnahme war bei allen Messungen gering. Trägt man die Scheibenantriebsleistung über der Umfangsgeschwindigkeit auf (Bild 42), so ergibt sich ein annähernd linearer Anstieg. Beide Scheiben verhalten sich dabei ähnlich. Bei hoher Scheibenumfangsgeschwindigkeit wurde der Boden weiter weggeschleudert als bei den anderen Meßreihen; auch war die Furche breiter ausgeräumt. Ob damit eine bessere Wendung erzielt wurde, war nicht zu erkennen. Infolge der größeren Wurfenergie waren die Bodenschollen kleiner, wie eine Schollen- und Krümelsiebanalyse ergab [6]. Ausgesprochen schlecht war die Wendung bei der blockierten Scheibe.

Energiebilanz der gesamten Antriebsleistungen

Um eine Vorstellung von dem Leistungsaufwand von gezogenen und zusätzlich angetriebenen Pflugscheiben zu gewinnen, werden im folgenden die einzelnen Leistungsbeträge aus Zugleistung und Antriebsleistung zur Gesamtleistung addiert und der Zugleistung einer frei drehenden Scheibe gegenüber gestellt. Dabei muß berücksichtigt werden, daß der Schlepper beim Zug eine Schlupfverlustrleistung N_{sch} zusätzlich aufbringen muß. Bei der frei drehenden Scheibe ergibt sich also als gesamte Arbeitsleistung $N_{ges} = N_z + N_{sch}$. Bei der angetriebenen Pflugscheibe ist hierzu noch die Scheibenantriebsleistung N_s hinzuzufügen: $N_{ges} = N_z + N_{sch} + N_s$. Jedoch ist die Zugleistung und die Schlupfleistung in diesem Fall kleiner. In beiden Fällen soll von der Berücksichtigung der Getriebe- und Rollwiderstandsverluste abgesehen werden, da sie in allen Vergleichen etwa gleich groß sind. Für den Vergleich wurde das Gewicht eines 45 PS-Schleppers zugrunde gelegt, der einen 4-furchigen Scheibenpflug zieht. Aus den Messungen von Bock [7] wurden Schlupfwerte auf trockenem Stoppelpacker in Abhängigkeit von der Gesamtzugkraft übernommen. Die in dieser Form für einen mittleren Furchenquerschnitt ($b = 20$ cm, $t = 15$ cm) ermittelte Gesamtleistungsaufnahme N_{ges} und ihre Aufgliederung zeigt Bild 43 in Säulendarstellung für beide Scheiben, verschiedene Pflug- und Scheibenumfangsgeschwindigkeiten. Daraus geht hervor:

1. Die Gesamtleistungsaufnahme wächst mit steigender Scheibenumfangsgeschwindigkeit, obwohl die reine Zugleistung gleichzeitig kleiner wird.
2. Beide Scheiben verhalten sich ähnlich, jedoch sind die Zahlenwerte der gezahnten Scheibe merklich niedriger. Dies gilt auch für die höhere Pfluggeschwindigkeit ($v = 1,9$ m/s).

3. Bei der großen Pfluggeschwindigkeit ist der Anteil der Scheibenantriebsleistung prozentual kleiner als bei der kleinen Pfluggeschwindigkeit.

Bezogen auf die Gesamtleistungsaufnahme der frei drehenden Scheibe ergeben sich für den gewählten Querschnitt die in **Bild 44** in Abhängigkeit von der Scheibenumfangsgeschwindigkeit aufgetragenen Leistungsverhältnisse. Daraus ist zu entnehmen, daß die erforderliche Gesamtleistung bei einer Umfangsgeschwindigkeit, die etwa gleich dem 1,3fachen der Fahrgeschwindigkeit ist (also bei $v = 1,0$ und $u = 1,3$ und bei $v = 1,9$ und $u = 2,5$ m/s) um 20 bis 25% höher ist als bei der frei drehenden Scheibe, während die Zugkraft um 21 bis 38% abnimmt. Eine Vergrößerung der Umfangsgeschwindigkeit auf das 2,5fache der Fahrgeschwindigkeit bringt zwar eine Verringerung der Zugkraft um 50 bzw. 65% gegenüber der frei drehenden Scheibe, dafür steigt aber der Gesamtleistungsbedarf auf fast das Doppelte, was praktisch uninteressant ist. Diese für einen bestimmten Furchenquerschnitt geltenden Zahlenwerte werden bei kleineren Furchentiefen für die angetriebene Pflugscheibe ungünstiger.

Rein leistungsmäßig bringt also der Scheibenpflug mit angetriebenen Scheiben keine Vorteile. Ferner werden neben dem zusätzlichen Leistungsaufwand sowohl die Seiten- als auch Vertikalkräfte im ungünstigen Sinne beeinflußt.

Bei einer Umfangsgeschwindigkeit, die gleich dem 2,5fachen der Fahrgeschwindigkeit war, wurde beobachtet, daß die Scheibe gegenüber den abfließenden Bodenteilchen einen großen Schlupf hatte, ohne auf ihn wesentliche Energieimpulse zu übertragen. Dies bestätigt nur, daß die Scheibenumfangsgeschwindigkeit nicht höher als das 1,3fache der Fahrgeschwindigkeit sein soll. Der weitaus größte Teil der zusätzlich hineingesteckten Leistung geht in Form von Reibungsarbeit verloren. Dabei hatte die Reibung an der Scheibenaußenseite einen wesentlichen Anteil auf die Leistungsaufnahme, wie aus dem geringen Einfluß der Furchentiefe auf N_s zu erkennen ist.

Vergleich der glatten Scheibe mit der gezahnten Scheibe

Die gezahnte Scheibe verhielt sich im allgemeinen günstiger als die glatte Scheibe. Ihre Längskraft war bei allen Messungen kleiner als die der glatten (**Bild 45**). Bei frei drehenden Scheiben benötigte die gezahnte Scheibe bei beiden Pfluggeschwindigkeiten um etwa 15% kleinere Zugkräfte. Auch bei angetriebenen Scheiben bleibt dieser Unterschied etwa erhalten. Die gezahnte Scheibe drang infolge der Aussparungen zwischen den Zähnen besser in den Boden ein und ihre Vertikalkräfte waren geringer.

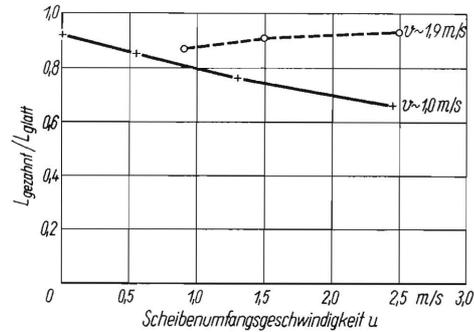


Bild 45. Längskraft der gezahnten Scheibe, bezogen auf die der glatten Scheibe, bei verschiedenen Pfluggeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Scheibenumfangsgeschwindigkeit.

Allerdings wurde ein größerer Verschleiß beobachtet. Die Ecken der Zähne rundeten sich ab und der Durchmesser verringerte sich schneller als bei der glatten Scheibe. Eine wellenförmige Ausbildung des Randes dürfte daher für rauhe Beanspruchungen zweckmäßiger sein. Die Krümelungsarbeit war bei beiden Scheiben annähernd gleich. Der Furchenrand zeigte bei der gezahnten Scheibe keinen gleichmäßigen Schnitt wie bei der glatten Scheibe, vielmehr wechselte ein glatter Schnittstreifen mit einem schmalen, rauhen Streifen ab, in dem der Boden offensichtlich abgeschert oder abgerissen worden war (**Bild 46**).



Bild 46. Furchenbild beim Pflügen mit der gezahnten Scheibe.

Zusammenfassung

Auf hartem, tonigem Lehmboden wurden vergleichende Kraft- und Leistungsmessungen an frei drehenden und angetriebenen Pflugscheiben mit glattem bzw. gezahntem Rand durchgeführt.

Bei frei drehender Scheibe ergab sich, daß die Längskräfte auf diesem Boden im Mittel proportional mit der Furchentiefe t ansteigen, d. h., daß der mittlere spezifische Zugwiderstand unabhängig von der Furchentiefe ist; er betrug etwa 100 kg/dm^2 . Die Seitenkräfte ändern sich stark mit der Furchentiefe t von positiven Werten bei kleinen Furchentiefen bis zu negativen Werten bei großen Furchentiefen. Die Vertikalkräfte verhalten sich gerade umgekehrt wie die Seitenkräfte: sie steigen von

großen negativen, d.h. nach oben gerichteten, Werten bei kleiner Furchentiefe zu kleinen negativen Werten bei großer Furchentiefe. Die gezahnte Scheibe hat wesentlich kleinere negative Vertikalkräfte mit geringerer Abhängigkeit von der Furchentiefe. Die gezahnte Scheibe dringt besser in den Boden ein als die glatte Scheibe und hatte einen um etwa 10 bis 15% kleineren spezifischen Zugwiderstand. Die Pfluggeschwindigkeit hat auf die Kurventendenzen wenig Einfluß und verändert die Absolutwerte nur gering.

Bei der zusätzlich angetriebenen Pflugscheibe nehmen die Längskräfte mit steigender Scheibenumfangsgeschwindigkeit ab. Die Verringerung betrug bis zu 30% bei einem Verhältnis $u/v = 1,3$. Die Seiten- und Vertikalkräfte werden durch den Antrieb im ungünstigen Sinne beeinflußt: Mit steigender Umfangsgeschwindigkeit wächst die Seitenkraft zu höheren positiven, d.h. zur Landseite gerichteten, die Vertikalkraft zu höheren negativen, d.h. nach oben gerichteten, Kräften an. Die Scheibenantriebsleistungen N_s wachsen mit steigender Umfangsgeschwindigkeit stark an und betragen:

v m/s	u m/s	N_s PS/Scheibe
1,0	1,2–1,4	1,8–2,0
1,9	2,4–2,6	5,2–5,6

Der Gesamtleistungsaufwand nahm mit steigender Umfangsgeschwindigkeit zu und war in allen Fällen größer als bei frei drehender Scheibe. Der Mehraufwand betrug bei $u/v = 1,3$ etwa 13 bis 25%. Bei $u/v = 2,5$ stieg er fast auf das Doppelte an. Es kommt also darauf an, ein günstiges u/v -Verhältnis zu wählen, das bei etwa 1,3 zu liegen scheint; 2,5 ist auf jeden Fall viel zu hoch.

Angesichts des höheren Energiebedarfs und der nicht besonders großen Zugkräfteinsparung von angetriebenen Scheiben gegenüber frei drehenden erscheint der erforderliche konstruktive Aufwand und Mehrpreis bei einzelnangetriebenen Scheiben nicht gerechtfertigt. Eher käme schon ein Antrieb von Vertikalscheibenpflügen in Frage, bei dem sämtliche Scheiben auf einer Welle liegen und gemeinsam angetrieben werden können.

Schrifttum

- [1] Der *Dufour*-Pflug (Aus Arbeiten des Schlepperprüffeldes Bornim). *Techn. i. d. Landw.* 15 (1934) S. 49/50.
 - [2] *Prestige de la machine agricole française*. Supplément Nr. 1, Paris 1951, S. 12/13.
 - [3] *Getzlaff, G.*: Kräfte an Pflugscheiben mit Fremdantrieb. In: *Grundl. d. Landtechn.* H. 5, Düsseldorf 1953, S. 36/41.
 - [4] *Getzlaff, G.*: Vergleichende Untersuchungen über die Kräfte an Normpflugkörpern. In: *Grundl. d. Landtechn.* H. 5, Düsseldorf 1953, S. 16/35.
 - [5] *Getzlaff, G.*: Über die Bodenkräfte beim Pflügen. In: *Grundl. d. Landtechn.* H. 3, Düsseldorf 1952, S. 60/70.
 - [6] *Söhne, W.*: Krümel- und Schollensiebanalyse als ein Mittel zur Beurteilung der Güte der Bodenbearbeitung. *Landtechn. Forsch.*, 4. (1954) H. 3, S. 79/81.
 - [7] *Bock, G.*: Feldversuche über die Zugfähigkeit von Ackerschlepperreifen. In: *Grundl. d. Landtechn.* H. 3, Düsseldorf 1952, S. 88/100.
- Weiteres Schrifttum über Scheibenpflüge:
- [8] *Clyde, A. W.*: Messungen an Scheibenpflügen. *Agr. Eng.* 20 (1939), S. 215/221.
 - [9] *Gordon, E. D.*: A laboratory study of soil reactions on discs. *Ass. Agr. Eng. Bureau of Agric. Chem. and Eng.*, Dec. 1939.
 - [10] *Söhne, W.*: Die Scheibenpflüge. In: *Grundl. d. Landtechn.* H. 1, Düsseldorf 1951, S. 115/121.
 - [11] *Söhne, W.*: Berechnung der Lagerkräfte eines Scheibenpfluges. *Landtechn. Forsch.* 2 (1952) H. 4, S. 136/140.

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

Anschrift der Verfasser: Ing. Günter Getzlaff und Dr.-Ing. Walter Söhne, Braunschweig, Bundesallee 50