

Die Kursfehler von Schlepperanbaugeräten bei Reihenkultur

Von Dr.-Ing. E. FOLTIN, Quedlinburg

DK 631.31.629.1.42

1. Allgemeines

Während der Getreideanbau in Reihen erst mit Einführung der Drillmaschine möglich wurde, waren Rüben, Kartoffeln und Mais schon von jeher in Reihen angepflanzt worden. Form und Lage der Äcker sowie schlechte Ausführung der Bestellarbeit führen jedoch oft zu kurvigen Reihen. Wo Kurven auftreten, können sie bei maschineller Pflege der Pflanzen zu Bearbeitungsfehlern führen, die, wenn sie bestimmte Ausmaße überschreiten, Beschädigungen der betreffenden Kulturpflanzen hervorrufen. Die genaue Einhaltung der vorgeschriebenen Kurslinie verlangt geschicktes Steuern des Schlepperführers mit den am Schlepper angebauten Geräten. Die Geräte übernehmen die Kursabweichungen des Schleppers und können sie sogar verstärken. Die Geräte sind am Schlepper zum Teil vor der Vorderachse, zum Teil zwischen den Achsen und auch hinter der Hinterachse angebracht. Ihre Kursabweichungen sind je nach dem Anbringungspunkt am Schlepper verschieden.



Bild 1.

Die Größe des Kursfehlers

1.1 Definition der Kursfehler

Ziel der Steuerung bei der Arbeit mit Schlepperanbaugeräten ist die Führung von Rädern und Werkzeugen auf den erstrebten Kurslinien (Sollkurslinien). Die in der Praxis entstehenden Kurslinien der Räder und Werkzeuge sind die Istkurslinien. Der Abstand zwischen Soll- und Istkurslinien wird als *Kursfehler* bezeichnet. Seine Größe wird senkrecht zur Sollkurslinie gemessen (Bild 1) und ist u. a. von der Wahl des Führungspunktes abhängig. Der Schlepperführer bemüht sich, sein Gerät so zu steuern, daß ein Punkt, der Führungspunkt, auf der gewählten Kurslinie läuft. Kursfehler sind somit alle Abweichungen (des Führungspunktes, der Räder oder der Werkzeuge) vom Sollkurs und werden in dieser Arbeit in Steuerfehler und Folgefehler gegliedert (Bild 2).

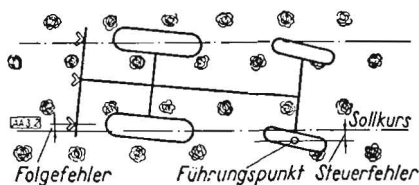


Bild 2

Der Unterschied von Steuerfehler und Folgefehler

Als *Steuerfehler* werden die Kursabweichungen des Führungspunktes bezeichnet. *Folgefehler* werden die Kursabweichungen der Werkzeuge, Räder und Spurreißer genannt, die dem Lauf des Führungspunktes folgen. Dabei unterscheidet man Folgefehler als

Auswirkung der Steuerfehler des Schleppers und als Auswirkung der Form der Sollkurslinie.

1.2 Zulässige Fehlergrößen bei Reihenkultur

Zu den wichtigsten Pflegearbeiten bei jungen Kulturpflanzen gehört die Bekämpfung des Unkrautes durch Hacken und die Lockerung des Bodens. Man ist dabei bestrebt, so dicht wie möglich an den Pflanzen zu arbeiten, deren Wurzeln jedoch nicht beschädigt werden dürfen. Die zulässigen Kursfehler bzw.

das erforderliche Toleranzfeld des Werkzeuges zur Pflanzenschongrenze wird in diesem Aufsatz mit

6 cm für die Hackkultur und
10 cm für die Kartoffelkultur

zugrunde gelegt. Erreichen die Kursabweichungen der Werkzeuge bei Schlepperanbaugeräten größere Beträge, so treten Beschädigungen der Kulturpflanzen ein.

1.3 Der Führungspunkt für die Schleppersteuerung

Arten und Lagen des Führungspunktes

Die Lage des Führungspunktes ist für die Größe der entstehenden Kursfehler von Schlepperanbaugeräten von starkem Einfluß. Der Führungspunkt muß bequem vom Schlepperführer zu beobachten sein, seine Kurslinie muß sich mit der Sollkurslinie decken. Die Führungspunkte können sein:

- ein Vorderrad
- ein Werkzeug vor der Vorderachse oder zwischen den Achsen
- ein Spurreißer
- ein Peilzeiger.

Das Vorderrad oder das Werkzeug kann in der Markierungspur eines Spurreißers, in der vorigen Schlepperspur oder zwischen zwei Pflanzenreihen geführt werden. Spurreißer werden in einer Werkzeugspur, in einer Schlepper- oder Gerätespur oder in einer von einem Spurreißer aufgerissenen Spur geführt. Peilzeiger sind markante Gegenstände am Schlepper, mit denen der Schlepperführer die genaue Richtung der Kurslinie anvisieren kann, z. B. Stäbe, Kühlerschraube, Auspuffrohr usw.

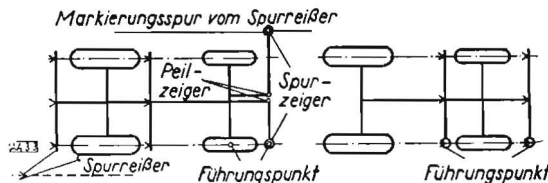


Bild 3

Bild 4

Die Lage des Führungspunktes am Zweiachsschlepper

Die Wahl des Führungspunktes

Welcher Punkt des Schleppers oder Gerätes für die jeweilige Arbeit als Führungspunkt dient, richtet sich nach den Umständen. Sind die Werkzeuge hinter dem Schlepper angebracht, so kommt als Führungspunkt eines der Vorderräder, ein Spurreißer oder ein Peilzeiger in Frage (Bild 3).

Befinden sich die Werkzeuge vor dem Schlepperführer und sind sie gut zu beobachten, so wird dieser meistens ein Werkzeug als Führungspunkt wählen (Bild 4).

Die Kurslinien des Führungspunktes

Nicht nur die Lage des Führungspunktes ist für die Größe der Folgefehler maßgebend, sondern auch sein Kurs selbst ist ausschlaggebend für die Entstehung von Folgefehlern. Man wird natürlich gerade Kurslinien anstreben, da diese Linienführung bei einwandfreier Führung des Gerätes keine Kursabweichungen der Werkzeuge verursacht. Die Ackerfläche weist jedoch nicht immer gerade Begrenzungen auf, und man wird daher versuchen, den Acker in gerade Kursstrecken aufzuteilen. Immer läßt sich dies aber nicht erreichen, und man wird wohl oder übel kurvige Linienführungen in Kauf nehmen müssen.

Viel häufiger jedoch sind die kurvigen Kurslinien, die durch ungewolltes Abweichen und Wieder-Zurücksteuern auf den gewollten Kurs — sei es eine gerade oder eine gekrümmte Linie — entstehen.

Untersucht wird daher, welche Kursfehler entstehen, als Ergebnis der ungewollten *Steuerfehler* und als Ergebnis der gewollten (dealen) *Kurslinienform*.

Folgende Kurslinien werden den Untersuchungen zugrunde gelegt:

- die gerade Kurslinie
- die kreisförmige Kurslinie
- die schlangenförmige Kurslinie.

Dabei ist zu beachten, daß sich einseitige Kursabweichungen anders auswirken als beiderseitige. Es müssen daher beide Arten untersucht werden. Die Kurslinien werden als Folge von kurzen, mittellangen und langen Lenkausschlägen gegliedert. Als Pendelung des Führungspunktes um die gedachte Kurslinie werden ± 5 und 10 cm angenommen (siehe Bild 6).

1.4 Das Modell zur Bestimmung der Kursfehler

Die Kursfehlerermittlungen wurden mit einem Modell (Bild 5) durchgeführt, das ungefähr im Maßstab 1 : 10 zur natürlichen Größe angefertigt wurde und Verstellmöglichkeiten für den Achsabstand und für den Werkzeugabstand besitzt:

Die Achsen der beiden Räderpaare sind auf der Schiene (1) verstellbar angeordnet. Den Untersuchungen ist im allgemeinen ein Achsabstand von 1,6 m zugrunde gelegt. Die Hinterräder sind mit einem Gummiring (2) überzogen, auf dem sich eine Farbrolle (3) abwälzt und dadurch den Kurs der Hinterräder markiert. Die Werkzeuge werden durch Schreibstifte (4) dargestellt und sind durch eine Schiene (5) in ihrem Abstand von der Hinterachse verstellbar. Durch die Verschiebung des Werkzeugträgers können Werkzeuge

- vor der Vorderachse
- zwischen den Achsen
- hinter der Hinterachse

angeordnet werden. Das Modell ist so gefertigt, daß sowohl Achsschenkelenkung als auch Drehschemellenkung angewandt werden können.

2. Folgefehler bei gerader Kurslinie

2.1 Folgefehler ohne Steuerfehler des Führungspunktes

Hält der Schlepperführer die gerade Kursrichtung mit dem Vorderrad des Schleppers als Führungspunkt ein, so treten keine seitlichen Abweichungen der Schlepperräder auf. Sämtliche Werkzeuge der drei verschiedenen Anordnungen weisen dann auch keine Folgefehler auf.

2.2 Folgefehler mit Steuerfehler des Führungspunktes

Beim Fahren macht der Schlepperführer Lenkbewegungen zur Einhaltung des Kurses, die einseitige oder beiderseitige Ausschläge des Führungspunktes gegenüber der Sollkurslinie hervorrufen.

Einseitiger Steuerausschlag

Weicht der Führungspunkt nach den in Bild 6 aufgezeichneten Kurslinien einseitig von der Sollkurslinie ab, so ergeben sich Folgefehler, deren maximale Größe in Bild 7 aufgetragen ist. Infolge der Größe der Versuchsblätter werden sie in diesem Aufsatz nicht wiedergegeben. Das Diagramm zeigt, daß die Folgefehler der Werkzeuge in Höhe der hinteren Schlepperachse am geringsten sind. Sie nehmen mit dem Abstand von der Hinterachse zu, und zwar ist der Anstieg der Fehlerkurve der Werkzeuge zwischen den Achsen und vor der Vorderachse etwas größer als der von den Werkzeugen hinter der hinteren Schlepperachse. Denn die durch die Schrägstellung des Schleppers zum Sollkurs entstehende Kursabweichung der Werkzeuge wird durch die Kursabweichung der Hinterräder verstärkt, wenn die Werkzeuge vor der Hinterachse sitzen. Sie wird vermindert, wenn sie hinter der Hinterachse angeordnet sind. Die Unterschiede sind im praktischen Betrieb (lange Steuerausschlaglinien) so klein, daß sie vernachlässigt werden können.

Aus Bild 7 ist ferner ersichtlich, daß bei einer maximalen Kursabweichung der Schleppervorderräder von 5 cm nur die Werkzeuge vor der Vorderachse Pflanzenbeschädigungen beim Hacken verursachen, die anderen beiden Werkzeuganordnungen garantieren noch fehlerfreies Arbeiten.

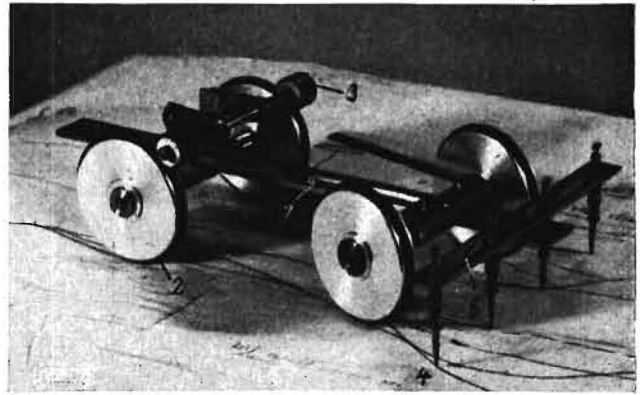


Bild 5. Modell mit Werkzeuganordnung vor der Vorderachse

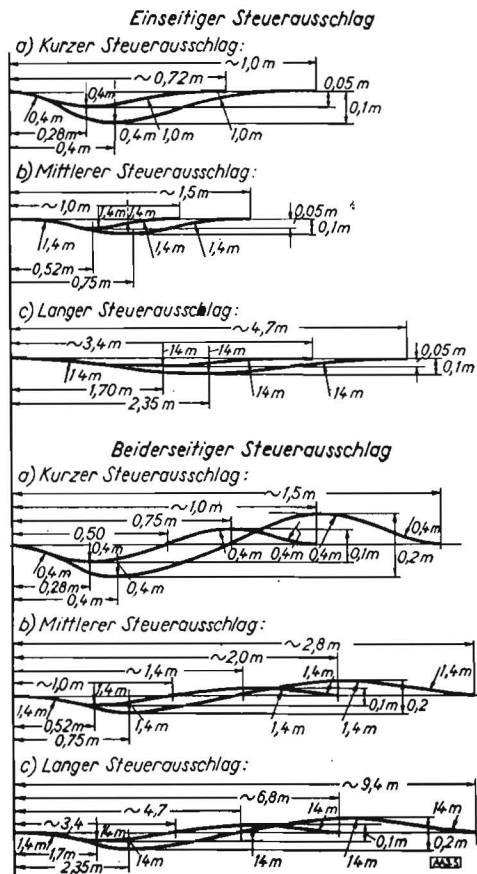


Bild 6

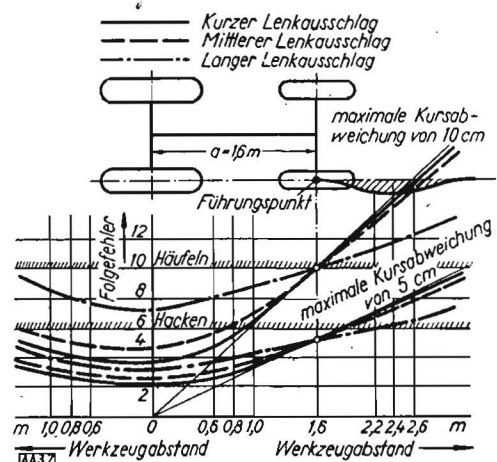


Bild 7. Die maximalen Folgefehler bei einseitigem Lenkausschlag. Die Folgefehler sind in cm angegeben

Anders ist es bei einer maximalen Abweichung der Schlepperräder von 10 cm. Bei dieser Kursabweichung verursachen nur die Werkzeuge in Höhe der Hinterachse und hinter der Hinterachse bei kurzen und mittleren Lenkausschlägen keine Pflanzenbeschädigungen.

Die Werkzeuge zwischen den Achsen und vor der Vorderachse sowie sämtliche Werkzeuganordnungen bei dem oft auftretenden langen Lenkausschlag verursachen dagegen beim Hacken Pflanzenbeschädigungen. Sattelgeräte müssen daher bei Pflegearbeiten eine Kursabweichung von 10 cm vermeiden oder sie müssen mit einer Feinsteuerung versehen werden. Die Untersuchungen wurden mit achsenschenkel- und drehschemelgelenktem Schleppermodell durchgeführt. In beiden Fällen waren die Folgefehler praktisch gleich. Bild 7 zeigt ferner, daß mit größer werdendem Lenkausschlag die Fehlerkurve immer flacher wird. Der Bereich der Fehlerkurven von Lenkausschlägen sämtlicher Größen wird durch die beiden folgenden Grenzfälle bestimmt.

Grenzfall Nr. 1:

Angenommen, die Länge des Lenkausschlages ist unendlich kurz, d. h. die Vorderräder rutschen auf der Stelle von der Kurslinie ab, der Schlepper dreht sich um eines seiner Hinterräder, so würden die Werkzeuge, die in der Verbindungslinie der Radauflagen liegen, Folgefehler von der Größe

$$f = d \cdot \sin \alpha$$

aufweisen, mit $d =$ Werkzeugabstand vom Drehpunkt (Hinterrad des Schleppers). Die Fehlerkurve ist eine Gerade, die vom Nullpunkt durch den Abweichungsbetrag der Schleppervorderräder geht.

Grenzfall Nr. 2:

Angenommen, die Länge des Lenkausschlages ist unendlich lang, so wird die Schrägstellung des Schleppers sehr klein. Der Schlepper fährt praktisch parallel zur Sollkurslinie, so daß alle Werkzeuge die gleiche Kursabweichung wie der Führungspunkt haben. Die Fehlerkurve ist angenähert eine Parallele zur Abszisse mit dem Abstand der Kursabweichung des Führungspunktes. Zwischen diesen beiden Grenzfällen der Fehlerkurven liegen nun alle Fehlerkurven der Werkzeuge von Sattelgeräten mit praktisch auftretenden Kursabweichungen der Schleppervorderräder. Bild 7 zeigt, daß die Größe der Folgefehler bei länger werdendem Lenkausschlag bei den Werkzeugen vor der Vorderachse abnehmen und bei den anderen beiden Werkzeuganordnungen zunehmen.

Diese Untersuchung bezog sich nur auf Werkzeuge in der Verbindungslinie beider Radauflagen. Es fragt sich nun, wie groß die Folgefehler der Werkzeuge, die links und rechts von der Verbindungslinie liegen, sind, und ob diese Größen einen Einfluß auf die Arbeitsbreite des Gerätes haben.

Angenommen wird Grenzfall Nr. 1, d. h. der Schlepper dreht sich um eines seiner Hinterräder (Bild 8).

Die Folgefehler der Werkzeuge sämtlicher Werkzeuganordnungen ergeben sich nach Bild 8 zu

$$f = y \pm x$$

$$f = d \cdot \sin \alpha \pm z \cdot n (1 - \cos \alpha),$$

wobei d der Werkzeugabstand vom Drehpunkt, α der Schräglagenwinkel, n die Reihenbreite und z die Anzahl der Pflanzen-

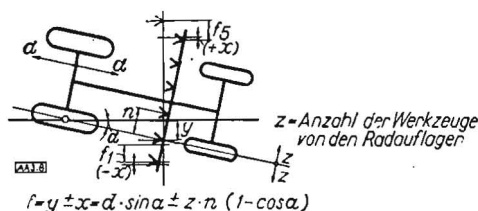


Bild 8. Die Folgefehler der Werkzeuge bei Schräglagenstellung des Schleppers

reihen von der Verbindungslinie der Radauflagen zum Werkzeug bedeuten. Der Unterschied zwischen dem Folgefehler eines

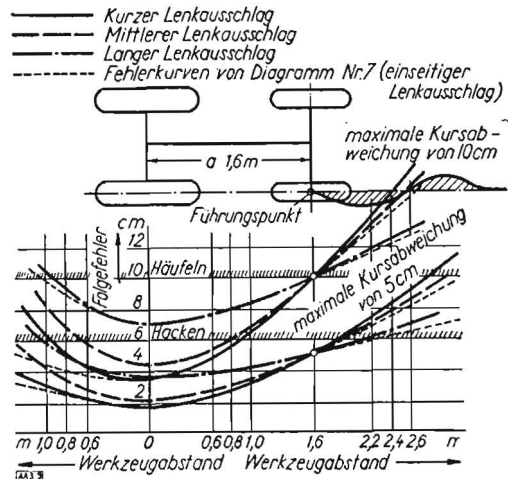


Bild 9. Die maximalen Folgefehler bei beiderseitigem Lenkausschlag

Werkzeugs in der Radauflagslinie und eines Werkzeuges außerhalb dieser Linie beträgt also

$$x = z \cdot n \cdot (1 - \cos \alpha).$$

An Hand eines Beispiels soll nun die Größe dieser Fehlerdifferenz untersucht werden.

Der Achsabstand beträgt 1,6 m, die Kursabweichung der Vorderräder 10 cm, die Schrägstellung also

$$\sin \alpha = \frac{0,1}{1,6}$$

und damit $\alpha = 3^\circ 40'$. Bei einem fünfreihigen Rübenhackgerät mit einer Reihentfernung von 41,5 cm und $z = 4$, wird

$$A_1 = 4 \cdot 41,5 \cdot (1 - 0,998) = 0,33 \text{ cm.}$$

Das Beispiel zeigt, daß die Fehlerunterschiede zwischen den Werkzeugen selbst bei großen Arbeitsbreiten zu vernachlässigen sind.

Dagegen ist der Unterschied gegenüber der Verbindungsgeraden der Radauflagen bei größeren Schräglagen und Werkzeugabständen beträchtlich. Die Schrägstellung von Schleppern mit aufgesattelten Geräten ist daher nach Möglichkeit zu vermeiden.

Beiderseitiger Steuerausschlag

Tritt ein pendelnder Steuerausschlag des Führungspunktes nach den in Bild 5 aufgezeichneten Kurslinien ein, so umwandern sämtliche angebaute Werkzeuge am Schlepper die gerade Kurslinie. Werden die maximalen Folgefehler in Abhängigkeit von dem auf die Hinterachse bezogenen Werkzeugabstand in einem Diagramm aufgetragen, so ergibt sich Bild 9.

Bild 9 zeigt ebenso wie Bild 7, daß in Höhe der Hinterräder des Schleppers die geringsten Folgefehler auftreten und daß sie dann mit zunehmendem Werkzeugabstand von der hinteren Schlepperrachse rasch ansteigen. Ferner zeigt das Diagramm, daß bei der Werkzeuganordnung vor der Vorderachse und weit hinter der Hinterachse die Größe der Folgefehler mit längerer Kursabweichung abnimmt, während sie bei den anderen Werkzeuglagen zunehmen. Im Grenzfall bei sehr langen Kursabweichungen würde die Fehlerkurve eine Parallele zur Abszisse sein, wobei der Abstand gleich dem maximalen Abweichungsbetrag der Schlepperräder sein würde. Bild 9 zeigt außerdem, daß bei einer maximalen Kursabweichung von 5 cm nur die Werkzeuganordnung vor der Vorderachse beim Pflanzenhacken Beschädigungen verursachen würde. Dagegen würden bei einer Kursabweichung von 10 cm nur Werkzeuge in Nähe der Hinterräder und nur bei sehr kurzen, praktisch nicht möglichen Lenkausschlägen fehlerfrei arbeiten. Alle anderen Werkzeuganordnungen würden besonders bei den oft auftretenden langen Lenkausschlägen

ausschlagen Pflanzenbeschädigungen verursachen. Lange Lenkausschläge mit Abweichungsbeträgen von 10 cm sind daher möglichst zu vermeiden, wenn die Sattelgeräte nicht mit einer Feinststeuerung versehen werden können. Ferner geben die in Bild 9 eingezeichneten Fehlerkurven von Bild 7 an (punktierte Linien), daß bei Werkzeuganordnung weit vor der Hinterachse und hinter der Hinterachse des Schleppers die Folgefehler beim beiderseitigen Steuerausschlag größer sind als beim einseitigen Ausschlag. Diese Vergrößerung des Folgefehlers wird durch den Gegeneinschlag verursacht. Beim Gegeneinschlag ist die Schräglage des Schleppers zur Sollkurslinie größer als beim ersten Einschlag, siehe Bild 10, weil die Hinterräder — besonders bei kurzen beiderseitigen Steuerausschlaglinien — sich noch auf der einen Seite der Sollkurslinie befinden, wenn die Vorderräder das Abweichungsmaximum auf der anderen Seite erreichen. Die Kursabweichung eines Punktes am Schlepper beträgt

$$f = f_R + d \cdot \sin \alpha = \text{Hinterradabweichung} + \text{Einfluß der Schrägstellung,}$$

wobei f , f_R , d und α mit positiven oder negativen Vorzeichen einzusetzen sind (Bild 10).

Für Werkzeuge hinter der Hinterachse ist beim ersten (oder einseitigen) Ausschlag Hinterradabweichung und Schrägstellungseinfluß entgegengesetzt, beim Gegeneinschlag und beiderseitiger Abweichung gleichgerichtet. Werkzeuge hinter der Hinterachse haben daher bei beiderseitigem Steuerausschlag größere Fehler. Für Werkzeuge vor der Vorderachse sind bei einseitigem Ausschlag Hinterradabweichung und Schrägstellungseinfluß gleichgerichtet, beim Gegeneinschlag entgegengesetzt. Da der Schrägstellungseinfluß beim Gegeneinschlag größer ist als beim ersten Einschlag, wird der Fehler bei größerem Abstand von der Hinterachse trotzdem größer als beim ersten Einschlag. Bei kleinerem Abstand von der Hinterachse kann die entgegengesetzte Richtung von f_R durch den Einfluß der größeren Schrägstellung nicht aufgehoben werden, und die Abweichung der Werkzeuge bleibt beim Gegeneinschlag geringer als beim ersten Einschlag.

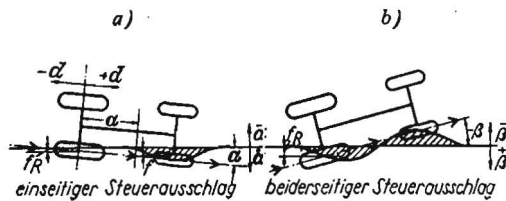


Bild 10. Die Folgefehler der Werkzeuge in Abhängigkeit von der Art des Steuerausschlages

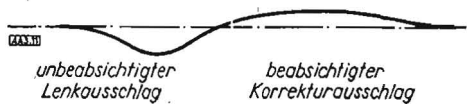


Bild 11. Steuerfehlerkorrektur durch einen beabsichtigten Lenkausschlag

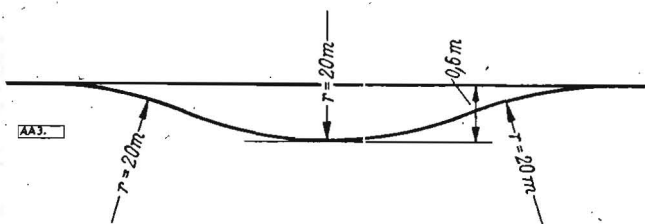


Bild 12. Form einer Schlangelkurve

Bei welchem Betrag von d der Einfluß der größeren Schrägstellung beim Gegeneinschlag überwiegt und bei beiderseitigem Steuerausschlag größere Folgefehler auftreten als bei einseitigem, ist nur experimentell zu ermitteln. Bei 10 cm Ausschlag und mittellangen Ausschlagkurven der gewählten Form sind die Fehler bei $d = 2,2$ m für ein- und beiderseitigem Ausschlag noch etwa gleich.

Aus der Diskussion über die Größe der Werkzeugabweichungen beim ersten Einschlag und beim Gegeneinschlag geht hervor, daß ein bei einer einseitigen Kursabweichung mit Werkzeugen weit vorn und hinter der Hinterachse zur Korrektur der Folgefehler bewußt durchgeführter entgegengesetzter Steuerausschlag geringere seitliche Abweichung von der Sollkurslinie aufweisen muß. Um trotzdem ein schnelles Heranführen der Hinterräder und Werkzeuge des Schleppers zur gewählten Kurslinie zu erreichen, muß man den beabsichtigten Steuerausschlag etwas länger gestalten (Bild 11).

Bei Werkzeugen zwischen den Achsen dürfen die Korrektur-einschläge sogar größer sein, ohne daß der maximale Fehler erreicht wird.

3. Folgefehler bei kreisförmiger Kurslinie

Wenn auch ein absolut kreisförmiger Kurs selten ist, so kann man doch jede Kurvenform angenähert durch Kreisbogen darstellen, z. B. Schlangenkurven, wie Bild 12 zeigt. Es fragt sich nun, wie groß die Kursfehler von Schlepperanbaugeräten mit und ohne Steuerfehler des Schleppers sind. Als Führungspunkt dient das kurveninnere Vorderrad.

Im Gegensatz zum gradlinigen Kurs treten bei Kreisfahrt auch bei fehlerfreiem Steuern des Schleppers Folgefehler auf, die sich durch die Lage der Werkzeuge bzw. Räder am Schlepper ergeben und unter Umständen recht erhebliche Größen annehmen können. Ferner spielt beim kreisförmigen Kurs die Lenkungsart des Schleppers eine Rolle. Treten noch zusätzlich Steuerfehler des Führungspunktes ein, so würden sich die Kursfehler je nach Lage des Schleppers zur Kurslinie vergrößern

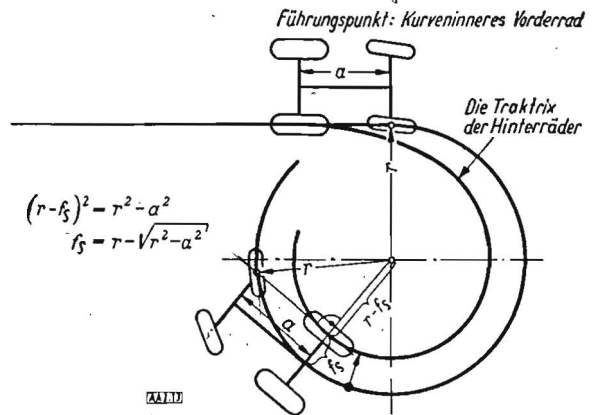


Bild 13. Der maximale Folgefehler der Hinterräder bei Kreisfahrt

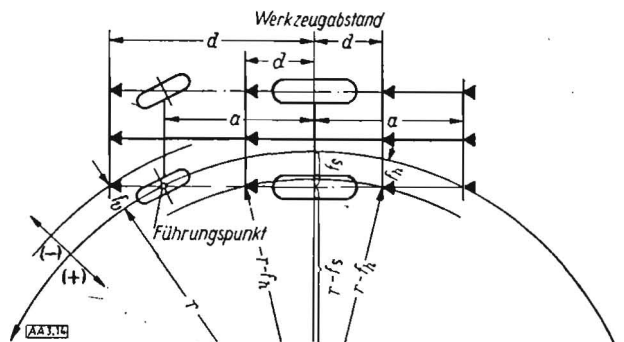


Bild 14. Werkzeuganordnungen vor der Vorderachse, zwischen den Achsen und hinter der Hinterachse bei Kreisfahrt

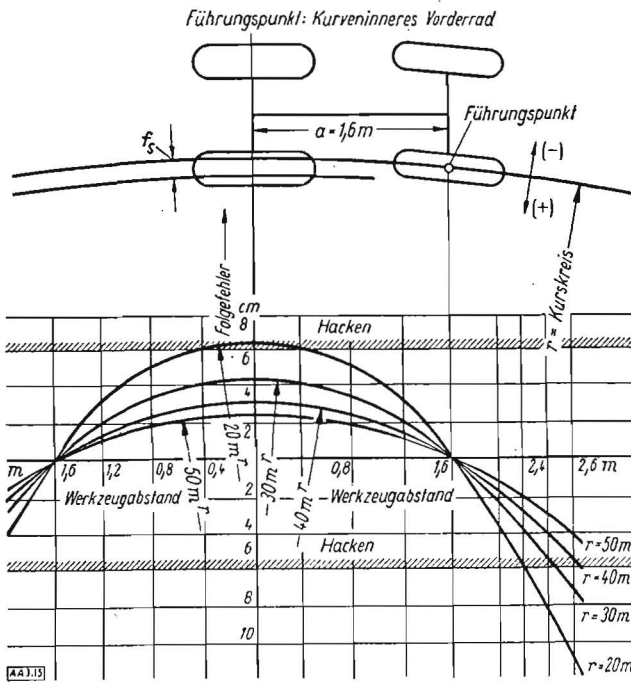


Bild 15. Die maximalen Folgefehler bei kreisförmigem Kurs

oder verkleinern. Infolge der dabei möglichen Fülle von Variationen, die auch keine neuen Erkenntnisse bringen würden, ist für die folgenden Untersuchungen angenommen worden, daß keine Steuerfehler des Schleppers auftreten.

3.1 Achsschenkelenkung

Biegt ein achsschenkelgelenkter Vierradschlepper von der Geraden in einen Kreis ein, so entfernen sich die Hinterräder auf Schleppkurven von dem Kurskreis. Nach einer Kreisfahrt der Vorderräder von ungefähr 3 Achsabständen Bogenlänge führen die Hinterräder des Schleppers annähernd konzentrische Kreise aus. Der Kurskreis des kurveninneren Hinterrades hat dann einen Abstand von dem Kurskreis des kurveninneren Vorderrades (Sollkreis) von

$$f_s = r - \sqrt{r^2 - a^2}$$

Diesen Wert bezeichnet man als Maximalwert. Es fragt sich nun, wie groß die maximalen Folgefehler der Werkzeuge sind, die vor der Vorderachse, zwischen den Achsen und hinter der Hinterachse des Schleppers angeordnet sind (Bild 14). Die veränderliche Lage der Werkzeuge zur Hinterachse wird mit d , der Achsabstand des Schleppers mit a bezeichnet. Untersucht werden die Folgefehler der Werkzeuge, die sich auf der Linie Führungspunkt—kurveninneres Hinterrad befinden.

Werkzeuge in Verlängerung der kurveninneren Radauflagen

Die Größe des Folgefehlers f , radial gemessen, errechnet sich aus

$$(r - f)^2 = (r - f_s)^2 + d^2$$

mit

$$f_s = r - \sqrt{r^2 - a^2}$$

$$f_s = r - \sqrt{r^2 - a^2 + d^2}$$

Die Gleichungen besagen, daß der Fehler f von der Größe des Kursradius r , von dem Achsabstand a und von dem Abstand der Werkzeuge zur Hinterachse d abhängig ist. f ist vom Kurskreis nach innen positiv zu rechnen, nach außen negativ. Ist $d = 0$, d. h. die Werkzeuge befinden sich in Hinterachshöhe, so ist

$$f = r - \sqrt{r^2 - a^2}$$

der Fehler erreicht dabei ein Maximum (Bild 15).

Ist $d < a$, so ist der Fehler positiv, seine Größe nimmt parabol-förmig ab. Ist $d = a$, so wird $f = 0$, d. h. in der Höhe der Vorderachse und in der Entfernung des Achsabstandes hinter der

Hinterachse haben die Werkzeuge keinen Fehler. (Voraussetzung ist, daß ein Vorderrad Führungspunkt ist.) Ist $d > a$, so wird der Fehler negativ.

Werden die errechneten Folgefehler in Abhängigkeit des Werkzeugabstandes bei Kursradien von $r = 20$ m, 30 m, 40 m und 50 m aufgetragen, so ergibt es Bild 15. Bild 15 zeigt, daß die Folgefehler zwei Nullagen besitzen, und zwar in Höhe der Vorderachse und einen Achsabstand hinter der Hinterachse des Schleppers. Die Größe der Folgefehler nimmt mit zunehmendem Kursradius ab. Die Folgefehlerwerte bei Werkzeugen zwischen den Achsen und bis zu einem Achsabstand hinter der Hinterachse weisen einen positiven Wert auf, während bei Werkzeugen vor der Vorderachse und ab einem Achsabstand hinter der Hinterachse der Fehlerwert negativ ist.

Die Zunahme der Fehler der letzten beiden Werkzeuganordnungen ist mit wachsendem Abstand von der Hinterachse größer als der der Werkzeuganordnungen zwischen den Achsen und bis zu einem Achsabstand hinter der Hinterachse. Das Diagramm zeigt ferner, daß die Hinterräder und die Werkzeuge $0,65$ m vor der Vorderachse bei einem Kurskreis von $r = 20$ m beim Pflanzenhacken die zulässigen Kursabweichungen überschreiten. Die Fehlerwerte der Werkzeuge hinter der Hinterachse des Schleppers nehmen wieder mit zunehmendem Werkzeugabstand von der Hinterachse ab. Ihre Größe ist bei gleichem Werkzeugabstand zur Hinterachse gleich der der Folgefehler der Werkzeuge vor der Hinterachse des Schleppers. Aus dem Folgefehlerdiagramm ist somit ersichtlich, daß bei Kreisfahrt und einem Vorderrad als Führungspunkt eines zweiachsigen, seitlich unbeweglichen Reihenkulturgerätes die Werkzeuganordnung in Höhe der Vorderachse am günstigsten ist. Werkzeuganordnungen in Höhe der Hinterachse sind möglichst zu vermeiden. Ferner ergibt sich aus Bild 15, daß Kursradien über 20 m beim Hacken und Häufeln zulässig sind. Kurslinien von 20 m Krümmungsradius sind daher bei Reihenkultur zu vermeiden, wenn die Länge der Bögen das 3fache des Schlepperachsabstandes überschreitet; sie treten in der Praxis auch sehr wenig auf.

Werkzeuge beiderseitig der kurveninneren Radauflagen

Die Untersuchungen bezogen sich bisher nur auf Werkzeuge, die auf der Linie Vorderrad-Hinterrad-Mitte angebracht waren. Es fragt sich nun, wie groß die Folgefehler der anderen Werkzeuge sind. Aus Bild 16 ergibt sich folgender Folgefehler für die beiderseitig der kurveninneren Radauflage angebrachten Werkzeuge:

$$f = (r - n) - \sqrt{(r^2 - a^2 - n^2) + d^2}$$

wobei d der Abstand der Werkzeuge von der Hinterachse, und n der Abstand des Werkzeuges von der Verbindungslinie der Radauflage der kurveninneren Räder in Richtung vom Kursmittelpunkt nach außen gemessen bedeutet. Der Fehler f , die Abweichung der Werkzeuge von ihren Sollkreisen, ist positiv, wenn die Werkzeuge innerhalb des Sollkreises, negativ, wenn sie außerhalb ihrer Sollkreise laufen. An Hand eines Beispiels werden die Folgefehler der verschiedenen Werkzeuge eines 6reihigen Hackgerätes ermittelt:

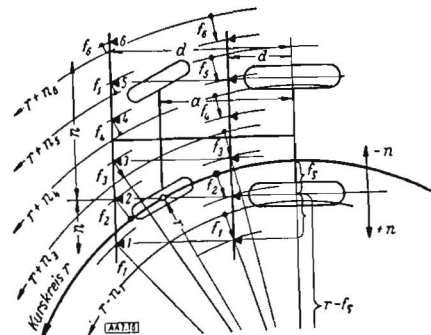


Bild 16. Ermittlung der Folgefehler sämtlicher Werkzeuge bei Kreisfahrt

Angenommen wird ein Kursradius von $r = 20$ m, ein Reihenabstand von Pflanzen mit $n = 0,4$ m, ein Achsabstand von $a = 1,6$ m.

- a) bei Werkzeuganordnung vor der vorderen Schlepperachse ein Werkzeugabstand zur Hinterachse von 2,0 m und
- b) bei Werkzeuganordnung zwischen den Achsen und hinter der Hinterachse ein Werkzeugabstand zur Hinterachse von 1,0 m.

Die ermittelten Folgefehlerwerte werden in einem Diagramm aufgetragen (Bild 17).

Bild 17 zeigt die Folgefehler der Werkzeuge bei Kreisfahrt unter den obengenannten Bedingungen. Nach Diagramm 17a nehmen die Folgefehler der Werkzeuge vor der Schleppervorderachse mit der Entfernung der Werkzeuge vom Kursmittelpunkt ab.

Bei diesem Beispiel beträgt der Fehlerunterschied zwischen dem größten und dem kleinsten Folgefehler 1 cm. Dieser Fehlerunterschied übt jedoch keinen Einfluß auf die Dimensionierung der Reihenkulturgeräte aus, zumal die reine Kreisfahrt in der Praxis wenig vorkommt.

Bei den Werkzeuganordnungen zwischen den Achsen und hinter der Hinterachse nehmen nach Diagramm 17 b im Gegensatz zu Diagramm 17a die Folgefehler mit der Entfernung der Werkzeuge vom Kursmittelpunkt zu. Der Fehlerunterschied zwischen größtem und kleinstem Folgefehler beträgt bei dieser Werkzeuglage 0,5 cm. Die Gerätebreite übt somit keinen wesentlichen Einfluß auf die Größe der Folgefehler aus.

Die Untersuchungen zeigen, daß der Fehlerunterschied der einzelnen Werkzeuge bei Kreisfahrt nicht sehr wesentlich ist.

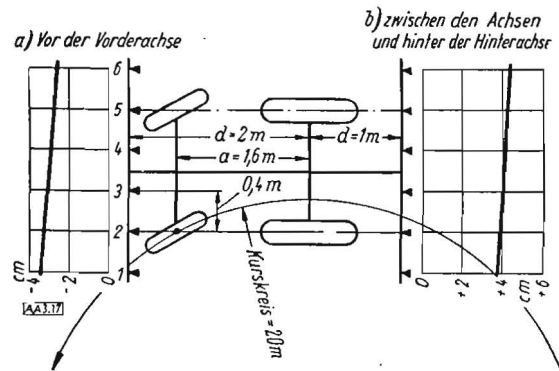


Bild 17
Die Folgefehler der verschiedenen Werkzeuge bei Kreisfahrt

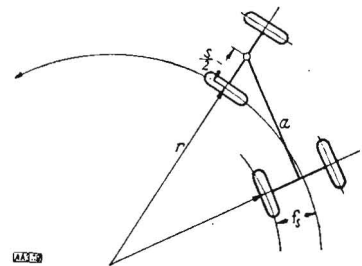


Bild 18
Der maximale Folgefehler bei Kreisfahrt mit Drehschemellenkung

3.2 Drehschemellenkung

Befährt ein drehschemelgelenkter Vierradschlepper einen Kreisbogen, so ergibt sich der Kursfehler nach Bild 18 mit

$$\left(r - f_s + \frac{s}{2}\right)^2 = \left(r + \frac{s}{2}\right)^2 - a^2$$

$$f_s = r + \frac{s}{2} - \sqrt{\left(r + \frac{s}{2}\right)^2 - a^2}$$

Die Gleichung zeigt, daß der Folgefehler des kurveninneren Hinterrades von dem Kursradius r , von dem Achsabstand a und von der Spurweite s abhängig ist. Es fragt sich nun, welche Folgefehlergrößen sich für die Werkzeuganordnungen vor der Vorderachse, zwischen den Achsen und hinter der Hinterachse bei Kreisfahrt eines drehschemelgelenkten Schleppers ergeben (Bild 19).

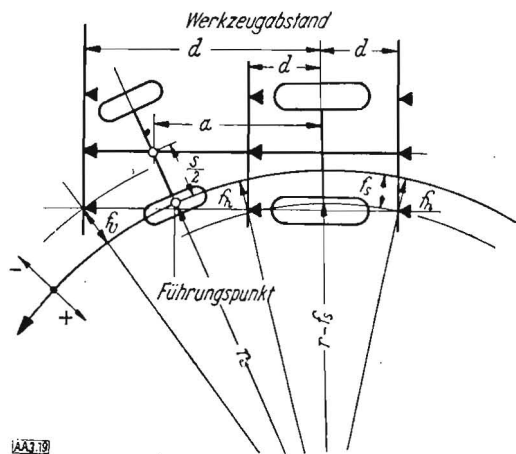


Bild 19
Werkzeuganordnungen vor der Vorderachse, zwischen den Achsen und hinter der Hinterachse bei Kreisfahrt

Werkzeuge in Verlängerung der kurveninneren Radauflagen

Die Größe der Folgefehler f , radial gemessen, errechnet sich aus

$$(r - f)^2 = \left(r - \frac{s}{2}\right)^2 + a^2$$

mit

$$f_s = r + \frac{s}{2} - \sqrt{\left(r + \frac{s}{2}\right)^2 - a^2}$$

zu

$$f_s = r - \sqrt{\left(\sqrt{\left(r + \frac{s}{2}\right)^2 - a^2} - \frac{s}{2}\right)^2 + a^2}$$

Dabei ist zu beachten, daß f vom Sollkursradius nach innen positiv zu errechnen und nach außen negativ ist. Die Frage lautet, ob sich die Folgefehler der Werkzeuge am drehschemelgelenkten Schlepper von den Folgefehlern der achsschenkelgelenkten Schlepper unterscheiden. Angenommen wird das gleiche Beispiel mit den Kursradien von $r = 20$ m, 30 m, 40 m und 50 m; einem Achsabstand des Schleppers von 1,6 m und einer Spurweite von 1,25 m. Die errechneten Fehlerkurven für die zugrunde gelegten Kursradien decken sich praktisch vollkommen mit den Fehlerkurven der Werkzeuge an achsschenkelgelenkten Schleppern (Bild 15), da die große Achsschenkelänge (l_2 Spurweite) bei den großen Kursradien von $r = 20$ bis 50 m

nur einen sehr geringen Einfluß ausübt, so daß der Fehler annähernd der den achsschenkelgelenkten Schleppern von

$$f = r - \sqrt{r^2 - a^2 + a^2}$$

ist.

Erst bei Kursradien von $r = 5$ m und 10 m unterscheiden sich die Folgefehlergrößen beider Lenkungsarten. Da so kleine Kursradien jedoch bei der Reihenkultur praktisch nicht vorkommen, erübrigt sich eine weitere Untersuchung.

Der Folgefehler ist außer von dem Kursradius, von der Spurweite und dem Achsabstand abhängig. Werden die Folgefehler der Hinterräder von Schleppern beider Lenkungsarten bei Kreisfahrt mit veränderlicher Spurweite bei Sollkursradien von $r = 20$ m, 30 m, 40 m und 50 m aufgetragen, so ergibt sich folgendes Bild 20.

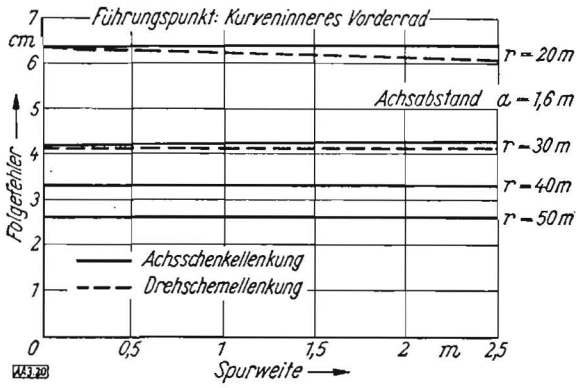


Bild 20

Der Folgefehler der Hinterräder eines Schleppers in Abhängigkeit von der Spurweite bei Kreisfahrt

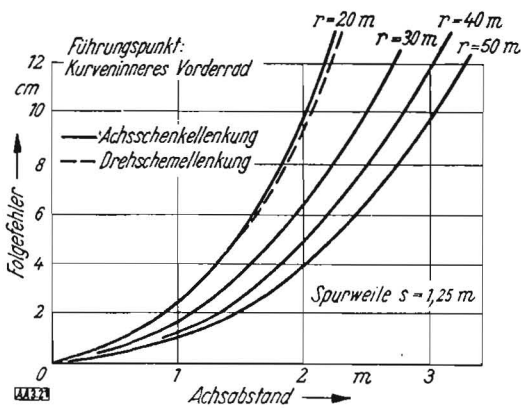


Bild 21

Der Folgefehler der Hinterräder eines Schleppers in Abhängigkeit von dem Achsabstand bei Kreisfahrt

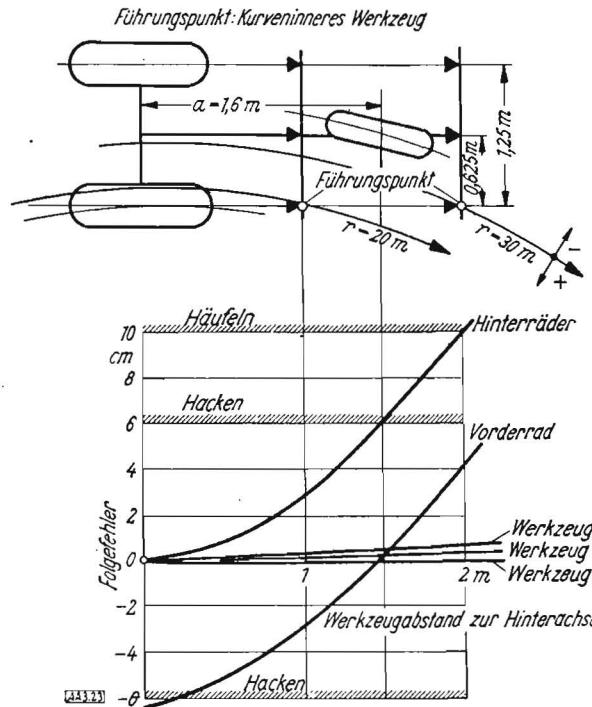


Bild 23

Die Folgefehler eines Dreiradschleppers bei Kreisfahrt

als linear zunimmt. Der Unterschied der Lenkungsart macht sich erst bei Kursradien unter $r = 20$ m bemerkbar.

In der Praxis werden jedoch drehschemelgelenkte Schlepper nur mit 3 Rädern ausgeführt (oder mit einem Doppelrad). Die Werkzeuge sind vor oder in Höhe des Vorderrades angeordnet. Als Führungspunkt kommen beim Dreiradschlepper bevorzugt Werkzeuge, Spurzeiger oder Visierpunkte in Frage. Die Sicht auf das Vorderrad wird bei den meisten Dreiradschlepperbauarten durch den Motor behindert, so daß dieses meist nicht als Führungspunkt benutzt wird. Befährt ein Dreiradschlepper mit einem Werkzeug als Führungspunkt einen Kreisbogen, so bewegen sich die Räder des Schleppers auf konzentrischen Kreisen, die von ihren vorgeschriebenen Kurven um einen bestimmten Fehler abweichen (siehe Bild 22).

Folgefahler der Räder

Angenommen wird, daß das vor dem kurveninneren Hinterrad befindliche Werkzeug Führungspunkt ist (Bild 22).

Die kurveninneren Hinterräder des Schleppers haben einen Folgefahler von

$$f_s = r - \sqrt{r^2 - d^2}$$

wobei d der Abstand der Werkzeuge von der Hinterachse ist.

Das Vorderrad eines Dreiradschleppers besitzt den folgenden Folgefahler:

$$f_v = r + \frac{s}{2} - \sqrt{a^2 + \left(\frac{s}{2} + \sqrt{r^2 - d^2}\right)^2}$$

Dabei ist zu beachten, daß f_s beim Führungswerkzeug vor dem Vorderrad positiv, und beim Führungswerkzeug hinter dem Vorderrad negativ ist.

Folgefahler der Werkzeuge

Außer dem Führungswerkzeug besitzen alle anderen Werkzeuge Folgefahler, die mit der Entfernung vom Führungspunkt zunehmen. Für beide Lagen des Führungswerkzeuges ergeben sich die Folgefahler aus

$$f = r + n - \sqrt{(\sqrt{r^2 - d^2} + n)^2 + a^2}$$

wobei n der Abstand des Werkzeuges vom Führungswerkzeug bedeutet. Im Diagramm Bild 23 sind die errechneten Fehlerwerte der Räder und Werkzeuge eines Dreiradschleppers mit

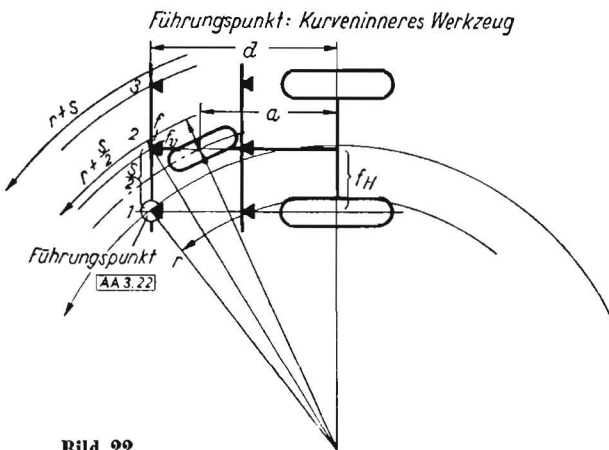


Bild 22

Die Folgefahler eines Dreiradschleppers bei Kreisfahrt

Das Diagramm zeigt, daß die Größe des Folgefahlers der Hinterräder nur bei drehschemelgelenkten Schleppern mit zunehmender Spurweite merklich abnimmt, daß aber die Differenzen so klein sind, daß sie vernachlässigt werden können.

Bei veränderlichem Achsabstand ergeben sich bei den gleichen Kursradien und bei einer Spurweite von $s = 1,25$ m folgende Folgefahler der Hinterräder des Schleppers bei Kreisfahrt (Bild 21):

Die Darstellung zeigt, daß die Größe der Folgefahler bei Kreisfahrt eines Schleppers mit zunehmendem Achsabstand stärker

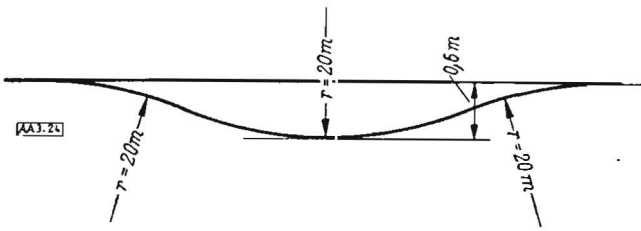


Bild 24. Die schlängelförmige Kurslinie

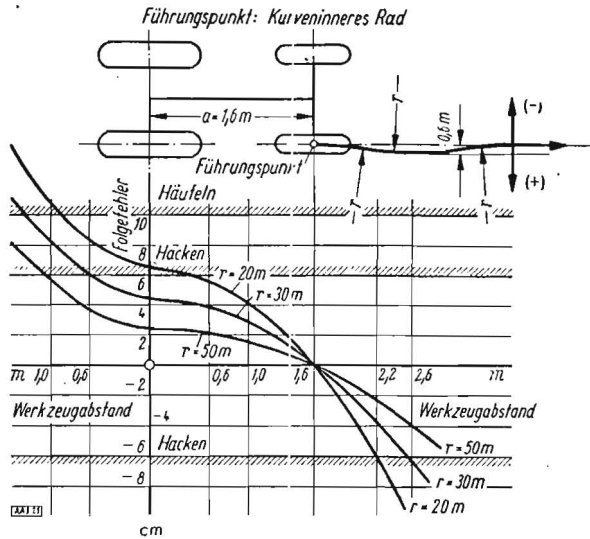


Bild 25

Die maximalen Folgefehler bei schlangenförmigem Kurs

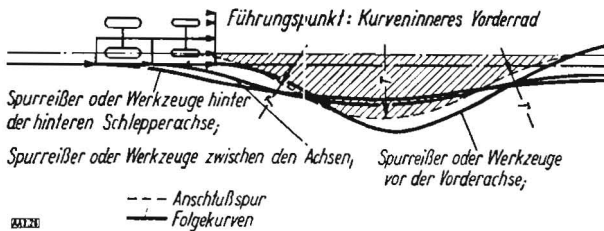


Bild 26. Die Folgekurven bei geschlängeltem Kurs

Werkzeugen als Führungspunkt aufgetragen, und zwar bei Werkzeuganordnung zwischen den Rädern und vor dem Vorderrad.

Bild 23 zeigt, daß die Folgefehler der Hinterräder mit wachsender Entfernung des Führungswerkzeuges von der Hinterachse stark zunehmen. Der Fehler ist stets positiv, d. h. die Hinterräder bewegen sich immer auf einem kleineren als ihrem Sollkreis.

Der Absolutwert der Folgefehler des Vorderrades ist wesentlich geringer. Der Folgefehler ist dabei von der Lage des Führungswerkzeuges abhängig. Je näher das Führungswerkzeug an der Hinterachse liegt, um so größer ist die Kursabweichung des Vorderrades vom Sollkreis nach außen, der Fehler ist negativ.

Mit wachsender Entfernung des Führungswerkzeuges verringert sich der Folgefehler und wechselt, wenn der Abstand ungefähr gleich dem Achsabstand geworden ist, das Vorzeichen, der Fehler wird positiv. Befindet sich das Führungswerkzeug in Höhe der Vorderachse, so ist der Fehler des Vorderrades gleich dem Wert von Werkzeug Nr. 2.

Die Werkzeuge haben einen wesentlich geringeren Fehler als die Schlepperräder. Bild 23 zeigt, daß ihre Folgefehler mit wachsendem Abstand des Führungswerkzeuges von der Hinterachse ungefähr linear zunehmen. Ferner wachsen sie mit zunehmendem Abstand vom Führungswerkzeug.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Lage des Führungswerkzeuges zwischen den Rädern bei Kreisfahrt günstiger ist als vor dem Vorderrad.

4. Folgefehler bei schlangenförmiger Kurslinie

Beim Anlegen der Pflanzenreihen, also beim Drillen oder Pflanzlöchen, entstehen durch ungenaues Steuern geschlängelte Kurslinien des Führungspunktes und der Werkzeuge und damit geschlängelte Pflanzenreihen. Diese Form der Kurslinie beeinträchtigt das Wachstum der Pflanzen nicht, wohl aber die nachfolgenden Pflegearbeiten, wie Hacken der Pflanzen oder Zudecken und Häufeln der Kartoffeln. Die Schlangenlinien kann man sich als eine Folge von Kreisbögen darstellen, wie Bild 24 zeigt. Es fragt sich nun, wie groß die Kursfehler von Sattelgeräten bei geschlängeltem Kurs sind, und zwar wie im Abschnitt 3 unter der Voraussetzung, daß der Führungspunkt keinen Steuerfehlern unterliegt.

4.1 Allgemeines

Als Führungspunkt wird eines der Vorderräder angenommen. Untersucht werden Schlangenlinien mit Kursradien von 20 m, 30 m und 50 m und einer seitlichen Abweichung von der Geraden von 0,6 m, wie in Bild 24 dargestellt. Befährt ein Schlepper mit Sattelgeräten eine solche Modellkurslinie, so ergeben sich die in Bild 25 dargestellten durch Modellversuche ermittelten Folgefehler.

Bild 25 zeigt, daß die Folgefehler bei Werkzeuganordnung vor der Vorderachse mit größer werdendem Werkzeugabstand von der Vorderachse stark zunehmen, und zwar ist der Fehler negativ. Die Folgefehler bei den beiden anderen Werkzeuganordnungen sind positiv. Bei den Werkzeuganordnungen zwischen den Achsen und hinter der Hinterachse steigen die Folgefehler gegenüber den Werkzeugen vor der Vorderachse weniger stark an. Die Folgefehler der Werkzeuge zwischen den Achsen sind mit den Fehlern der Werkzeuge bei der Kreisfahrt praktisch gleich, da die Bogenlängen der Schlangenkurven groß genug sind, daß sich die bei Kreisfahrt auftretenden Maximalfehler einstellen können. Bei den Werkzeugen hinter der hinteren Schlepperachse weisen die Folgefehler andere Größen als bei der Kreisfahrt auf. Diese Vergrößerung der Folgefehler entsteht nach dem Durchfahren des Wendepunktes der schlangenförmigen Sollkurslinie. Im Wendepunkt wendet der Schlepperführer die Kursrichtung (Lenkeinschlag-Richtung), der Schlepper dreht vom Anfangskreis ab und stellt sich zu diesem schräg. Die Folgefehler nehmen dabei stark zu, die Fehlerkurven wechseln die Richtung und gehen steil nach oben. Legt man die Fehlergrenzen für Pflanzenhacken von 6 cm und Kartoffelhäufeln von 10 cm zugrunde, so würden beim Kartoffelhäufeln bei den üblichen Werkzeuganordnungen keine Beschädigungen eintreten. Beim Pflanzenhacken dagegen würden bei Kursradien von 20 m und zum Teil von 30 m bei den Werkzeuganordnungen vor der Vorderachse und hinter der Hinterachse Beschädigungen eintreten. Schlangenkurslinien mit den letzten beiden Radien sind nach Möglichkeit zu vermeiden; sie treten in der Praxis auch selten auf.

4.2 Folgekurven bei Bestellarbeiten

Bei Bestellarbeiten, d. h. Kulturarbeiten ohne die sichtbaren Führungslinien der Pflanzenreihen, z. B. Drillen und Pflanzlöchen, besteht die Gefahr, daß einmal eingetretene Abweichungen der gewollten Kurslinie bei dem Anlegen weiterer Pflanzenreihen in gleichem Maße oder sogar verstärkt übernommen werden. Beim Drillen mit einem am Schlepper aufgesattelten Drillkasten sowie beim Pflanzlöchen steuert der Schlepperführer nach der Radspur oder nach einer aufgerissenen Spur. Weist die Spurlinie, nach der der Schlepper nun gesteuert wird, Abweichungen von der gewollten Sollkurslinie auf, so kann der Schlepperführer diese Kursfehler nach Augenmaß etwas ausgleichen, wenn die Abweichungen auf verhältnismäßig kurzen Strecken auftreten. Anderenfalls ist er gezwungen, auf der einmal vorgezeichneten Spur zu fahren. Der einmal eingetretene Folgefehler wird also während der zweiten Bearbeitung des Feldes immer wieder erzwungen. Aus diesem Grunde muß gerade bei Bestellarbeiten großer Wert auf möglichst gradlinige Kursführung gelegt werden.

Anders ist es bei den Pflegearbeiten, wo Pflanzenreihen vorhanden sind. Treten hier Kursabweichungen des Schleppers auf, so lassen sich diese Abweichungen nach den vorhandenen Pflanzenreihen schnell korrigieren. Sie führen je nach ihrer Größe zu Pflanzenbeschädigungen, haben aber auf die weiteren Arbeiten keinen Einfluß.

Kursabweichungen sind jedoch unvermeidlich, und es fragt sich, ob durch die Folgekurven eine Erweiterung oder Verminderung der bereits vorhandenen Kursabweichung durch die verschiedenen Lagen des Spurreißers oder der Werkzeuge am Schlepper eintritt.

Die Untersuchungen, die mit dem Modell nach dem Schlangenkurs von Bild 24 durchgeführt wurden, ergeben schematisch Bild 26.

Dieses zeigt, daß vor der Vorderachse angebrachte Spurreißer oder Werkzeuge die vorhandene Kursabweichung von der Geraden erweitern, und zwar nimmt die Größe mit dem Abstand des Spurreißers oder des Werkzeuges von der Vorderachse zu. Die Länge der fehlerhaften Kursstrecke vergrößert sich ebenfalls. Bei der Spurreißer- oder Werkzeuganordnung zwischen den Achsen und hinter der Hinterachse tritt dagegen eine Verringerung des seitlichen Abweichungsbetrages von der Sollkurslinie ein. Die Länge der Kursabweichung dagegen erweitert sich bei jedem weiteren Durchgang, so daß eine gewisse Begradigung der Kurslinie eintritt. Das bedeutet, daß die Folgekurven der Werkzeuge zwischen den Achsen und hinter der Hinterachse bei geschlängelter Sollkurslinie einen geringeren Abweichungsbetrag als der der vorhandenen Kursabweichung aufweisen. Bei Werkzeuganordnung vor der Vorderachse tritt dagegen eine Vergrößerung des Abweichungsbetrages ein. Die Werkzeuganordnung vor der Vorderachse ist somit unter den beschriebenen Verhältnissen (Führungspunkt ein Vorderrad, Führungskurslinie eine Gerätespur) bei Bestellarbeiten nicht zu empfehlen. Bei der Werkzeuganordnung vor der Vorderachse wird man jedoch stets ein Werkzeug als Führungspunkt wählen. In diesem Fall würde nur ein Kopieren der Kursabweichung, jedoch keine Verringerung des Abweichungsbetrages eintreten.

5. Zusammenfassung

Die durchgeführten Untersuchungen hatten den Zweck, die Kursfehler von Schlepperanbaugeräten zu ermitteln, um die Möglichkeiten der Anwendung der verschiedenen Werkzeuganordnungen klarzustellen. Auf Grund der durchgeführten Untersuchungen ergeben sich für den Einsatz von Reihenkulturgeräten folgende wesentliche Punkte:

5.1 Allgemeines

Die Führung der Räder und Werkzeuge der Geräte muß möglichst zwischen den Reihen erfolgen. Rollen die Räder über Pflanzenreihen, so treten je nach Radausführung unterschiedliche Pflanzenbeschädigungen auf. Weichen die Werkzeuge vom Kurs ab, so ergeben die Abweichungen — wenn sie bestimmte Beträge überschreiten — Beschädigungen an Kulturpflanzen. Fehlen Pflanzenreihen oder Dämme, z. B. beim Drillen oder Pflanzlöchern, so entstehen keine Beschädigungen, sondern nur fehlerhafte Drillspuren oder Pflanzlochreihen. Diese erschweren jedoch die spätere Bearbeitung und machen die Verwendung von Hackeinrichtungen, die nicht genug den gesteuerten Kurslinien folgen, unmöglich.

5.2 Vor- und Nachteile

Für die Genauigkeit der Räder- und Werkzeugfolge ist die Wahl des *Führungspunktes* entscheidend. Folgende Gegenstände

am Zweiachsschlepper kommen für den Führungspunkt in Frage:

Bei Werkzeuganordnung vor der Vorderachse ein Werkzeug oder ein Peilzeiger, bei Werkzeuganordnung zwischen den Achsen ein Vorderrad oder ein Peilzeiger.

Sind die Werkzeuge vom Schlepperführer leicht zu überblicken, so kommt auch in diesem Falle ein Werkzeug als Führungspunkt in Frage.

Bei Werkzeuganordnung hinter der Hinterachse ein Vorderrad, ein zwischen den Achsen angebrachter Spurzeiger oder ein Peilzeiger.

Ein vor der Vorderachse befindlicher Spurzeiger ist als Führungspunkt für diese beiden letztgenannten Werkzeuganordnungen nicht zweckmäßig, da er bei Kreisfahrt und aus kreisähnlichen Kurven zusammengesetzten Kurslinien wie Schlangenlinien größere Folgefehler der Werkzeuge verursacht als ein Vorderrad als Führungspunkt.

Ein *Spurreißer* ist erforderlich, wenn Schlepper- und Gerätespur nicht miteinander übereinstimmen.

Die *günstigste Werkzeuganordnung* bei Reihenkultur ist die *zwischen den Achsen*. Sie verursacht im Gegensatz zu den anderen beiden Werkzeuganordnungen, bei der hauptsächlichsten Fehlerquelle, nämlich dem Steuerausschlag der Vorderräder und dem Schlangenkurs, den geringsten Folgefehler und gestattet eine gute Kontrollmöglichkeit der Werkzeuge. Nachteil: Notwendigkeit von Spürlockern hinter den Hinterrädern und Platzmangel für die Werkzeuge.

Die Werkzeuge *hinter der Hinterachse* verursachen etwas größere Folgefehler als die zwischen den Achsen, trotzdem hat man bisher diese Anordnung bevorzugt ausgeführt, weil die Werkzeuge hinter dem Schlepper leichter anzubringen sind. Nachteilig ist das Fehlen einer Kontrolle der Werkzeuge durch den Schlepperführer.

Werkzeuge *vor der Vorderachse* sind ungünstig, wenn ein Vorderrad Führungspunkt ist, da sich die Folgefehler mit zunehmendem Abstand der Werkzeuge von der Vorderachse stark vergrößern. Ist ein Werkzeug Führungspunkt, halten die Werkzeuge den Kurs fehlerfrei ein, jedoch weisen die Schlepperräder, vor allem die Hinterräder, bei geschlängeltem Kurs zum Teil beträchtliche Folgefehler auf.

Die beiden *Lenkungsarten* am Zweiachsschlepper unterscheiden sich nicht in der Größe der Folgefehler. Nur bei den praktisch nicht auftretenden kleinen Kreisbögen mit Radien unter 10 m tritt rechnerisch ein Unterschied auf, wobei Schlepper mit Drehschemellenkung im Vergleich mit achselschenkelgelenkten Schleppern geringere Folgefehler aufweisen.

Der Einfluß der *Gerätebreite* auf die Größe des Folgefehlers ist unbedeutend. Man wählt die Gerätebreite mit Rücksicht auf andere Umstände, wie Zugkraft, Straßengängigkeit und Boden-anpassung.

Der *Achsabstand* des Schleppers bestimmt im geringeren Maße die Größe der Folgefehler. Die Fehler verringern sich bei den Steuerausschlägen der Vorderräder mit zunehmendem Radstand. Dagegen tritt bei der Kreisfahrt eine Vergrößerung des Folgefehlers auf.

Die *Spurweite* des Schleppers hat nur bei den drehschemelgelenkten Schleppern einen geringen Einfluß auf die Größe der Folgefehler.

AA 3

An die Stelle des alten Dorfes tritt das neue Dorf mit seinen vergesellschafteten Wirtschaftsgebäuden, mit seinen Klubs, mit Radio, Kino, Schulen, Bibliotheken und Kinderkrippen, mit seinen Traktoren, Combines, Dreschmaschinen und Automobilen.

J. Stalin, „Fragen des Leninismus“, S. 554