

ZUR KINEMATIK DER TIEFENHALTUNG VON SCHLEPPER-ANBAUGERÄTEN

Von Kurt Hain

Die Tiefenhaltung von Anbaugeräten, beispielsweise des Pfluges, wird vor allem durch die Relativbewegungen von Schlepper und Gerät in der vertikal zur Ackeroberfläche in Fahrtrichtung gelegenen Ebene beeinflusst. Die beiden wichtigsten Ursachen dieser Relativbewegungen und der davon abhängenden, unbeabsichtigten Werkzeugbewegungen sind die Unebenheiten des Ackers und die wechselnde Tragfähigkeit des Ackerbodens. Infolge der oft auf kurzer Fahrstrecke wechselnden Tragfähigkeit des Bodens ändert sich sowohl die Eindringtiefe der Schlepperäder als auch die der Schleifsohle des Pfluges, so dass eine Relativbewegung zwischen Schlepper und Pflug und damit eine Beeinflussung der Tiefenführung des Pfluges zustande kommt.

Am einfachsten lassen sich die Bewegungen bei dem mit dem Schlepper starr verbundenen Gerät übersehen; denn man braucht nur die Bewegungen des Schleppers in der Vertikalebene durch die Fahrtrichtung zu kennen und kann mühelos die Bahn jedes beliebigen Punktes des starr gedachten Systems Schlepper-Gerät konstruieren. Eine solche Punktfolge erzeugt dann auch die Werkzeugschneide, deren Bahn den Verlauf der Furchensohle ergibt. Bekanntlich ist der Einfluss der Nickbewegungen des Schleppers dann am geringsten, wenn die Werkzeuge starr zwischen den Vorder- und Hinterrädern angebracht werden [1]. Bei starrer Anbringung der Geräte ist die wechselnde Tragfähigkeit des Bodens nur insofern von Einfluss auf die Arbeitstiefe der Werkzeuge, als der Schlepper mit seinen Rädern auf weichem Boden mehr einsinkt als auf hartem Boden.

Die bekannten vom Kraftheber gesteuerten Anbaugeräte (z.B. System Ferguson) benutzen zur laufenden Überwachung und Regelung der Tiefenhaltung Kräfte und Kraftänderungen. Wenn z.B. der Pflug tiefer geht, wird durch den grösseren Arbeitswiderstand der Pflug vom Kraftheber gehoben und umgekehrt. Diese „kraftgesteuerten“ Systeme sollen hier nicht besprochen werden. Vielmehr sollen die durch ihre kinematische Anordnung sich selbst regelnden Systeme behandelt werden, wobei der Kraftheber auch zur Einstellung oder zur Verstellung der Pflugtiefe eingesetzt werden kann [2]. Im übrigen soll aber der Pflug während der Arbeit sich selbst überlassen bleiben. Im Rahmen dieses Aufsatzes sollen verschiedene Systeme des gelenkig angebauten Pfluges, bei denen der Pflug bestimmte Relativbewegungen gegenüber dem Schlepper ausführen kann, behandelt werden.

Wirkung von Schleifsohle und Stützrolle

Würde man einen Pflug als einfachen Schwingpflug, der durch ein Drehgelenk mit dem Schlepper verbunden ist, nur mit der Schneide ohne Schleifsohle im Boden frei einspielen lassen, so würde er „schwimmen“, d.h. er wäre allen Änderungen des Bodenwiderstandes und der damit verbundenen Richtungs- und Grössenänderung der Kräfte ausgesetzt. Sorgt man aber durch eine Schleifsohle hinter der Schar-schneide dafür, dass der Pflug sich gegen die Furchensohle abstützen kann, so kann dieser seine Tiefe infolge eines wechselnden Bodenwiderstandes nicht ändern, vorausgesetzt, dass die Schleifsohle und die Furchensohle kraftschlüssig bleiben und der Boden durch den Schleifsohlendruck nicht eingedrückt wird. Die Schleifsohle hat damit eine stabilisierende Wirkung, indem sie den Einfluss des Kräftespieles auf die Tiefenhaltung ausschaltet. Es leuchtet ein, dass durch die Anordnung eines Seches, eines Düngereinlegers, eines Vorschälers oder eines Untergrundlockerers äussere Kräfte mit anderer Richtung und Grösse auftreten können, die ein Abheben der Schleifsohle von der Furchensohle oder einen unzulässig hohen Sohlendruck bewirken. Diese Auswirkungen auf den Tiefgang des Pfluges müssen durch entsprechende Nachstellungen an der Pflugaufhängung wieder rückgängig gemacht werden.

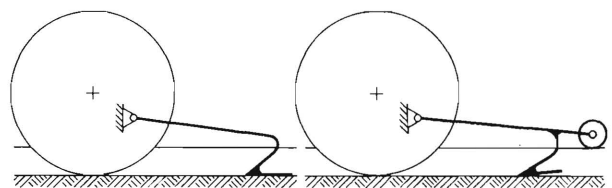


Bild 1. Schwingpflug mit Schleifsohle und Stützrollenpflug.

Eine weitere Möglichkeit der Tiefenhaltung eines Schwingpfluges erfolgt mit Hilfe der auf der Ackeroberfläche laufenden Stützrolle. Es muss hier allerdings auf einen grundsätzlichen Unterschied zwischen der Wirkung einer Schleifsohle und der einer Stützrolle hingewiesen werden. In beiden Fällen übt, wenn man beim einfachen Schwingpflug bleibt, die Bewegung des Führungspunktes (Bild 1) ihren Einfluss auf den Verlauf der von der Schar-schneide geschnittenen Furchensohle aus.

Bei den Untersuchungen des Schleifsohlenpfluges muss aber ganz besonders auf die enge Wechselwirkung zwischen Schar-schneide und Schleifsohle ge-

achtet werden. Zunächst geht der Pflug unter den oben genannten Voraussetzungen so tief, bis seine Schleifsohle auf der von der Scharschneide geschnittenen Furchensohle aufliegt. Die Scharschneide, in ihrer Projektion als Punkt des Pfluges, behält aber von dem Führungspunkt 0 und der aufliegenden Schleifsohle immer den gleichen Abstand, so dass aus der Bahn des Punktes 0 und der Bahn der Schleifsohle die zwangläufige Bahn der Scharschneide entsteht, d.h. die Scharschneide kann nur eine solche Pflugbahn beschreiben, wie diese ihr vom starren Pflugkörper durch die Führung des Punktes 0 und der Schleifsohle aufgezwungen wird.

Bei einem Pflug mit einer auf der Ackeroberfläche laufenden, mit dem Pfluggrindel fest verbundenen Stützrolle kann diese Wechselwirkung nicht auftreten. Da bei erzwungener Anlage zwischen Stützrolle und Ackeroberfläche die Furchensohle, d.i. die Bahn der Scharschneide, eindeutig aus der Bahn der Stützrolle und der Bahn des Punktes 0 konstruiert werden kann, lassen sich diese Verhältnisse einfacher überblicken.

In beiden Fällen aber ist es möglich, unter der Voraussetzung des unzusammendrückbaren Bodens die Furchensohle, also auch deren Abweichungen vom Sollmass, mit Hilfe der Geometrie zu bestimmen. Auf nähere Einzelheiten soll im folgenden eingegangen werden.

Die Ursachen der Tiefenänderungen

Für die Tiefenabweichungen des Pfluges von der eingestellten Solltiefe kann man zwei wichtige Ursachen hervorheben. Die Furchentiefe kann sich nämlich verändern, wenn erstens der Bodenwiderstand nicht gleich bleibt und zweitens der Schlepper über Unebenheiten fährt.

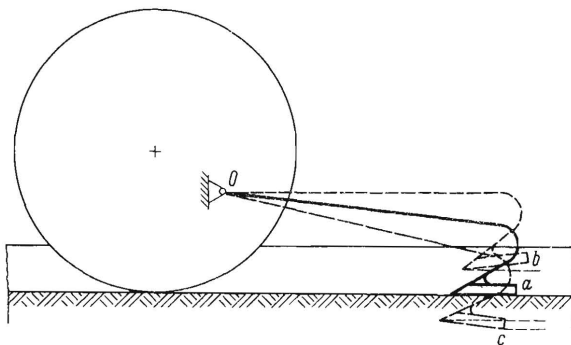


Bild 2. Tiefenänderungen des Schwingpfluges bei wechselndem Boden.

Nimmt man an, dass der Kupplungspunkt 0 des Schwingpfluges auf einer geraden Bahn parallel zur Ackeroberfläche geführt wird, so können Tiefenänderungen nur durch Störungen des Gleichgewichtes der Kräfte auftreten, indem die Schleifsohle sich entweder von der Furchensohle abhebt oder sich mehr oder weniger tief in diese eindrückt. Im ersten Falle tritt nach Bild 2 gegenüber der Normalstellung a

Stellung b ein, d.h. der Pflug „geht auf der Nase“. Diese bei hartem Boden zu beobachtende Erscheinung führt, wie aus Bild 2 ohne weiteres zu sehen ist, zu einer flacheren Furche.

Sind dagegen die vertikalen Kräfte auf den Pflug verhältnismässig gross, bzw. ist der Boden sehr nachgiebig, so drückt sich die Schleifsohle ein, und der Pflug nimmt eine Stellung c nach Bild 2 ein. Mit dieser Schleifsohleneindrückung ist aber auch ein Tiefergehen der Scharschneide verbunden. Die Scharschneide geht so lange tiefer, bis die Schleifsohle in der von der Scharschneide geschnittenen Furchensohle durch Zusammendrücken einer vertieften Schleifsohlenspur den notwendigen Gegendruck im Boden gefunden hat.

Die zweite Ursache für Pflugtiefenänderungen, das Fahren des Schleppers über Bodenunebenheiten, wirkt dadurch, dass der bzw. die Kupplungspunkte des gelenkig angehängten Pfluges eine von der Geraden mehr oder weniger abweichende Bahn beschreiben, die einen von der eingestellten Solltiefe abweichenden, nicht geradlinigen Verlauf der Furchensohle bedingen. Es ist also, sofern die Bewegung eines oder mehrerer Kupplungspunkte bekannt ist, aus den Abmessungen des Pfluges und etwaiger Zwischenglieder die Bahn der Scharschneide zu bestimmen.

Wenn im folgenden die beiden erwähnten Ursachen für die Tiefenänderung getrennt untersucht werden, so soll bei der Betrachtung des Einflusses der mehr oder weniger starken Eindrückbarkeit des Bodens unter der Schleifsohle, die Ackeroberfläche eben und die Pflugkupplungspunkte sollen auf einer zur Ackeroberfläche parallelen Geraden geführt sein. Werden jedoch die durch das Fahren des Schleppers über die Ackerunebenheiten verursachten Tiefenänderungen untersucht, so soll die Schleifsohle auf einer nicht eindrückbaren Furchensohle gleiten.

Durch die getrennte Betrachtung kann man die Auswirkung der verschiedenen Pflugaufhängungen überblicken und die günstigsten Verhältnisse anstreben. Dabei kann eine Verbesserung in der einen Richtung eine Verschlechterung in der anderen bedeuten, d.h. es kann Pflüge geben, die gegen Bodenunebenheiten unempfindlich sind, bei wechselndem Boden jedoch unzulässig hohe Tiefenänderungen zeigen und umgekehrt. Es leuchtet ein, dass ein Pflug, der sowohl gegen die eine als auch gegen die andere Einwirkung unempfindlich ist, auch im ganzen eine befriedigende Arbeit liefern wird.

Der Einfluss wechselnden Bodens

Wie bereits erwähnt, können die unerwünschten Tiefenänderungen bei wechselndem Boden u.a. dadurch verursacht werden, dass sich die Schleifsohle mehr oder weniger tief in die Furchensohle eindrückt.

Wenn nach Bild 3 ein im Punkt 0 mit dem Schlepper gekuppelter Schwingpflug mit dem Abstand e von der Richtlinie¹⁾ des Pflugkörpers, dem Abstand l der Scharspitze vom Führungspunkt 0 und der Sohlenlänge s (d.i. die Entfernung von der Scharspitze bis zur Schleifsohlenauflage) vorliegt, kann man eine Abhängigkeit zwischen der Pflughiefenänderung Δt und der Zusammendrückbarkeit h des Bodens aufstellen. Es ergibt sich nämlich mit den im Bild 3 eingezeichneten Winkeln α , β und γ :

$$\cos \alpha = \frac{e + \Delta t}{l}; \quad \cos \beta = \frac{e}{l}; \quad \gamma = \beta - \alpha$$

$$h = s \cdot \sin \gamma.$$

Ersetzt man die Winkelfunktionen durch die Kennwerte des Pfluges, so erhält man:

$$h = \frac{s}{\sqrt{2}} \left[(e + \Delta t) \sqrt{l^2 - e^2} - e \cdot \sqrt{l^2 - (e + \Delta t)^2} \right]$$

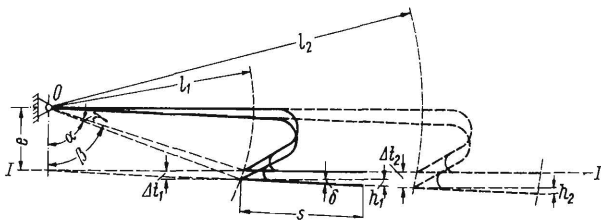


Bild 3. Abhängigkeit der Tiefenänderung Δt von der Zusammendrückbarkeit h des Bodens bei verschiedener Grindellänge eines Schwingpfluges.

Im allgemeinen findet man, dass ein geringes Eindringen h der Schleifsohle in den Boden eine wesentlich grössere Tiefenänderung Δt zur Folge hat (siehe Bild 3).

So ergibt sich z.B. mit den Massen $e = 250$ mm, $s = 500$ mm, $l_1 = 835$ mm für eine Eindringtiefe $h_1 = 20$ mm eine Tiefenänderung $\Delta t_1 = 35$ mm. Vergrössert man die Grindellänge z.B. auf 1520 mm bei den gleichen Massen e und s und rechnet ebenfalls mit einer Eindringtiefe $h_2 = h_1 = 20$ mm, so erhält man eine Tiefenänderung $\Delta t_2 = 60$ mm.

Diese Feststellungen zeigen, dass ein Schwingpflug mit langem Grindel bei wechselndem Boden schlechter die Tiefe hält als ein solcher mit kürzerem Grindel. Dagegen wirkt eine grössere Sohlenlänge s günstiger. Es sei aber schon hier auf die Tatsache hingewiesen, dass sich ein Schwingpflug mit kurzem Grindel ungünstiger als ein Pflug mit langem Grindel verhält, wenn der Schlepper über Unebenheiten fährt.

Um die Unempfindlichkeit der Tiefenführung des Pfluges bei wechselndem Boden zu steigern, kann man bei einer Drehung des Pfluggrindels um einen kleinen Drehwinkel γ durch entsprechende Vorkehrungen der Pflugschleife eine möglichst grosse Winkeländerung δ verleihen. Eine solche selbsttätige, progressiv wirkende Winkeländerung der Pflugschleife sei als „Rückstellbewegung“ gekennzeichnet. Ist diese

Rückstellbewegung auch bei der Bewegung des Pfluges nach oben genügend gross, so wird dadurch auch ein besseres Einziehen des Pfluges, d.h. ein schnelleres Erreichen der Solltiefe, gewährleistet; denn für das schnelle Auf-tiefe-gehen des Pfluges ist es umso günstiger, je steiler beim Einsetzen die Pflugschleife zur Ackeroberfläche steht.

Bei gewissen Pflügen, wie z.B. der im Parallelkurbelgetriebe aufgehängte Pflug nach Bild 4, ist eine Tiefenhaltung durch eine Rückstellbewegung nicht gegeben. Das Parallelkurbelgetriebe ist dadurch gekennzeichnet, dass gegenüberliegende Getriebeglieder gleich lang sind und deshalb immer zueinander parallel bleiben. Bei der Verdrehung der Lenker a und b nach a' und b' bleibt die Sohlengerade in parallelen Lagen s und s' . Bei einer solchen Pflugaufhängung ist es zweckmässig, die Lenker a und b möglichst kurz zu halten, um damit vor allem die Richtung der auf den Pflug wirkenden resultierenden Kraft bei kleinen Bewegungen rasch zu verändern. Auf diese Weise ist dann eine gewisse selbsttätige Tiefenhaltung möglich.

Bei der Konstruktion eines Gelenkvierecks mit ungleich langen Getriebegliedern ist jedoch eine befriedigende Rückstellbewegung bei gleichzeitiger Erfüllung der übrigen Forderungen erreichbar.

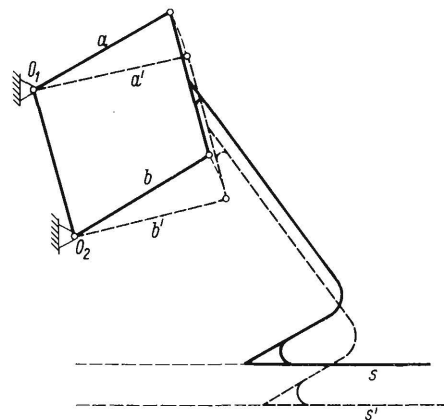


Bild 4. Pflug in Parallelkurbel-Aufhängung.

Der Einfluss des wechselnden Bodens auf die Tiefenhaltung ist also abhängig von der Rückstellbewegung. Wenn es gelingt, diese Rückstellbewegung progressiv zu gestalten, so ist damit auch eine bessere Tiefenhaltung bei wechselndem Boden zu erwarten.

Eine progressive Rückstellbewegung kann man z.B. erhalten, wenn man die Scharspitze A von der Schleifsohle S trennt und beide gelenkig miteinander so verbindet, dass sich bei einer Abweichung des Pfluges von der Solltiefe nach unten der Abstand e des Führungspunktes 0 von der Richtlinie Scharspitze – Schleifsohle verkleinert und umgekehrt. Bei einem Pflug mit starr angebrachter Schleifsohle bleibt, wie bereits erwähnt, der Abstand e konstant.

1) Siehe DIN 11118, Begriffe des Pflugkörpers.

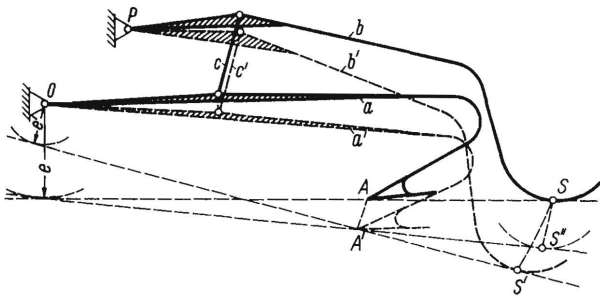


Bild 5. Pflug mit getrennter, am Schlepper und Grindel angelenkter Schleifsohle.

Nach Bild 5 ist der Grindel a , an dem sich das Schar A befindet, im Punkt O des Schleppers und der Lenker b , an dem sich die Schleifsohle S befindet, im Punkt P des Schleppers gelagert. Beide sind durch die Stange c miteinander verbunden. Bewegt sich die Scharsspitze von A nach A' , so ist die Schleifsohle von S nach S' gelangt. Die Richtlinien AS und $A'S'$ entsprechen einem Pflug, bei dem die Schleifsohle starr mit dem Pflugkörper verbunden ist. Aus Bild 5 ist ersichtlich, dass der Pflug mit getrennter Schleifsohle eine wesentlich grössere Schrägstellung der Richtlinie $A'S'$ zur Folge hat als der Pflug mit starrer Pflugsohle (Richtlinie $A'S''$). Das bedeutet aber, dass bei einer bestimmten Nachgiebigkeit des Bodens die Scharschneide geringere Vertikalwege durchläuft und somit auch geringere Tiefenänderungen verursacht. Je grösser also das Übersetzungsverhältnis zwischen der Bewegung der Schleifsohle und derjenigen der Scharsspitze ist, umso unempfindlicher ist ein solcher Pflug hinsichtlich der Tiefenhaltung bei wechselndem Boden.

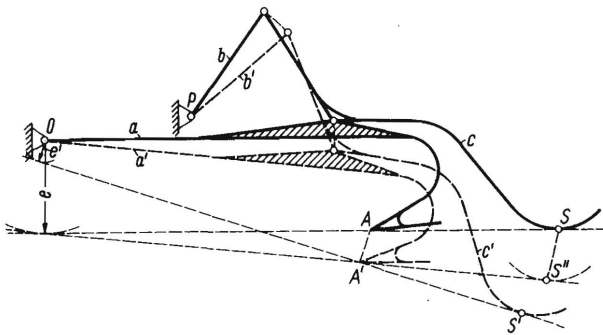


Bild 6. Pflug mit getrennter, als Koppel beweglicher Schleifsohle.

Das grössere Übersetzungsverhältnis ist auch bei der Pflugart nach Bild 6 verwirklicht. Die von der Scharschneide A getrennte Sohle S macht hier keine Kreisbogenbewegung um einen festen Punkt, sondern ist am Koppelhebel c angebracht, der den Grindel a mit dem am Schlepper in P gelagerten Hebel b verbindet.

Auch bei den Pflügenlenkungen mit Gelenkviereck ist durch eine von der Scharschneide getrennte Sohle eine solche progressive Wirkung erreichbar. Dies ist z.B. nach Bild 7 sogar ohne zusätzlichen Aufwand möglich, indem die Schleifsohle S unmittelbar an dem unteren Lenker befestigt wird. Auch hier kommt

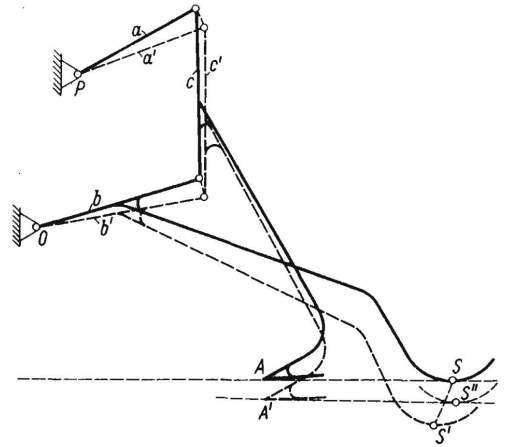


Bild 7. Pflug im Gelenkviereck mit getrennter, am unteren Lenker befestigter Schleifsohle.

eine progressive Verstellung zwischen Schleifsohle und Scharschneide zustande.

Entstehung der Schleppkurven des Pfluges

Bei der Fahrt des Schleppers über die Unebenheiten des Ackerbodens beschreibt der Pflug Bewegungskurven in Abhängigkeit von der Bewegung der Pfluggkupplungspunkte am Schlepper und den Abmessungen des Pfluges.

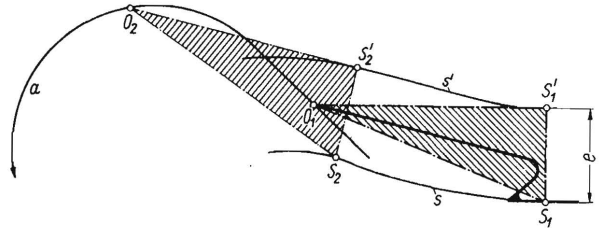
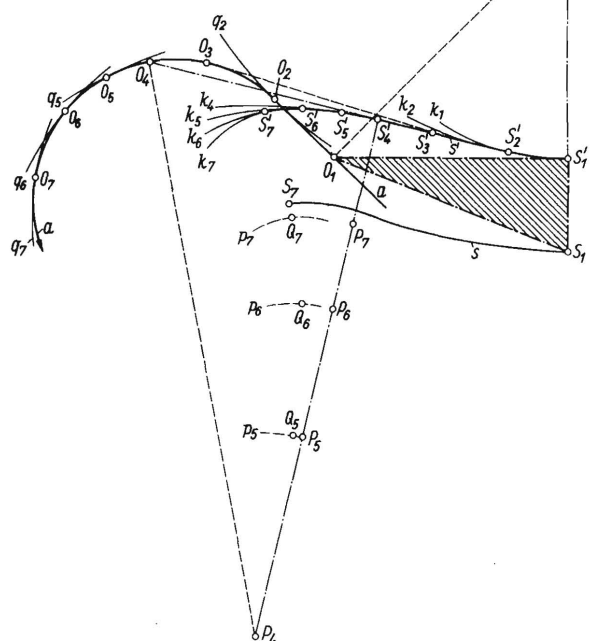


Bild 8. Entstehung der Pflugsohlenbahn als Schleppkurve.

Bild 9 (unten). Geometrische Konstruktion der Schleppkurve.



Vorausgesetzt, dass die auf den Pflug wirkenden Kräfte so gerichtet sind, dass die Schleifsohle immer kraftschlüssig mit der Furchensohle bleibt und dass der Boden nicht zusammendrückbar ist, so kann sich die Richtlinie des Pflugkörpers, d.i. die Verbindung zwischen Scharspitze und Schleifsohle, bei der Vorwärtsbewegung niemals senkrecht zu sich selbst bewegen. Sie muss deshalb immer Tangente an ihre Bahnkurve sein [3]. Das ist aber das Kennzeichen der Schleppkurve.

Wenn nach Bild 8 der Führungspunkt O zwischen Schlepper und Pflug auf einer Kurve a bewegt wird, ergibt sich für den Punkt S_1 , der in der Mitte zwischen Scharspitze und Schleifsohle anzunehmen ist, die Schleppkurve s . Da der Punkt O den senkrechten Abstand e von der Richtlinie des Pflugkörpers hat, so muss auch die Schleppkurve s des Punktes S von der Schleppkurve s' des gedachten Punktes S'_1 in jedem Punkt den Abstand $e = S_1 S'_1$ haben. Ist dann die konstruierbare Kurve s' bekannt, so kann man s punktweise bestimmen, indem man die kongruenten Dreiecke $O_1 S'_1 S_1, O_2 S'_2 S_2, \dots$ mit den Punkten O_1, O_2, \dots auf der Führungskurve a und den Punkten S'_1, S'_2, \dots auf der Schleppkurve s' zeichnet.

Die Konstruktion der Schleppkurve als einhüllende Kurve von Krümmungskreisen [3] sei in Bild 9 gezeigt. Von einer Anfangsstellung $O_1 S'_1$ ausgehend, findet man den Pol P_1 als Schnittpunkt der Verlängerung von $S_1 S'_1$ mit der Normalen der Kurve a im Punkt O_1 . Der Kreis k_1 um P_1 mit $P_1 S'_1$ als Halbmesser ist der Krümmungskreis der Schleppkurve s' in S'_1 . Ein beliebig gewählter zweiter Punkt P_2 auf der Geraden $S_1 S'_1$ ergibt den Krümmungskreis k_2 , wenn man zunächst den Kreis p_2 um P_1 durch P_2 zeichnet und darauf den Mittelpunkt Q_2 des berührenden Kreises q_2 an die Kurve a mit dem Halbmesser $P_2 O_1$ sucht. Den Kreis k_2 zeichnet man mit dem Halbmesser $P_2 S'_1$ um Q_2 . Er schließt sich gut an den Kreis k_1 an. Im Beispiel des Bildes 9 wird die Krümmung der Kurve s im weiteren Verlauf kleiner und wird sogar Null, d.h. der Krümmungshalbmesser wird unendlich gross. In diesem Bereich kann man eine vereinfachte Konstruktion durchführen, indem man z.B. Punkt O_3 auf der Kurve a annimmt, diesen mit dem vorher bestimmten Punkt S'_1 der Kurve s' verbindet und darauf die Strecke $O_3 S'_1 = O_1 S'_2$ abträgt. Ebenso findet man S'_2 nach Annahme von O_4 auf a . Wenn der Pol P daraufhin wieder im Endlichen 4 liegt, also z.B. P_4 als Schnittpunkt der Normalen im Punkt O_4 an die Kurve a mit der Senkrechten in S'_4 auf $O_4 S'_4$, ergibt sich der Krümmungshalbmesser k_4 als Kreisbogen durch S'_4 um P_4 . Durch einen beliebigen weiteren Punkt P_5 auf $P_4 S'_4$ zeichnet man den Kreis mit dem Halbmesser P_5 durch P_5 um P_4 und sucht auf diesem den Mittelpunkt Q_5 für den berührenden Kreis q_5 an die Kurve a mit dem Halbmesser $P_5 O_4$. Den Krümmungskreis k_5 erhält man

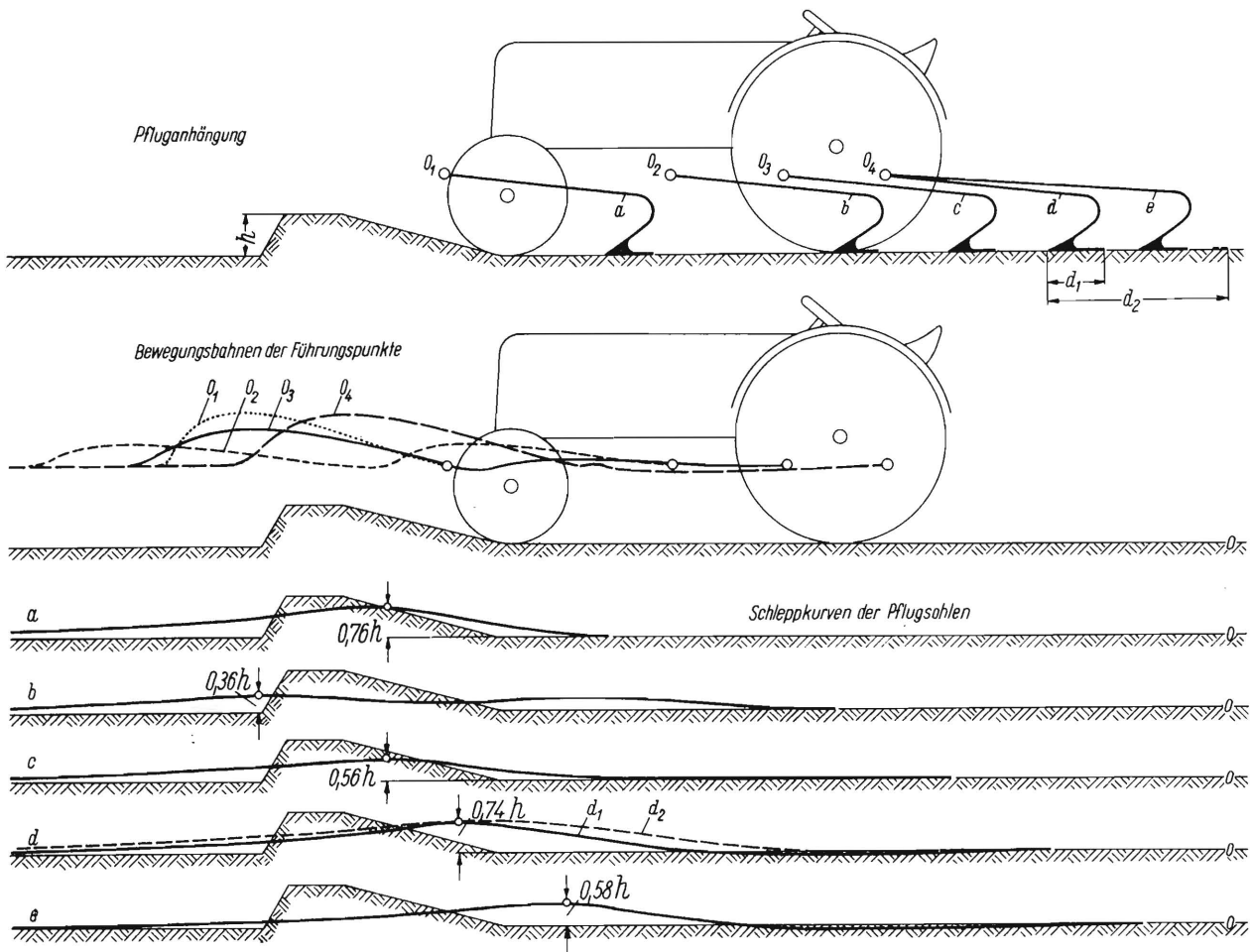


Bild 10. Einfluss der Anlenkung der Schwingpflüge a, b, c und d, der Grindellänge der Pflüge d und e und der Sohlenlänge d_1 und d_2 auf die Pflugsohlenbahn beim Fahren über ein Hindernis.

als Kreisbogen um Q_5 mit P_5S' als Halbmesser. Nun nimmt man weitere Punkte P_6, P_7, \dots auf der Geraden P_5S' an und erhält sinngemäss den Krümmungskreis k_6 , wenn man den Kreisbogen p_6 um Q_5 mit dem Halbmesser P_5P_6 zeichnet und auf p_6 den Mittelpunkt des berührenden Kreises an die Kurve a mit dem Halbmesser P_6O_4 sucht. Der Krümmungskreis k_6 ergibt sich dann als Kreisbogen um Q_6 mit P_5P_6 als Halbmesser. Wenn man die P -Punkte mit nicht allzu grossen Entfernungen voneinander wählt, gehen die Krümmungskreise sehr gut ineinander über und ergeben mit befriedigender Genauigkeit die Schleppkurve s' , aus der man wie im Bild 8 die Schleppkurve s konstruieren kann.

Man kann auch die Schleppkurve mit Hilfe eines sog. Schleppkurvenzirkels oder Traktoriographen aufzeichnen. Eine weitere Möglichkeit ergibt sich durch das Abgreifen von Punkten der Schleppkurve aus besonderen Kurventafeln [4].

Die Furchensohle als Schleppkurve

Unter den bereits angeführten Voraussetzungen, nämlich nicht zusammendrückbarer Boden und Kraftschluss zwischen Schleifsohle und Furchensohle, kann man die Furchensohle als Schleppkurven, die beim Fahren des Schleppers über Unebenheiten entstehen, aufzeichnen.

In den folgenden Bildern ist jeweils ein bestimmtes Hindernis angenommen und die grösste Erhöhung der Schleppkurve ins Verhältnis zur Hindernishöhe gesetzt worden. Die damit erzielten Ergebnisse sind nur als Vergleichswerte zwischen den verschiedenen Anbauarten der Pflüge aufzufassen. Die Absolutwerte gelten nur für die gewählten Hindernisse

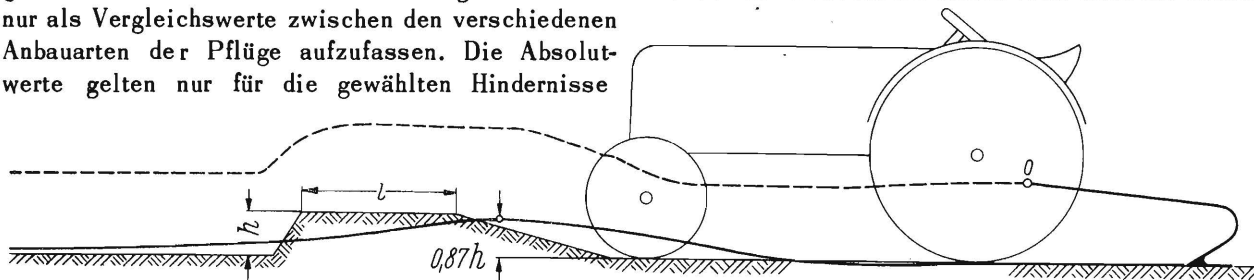


Bild 11. Vergrößerung der maximalen Pflugbahnhöhe beim Fahren des Schleppers über längere Hindernisse.

Im Bild 10 sind die Unterschiede mehrerer Schwingpflüge bezüglich ihrer Aufhängung am Schlepper dargestellt. Es zeigt sich hierbei die bereits bekannte Tatsache, dass die Anlenkung des einfachen Schwingpfluges zwischen den Achsen des Schleppers sich am günstigsten auswirkt. Die in O_1 und O_4 vor und hinter den Achsen angelenkten Pflüge a und d mit dem gleich langen Grindel haben eine nahezu gleiche, grösste Furchensohlen-Erhöhung von 76% bzw. 74% der Hindernishöhe h , was auch den Bewegungsbahnen der Führungspunkte O_1 und O_4 entspricht. Die Pflüge b und c mit den Führungspunkten O_2 und O_3 liegen mit 36% und 56% der Hindernishöhe h wesentlich günstiger. Es gibt einen engen Bereich für die günstigste Pflug-Anlenkung, der für die jeweiligen Baumasse ermittelt werden kann. Der Einfluss der Grindellänge auf die Form der Furchensohle ist im Bild 10 an den Pflügen d und e mit verschiedener Grindellänge gezeigt, die im gleichen Punkt O_4 geführt werden. Die grösste Furchensohlen-Erhöhung sinkt für das ange-

nommene Hindernis von 74% auf 58%, wenn der Abstand zwischen Führungspunkt und Scharschneide um 45% vergrössert wird.

Eine Vergrößerung der Pflugsohlenlänge zwischen Scharspitze und Schleifsohle bringt keine merkbare Änderung der Furchensohlen-Erhöhung (Kurve d_2 gegenüber d_1 in Bild 10); dafür verursacht aber die grössere Sohlenlänge eine längere Furchensohlen-Unebenheit.

In Bild 11 ist gezeigt, dass, wie ohne weiteres einzusehen ist, die maximale Schleppkurven-erhöhung mit der Länge l der Erhebung wächst. Der gleiche Schwingflug hatte nach Bild 10 eine Erhöhung von 74% der Hindernishöhe, die bei der etwa dreifachen Länge l auf 87% ansteigt. Diese Tendenz entspricht durchaus den ackerbaulichen Forderungen, nach denen längere Bodenwellen mehr oder weniger gut zu kopieren sind [5].

Bild 12 zeigt die Bahn des Pfluges, wenn der Schlepper durch einen Graben fährt. Der Unterschied zwischen vor und hinter der Triebachse aufgehängtem Pflug ist hier nur noch gering (25 zu 30%); das Verhältnis zwischen langem und kurzem Grindel ist 26 zu 30%. Es spielt also auch die Form des Hindernisses eine wesentliche Rolle. Aber auch die Grösse

des Abstandes e der Pflugsohle vom Führungspunkt muss hierbei berücksichtigt werden. Wäre $e = 0$, läge also der Führungspunkt O des Pfluges auf der Verlängerung der Richtlinie des Pflugkörpers, so würden bei spiegelbildlich gleichen Bewegungsbahnen des Führungspunktes infolge von Erhebungen und Einsenkungen auch zur geradlinigen Furchensohle spiegelbildliche Schleppkurven entstehen. Geht die Richtlinie des Pflugkörpers nicht durch den Führungspunkt, so müssen naturgemäss unsymmetrische Schleppkurven entstehen. Ein tieferes Eindringen in diese Zusammenhänge muss späteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Nimmt man einen zweifurchigen Pflug nach Bild 13 an, so ist die ausgezogene Kurve die Schleppkurve des hinteren Pflugkörpers, denn nur für diesen gilt ja die Wechselwirkung zwischen Schneide und Schleifsohle. Die Schneide des vorderen Pflugkörpers, der ohne Schleifsohle arbeitet, beschreibt als Punkt des Pflugsystems die gestrichelt gezeichnete Kurve, die

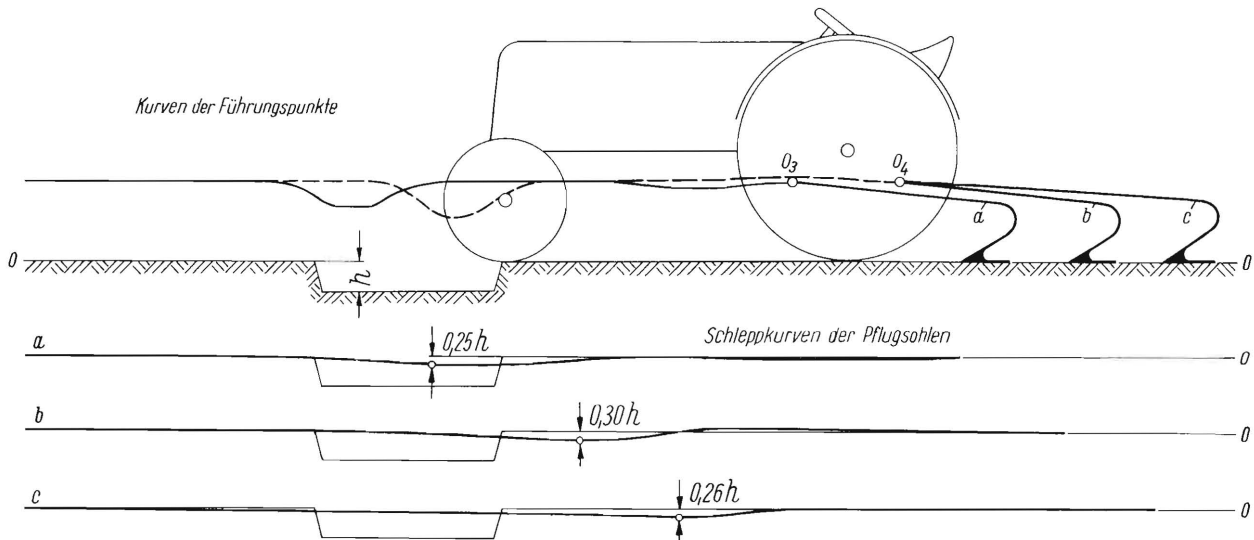


Bild 12. Einfluss der Anlenkung auf die Pflugsohlenbahn beim Fahren durch einen Graben.

gewisse Abweichungen von der Schleppkurve des hinteren Pflugkörpers aufweist.

Bei den bisher gezeigten Schleppkurven einfacher Schwingpflüge brauchte nur die Bewegungsbahn des Führungspunktes O berücksichtigt werden. Dabei ergaben sich Pflugkurven, die noch auf verhältnismässig einfache Art zu konstruieren waren. Besonders charakteristisch für diese Kurven ist ihre Glättung gegenüber der Führungskurve; je länger die Grindellänge eines einfachen Schwingpfluges dabei ist, umso geringer sind die Erhöhungen der Schleppkurve. Im Gegensatz hierzu kann man bei einem Pflug, der in mehr als einem Gelenkpunkt mit dem Schlepper verbunden ist, sowohl vergrößerte als auch stark verkleinerte Ausschläge erreichen. Man ist hier nicht mehr nur von der Grindellänge abhängig, sondern kann, wie z.B. beim Gelenkviereck-Pflug, die Bemessung mehrerer Getriebeteile den gestellten Forderungen anpassen [6].

Nach Bild 14 sind die stark ausgezogenen Kurven zweier Führungspunkte des Gelenkviereck-Pfluges zu berücksichtigen. In der Stellung a weist die Pflugkurve nur eine maximale Erhöhung von 8% der Hindernishöhe h auf im Vergleich zu etwa 56 bis 76% des einfachen Schwingpfluges. Wählt man aber die gestrichelt gezeichnete Lage b des Gelenkvierecks, so ergibt sich schon eine ungünstigere Pflugkurve mit einer Erhöhung von 46%. Dieses zweite Gelenkviereck entspricht bekanntlich wegen seines (nicht eingezeichneten) weiter nach hinten liegenden ideellen Drehpunktes (Poles) einem Schwingpflug mit kürzerem Grindel.

Bild 14 zeigt ausserdem die Abhängigkeit der Pflugkurven der beiden Gelenkviereck-Formen von der Art des Hindernisses. Beim Fahren des Schleppers durch einen Graben mit den beliebig angenommenen Abmessungen wie in den vorangegangenen Bildern (es gelten die gestrichelt gezeichneten Kurven der Führungspunkte), ergeben sich maximale Pflugkurven-Höhen von 33% für die Stellung a des gezeichneten Gelenkviereckpfluges²⁾ und von 74% für die Stellung b des Pfluges.

Im Bild 14 sind ferner die Pflugkurven des in einem Parallelkurbelgetriebe aufgehängten Pfluges c aufgezeichnet, wenn der Schlepper über das gleiche Hindernis und durch den gleichen Graben wie bei den vorstehenden Beispielen fährt. Mit 49% und 41% liegen diese Kurven wieder ungünstiger als die des Pfluges a .

Vergleich verschiedener Pflugformen

Aus der Vielzahl der ausgeführten und darüber hinaus möglichen Pflugarten sollen nur einige grundsätzliche Formen untersucht werden.

2) Die Abmessungen des Pfluges a entsprechen denjenigen des von den Instituten für Schlepperforschung und für Landtechnische Grundlagenforschung vorgeschlagenen Gelenkvierecks zum Normvorschlag für die Dreipunktkopplung [7]. Dieser Pflug wurde nach den Grundlagen konstruiert, wie diese bereits früher [2] angegeben wurden. Wenn man nämlich dafür sorgt, dass bei Nickschwankungen des Schleppers die Sohlengerade des Pfluges sich nur in sich selbst verschiebt, haben diese Nickschwankungen auch keinen Einfluss auf Tiefenänderungen des Pfluges.

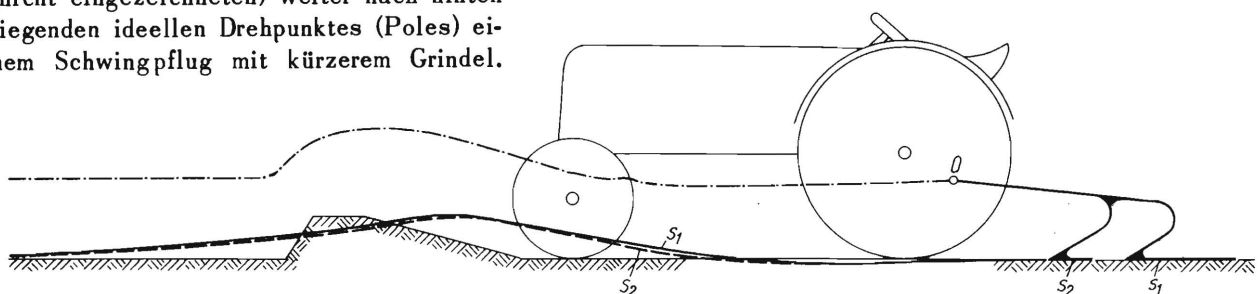


Bild 13. Pflugsohlenbahnen eines zweifurchigen Schwingpfluges beim Fahren über ein Hindernis.

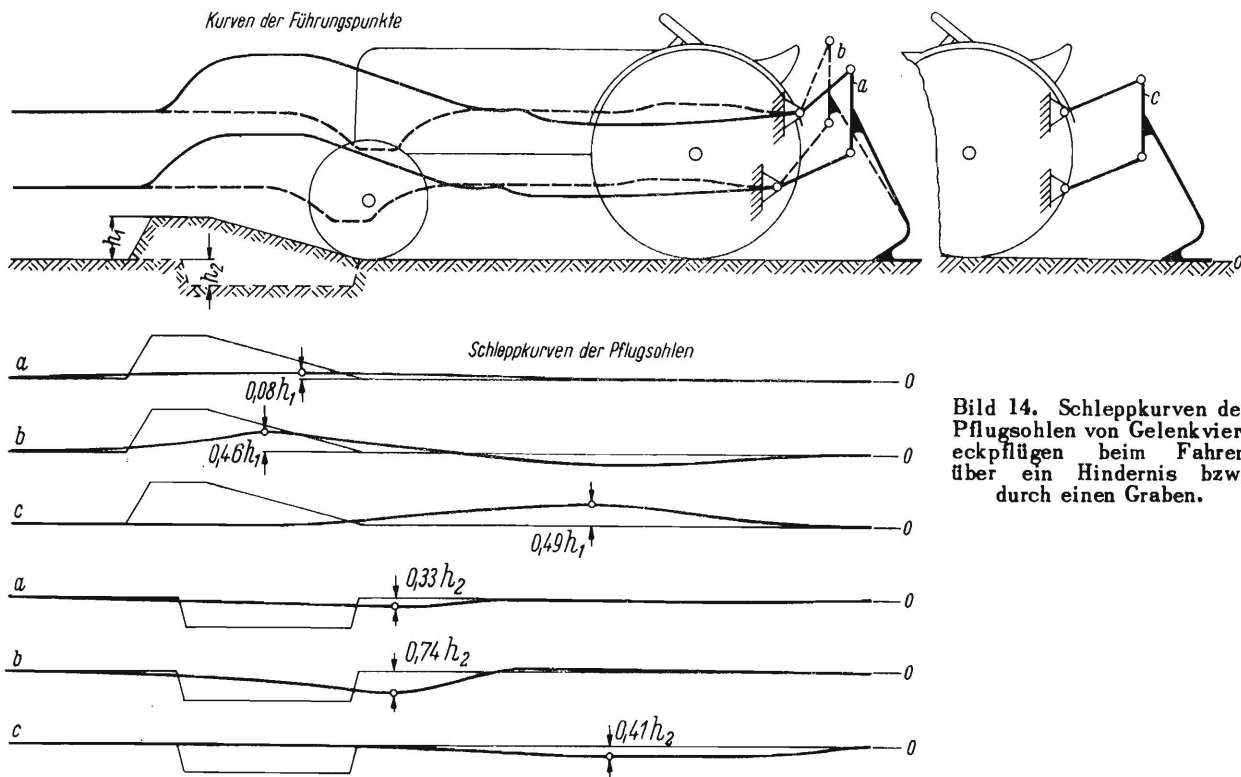


Bild 14. Schleppkurven der Pflugsohlen von Gelenkviereckpflügen beim Fahren über ein Hindernis bzw. durch einen Graben.

Die Bilder 15 bis 18 zeigen sich einstellende Pflüge mit einer Führungsrolle, die auf der Ackeroberfläche läuft. Auf diese Weise kann man die Vorfurcenhängigkeit eines Pfluges verringern bzw. sogar vermeiden; da der Schlepper im allgemeinen mit einer Radreihe in der Vorfurche und mit der anderen Radreihe auf der Ackeroberfläche fährt, beeinflusst die Vorfurchentiefe die Bahn des Führungspunktes des Pfluges und damit die Arbeitstiefe. Diese Beeinflussung ist nach Bild 15 insofern verringert, als der Führungspunkt A des Pfluges nur in vermindertem Masse die Vertikalbewegung des am Schlepper befindlichen Kupplungspunktes O mitmacht,

lenhebel wirken sich die Bewegungen des Schlepper-Gelenkpunktes O auch auf die Form der Pflugsohlen aus.

In den Bildern 19 bis 21 sind einige Pflugausführungen mit Stützrolle dargestellt. Solange die Rolle R mit der Ackeroberfläche Berührung hat, ist die Pflugsohlenkurve nur abhängig von der Bahn des Führungspunktes O und von der Bahn der Führungsrolle R . Die Anordnung einer Schleifsohle am Pflugkörper bzw. deren Aufliegen auf dem Pfluggrund bedeutet eine Übereinstimmung; denn im allgemeinen kann entweder nur die Stützrolle R aufliegen, und die Schleifsohle hat Luft, oder es liegt die Schleif-

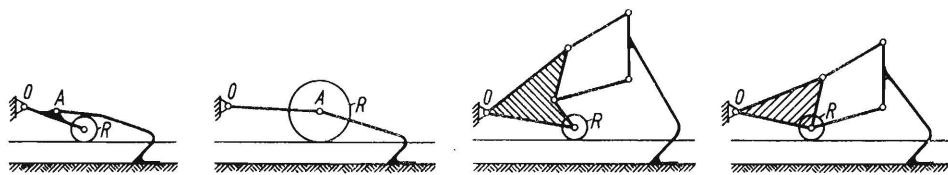


Bild 15. Schwingpflug mit auf der Ackeroberfläche laufender Führungsrolle.
 Bild 16. Vereinfachte Ausführung des Schwingpfluges nach Bild 15.
 Bild 17. Gelenkviereckpflug mit auf der Ackeroberfläche laufender Führungsrolle.
 Bild 18. Vereinfachte Ausführung des Gelenkviereckpfluges nach Bild 17.

während die Rolle R auf der Ackeroberfläche abrollt. Im Bild 16 ist der Pflug unmittelbar im Mittelpunkt A der auf der Ackeroberfläche laufenden Rolle R angelenkt. Hierbei sind die Bewegungen des Schlepper-Anlenkpunktes O vollkommen ausgeschaltet. Die Führungsrolle für das Gelenkviereck nach den Bildern 17 und 18 vermittelt ebenfalls z.T. ein Abtasten der Ackeroberfläche. In Abhängigkeit von der Anordnung der Gelenkpunkte des Gelenkvierecks am Rol-

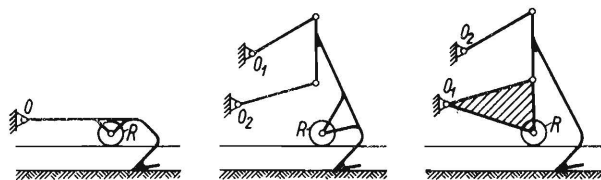


Bild 19. Schwingpflug mit Stützrolle.
 Bild 20. Gelenkviereckpflug mit Stützrolle am Pflugkörper.
 Bild 21. Gelenkviereckpflug mit Stützrolle am unteren Lenker.

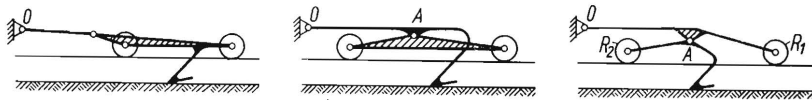


Bild 22. Pflug mit zwei auf der Ackeroberfläche laufenden Stützrollen.
Bild 23. Schwingpflug mit Führung durch zwei Stützrollen.
Bild 24. Schwingpflug mit getrennten Stützrollen.

sohle auf, und die Stützrolle hat die Berührung mit der Ackeroberfläche verloren. Aus diesem Grund ist in Bild 19 bis 21 die Pflugsohle in einem geringen Winkel zur Furchensohle angedeutet worden.

Man kann auch, wie in Bild 22, zwei Stützrollen mit einer starren ebenen Verbindung vorsehen und daran den Pflug anbringen. Auch auf diese Weise ist eine vollkommene Unabhängigkeit von der Tiefe der Vorfurche erreichbar. Die beiden Stützrollen des Bildes 23 führen eine Ebene mit dem Gelenkpunkt A , in dem der Pflugkörper angelenkt ist. Die Pflugsohlenbahn ist hierbei abhängig von der Bahn des Schlepperpunktes O und von der Bahn des Punktes A . Die letztere gibt ein bezüglich der vertikalen Erhöhungen und Vertiefungen verkleinertes Bild der Ackeroberfläche wieder. Die beiden Stützrollen bei der Pflugform des Bildes 24 sind an verschiedenen Bauteilen angebracht. Der Punkt A beschreibt eine Bahnkurve, die teilweise von der Bahn des Schlepperpunktes O und damit von der Form der Vorfurche und von der Form der Ackeroberfläche, auf der die Rolle R_1 abrollt, abhängig ist. Die Pflugkurve selbst wird beeinflusst von der Bahnkurve des Punktes A und von der Ackeroberfläche, auf der auch die Rolle R_2 abrollt.

Erfolgversprechende Pflugarten, die z.T. durch Patente geschützt sind, ergeben sich durch die Trennung der Scharsschneide und der Schleifsohle sowie durch die Anordnung einer Stützrolle. In den Bildern 25/26 und 27/28 sind zwei verschiedene derartige Systeme dargestellt.

Im Bild 25 beschreibt der Gelenkpunkt B eine Kurve, die von der Form der Ackeroberfläche und von der Form der Furchensohle abhängig ist. Die im Punkt M gelagerte Rolle tastet die Ackeroberfläche ab, während die Schleifsohle S auf der von der Scharsschneide Z geschnittenen Furchensohle gleitet. Die Schneide Z wiederum wird durch den Schlepperpunkt O und den Gelenkpunkt B zwangsläufig in gewisser Abhängigkeit von den Bewegungen der Stützrolle und der Schleifsohle geführt. Es leuchtet ein, dass durch die entsprechende Massgebung der ein-

zelnen Pflugteile eine gute Anpassung an praktische Forderungen möglich ist.

Für die Bewegungsuntersuchungen ist es, wie auch auf anderen Gebieten, zweckmässig, ein Ersatzgetriebe aufzustellen, Bild 26. Will man z.B. für einen vorhandenen Pflug nach Bild 25 bei gegebener Entfernung des Schlepperpunktes O über dem Boden wissen, welche Pflugtiefe sich bei geradliniger, horizontaler Bewegung einstellt, so müssen die Punkte Z und S auf einer Horizontalen in vertikaler Richtung so lange verschoben werden, bis die Bewegungskurve γ des Rollenmittelpunktes M die im Abstand a von O gezogene Parallele zur Ackeroberfläche schneidet, wobei die Strecke a sich aus der gegebenen Entfernung des Punktes O vom Boden und dem Rollenhalbmesser ergibt. Man kann im Ersatzgetriebe des Bildes 26 die Kurve γ auch für andere Abmessungen punktweise aufzeichnen und auf diese Weise günstige Tiefeneinstellungen und darüber hinaus die Abmessungen für einen befriedigend arbeitenden Pflug festlegen. Auf Einzelheiten soll in diesem Rahmen nicht eingegangen werden.

Auch für den Pflug des Bildes 27 lässt sich ein Ersatzgetriebe (Bild 28) aufstellen. Die Schleifsohle S ist hier unmittelbar am Schlepperpunkt O angelenkt. Sie hat den Gelenkpunkt B , in dem ein Pflugkörper mit der auf der Ackeroberfläche laufenden, im Punkt M gelagerten Stützrolle drehbar befestigt ist. Die Wechselwirkung zwischen Scharsschneide und Schleifsohle ist auch hier vorhanden, sodass ein Ersatzgetriebe nach Bild 28 aufgestellt werden kann, in dem die Punkte Z und S horizontal geführt werden. Die Kurve γ des Rollenmittelpunktes M kann wie vorher punktweise bestimmt werden.

Pflugsohlenbahn von Schwingpflügen mit Stützrolle

Bei allen beschriebenen Pflugsystemen hat man es je nach dem Aufbau in der Hand, die entstehende Pflugsohlenbahn durch die Bemessung der Pflugteile zu beeinflussen.

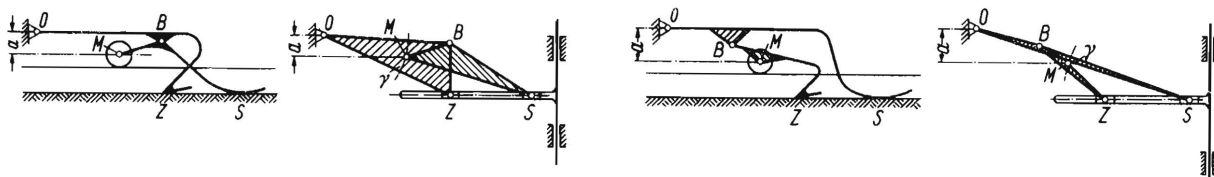
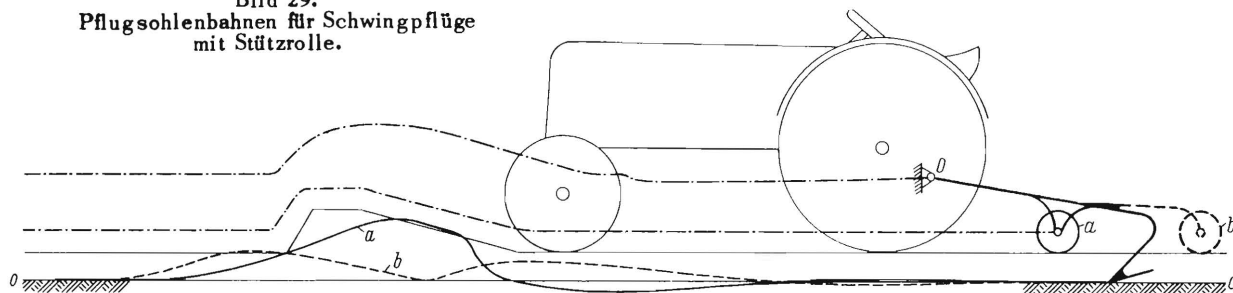


Bild 25. Schwingpflug mit getrennter Sohle und Stützrolle am Sohlenkörper.
Bild 26. Ersatzgetriebe für Schwingpflug nach Bild 25.

Bild 27. Schwingpflug mit getrennter Sohle und Stützrolle am Pflugkörper.
Bild 28. Ersatzgetriebe für Schwingpflug nach Bild 27.

Bild 29.
Pflugsohlenbahnen für Schwingpflüge
mit Stützrolle.



Im Bild 29 sind zwei verschiedene Formen eines Pfluges mit Stützrolle beim Anfurchen dargestellt. Die Stützrolle *a* befindet sich einmal zwischen der Scharschneide und dem Schlepperpunkt *O* und im anderen Falle *b* hinter dem Pflug. Für die erstere Ausführung gilt die ausgezogene gezeichnete und für die zweite Ausführung die gestrichelt gezeichnete Pflugsohlenbahn. Da beim Anfurchen die Schlepperräder und die Stützrolle über das gleiche Hindernis laufen, ergibt sich für die hinter dem Pflug laufende Stützrolle eine zweimalige Erhöhung der Pflugkurve; denn die Scharschneide als starrer Punkt an dem Pfluggrindel zwischen Stützrolle und Schlepperpunkt *O* erreicht wegen des verhältnismässig kurz angenommenen Hindernisses kurzzeitig die ursprüngliche Pflugtiefe. Für die vor der Scharschneide gewählte Stützrolle kommt nur eine einzige Erhöhung der Pflugkurve zustande, da die Stützrolle bereits auf das Hindernis aufläuft, wenn das Schlepper-Hinterad dieses noch überfährt.

Zusammenfassung

Die unerwünschten Tiefenänderungen der Bodenbearbeitungswerkzeuge infolge kurzweiliger Bodenunebenheiten und wechselnder Nachgiebigkeit des Bodens gegenüber dem Sohlendruck werden am Beispiel des Pfluges näher untersucht. Es ist zweckmässig, beide Ursachen getrennt zu betrachten, um zu befriedigenden Schlussfolgerungen zu kommen. Der Pflug mit Schleifsohle, die auf der Furchensohle entlanggleitet, sollte eine möglichst grosse „Rückstellbewegung“ haben, um bei wechselndem Boden gut die eingestellte Tiefe zu halten. Diese Rückstellbewegung lässt sich mit Hilfe einer gegenüber dem Pflugkörper in vergrössertem Masse beweglichen Schleifsohle beliebig vergrössern. Allerdings muss hierbei darauf geachtet werden, dass dann die Tiefenabweichungen beim Fahren des Schleppers über Hinder-

nisse nicht unzulässig gross werden. In diesem Falle kann aus den Bahnen der Pflug-Führungspunkte am Schlepper die Form der Furchensohle als Schleppkurve zeichnerisch ermittelt werden. Für beliebige angenommene Hindernisformen können bei verschiedenartiger Anlenkung des Pfluges die maximalen Abweichungen der Furchensohle von der eingestellten Solltiefe ins Verhältnis zur Hindernishöhe gesetzt und somit Vergleichswerte geschaffen werden. Die entsprechenden Abweichungen der Furchensohle können für den Pflug mit auf der Ackeroberfläche laufender Stützrolle ebenfalls zeichnerisch ermittelt werden. Es sind auch Pflugsysteme möglich, bei denen eine Trennung zwischen Grindel und Pflugkörper sowie eine doppelte Führung auf der Ackeroberfläche günstigere Verhältnisse als die starr am Pflugkörper angeordnete Stützrolle ergibt.

Schrifttum

- [1] Gommel, W.: Über die Durchbildung und Betätigung von Anbaugeräten bei Landwirtschaftsschleppern. Diss. T.H. Stuttgart 1944.
- [2] Hain, K.: Die Kinematik von Aushebevorrichtungen. 9. Konstrukteurheft, Grundlagen der Landtechnik, Heft 1, Düsseldorf 1951, S. 36/44.
- [3] Hain, K.: Die zeichnerische Bestimmung der Schleppkurven. Ing.-Arch. Bd. 18 (1950) H. 5, S. 302/309.
- [4] Hain, K.: Schleppkurvenbestimmung mit Hilfe von Kurventafeln. ATZ Jg. 54 (1952) Nr. 11, S. 248/251.
- [5] Skalweit, H.: Über die bei der Tiefenhaltung von Schlepperanbaugeräten auftretenden Kräfte. In diesem Heft.
- [6] Hain, K.: Anwendung des Gelenkvierecks bei der Konstruktion des Ackerschleppers. Sonderheft „Getriebetechnik“, Berichtsheft des VDI der Tagung für Getriebetechnik vom 15. bis 18.10.1951.
- [7] Skalweit, H. und K. Hain: Gelenkviereck und Dreipunktkupplung. Bericht Nr. 51/75/1 vom 5.7.1951 der Institute für Schlepperforschung und für Landtechnische Grundlagenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

Institut für Landtechnische Grundlagenforschung
der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode

Anschrift des Verfassers: Ing. Kurt Hain, (20b) Braunschweig, Forschungsanstalt für Landwirtschaft