

Landtechnische Forschung

HERAUSGEBER: KURATORIUM FÜR TECHNIK IN DER LANDWIRTSCHAFT
UND FACHGEMEINSCHAFT LANDMASCHINEN IM VDMA

Hef 1/1960

11. MRZ. 1960

MÜNCHEN

10. JAHRGANG

Erl.

Erhard Schilling

Beitrag zur Lenkgeometrie der Ackerschlepper

Ganz allgemein hat die Lenkung bei Ackerschleppern die Aufgabe, diesen über die Laufräder die gewünschte Fahrtrichtung zu erteilen. Bei Vierradschleppern erfolgt die Einstellung der gewünschten Fahrtrichtung über ein Lenkgetriebe auf die lenkbaren Vorderäder. Beim Lenkvorgang stellen sich geometrische Verhältnisse ein, die zum jeweiligen Krümmungshalbmesser in Beziehung stehen und von der konstruktiven Auslegung der Ackerschlepper abhängig sind. Daher ist die Lenkung ein sehr wichtiges Gebiet beim Entwurf von Ackerschleppern.

Besonders ist darauf zu achten, daß bei den möglichen Radeinschlägen alle Räder frei rollen und nicht gleiten oder radieren, worunter der Übergang von der Rollreibung zur Gleitreibung zu verstehen ist. Es können sich also bei der Betätigung der Lenkung die folgenden Reaktionskräfte von der Fahrbahn her einstellen:

1. Die Seitenführungskraft ist größer als die Reibungskraft. Dann wird vom Schlepper die gewünschte Fahrtrichtungsänderung ausgeführt.
2. Die Seitenführungskraft ist kleiner als die Reibungskraft (Gleitreibung). Dann behält der Schlepper im Extremfall seine ursprüngliche Fahrtrichtung bei.

Während also im ersten Fall Rollreibung vorliegt, herrscht im zweiten Fall Gleitreibung vor. Beim Gleiten der Räder auf fester Fahrbahn ist mit erhöhtem Reifenverschleiß zu rechnen, und auf dem Ackerboden stellen sich ungünstige Wirkungen auf die Bodenstruktur ein, was sich in einer stärkeren Bodenverdichtung und Verzementierung der Bodenoberfläche bemerkbar macht.

Die Gesetze der Lenkgeometrie beim Bau von Ackerschleppern sind also unbedingt zu beachten, besonders im Hinblick auf die Festlegung des Radstandes, wenn hier nur Zweiachsschlepper mit je zwei lenkbaren Laufrädern und je zwei treibenden Hinterrädern behandelt werden.

Festlegungen

Ackerschlepper dürfen nach der StVZO gegenwärtig eine maximale Fahrgeschwindigkeit von $V_f = 20$ km/h nicht überschreiten. Mit dieser immerhin relativ kleinen Fahrgeschwindigkeit gegenüber der sonstiger Kraftfahrzeuge kann eine Lenkung nach rein geometrischen Beziehungen ausgelegt werden, ohne daß die Gesetze der Dynamik angewendet werden müssen. Hierbei rollen die gelenkten Räder auf verschiedenen Halbmessern des jeweiligen Krümmungs- oder Ablaufkreises. Bei der Drehschemellenkung ist der Lenkeinschlag für das kurveninnere und das kurvenäußere Rad gleich. Bei der Achsschenkellenkung, die hier nur behandelt werden soll, entstehen verschiedene Lenkeinschläge am kurveninneren und kurvenäußeren Rad (Bild 1). Jeder Lenkeinschlag bedingt eine Seitenkraft, die mit wachsendem Einschlag größer wird und eine Verformung der Gummibereifung zur Folge hat. Sieht man von diesen Einflüssen ab, so liegt der gemeinsame Krümmungsmittelpunkt der Wendekreis halbmesser in der Verlängerung der Hinterachse, wenn die Räder frei rollen. Durch die Reaktionskräfte vom Boden tritt beim Lenkeinschlag am fahrenden Fahrzeug ein Schräglaufwinkel ein, der das Lenkwinkelverhältnis β/α des kurveninneren zum kurvenäußeren Rad ändert. Mit zunehmender Radialbeschleunigung wird dieses Lenkwinkelverhältnis immer kleiner. Bei hohen Fahrgeschwindigkeiten kann

der Lenkeinschlag des kurveninneren Rades kleiner als der des kurvenäußeren werden. Damit ändert sich auch die Größe der an den gelenkten Laufrädern angreifenden Kräfte, auf die hier nicht weiter eingegangen werden soll. Der Krümmungsmittelpunkt oder der Ablaufkreismittelpunkt liegt hierbei nicht mehr auf der verlängerten Hinterachse, sondern verlagert sich unter dem Einfluß der vorliegenden dynamischen Verhältnisse vor diese [1].

Bei der Einleitung der Kurvenfahrt treten als Folge der Einschlagwinkel senkrecht zur Rollebene der gelenkten Räder seitliche Kräfte auf, die die Laufräder aus ihrer Spur zu drängen versuchen. Besonders auf lockerem Ackerboden können diese Seitenkräfte die Laufräder abtreiben und somit völlig andere geometrische Verhältnisse schaffen (Bild 2). Unterstützt wird diese Abdrift durch hohen Zugwiderstand von Anhängegeräten, zu hohe Anhängung von Arbeitsgeräten und durch erhöhten Fahrwiderstand

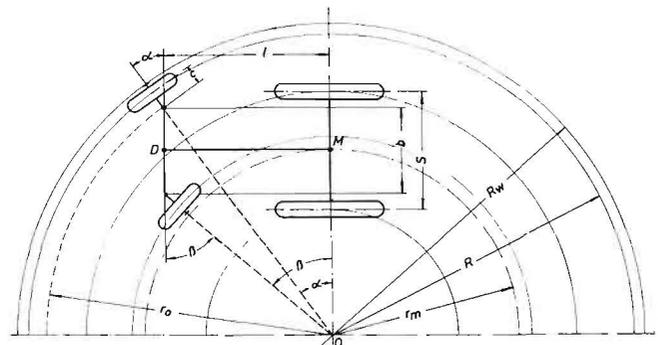


Bild 1: Darstellung des Lenkeinschlages am achsschenkelgelenkten Ackerschlepper mit Spur- und Wendekreisen

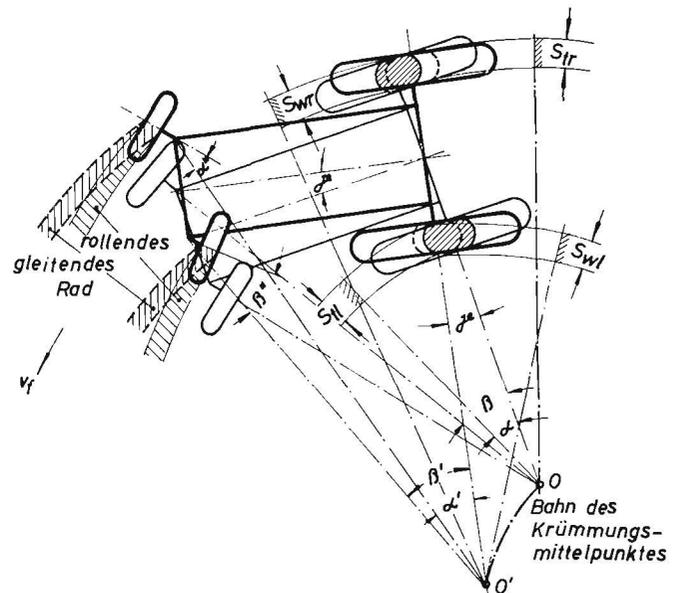


Bild 2: Bahn des Krümmungsmittelpunktes beim Gleiten oder Schieben der gelenkten Vorderräder

auf lockerem Boden. Hierdurch wird nämlich die Vorderachselbelastung und damit der Kraftschluß der Vorderräder mit dem Boden verringert. Ein leichteres Abgleiten der Vorderräder ist die Folge. Die Laufräder durch noch größeren Lenkeinschlag in die gewünschte Fahrtrichtung zu bringen, führt zu keinem Erfolg, da unter obigen Verhältnissen ein vergrößerter Lenkeinschlag kaum zu einer meßbaren Erhöhung der Seitenkraft führt. Ähnliche Verhältnisse treten auf, wenn der Wendevorgang auf schmierig nasser Fahrbahn eingeleitet werden soll. Hier reicht oft die Höhe des Kraftschlußbeiwertes nicht aus, um über die notwendigen Seitenkräfte dem Schlepper die gewünschte Fahrtrichtung zu geben [2]. Genügt also die Seitenkraft zur Einhaltung der gewünschten Fahrtrichtung nicht, dann folgt der Mittelpunkt des Krümmungskreises dem in Bild 2 dargestellten Verlauf von θ nach θ' .

Stellt man unter normalen Fahrbahnverhältnissen die Bedingung, daß die Kurvenfahrt als eine Rollbewegung stattfinden soll, so ist die Lenkung an Ackerschleppern so ausulegen, daß die Bahnkurven aller Räder in jedem Augenblick einen gemeinsamen Krümmungsmittelpunkt haben. Diese Bedingung ist bei Fahrzeugen mit Drehschemellenkung immer erfüllt. Bei der Achs-

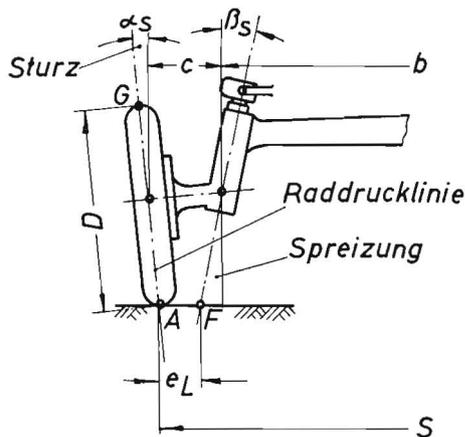


Bild 3: Sturz mit dem Sturzwinkel α_s .

Neigung der Radebene gegenüber einer Senkrechten zur Fahrbahn.

Spreizung mit dem Spreizungswinkel β_s .

Neigung des Achsschenkelbolzens zur Senkrechten auf die Fahrbahnebene bei Geradeausstellung der Räder.

Lenkrollhalbmesser e_L ist der Abstand des Berührungspunktes A vom Schnittpunkt F der Achse des Achsschenkelbolzens in Geradeausfahrstellung.

A—G ist die Raddrucklinie. S = Spurweite

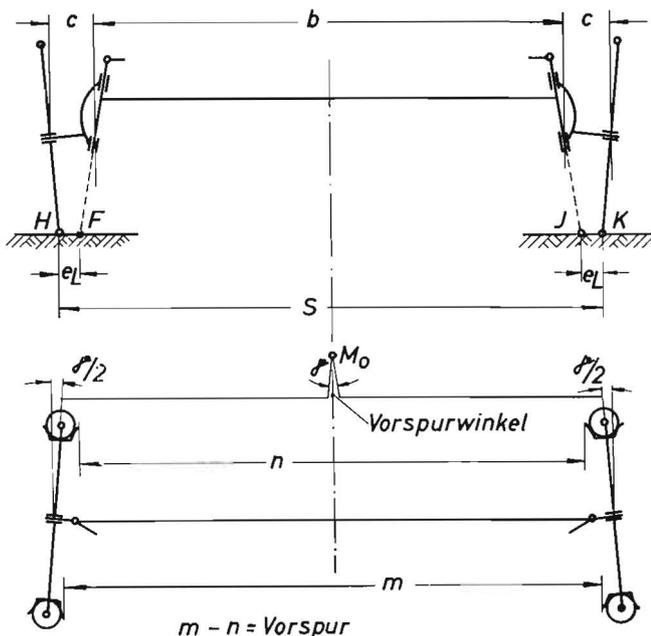


Bild 4: Darstellung der Drehung der Vorderräder am Achsschenkel im Achsschenkelbolzen- und -lager.

Vorspur und Vorspurwinkel γ mit Eintragung der Meßpunkte

schenkellenkung, deren besonderer Vorteil in der größeren Standfläche auch bei großem Lenkeinschlag und niedriger Bauweise liegen, läßt sie sich nur mit besonderem konstruktiven Aufwand verwirklichen.

Begriffe und Bezeichnungen

Nach DIN 70 020 werden der Wendekreis und der Spurbereich bei Ackerschleppern wie folgt festgelegt:

1. Kleinster Wendekreis ist der Durchmesser des Kreises, der durch die am weitesten nach außen vorstehenden Fahrzeugteile bei größtem Lenkeinschlag beschrieben wird.
2. Kleinster Spurbereichdurchmesser ist der Durchmesser des Kreises, den das äußere lenkbare Vorderrad in seiner Drucklinie bei größtem Lenkeinschlag auf der Standebene beschreibt.

Die Raddrucklinie ist eine gedachte Linie, die durch die Radfelgenmitte zwischen den beiden Felgen senkrecht zum Achsschenkel verläuft. Der Abstand zwischen den beiden Punkten, in denen die beiden Raddrucklinien einer Vorderachse den Ackerboden berühren, ist die Spurweite (Bild 3).

Der in Bild 3 erwähnte Sturz ist die Neigung der Laufräder nach außen gegen die Senkrechte zur Fahrbahn. Er drückt das Rad gegen den Lagerbund, wodurch unerwünschtes Lagerpiel ausgeschaltet wird.

Die Vorspur ist noch ein wesentliches Kennzeichen der Radstellungen. Bei den gelenkten Vorderrädern der Ackerschlepper stehen diese Räder nicht parallel zur Schlepperlängsachse, sondern sind vorn nach innen eingeschlagen (Bild 4). Dadurch wird die Flatterneigung wesentlich herabgesetzt. Die Vorspur wird an den Felgenhörnern in der Höhe der Radmitten gemessen und eingestellt. Die Einstellung erfolgt auf $m - n = 3$ bis 12 mm. Für Niederdruckreifen gilt der untere, für Hochdruckreifen der obere Wert. Durch die Vorspur entsteht in M_0 der Vorspurwinkel γ , der die Radstellungen mit je $\gamma/2$ und damit die Einschlagwinkel beeinflusst.

Der Vollständigkeit wegen sei der Nachlauf erwähnt, der die Fahrtrichtungshaltung unterstützt. Er wird bestimmt durch die Neigung des Achsschenkelbolzens, so daß der Reifenberührungspunkt dem Schnittpunkt der Achsverlängerung des Achsschenkelbolzens mit der Fahrbahn nachläuft [4].

Zu den nachstehenden Ableitungen werden folgende *Bezeichnungen* verwendet:

- V , Fahrgeschwindigkeit
- l Radstand (Abstand der Achsen)
- b Achsschenkelbolzenabstand (Mittentfernung)
- R Spurbereichshalbmesser
- R_w Wendekreishalbmesser
- r_0 Entfernung des äußeren Achsschenkelbolzens vom Krümmungsmittelpunkt
- c Achsschenkelabstand
- r_m Entfernung der Hinterachsmittelpunkt vom Krümmungsmittelpunkt
- S Spurweite
- α Einschlagwinkel des kurvenäußeren Rades
- β Einschlagwinkel des kurveninneren Rades
- α_s Sturzwinkel
- β_s Spreizungswinkel
- e_L Lenkrollhalbmesser
- D Raddurchmesser
- γ Vorspurwinkel
- φ Spurbereichwinkel

Die Lenkgeometrie zeigt die Abhängigkeit des Lenkwinkelschlags von der Ausbildung und Anordnung der übertragenden Elemente. An den gekennzeichneten Ackerschleppern erfolgt das Lenken durch Einschlagen der Achsschenkel, die mittels Bolzen an der Vorderachse beweglich gelagert sind. An den drehbaren Achsschenkeln sind die lenkbaren Vorderräder angeordnet (Bild 3 und 4). Diese Räder haben meist einen Sturz in Prozent oder einen Sturzwinkel von $\alpha_s = 2^\circ$ bis 4° . Im Hinblick auf einen günstigen Lenkrollhalbmesser e_L , das ist der Abstand der Spurmitten der Räder oder der Raddrucklinie bis zum gedachten Schnittpunkt der Achsbolzenmittellinie mit der Fahrbahnebene

in der Geradeausfahrtstellung (Bild 3), ist der Form und Länge der Achsschenkel besondere Beachtung zu schenken. Aus diesem Grunde ist die Achse des Achsschenkelbolzens gegenüber einer Senkrechten auf die Fahrbahnebene bei Geradeausfahrt-Stellung der Räder um die Spreizung oder den Spreizungswinkel $\beta_s = 0^\circ$ bis 7° geneigt. Über die Größe des Lenkrollhalbmessers e_L soll hier nur gesagt werden, daß die Lenkwiderstände sich mit e_L ändern. Weiter beeinflusst der Lenkrollhalbmesser e_L die Fahreigenschaften des Ackerschleppers. Durch eine große Spreizung erhält man einen kleinen Lenkrollhalbmesser und vermeidet, daß Fahrbahnstöße in die Lenkung übertragen werden, weil die an den Rädern wirkenden Kräfte nur an einem kleinen Hebelarm angreifen.

Bei den achsschenkelgelenkten Schleppern wird ein großer Lenkeinschlag gefordert, um enge Kurven fahren zu können. Der Spurekreisradius soll also möglichst klein werden. Diese Bedingung verlangt, daß man das Lenktrapez aus Achse, Spurstange und den zwei Lenkhebeln mit einem Übersetzungsverhältnis auslegt, das einem bestimmten Lenkverhältnis entspricht. Bei der Drehschemellenkung ist das Lenkverhältnis 1, weil der Winkeleinschlag des Lenkhebels gleich dem Einschlag der Radachse ist. Bei der Achsschenkellenkung ist das geometrisch optimale Lenkverhältnis 1 nur dann vorhanden, wenn der vermittelte Lenkeinschlag $(\alpha + \beta)/2$ seinen Schnittpunkt O auf der verlängerten Mittellinie der Hinterachse hat. Die Spurekreisradius der gelenkten Laufräder liegen innerhalb des Lenkbereiches praktisch und mathematisch nur für einen bestimmten bei der Auslegung zugrunde gelegten Lenkeinschlag genau auf dieser verlängerten Mittellinie der treibenden Achse. Bei Ackerschleppern mit dem geforderten großen Lenkeinschlag am kurveninneren Rad sind die Lenkwinkelfehler beachtlich. Nur für einen bestimmten Lenkeinschlag ist also der Spurekreisradius im Links- und Rechts-einschlag gleich, während für alle anderen Lenkeinschläge Abweichungen vom mathematisch exakten Spurekreisradius $2R$ sich einstellen.

Lenkgeometrie

Die geometrischen Zusammenhänge zwischen den Lenkwinkeln für das innere und äußere Vorderrad und den Hauptmaßen der Ackerschlepper sind in Bild 5 dargestellt. Da es sich hier um sehr kleine Fahrgeschwindigkeiten gegenüber anderen Kraftfahrzeugen handelt, ist der Schräglaufwinkel Null gesetzt. Der Vorspurwinkel γ kann berücksichtigt werden, indem $\gamma/2$ zu dem Einschlagwinkel α des kurvenäußeren Rades addiert und von dem Einschlagwinkel β des kurveninneren Rades subtrahiert wird. Da der Vorspurwinkel sich in der Größenordnung von $\gamma = 0,5^\circ$ bis $1,5^\circ$ bewegt, wird vorerst sein Einfluß zurückgestellt.

Im Bild 5 ist O der gemeinsame Krümmungsmittelpunkt für alle Räder. Die exakten Lenkwinkel α und β können diesem Bild für einen bestimmten Lenkeinschlag sofort entnommen werden. Mit den eingetragenen Bezeichnungen sind die folgenden geometrischen Beziehungen leicht zu erkennen:

$$R = r_0 + c \quad (1)$$

$$\cot \alpha = \frac{r_m + \frac{b}{2}}{l} \quad (2)$$

$$\cot \beta = \frac{r_m - \frac{b}{2}}{l} \quad (3)$$

Der äußere Achsschenkelbolzenabstand r_0 vom Krümmungsmittelpunkt O läßt sich durch folgenden Ausdruck ersetzen:

$$r_0 = \sqrt{l^2 + \left(r_m + \frac{b}{2}\right)^2} \quad (4)$$

Löst man Gl. (2) nach $r_m + \frac{b}{2}$ auf, so ergibt sich:

$$r_m + \frac{b}{2} = l \cdot \cot \alpha$$

Diese beiden letzten Ausdrücke werden in die Gl. (1) eingeführt:

$$R = c + \sqrt{l^2 + l^2 \cdot \cot^2 \alpha} \quad (5)$$

oder

$$R = c + l \sqrt{1 + \cot^2 \alpha} \quad (6)$$

Die Achsschenkelänge c ist gegenüber dem Radstand l sehr klein ($c = 55$ bis 120 mm). Da weiter der Spurekreisradius R durch die Raddrucklinie gegeben ist, wird die Achsschenkelänge c durch den Radsturz vermindert. Diese Verminderung ist dem Laufradhalbmesser und dem Sinus des Radsturzes proportional und kann bis zu 50% betragen. Aus diesem Grunde darf c in Gl. (6) vernachlässigt werden. Der dadurch entstehende Fehler überschreitet auch bei größeren Einschlägen bei der Berechnung des Spurekreisradius im allgemeinen nicht 5%. Unter Vernachlässigung von c ist dann der Spurekreisradius R nur noch eine Funktion des Radstandes l und des Einschlagwinkels α :

$$R = l \sqrt{1 + \cot^2 \alpha} \quad (6a)$$

Dieser Zusammenhang ist im Bild 6 dargestellt, indem nach Gl. (8) der Wert für α durch β ersetzt ist.

Die Abhängigkeit der Lenkwinkel α und β untereinander läßt sich aus den Gl. (2) und (3) ermitteln. Durch Subtraktion dieser beiden Gleichungen ergibt sich:

$$\cot \alpha - \cot \beta = \frac{b}{l} \quad (7)$$

Hieraus

$$\cot \alpha = \frac{b}{l} + \cot \beta \quad (8)$$

Die Einschlagwinkel unterscheiden sich also nur durch ein additives Glied, nämlich das Verhältnis von Achsschenkelbolzenabstand zum Radstand (Bild 7). Diese Abhängigkeit zwischen α und

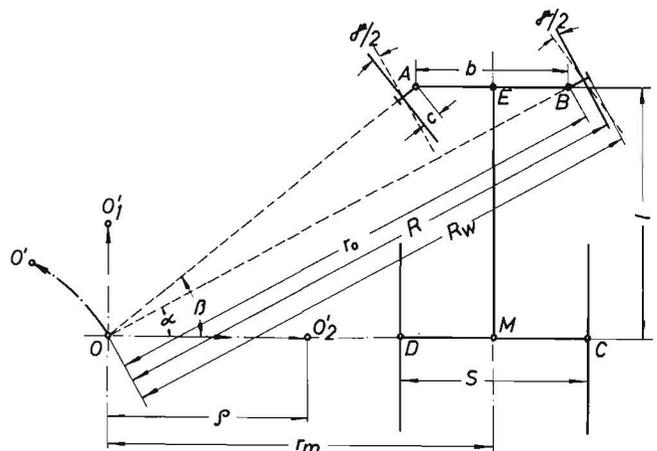


Bild 5: Bestimmungsgrößen für die Spur- und Wendekreisradius. Einfluß des Vorspurwinkels. Auswanderung der Bahn des Krümmungsmittelpunktes

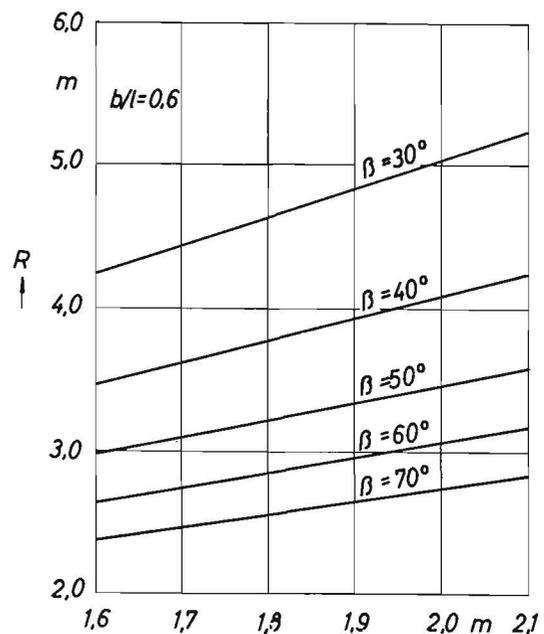


Bild 6: Spurekreisradius in Abhängigkeit des Radstandes und des Einschlagwinkels am kurveninneren Rad bei idealisiertem Lenkverhältnis für $b/l = 0,6$

β läßt sich auch aus den einzelnen Bildern erkennen. Aus Gl. (7) ergibt sich:

$$\tan \beta = \frac{l \cdot \tan \alpha}{l - b \cdot \tan \alpha} \quad (9)$$

An ausgeführten Ackerschleppern ist das Verhältnis $b/l = 0,55$ bis $0,68$. Für das meist vorliegende Verhältnis $b/l = 0,60$ ist für

$\beta = 10^\circ$	20°	30°	40°	50°	60°
$\alpha = 8^\circ 32'$	$16^\circ 39'$	$23^\circ 12'$	$29^\circ 6'$	$34^\circ 48'$	$40^\circ 15'$

Bei Änderung der Spurweite S und konstantem Radstand l wird natürlich auch das Verhältnis b/l größer, weil bei ausziehbaren

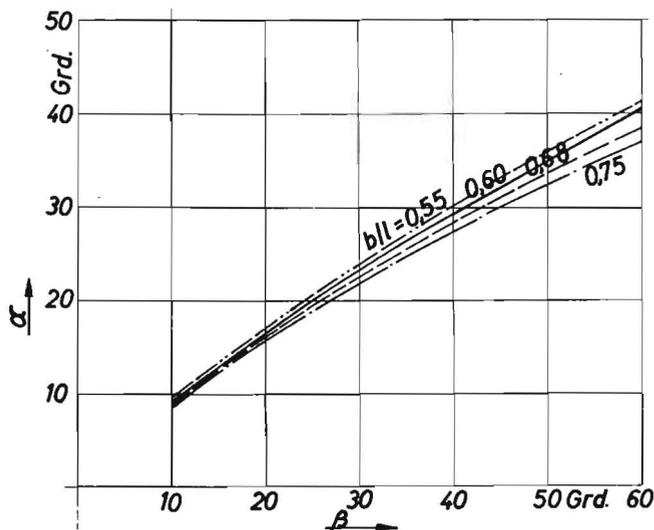


Bild 7: Abhängigkeit des kurvenäußeren Lenkwinkels zum kurveninneren bei verschiedenen Verhältnissen b/l

Lenkachsen sich der Achsschenkelbolzenabstand b vergrößert. Damit ist auch eine Änderung der Lenkwinkel zueinander verbunden, die sich nach Gl. (8) oder (9) leicht berechnen läßt.

Ergebnisse

Mit den gemachten Voraussetzungen, also geringe Fahrgeschwindigkeit und einwandfreies Abrollen der Räder, ergeben die Gl. (6) bis (9) die Größe des Spurkreishalbmessers R und die Abhängigkeit der Lenkwinkel α und β untereinander. Hierbei wandert der Krümmungsmittelpunkt O auf der verlängert gedachten geometrischen Mittellinie der Hinterachse. Diese lenkgeometrischen Beziehungen werden durch eintretende Winkel- und Pendelfehler beeinflusst. Dieser störende Einfluß wird in einer folgenden Betrachtung näher untersucht.

In der Landwirtschaft ist beim Wenden der Ackerschlepper ein kleiner Spurkreishalbmesser R sehr erwünscht. Diesem Verlangen

Forschungsrat konstituiert

Am 22. Januar fand in Bad Godesberg die konstituierende Sitzung des aus dem Land- und Forstwirtschaftlichen Forschungsrat e.V. hervorgegangenen Forschungsrates für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten e.V. statt. Zum Vorsitzenden des Vorstandes wurde Prof. Dr. Dr. Dr. h. c. MANTEL, Freiburg, gewählt.

Nach der neuen Satzung des Forschungsrates für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten haben die einzelnen wissenschaftlichen Gesellschaften (insgesamt 12) das Vorschlagsrecht für die Berufung der wissenschaftlichen Mitglieder. Vom Zentralausschuß der Deutschen Landwirtschaft, dem Deutschen Forstverein, der Deutschen Gesellschaft für Ernährung werden die Vertreter der Praxis vorgeschlagen.

Seine Hauptaufgaben wird der Forschungsrat für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten neben der Fortführung der bisherigen Tätigkeit insbesondere in der Zusammenfassung aller wissenschaftlichen Institutionen der von ihm repräsentierten Fachgebiete zu einem gemeinsamen Mittelpunkt sehen.

kann leicht nachgekommen werden, wenn Möglichkeiten zur Verkleinerung des Spurkreishalbmessers R vorhanden sind. Die Überlegungen hierzu führen auf die Verlegung von R längs der gedachten Hinterachslinie in Richtung zum Schlepper. Als Grenzfall tritt hierbei die Lage des Krümmungsmittelpunktes O in den Schwerpunkt der Abstützfläche eines Hinterrades. In diesem Fall dreht das Rad auf der Stelle.

Dieser Zustand läßt sich nur durch Festhalten des kurveninneren Hinterrades erzielen, also durch sogenannte Lenkbremsen. In dieser Stellung wird überschlägig der kurveninnere Einschlagwinkel $\beta = 90^\circ$ und nach Gl. (8) der Wert $\cot \alpha = b/l$. Für $b/l = 0,60$ nach Gl. (6a) ergibt sich der sehr kleine Wendehalbmesser $R \approx 1,17 \cdot l$.

Zusammenfassung

Bei der Auslegung von Ackerschlepperlenkungen geht man zunächst von rein geometrischen Beziehungen aus. Fordert man, daß die Räder bei Kurvenfahrt frei rollen, dann ist dafür zu sorgen, daß alle Räder einen gemeinsamen Krümmungsmittelpunkt haben. Es ist ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen den geometrischen Größen der Lenkung und den Schlepperabmessungen festgestellt. Dabei ergab sich, daß für den Idealfall der Lenkung sich die freien Schenkel der Lenkwinkel in einem Punkt auf einer Geraden schneiden. Für Ackerschlepper ist diese Gerade die verlängerte Mittellinie durch die Hinterachse. Zur Erzielung eines wünschenswerten kleinen Spurkreishalbmessers kann der Krümmungsmittelpunkt mit Hilfe der Lenkbremsen auf dieser Geraden zum Schlepper hin verlegt werden.

Schrifttum

- [1] FIALA, E.: Kraftkorrigierte Lenkgeometrie. ATZ 61 (1959) Heft 2
- [2] SCHILLING, E.: Landmaschinen, 1. Band: Ackerschlepper. Köln 1955
- [3] KAMM, W.: Das Kraftfahrzeug, Berlin 1936
- [4] BOSCH: Kraftfahrtechnisches Handbuch. Düsseldorf 1957

Résumé

Erhard Schilling: "A Contribution to the Geometry of Steering Mechanisms of Agricultural Tractors."

The design of steering mechanisms for agricultural tractors starts from purely geometrical relationships. If it is desired that the wheels shall roll freely when traversing curves, care must be taken to ensure that all wheels have a common centre of curvature. A relationship between the geometrical magnitudes of the steering mechanism and the tractor dimensions is postulated. It was found from this that, ideally, the free sides of the angle of deflection intersect at a point on a straight line. In the case of agricultural tractors this straight line is the extended centre line through the rear axle. In order to obtain a desirable small radius of the wheel tracks, the centre of curvature is transposed onto this straight line by the aid of the steering brakes.

Erhard Schilling: «La géométrie de la direction des tracteurs.»

Lors de la conception des directions des tracteurs agricoles, on part d'abord de relations purement géométriques. Si l'on exige que les roues tournent librement dans les virages, il faut prévoir que les courbes décrites par toutes les roues ont un centre commun. On a constaté qu'il existe des rapports logiques entre les grandeurs géométriques de la direction et les dimensions du tracteur. Une direction idéale exige que les côtés libres des angles de direction se coupent en un point sur une droite. Cette droite est dans le cas des tracteurs agricoles le prolongement de la ligne médiane passant par le pont arrière. Afin d'obtenir un rayon de braquage aussi réduit que possible, il faut déplacer, à l'aide des freins de direction, le centre des courbes sur cette droite et le rapprocher du tracteur.

Erhard Schilling: «Contribución a la geometría de la conducción de tractores agrícolas.»

En el diseño de la dirección de tractores agrícolas se sale en primer lugar de las relaciones geométricas. Deseándose que las ruedas giren libremente en la marcha por curvas, hay que cuidar de que todas las ruedas tengan un centro de giro común. Se ha establecido una dependencia que hace ley entre los valores geométricos de la dirección y las dimensiones del tractor, resultando que en el caso ideal de una dirección los brazos libres de los ángulos de dirección se cruzan en un punto de una línea recta. En los tractores agrícolas esta línea recta es la prolongación de la mediana por el eje trasero. Para conseguir el radio pequeño deseable de la rodada, se desplazará el centro de giro en esta recta en dirección al tractor, con ayuda de los frenos de dirección.