

Untersuchung eines Anbaupfluges mit zentraler Arbeitsbreitenverstellung und realem Führungspunkt

Von Ludger Frerichs, Stuttgart-Hohenheim*)

DK 631.312:531.2

Nahezu alle europäischen Pflugerhersteller bieten heute Pflüge mit zentraler stufenloser Breitenverstellung an. Die konstruktiven Lösungen sind z.T. sehr unterschiedlich und zeigen verschiedenes Verhalten im Feld. Abweichend von der herkömmlichen Anlenkung im beweglichen Dreipunktgestänge hat die Fa. KRONE eine feste Drehachse am Pflug vorgegeben, um die der Hauptrahmen frei pendeln kann. Durch diese konstruktive Besonderheit unterscheidet sich dieser Pflug deutlich von anderen Konzepten. Deshalb wurde er im Rahmen dieser Arbeit näher untersucht. Die Ergebnisse der Analyse der Verstellkinematik, die Erkenntnisse zur Lage der Zuglinie sowie zur Stabilität der Pflugführung im Boden werden im Rahmen dieser Arbeit (im Vergleich mit anderen Konzepten) dargestellt. Darüber hinaus wird über die zugehörigen Ergebnisse praktischer Feldversuche berichtet.

1. Einleitung

Für die Grundbodenbearbeitung ist der Pflug trotz vielfacher Kritik und trotz vieler Alternativvorschläge in unseren Breiten auch heute noch das wichtigste und am häufigsten eingesetzte Gerät. Neben seinem großen Vorteil, daß er auf allen Böden und bei fast allen Bodenzuständen Verwendung finden kann, verdankt er seine herausragende Bedeutung auch der ständigen technischen Weiterentwicklung. Zu nennen sind hier der sehr hohe technische Stand der Drehwerke der heute vorwiegend produzierten Volldrehpflüge, die Entwicklung von Streifen- und Rautenkörpern und auch die Verwendung hochwertiger Werkstoffe für Rahmen und Körper mit der dadurch möglichen Hohlrahmenbauweise. Darüber hinaus konnten die Einstellvorrichtungen für die Vorderfurchenbreite und für die Lage der Zuglinie durch Vereinfachung verbessert werden.

Die auffälligste Entwicklung der letzten Jahre ist aber wohl die zentrale stufenlose Breitenverstellung. Es gibt heute kaum noch einen Hersteller, der nicht einen Verstellpflug anbietet. Davon konnte man sich auf den letzten europäischen Ausstellungen überzeugen. Mögen es z.T. auch Wettbewerbsgründe sein, welche die Hersteller dazu veranlassen, einen solchen Pflug anzubieten, so sind doch insbesondere für größere landwirtschaftliche Betriebe eine Reihe ackerbaulicher und – bei einem vernünftigen Anschaffungspreis – auch ökonomischer Vorteile zu erkennen.

Die Pflugerhersteller haben konstruktive Lösungen entwickelt, die sich sowohl bezüglich der Kinematik, der auftretenden Kräfte als auch der Pflugführung deutlich unterscheiden. Zur Ermittlung der qualitativen und der quantitativen Unterschiede wurden im Rahmen einer Forschungsarbeit¹⁾ die Verstellpflüge der Firmen RA-BEWERK, LEMKEN, KVERNELAND und KRONE untersucht²⁾.

*) Dipl.-Ing. L. Frerichs ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Busse) des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim.

U.a. wurde am CAD-System CATIA³⁾ die Kinematik der Pflüge analysiert, und in zahlreichen Feldversuchen wurden die tatsächlichen Auswirkungen der konstruktiven Unterschiede gemessen. Über einige Ergebnisse wurde bereits berichtet [1]. An dieser Stelle soll auf Ergebnisse eingegangen werden, die an einem Verstellpflug mit realem Führungspunkt (Krone) gewonnen wurden. Dieser Pflug nimmt eine Sonderstellung ein, weil hier unabhängig von der Breitenverstellung eine grundsätzlich neuartige Lösung insbesondere der Pflugführung realisiert wurde. Der Pflug wird wie üblich von Ober- und Unterlenkern getragen. Die seitliche Führung erfolgt aber nicht in dem von den frei beweglichen Lenkern gebildeten räumlichen Gelenkgetriebe, sondern in einer festen Drehachse am Pflug. Die Unterlenker sind dabei festgestellt.

Im folgenden wird zunächst der untersuchte Pflug vorgestellt. Anschließend wird auf einige grundsätzliche Fragen zur heute üblichen Pfluganlenkung und zur Lage der Zuglinie eingegangen sowie das Führungsverhalten verschiedener Pfluganlenkungen beim Durchfahren einer nassen, weichen Stelle behandelt. Zudem sind für verschiedene Ursprungskurven die von den Pflugkörpern erzeugten Schleppkurven ermittelt worden. In einem weiteren Abschnitt werden die Zusammenhänge bei der Breitenverstellung erläutert sowie die zugehörigen Ergebnisse der Feldversuche wiedergegeben und kommentiert.

2. Vorstellung des Pfluges mit realem Führungspunkt

Untersucht wurde ein vierschariger Anbaupflug mit zentraler Arbeitsbreitenverstellung der Fa. Krone, Typ "Mustang 140/4 SLV", Gesamtarbeitsbreite ca. 1,20 m bis 2,00 m, Nennarbeitsbreite je Körper 40 cm, Bild 1. Der Pflug wird in die Dreipunkthydraulik gehängt und – da heute üblicherweise mit einer Regelhydraulik gearbeitet wird – auch beim Pflügen vom Schlepper getragen. Allerdings sind hier – abweichend von der sonst bei Anbaupflügen üblichen Pflugführung – die Unterlenker festgestellt. Das Gelenkgetriebe bildet also keinen ideellen Führungspunkt. Stattdessen befindet sich am Pflug hinter dem Drehwerk eine senkrecht stehende Drehachse, die in der Draufsicht einen realen Führungspunkt darstellt (Punkt D in Bild 1). Im folgenden wird diese Anlenkungsart auch als drehende Anlenkung bezeichnet. Die drehende Anlenkung dieses Anbaupfluges ist der Anlenkung bei größeren Aufsattel- und Anhängerpflügen ähnlich. Der Pflug kann um die von der Mittellinie des Schleppers um 30 mm zur Landseite versetzte Achse, je nach Bewegung des Schleppers und je nach Bodenzustand, frei pendeln. Die Wirkungslinie der resultierenden Kraft zwischen Schlepper und Pflug liegt dadurch auf der zugkraftmäßig günstigen Seite. Diese Feststellung wird in Abschnitt 3 näher begründet.

1) Dieser Beitrag wurde im Rahmen eines von der DFG finanzierten Forschungsvorhabens erstellt. Wir bedanken uns für die Bereitstellung der erforderlichen Mittel.

2) Den Firmen Krone, Kverneland, Lemken und Rabewerk sei an dieser Stelle für die zur Verfügung gestellten Pflüge herzlich gedankt.

3) Unser Dank gebührt auch der Fa. IBM, Stuttgart, die uns durch Beratung und Überlassung von Rechenzeit in Verbindung mit der Nutzung von CATIA sehr geholfen hat.

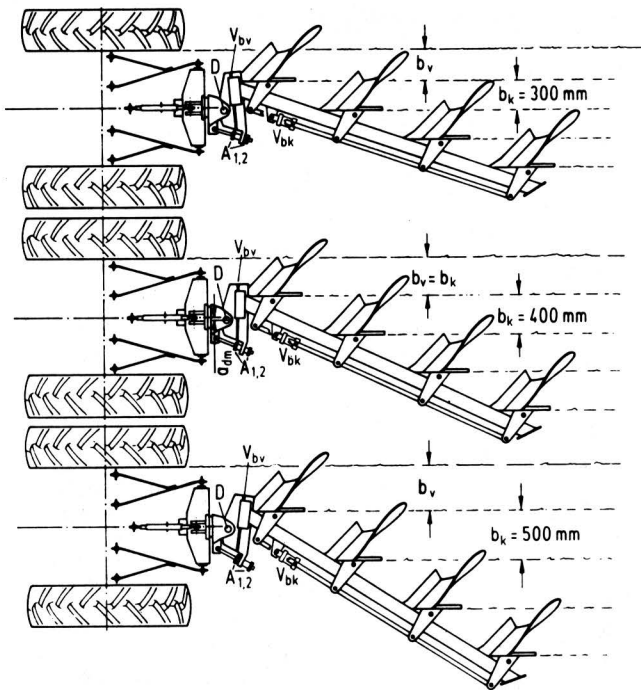


Bild 1. Pflug mit zentraler stufenloser Arbeitsbreitenverstellung und realem Führungspunkt, Krone "Mustang 140/4 SLV", bei drei verschiedenen Arbeitsbreiten.

$A_{1,2}$	verstellbare Anschläge	D	senkrechte Drehachse
a_{dm}	Abstand zwischen Drehachse und Schlepperlängsachse	V_{bk}	Verstellung der Körperarbeitsbreite
b_k	Körperarbeitsbreite	V_{bv}	Verstellung der Vorderfurchenbreite
b_v	Vorderfurchenbreite		

Die seitliche Pendelbewegung des Hauptrahmens um die senkrechte Drehachse wird durch zwei Anschläge A_1 und A_2 begrenzt, so daß der Pflug ungefährdet ausgehoben und transportiert werden kann. An der speziell konzipierten Anschlagvorrichtung können das benötigte Spiel zwischen den Anschlägen durch deren Einzel-einstellung und die allgemeine Lage durch deren gemeinsame Verstellung stufenlos variiert werden, so daß beim Pflügen der Rahmen an keinem Anschlag anliegt, **Bild 2**. Die Einstellung hängt davon ab, wie stark sich die Anlagen am Pflugkörper in die Furchenwand hineindrücken und wie gleichmäßig der Boden ist, also unter welchem Winkel sich der Rahmen zum Vordergestell einpendelt und wie stark die Pendelbewegungen sind. Der Pflug besitzt somit keine direkte Möglichkeit zur Zuglinieneinstellung. Falls gewünscht, könnten die Anschläge allerdings auch ohne Spiel festgestellt und die Unterlenker freigegeben werden. In diesem Fall hätte man einen konventionellen Pflug, an dem die Lage der Zuglinie über die gemeinsame Verstellung der Anschläge eingestellt würde. Die Anpassung der Arbeitsbreite des ersten Körpers an die der hinteren Körper (Vorderfurcheneinstellung) erfolgt mit Hilfe einer Spindel oder eines Hydraulikzylinders an einer Parallelführung hinter der senkrechten Drehachse (V_{bv} in **Bild 1**).

Die vier Körper sind — wie bei allen Pflügen, die man in der Arbeitsbreite zentral verstellen kann — über ein Parallelgrammgestänge miteinander verbunden. In **Bild 1** ist der Pflug in drei Einstellungen gezeigt. Die Verstellung der Arbeitsbreite erfolgt mit Hilfe einer Spindel oder eines Hydraulikzylinders (V_{bk}) zwischen Lenkstange und Hauptrahmen. Bei Betätigung der Breitenverstellung verdrehen sich die Körper um ihre Hochachsen gegenüber dem Hauptrahmen. Da sich — zumindest näherungsweise — die Anlagen immer parallel zur Fahrtrichtung stellen, schwenkt der gesamte Hauptrahmen um die senkrechte Drehachse, bis die Körper gerade stehen und in der gewünschten Breite arbeiten. Wird der gesamte Verstellbereich ausgenutzt, ist ein relativ großes Spiel an der Anschlagvorrichtung ($A_1 - A_2$) einzustellen.

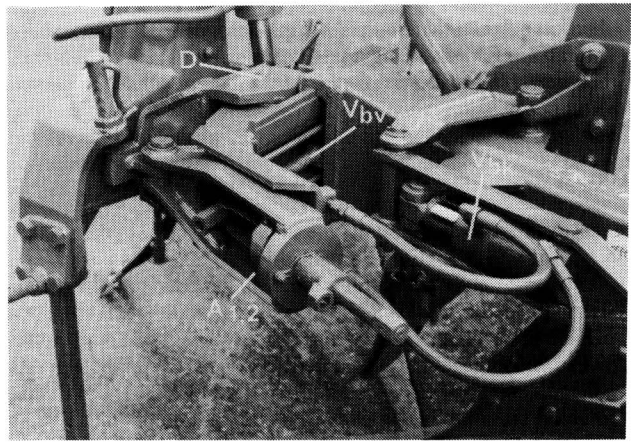


Bild 2. Besondere Merkmale des untersuchten Pfluges: senkrechte Drehachse D, Anschlagvorrichtung $A_{1,2}$, Hydraulikzylinder für die Arbeitsbreiteneinstellung V_{bk} und Spindel für die Einstellung der Vorderfurchenbreite V_{bv} (Werkbild Krone).

3. Grundsätzliches zur Lage der Zuglinie

3.1 Die Auswirkungen unterschiedlicher Lagen der Zuglinie

Zunächst sollen unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Arten der Pflugführung einige grundsätzliche Fragen zur Problematik der Verbindung von Schlepper und Pflug untersucht werden. In der Vertikalebene — der seitlichen Ansicht — ergeben sich beim untersuchten Pflug praktisch keine Änderungen gegenüber herkömmlichen Pflügen. Die Anbaupflüge werden in das Dreipunktgestänge gehängt und wegen der heute üblichen Regelhydraulik auch beim Pflügen vom Schlepper getragen. Zwar sind größere Anbaupflüge zusätzlich mit einem Stützrad ausgerüstet, das je nach Einstellung ebenfalls Vertikalkräfte aufnimmt, die Pflugführung in der Vertikalebene hängt aber vorwiegend von der Kraftheberregelung ab.

In der Horizontalebene müssen Anbaupflüge beweglich sein, damit die wechselnden Kräfte durch unterschiedliche Bodenbeschaffenheiten nicht in unzulässigem Maße auf den Schlepper übertragen werden. Während im hier behandelten Fall durch die feste Drehachse der Angriffspunkt der auftretenden Kräfte und Momente am Schlepper fest vorgegeben ist, bewegen sich bei der herkömmlichen Anlenkung das Dreipunktgestänge und der Angriffspunkt frei. Die Lage des Gestänges ist von den resultierenden Kräften und Momenten zwischen Schlepper und Pflug abhängig, die Lage der Resultierenden wiederum von der Stellung des Gestänges. Dabei ist die Resultierende eine räumliche Kraftschraube aus Moment und Kraft [2], die sich in der Horizontalebene aber auf eine einzelne Kraft reduzieren läßt [3].

Die Wirkungslinie dieser resultierenden Kraft ist die Zuglinie. Die Lage der Zuglinie beeinflusst entscheidend die Seitenkraft an der Vorderachse, den Zugkraftbedarf und die Pflugführung in der Horizontalebene. Daß die Seitenkraft an der Vorderachse dann zu Null wird, wenn in der Horizontalebene — in der Draufsicht — die Zuglinie die Mitte der Verbindungslinie der Radaufstandspunkte der Hinterräder schneidet, läßt sich aus einer relativ einfachen Überlegung herleiten, **Bild 3**.

Angenommen sei ein Allradsschlepper, der mit zugeschaltetem Allradantrieb und freien Differentialgetrieben in Vorder- und Hinterachse pflügt und an dem die eingezeichnete resultierende Kraft F_{Res} angreift. Der Schlepper steht schräg mit den rechten Rädern in der Furche, **Bild 3a**. Die Kräfte an den Rädern sollen näherungsweise jeweils im Zentrum der Radaufstandsfläche angreifen. Wegen der Differentialwirkung werden jeweils rechts und links an den Achsenden die gleichen Momente und bei gleichem Reifendurchmesser auch die gleichen Kräfte in Fahrtrichtung übertragen.

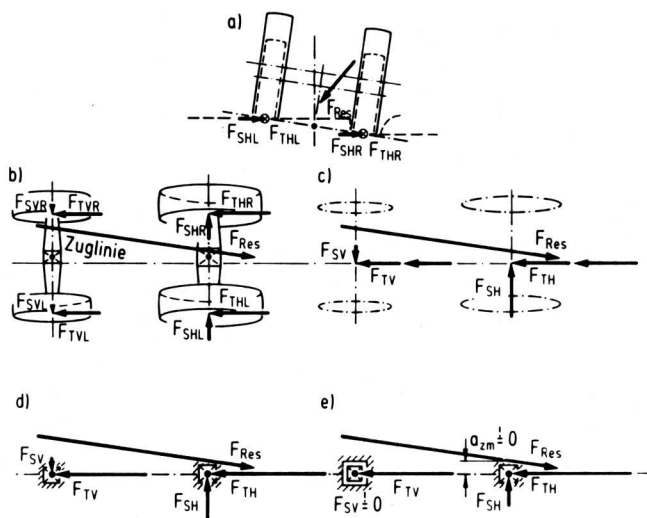


Bild 3. Ermittlung der Lage der Zuglinie, für die kein Seitenzug an der Vorderachse auftritt; Allradantrieb, Differentialgetriebe nicht gesperrt.

Die Achslastverteilung und damit die Aufteilung der Triebkräfte nach vorn und hinten (F_{TVR} , F_{TVL} und F_{THR} , F_{THL}) ist hier ohne Bedeutung und deshalb willkürlich gewählt. Auch die Aufteilung der Seitenkräfte je Achse (F_{SHR} und F_{SHL} bzw. F_{SVR} und F_{SVL}) hat keinen Einfluß, Bild 3b.

Wirken jeweils an beiden Achsenden gleiche Triebkräfte, kann man diese – ohne daß ein Moment entsteht – mittig zwischen den Radaufstandspunkten zu einer Kraft je Achse (F_{VH} und F_{TH}) zusammenfassen, Bild 3c. Auch die Seitenkräfte je Achse können in diese Punkte verschoben und zusammengefaßt werden. In der Draufsicht ist bei einem in der Furche stehenden Schlepper die Mitte der Verbindungslinie der Radaufstandspunkte nicht die Achsmittte! Die so angenommenen Verhältnisse lassen sich auf ein einfaches mechanisches Modell reduzieren. Da in den beiden Kraftangriffspunkten jeweils Kräfte in Fahrtrichtung und quer dazu wirken, liegt theoretisch ein statisch überbestimmter Balken vor, an dessen Enden sich feste Gelenklager befinden, Bild 3d. Die Forderung lautet aber: $F_{SV} = 0$. Damit ändert sich die Lagerung der Vorderachse in ein verschiebliches Gelenklager und die Balkenlagerung ist somit statisch bestimmt, Bild 3e. Bildet man nun die Summe der Momente um den hinteren Lagerpunkt, so muß der Abstand a_{zm} zwischen der Zuglinie und dem hinteren Lagerpunkt null sein, wenn keine Seitenkraft an der Vorderachse auftreten soll. In der Horizontalebene muß die Zuglinie die Verbindungslinie zwischen den Radaufstandspunkten in der Mitte schneiden. Es hat keinen Einfluß, in welcher Höhe über dem Boden dies geschieht.

Pflügt der Schlepper aber mit gesperrtem Hinterachsdifferential, ändern sich die Gegebenheiten. Da dann an der Achse rechts und links nicht zwangsläufig gleiche Momente übertragen werden, greifen dort je nach Radlastverteilung und Triebkraftverhältnissen unterschiedliche Kräfte an. Normalerweise findet man in der Furche etwas bessere Triebkraftbeiwerte vor als auf der Landseite. Bei gleicher Radlast kann also in der Furche eine größere Kraft übertragen werden. Damit kann im Gleichgewichtszustand die Zuglinie näher am Furchenrad verlaufen ($a_{zm} > 0$), ohne daß Seitenzug an der Vorderachse auftritt. Dies verstärkt sich bei zugeschalteter Vorderachsdifferentialsperrung. Wie man heute allerdings weiß, ist das Fahren in der Furche ohnehin – und der Einsatz der Differentialsperre dabei insbesondere – kritisch zu beurteilen. Durch das gesperrte Differential verringert sich der Schlupf am Landrad, während sich der Schlupf des Furchenrades erhöht. Der verstärkte Schlupf des hinteren und eventuell des vorderen Furchenrades führt in Verbindung mit den großen Schleppermassen zum Verschmieren und Verdichten der Furchensohle.

Van der Beek [4] hat mit Messungen nachgewiesen, daß es aber nicht unbedingt richtig ist, den Seitenzug an der Vorderachse vollständig zu beseitigen. Die Verlagerung der Zuglinie führt zu Unterschieden im Zugkraftbedarf des Pfluges. Zieht die Vorderachse stärker zum bereits Gepflügten hin – verschiebt sich also die Zuglinie in Richtung Furche – verringert sich der Zugkraftbedarf des Pfluges. Die Ursachen hierfür liegen in den abnehmenden Reibkräften an den Pflugkörperanlagen. Je weiter die Zuglinie von der Mittellinie des Schleppers zur Furchenseite verlagert wird, umso kleiner wird die Kraft zwischen Anlage und Furchenwand und damit auch die Anlagenreibkraft (s.a. Abschnitt 4). Die zunehmende Rollreibung an den Vorderrädern, die durch das notwendige Gegenlenken entsteht, ist erheblich kleiner als die Abnahme der Anlagenreibung.

Unterschiedliche Lagen der Zuglinien beeinflussen aber auch die Pflugführung in der Horizontalebene. Durch die Verringerung der Kraft zwischen Anlage und Furchenwand – bei der Verlagerung der Zuglinie zur Furche hin – verschlechtert sich die Seitenführung des Pfluges. Im Extremfall löst sich die Anlage von der Furchenwand, und der Pfluglauf ist instabil. Wird bedingt durch die entgegengesetzte Verlagerung der Zuglinie dagegen die Anlagenkraft zu groß, so ergeben sich vor allem bei geringen Arbeitstiefen deswegen Probleme bezüglich der Seitenführung, weil die Furchenkante stark eingedrückt wird.

Das Verlagern der Zuglinie von der Mitte der Verbindungslinie der Radaufstandspunkte zur Furchenseite hin führt also zu einem geringeren Zugkraftbedarf, wird aber durch einen zu großen Seitenzug an der Vorderachse bzw. durch eine nicht ausreichende seitliche Führungsstabilität des Pfluges begrenzt. Jedoch ermöglicht ein geringerer Zugkraftbedarf eine größere reale Geschwindigkeit und damit eine größere Flächenleistung, verbunden mit einem geringeren flächenbezogenen Kraftstoffverbrauch.

3.2 Zur Lage des Kraftangriffspunktes am Schlepper

Je nach Kombination von Schlepper und Pflug, d.h. je nach Schlepper- und Pflugabmessungen und je nach Konstruktion und Einstellung der Kopplungsglieder, ergibt sich eine veränderte Lage der Zuglinie. Bestimmt wird die Lage durch die Angriffspunkte am Schlepper und am Pflug. Am Pflug ist der Angriffspunkt aus früheren Untersuchungen etwa bekannt [2]. Wo die Resultierende am Schlepper angreift, ist bei der herkömmlichen Anlenkung mit freien Unterlenkern aus der Lage des Gestänges nur abzuschätzen. Das Gelenkgetriebe besteht nämlich nicht nur aus den Unterlenkern und dem Oberlenker, sondern zudem aus den Hubstreben zwischen den Hubarmen und den Unterlenkern. Es handelt sich also insgesamt um ein mehrfach aus einzelnen Viergelenkgruppen zusammengesetztes räumliches Getriebe.

Vereinfachend wird häufig angenommen, daß in der Draufsicht die Wirkungslinie der resultierenden Kraft zwischen Schlepper und Pflug durch den Momentanpol der Unterlenker, d.i. der Schnittpunkt der nach vorn verlängerten Unterlenker, verläuft. Der Momentanpol wird dabei als ideeller Führungspunkt oder Zugpunkt bezeichnet. Die Annahme ist allerdings nur richtig, wenn ausschließlich die Unterlenker die resultierende Kraft auf den Schlepper übertragen, also die Hubstreben und der Oberlenker kraftfrei sind. Beim Pflügen mit einem Anbaupflug in der Regelhydraulik wird aber ein nicht unerheblicher Teil der Kraft vom Oberlenker und von den normalerweise nach vorn geneigten Hubstreben aufgenommen. Man muß also für die Bestimmung der tatsächlichen Lage des ideellen Führungspunktes die Anlenkpunkte und Lage aller Gelenkglieder berücksichtigen. Es soll hier darauf verzichtet werden, für unterschiedliche Fälle beispielhaft den Führungspunkt zu errechnen. Dies könnte sich immer nur auf ganz bestimmte Abmessungen des Schleppers, des Pfluges und vor allem der Gelenkglieder beziehen. Zwar ist der Dreipunktbau nach DIN 9674 genormt, jedoch sind die Abmessungen insbesondere für jeden Schlepper anders, da die zulässigen Abweichungen relativ groß sind. Hinzu kommt, daß die Hubstreben und der Oberlenker in der Länge variabel sind sowie an mehreren Anlenkpunkten an Schlepper und Pflug angebracht werden können.

Ein Beispiel möge die Situation verdeutlichen. In **Bild 4** sind einige geometrische Kenngrößen des Dreipunktgestänges für 16 aktuelle Standardschlepper in der Leistungsklasse 30–85 kW (Gelungsbereich der Kategorie II nach DIN 9674) aufgetragen. Da der Schlepper bei der Pflugarbeit mit zwei Rädern in der Furche steht, dreht er sich je nach Arbeitstiefe um seine Längsachse zum Pflug und zur Horizontalebene. Damit verschieben sich in der Draufsicht die Gestängeglieder, die Anlenkpunkte und die Momentanpole. Angenommen wurde für die Erstellung des Bildes eine Arbeitstiefe von 0,25 m, eine Spurweite von 1,60 m und ein Hinterradradius von 0,75 m. Die Unterlenker stehen immer mittig, d.h. symmetrisch zur Längsachse, und unter einem Winkel von 90° zur Hochachse des Schleppers. Die Tragachse hat das Normmaß von 870 mm. Die Lage der Momentanpole der Unterlenker wurde für die 16 ausgewählten Schlepper eingetragen, und darunter eine Häufigkeitsverteilung des Abstandes der Unterlenker-Momentanpole von der Hinterachse angegeben. Die Schlepper stellen die aktuellen, bzgl. des Dreipunktgestänges unterschiedlichen Typen der Hersteller mit insgesamt 75 % Marktanteil in der oben genannten Leistungsklasse dar. Die geringe Anzahl kommt durch das heute übliche Baukastenprinzip und damit durch die Gleichheit von Baugruppen in verschiedenen Größenklassen zustande. Der Mittelwert der Momentanpole liegt 936 mm vor der Hinterachse, bzw. 1048 mm vor den vorderen Anlenkpunkten der Unterlenker am Schlepper. Ermittelt man in gleicher Weise diesen Wert mit den Nennmaßen der Gestängeglieder aus der Norm, so ergibt sich ein Abstand von 960 mm vor den Anlenkpunkten. Die Abweichungen vom Normwert entstehen durch das Bestreben der Schlepperhersteller, im oberen Leistungsbereich dieser Klasse auch Geräte der Kategorie III und im unteren Bereich der Klasse auch Geräte der Kategorie I anbauen zu können.

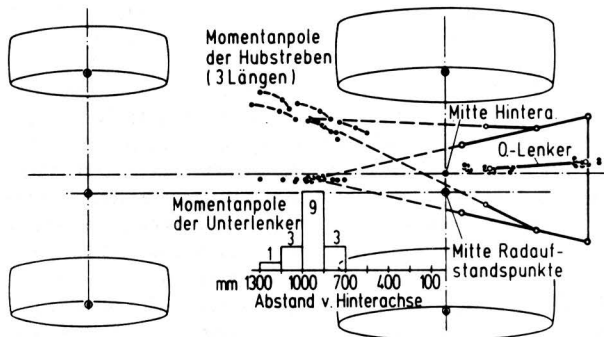


Bild 4. Momentanpole der Unterlenker und Hubstreben sowie Lage der Oberlenker in der Draufsicht für 16 verschiedene Schlepper der Kategorie II (DIN 9674).

In **Bild 4** sind auch die Momentanpole der Hubstreben für drei verschiedene Hubstrebenlängen bei gleicher Unterlenkerstellung eingetragen. Der Übersichtlichkeit halber ist dies hier nur für sechs Schleppertypen geschehen. Die Hubstreben-Momentanpole liegen etwa im gleichen Abstand vor der Hinterachse wie die Unterlenker-Momentanpole. Allerdings befinden sie sich zwischen 2,50 m und 3,50 m über dem Boden. In der Sicht auf den schräg stehenden Schlepper erscheinen sie stark seitlich zur Furche verschoben. Auch die Anlenkpunkte des Oberlenkers am Schlepper und am Pflug sind jeweils verschieden. Für die sechs ausgewählten Schlepper ist der Bereich der jeweils vorhandenen zwei oder drei Anlenkpunkte und für die vier untersuchten Pflüge der Bereich der vier oder fünf möglichen Anlenkpunkte eingezeichnet. Auch anhand dieser relativ kleinen Anzahl ist bereits die große mögliche Unterschiedlichkeit der Lage des Oberlenkers zu erkennen. Die Lage des Lenkers kann hier um etwa 10° unterschiedlich sein, d.h. die Wirkungslinie der Oberlenkerkraft kann sowohl rechts als auch links vom Unterlenker-Momentanpol verlaufen. Das in **Bild 4**

eingezeichnete Gestänge ist aus den mittleren Lenkerlängen und -lagen der 16 Schlepper gebildet. Unter Berücksichtigung unterschiedlicher Reifengrößen für verschiedene Leistungsklassen und unterschiedlicher Stellungen der Gestänge in vertikaler und horizontaler Richtung vergrößern sich die Streubereiche nochmals erheblich.

Die Lage des wirklichen ideellen Führungspunktes am Schlepper ist also nicht allgemeingültig für ein Dreipunktgestänge anzugeben. Die Abmessungen der Gelenkglieder und ihrer Anlenkpunkte streuen stark, und durch die Konstruktion des Gelenkgetriebes bedingt läßt sich für unterschiedliche Lenker- und Schlepperstellungen die exakte Lage nur aus den jeweiligen Kräften in den Getriebegliedern und den geometrischen Beziehungen berechnen. Daher können geometrisch bestimmbare Lagen wie die Momentanpole auch im besten Falle nur Anhaltspunkte für die tatsächliche Lage des ideellen Führungspunktes darstellen.

Um die optimale Pflugeinstellung zu erreichen – unter Berücksichtigung der bisherigen Ausführungen sollte dabei die Zuglinie furchenseitig von der Mitte zwischen den Radaufstandspunkten verlaufen – muß bei der konventionellen Anlenkung also entweder eine möglichst einfache Einstellvorrichtung für die Veränderung der Gestängelage und der Zuglinie vorgesehen werden, oder aber man gibt sich ein mittleres Dreipunktgestänge vor und legt daraufhin seine Konstruktionsdaten fest. Beides ist auf dem Markt zu finden. Mit der senkrechten Drehachse des in Abschnitt 2 beschriebenen Pfluges und den festgestellten Unterlenkern ist in der Horizontalebene der Kraftangriffspunkt am Schlepper immer fest vorgegeben. Auch hier muß aufgrund von Erfahrungswerten die Lage der Drehachse gewählt werden. Durch die am untersuchten Pflug konstruktiv festgelegte Lage des Drehpunktes ergibt sich ständig eine zugkräftmäßig günstige Lage der Zuglinie, entweder mit Seitenzug an der Vorderachse (ohne Differentialsperre) oder ohne Seitenzug (mit eingeschalteter Differentialsperre). Mit der konstruktiven Vorgabe wird so der Praxis zwar die Pflugeinstellung aufgezwungen. Bedenkt man aber, wie Pflüge z.T. in der Praxis eingestellt werden, so muß dies kein Nachteil sein.

4. Auswirkung der unterschiedlichen Pflughanlenkung auf die Pflugführung

4.1 Auswirkung der Anlenkung beim Durchfahren einer weichen Stelle

Am Beispiel von zwei Einflußgrößen sollen die Auswirkungen der unterschiedlichen Pflughanlenkung auf die Pflugführung verglichen werden. Zunächst wird die wechselnde Verformbarkeit des Bodens und das daraus resultierende mehr oder weniger starke seitliche Eindringen der Anlagen in die Furchenwand behandelt. In Abschnitt 4.2 folgt eine Untersuchung der unterschiedlichen Schleppkurven, die von den Körperanlagen beim Umfahren eines Hindernisses (oder auch bei Unachtsamkeit des Fahrers) durch seitliche Lenkbewegungen erzeugt werden. Dies sind gleichzeitig auch die beiden entscheidenden Gründe für die seitliche Bewegung eines Pfluges überhaupt. Die Problematik unterscheidet sich nicht wesentlich von der in den fünfziger Jahren diskutierten Tiefenführung der in der Vertikalebene frei beweglichen Schwingpflüge und der im Dreipunktgestänge schwimmend geführten Pflüge. Diese Verhältnisse wurden u.a. von Hain ausführlich untersucht [5].

Bild 5 und 6 zeigen als Skizze und in Diagrammform die veränderte Pflughanlenkung beim Durchfahren einer weichen Stelle im Boden für die drehende und für die konventionelle Anlenkung. Um die Übersichtlichkeit zu verbessern, ist in **Bild 5** der Pflug nur stilisiert dargestellt. Bei dieser theoretischen Untersuchung sollen die Annahmen gelten, daß sich der ideelle Führungspunkt bei der herkömmlichen Anlenkung im Momentanpol der Unterlenker befindet und daß der Schlepper nicht in der Furche steht. Für die Abmessungen des Unterlenkergestänges wurden die Mittelwerte aus **Bild 4** gewählt.

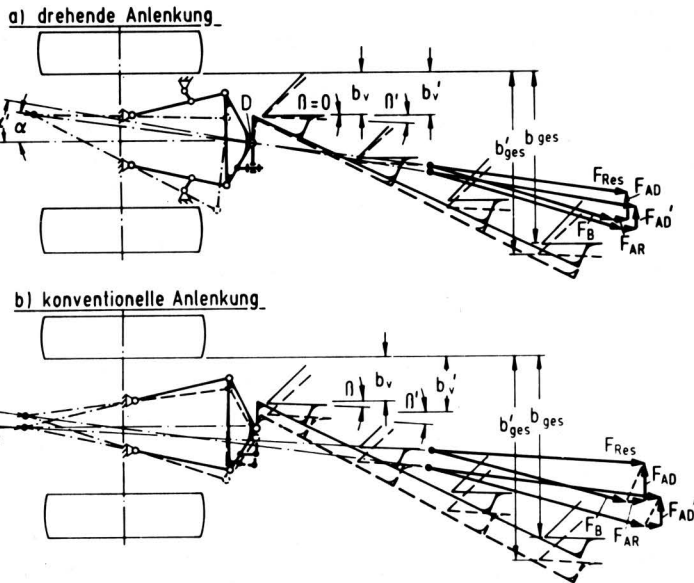


Bild 5. Auslenkung des Pfluges beim Durchfahren einer weichen Stelle im Acker für die drehende Anlenkung a und die konventionelle Anlenkung b; die durch einen Strich gekennzeichneten Größen gelten für die weiche Stelle.

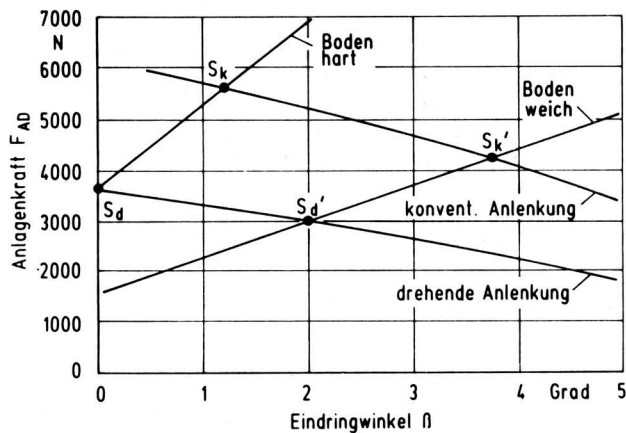


Bild 6. Anlagenkraft in Abhängigkeit vom Eindringwinkel der Anlagen in die Furchenwand für verschiedene Böden und Arten der Anlenkung.

Nach Messungen von Getzlaff [2] kann man die Bodenkraft auf den Pflugkörper — ohne Anlagenkraft — etwa im Abstand von $1/3$ der Arbeitsbreite von der Furchenwand und $1/3$ der Furchentiefe von der Furchensohle unter einem Winkel von 15° angreifend annehmen. Zur breitenabhängigen Bodenkraft F_B , die hier bei $1,60$ m Arbeitsbreite mit 30000 N angenommen wird, addiert sich vektoriell jeweils die seitliche Anlagenkraft F_{AD} und die Anlagenreibungskraft F_{AR} (Bild 5).

Der Reibbeiwert für die Anlagenreibungskraft ist zu $0,5$ bzw. der Reibungswinkel zu $26,6^\circ$ angesetzt. Eine Sohlenkraft ist nicht zu berücksichtigen, da moderne Anbaupflüge normalerweise keine Schleifsohle mehr besitzen. Die Kräfte an den Anlagen sind so angenommen, daß die resultierende Kraft an der gleichen Stelle angreift wie die Bodenkraft. Die Verhältnisse am Einzelkörper werden auf den gesamten Pflug übertragen. Damit greift die Gesamtergebnis resultierende mittig an der Verbindungslinie zwischen den — im vorliegenden Beispiel vier — Einzelkörper-Angriffspunkten an.

Zunächst sollen die Unterschiede zwischen den Anlenkungsarten in der Grundstellung — durchgezogene Linien in Bild 5 — herausgearbeitet werden. In der Grundstellung ist der Pflug so eingestellt, daß die Arbeitsbreite des ersten Körpers der Arbeitsbreite der hinteren Körper entspricht. Die resultierende Zuglinie verläuft durch den Kraftangriffspunkt am Pflug und durch den realen bzw. ideellen Führungspunkt am Schlepper. Der konstruktiv vorgegebene reale Drehpunkt im Falle der drehenden Anlenkung gibt die Lage der Zuglinie fest vor, Bild 5a. Sie verläuft unter dem Winkel α zur Fahrtrichtung furchenseitig von der Mitte zwischen den Radauflandspunkten. Diese Lage könnte allerdings mit einem Pflug mit konventioneller Anlenkung und vorhandener Zuglinien-Einstellvorrichtung auch erreicht werden. Die Unterlenker müßten dafür jedoch in ganz erheblichem Maße seitlich ausschwenken (strichpunktierte Stellung). Eine weitere seitliche Verlagerung des Pfluges aufgrund einer feuchten Stelle im Boden wäre jedoch kaum noch möglich, da die Unterlenker an den Anschlägen anliegen würden. Daher muß in diesem Vergleich für die konventionelle Anlenkung eine andere Einstellung gewählt werden; hier soll die in der Praxis häufig zu findende mittige Stellung der Unterlenker angenommen werden, Bild 5b. Pendeln aber die Unterlenker in dieser Grundeinstellung seitlich um die Mittellage — idealer Führungspunkt mittig eingestellt —, verändern sich gegenüber der drehenden Anlenkung Lage und Betrag der resultierenden Kraft F_{Res} . Wegen des flacheren Verlaufs der Zuglinie (α in 5b) vergrößert sich bei gleichbleibender Bodenkraft die resultierende Kraft F_{Res} , weil sich die Anlagenkräfte F_{AD} und F_{AR} verstärken.

In der vergleichenden Darstellung in Bild 5a und b ist der bereits genannte Vorteil der drehenden Anlenkung deutlich zu erkennen. Durch die weiter furchenseitig liegende Zuglinie ist die resultierende Kraft beim Pflug mit drehender Anlenkung kleiner (F_{Res} in 5a) als beim konventionellen Pflug mit mittiger Zugpunkteinstellung (F_{Res} in 5b).

Der genannte kleinere Anlagendruck bei der drehenden Anlenkung bedeutet, daß die Anlagen bereits in der Grundeinstellung weniger stark in die platisch verformbare Furchenwand hineindrücken als bei der konventionellen Anlenkung. Bei dem in der Grundeinstellung angenommenen harten Boden soll der Pflug mit drehender Anlenkung $b_{ges} = 1600$ mm breit arbeiten. Das heißt, die Körper stehen so zueinander und die Anlagen sind so geformt, daß bei diesem Eindringwinkel der Anlage in die Furchenwand gerade die Nennarbeitsbreite erreicht wird. In dieser Stellung wird der Winkel β zwischen der Anlage und der Furchenwand als Ersatzgröße für den nicht bekannten tatsächlichen Eindringwinkel mit Null Grad angenommen.

Sowohl Boden als auch Anlenkungsart bestimmen, wie tief die Anlagen in die Furchenwand eindringen. Je tiefer eine Anlage in den Boden eindringt, umso größer wird der Eindringwiderstand des Bodens. Und: je weiter der gesamte Pflug dadurch herumschwenkt, umso weiter verlagert sich die Zuglinie so, daß die Anlagenkraft F_{AD} kleiner wird. Dieser Zusammenhang ist in Bild 6 zu sehen. Aufgetragen ist hier die Anlagenkraft F_{AD} in Abhängigkeit vom Eindringwinkel β der Anlagen in die Furchenwand. Die zwei Geraden "Boden hart" und "Boden weich" kennzeichnen den wachsenden Eindringwiderstand des Bodens mit zunehmendem Eindringwinkel. In weicherem Boden steigt mit größerem Eindringwinkel der Eindringwiderstand und damit die benötigte Anlagenkraft nicht so stark an wie in hartem Boden. Die Ergebnisse von Druckstempelmessungen in einer Bodenrinne [6] wurden hier analog auf eine Anlage in der Furche übertragen. Für die relativ kleinen Winkeländerungen wird eine lineare Abhängigkeit der Anlagenkraft vom Eindringwinkel angenommen.

Aus der breitenabhängigen Bodenkraft und den geometrischen Abmessungen von Schlepper und Pflug läßt sich die Anlagenkraft F_{AD} für unterschiedliche Pflugstellungen bestimmen. Für beide Führungsarten wurde in Abhängigkeit vom Eindringwinkel β jeweils das in Bild 5 eingezeichnete Kräfteck berechnet. Diese Abhängigkeit ist für die drehende und die herkömmliche Anlenkung ebenfalls in Bild 6 eingetragen. Für beide Anlenkungen gilt, daß mit zunehmendem Eindringwinkel β F_{AD} kleiner wird. Das Niveau, auf dem die Kurve für die drehende Anlenkung verläuft, ist — wie auch in Bild 5 ersichtlich — niedriger.

Für den Vergleich der Anlenkungsarten sind die Kurvenschnittpunkte in Bild 6 entscheidend, denn nur in diesen Fällen herrscht ein Kräftegleichgewicht an den Anlagen. In der Grundeinstellung wurde der härtere Boden vorausgesetzt und der Eindringwinkel β für die drehende Anlenkung zu Null definiert. Daraus ergibt sich der Schnittpunkt S_d . Werden für den Pflug mit herkömmlicher Anlenkung die gleichen Konstruktionsdaten bzgl. der Körperanordnung unterstellt, so drehen sich durch die größere Anlagenkraft die Anlagen bereits in der Grundeinstellung stärker in die Furchenwand, Schnittpunkt S_k . Da der Hauptrahmen um den gleichen Winkel schwenkt, wird die Arbeitsbreite größer. Im vorliegenden Beispiel arbeiten die Körper 418 mm breit, bei einem Winkel der Anlagen zur Furchenwand von $\beta = 1,22^\circ$ (in Bild 5b $b_{ges} = 1672$ mm). Hierbei wurde die Arbeitsbreite des ersten Körpers der Breite der hinteren Körper angeglichen. Auch wenn der konventionelle Pflug konstruktiv so angenommen würde, daß er in der Grundstellung 1600 mm breit arbeitete, wären die Anlagenkräfte F_{AD} , F_{AR} und die resultierende Kraft F_{Res} bei mittlerer Unterlenkerstellung größer. Die von der Breite abhängige Bodenkraft und der Winkel der Zuglinie würden sich nur geringfügig ändern.

Das Durchfahren der weichen Stelle erzeugt bei den beiden Anlenkungsarten unterschiedliche Auswirkungen. Für die drehende Anlenkung läßt sich das seitliche Ausschwenken relativ einfach berechnen und darstellen, Bild 5a. Der Pflugrahmen führt eine einfache Drehbewegung um die senkrechte Achse D aus. Je nach Abstand zum Drehpunkt D verändert sich die Auslenkung der einzelnen Pflugteile. Während der erste Körper nur geringfügig nach hinten und seitlich wandert, kommt der hintere Körper nach vorn und verschiebt sich stärker zur Seite.

Wie in Bild 6 zu erkennen ist, schwenken für den angenommenen Bodenunterschied die Anlagen um $\beta = 1,96^\circ$ bis zu der Lage, in der sich im Diagramm die Kurven im Schnittpunkt S_d' schneiden. Während sich einerseits die Anlagenkraft durch die geänderten geometrischen Verhältnisse mit zunehmendem Eindringwinkel β verringert, steigt andererseits auch im weichen Boden die Anlagenkraft durch den zunehmenden Eindringwiderstand. Die Anlagen drücken so lange zunehmend in die Furchenwand ein, bis ein ausreichender Gegendruck vom Boden aufgebracht wird, d.h., es tritt durch die gleichzeitige Verkleinerung der Aktions- und die Vergrößerung der Reaktionskräfte eine selbsttätige Stabilisierung des Ausschwenkvorganges ein.

Über die Winkeländerungen der Anlagen lassen sich für den Punkt S_d' die durch den weicheren Boden verursachten Breitenänderungen berechnen. Die Vorderfurchenbreite b_v wächst um 0,8 % auf $b_v' = 403$ mm. Die Gesamtarbeitsbreite b_{ges} vergrößert sich aber durch die stärker zunehmende Arbeitsbreite der hinteren Körper um 5,7 % auf $b_{ges}' = 1690$ mm.

Bei der konventionellen Anlenkung ist der schlepperseitige Kraftangriffspunkt nicht ortsfest. Daher müssen beim Durchfahren der weichen Stelle die Bewegungen des Unterlenkergestänges und die sich verändernden Kräfte berücksichtigt werden, da sie sich gegenseitig beeinflussen, Bild 5b. Sollen die Anlagen um einen gewissen Betrag in die Furchenwand drehen, so muß dazu das Unterlenkergestänge seitlich ausschwenken. Das heißt, zur Drehung kommt eine seitliche Verschiebung des gesamten Pfluges hinzu. Die geänderte Pfluglage und der Kräfteplan sind Bild 5b zu entnehmen.

Bild 6 zeigt, daß sich bei der konventionellen Anlenkung die aus der Geometrie und der Bodenkraft berechnete Anlagenkraft mit zunehmendem Eindringwinkel stärker verringert als beim Pflug mit drehender Anlenkung. Allerdings bleibt auch im weichen Boden (Schnittpunkt S_k') die Anlagenkraft größer. Der Eindringwinkel wächst von $\beta = 1,22^\circ$ auf $\beta' = 3,73^\circ$. Dabei nimmt die Vorderfurchenbreite um 24,2 % von $b_v = 418$ mm auf $b_v' = 519$ mm zu und die Gesamtarbeitsbreite um 12,7 % von $b_{ges} = 1672$ mm auf $b_{ges}' = 1887$ mm.

Bei den hier getroffenen Annahmen für die unterschiedlichen Bodenverhältnisse vergrößert sich also die gesamte Arbeitsbreite bei der drehenden Anlenkung um 90 mm, bei der konventionellen Anlenkung aber um 215 mm. Dies ist vor allem auf die seitliche

Verschiebung des Unterlenkergestänges und damit auf die deutliche Vergrößerung der Vorderfurchenbreite zurückzuführen.

Beim Durchfahren einer feuchten Stelle im Acker erweist sich damit die seitliche Führung bei einer drehenden Pfluganlenkung als etwas vorteilhafter als die Führung bei einer konventionellen Anlenkung.

4.2 Auswirkung der Anlenkung auf die Schleppkurven

Eine zweite Betrachtung soll ebenfalls helfen, die unterschiedliche Anlenkung und deren Einfluß auf die Pflugführung zu erläutern. In Abhängigkeit von der Bewegung des Schleppers läuft der Pflug entlang einer bestimmten Bahn durch den Boden. Diese Bahn ist die Schleppkurve des Pfluges, deren Verlauf hauptsächlich durch die Art der Ankopplung an den Schlepper bestimmt ist. Schleppkurven wurden zunächst in der Fahrzeugtechnik bestimmt. Sie kennzeichnen das Nachlaufverhalten eines an einem Hebelarm in beliebiger Weise angelenkten Rades. Die mathematische Voraussetzung der auch Traktrix und Traktorie genannten Kurve ist, daß das betrachtete Rad keine Bewegung in Achsrichtung ausführen kann. *Hain* hat sich ausführlich mit der Schleppkurvenbestimmung für Landmaschinen beschäftigt [5, 7]. Insbesondere hat er zeichnerische Verfahren angegeben, da die mathematische Ermittlung einer Schleppkurve nur in Sonderfällen möglich ist. Eine ausführliche Beschreibung findet man in [8]. Hier kann daher auf die Darstellung von Einzelheiten der Schleppkurvenkonstruktion verzichtet werden.

Um die von *Hain* gezeigten Verfahren für einen Pflug mit vier Körpern anwenden zu können, müssen einige Vereinfachungen vorgenommen werden. Sieht man die vier Pflugkörper als ungelenkte Räder in einem Rahmen an, so kann man sich leicht vorstellen, daß sie bei Kurvenfahrt hinter einem Schlepper radieren. Die Räder führen also Bewegungen in Achsrichtung aus. Dies darf bei der Schleppkurvenbestimmung nicht der Fall sein. Zur Vereinfachung wird daher ein mittleres Rad, ein mittlerer Pflugkörper, angenommen, worauf sich die Schleppkurvenbestimmung beziehen soll. Da die Geometrie des Pfluges bekannt ist, können somit die Bewegungsbahnen der einzelnen Pflugkörper ermittelt werden. Eine weitere Vereinfachung erfolgt durch die Annahme, daß Schlepper und Pflug in einer horizontalen Ebene stehen. Für die Schleppkurvenbestimmung gelten die mittleren Maße des Dreipunktgestänges und des Schleppers aus Bild 4. Die Abmessungen des Pfluges sind für beide Anlenkungen wieder gleich gewählt.

Für zwei verschiedene Ursprungskurven (Lenkungsabweichungen der Vorderräder von der Geradeausfahrt) sind in Bild 7 und 8 die Schleppkurve des Hinterrades, die Schleppkurven der Anlenkpunkte am Schlepper und die Schleppkurve eines mittleren Körpers sowie die des ersten und des letzten Körpers am Pflug ermittelt worden. Die Ursprungskurve bildet im ersten Beispiel, Bild 7, die theoretisch angenommene Bewegungsbahn des furchenseitigen, hier rechten Vorderrades. Dieses Rad soll z.B. wegen eines Hindernisses den gezeigten dreiecksförmigen Kurs mit einer Grundlänge von $l = 4$ m und einer maximalen Breite von $a = 1$ m durchfahren. Im zweiten Beispiel, Bild 8, soll bei entsprechender Lenkung die Bahn des rechten Hinterrades einen Kreisbogen mit einem Radius von $r = 15$ m über einen Winkel von $\delta = 20^\circ$ beschreiben. Die Lenkung folge dabei z.B. einer vorgegebenen Feldform. Da die Geometrie am Schlepper gleich bleibt, lassen sich immer aus der Bewegungsbahn des Hinterrades die Schleppkurven der Anlenkpunkte am Schlepper bestimmen.

Für die Ursprungskurve des rechten Vorderrades in Bild 7 ist als erste Schleppkurve die des rechten Hinterrades zu ermitteln. Dieses Rad folgt praktisch an einem Drehgelenk dem rechten Vorderrad. Bei der drehenden Anlenkung bildet die fest mit dem Schlepper verbundene senkrechte Drehachse am Pflug die Ursprungskurve für die Pflugkörper ab. Dieser Punkt liegt weit hinter der Hinterachse; somit schwenkt beim Durchfahren der Dreieckskurve die zugehörige Schleppkurve relativ weit aus, Bild 7a. Der Verlauf pflanzt sich auf die Schleppkurven der Pflugkörper fort, so daß

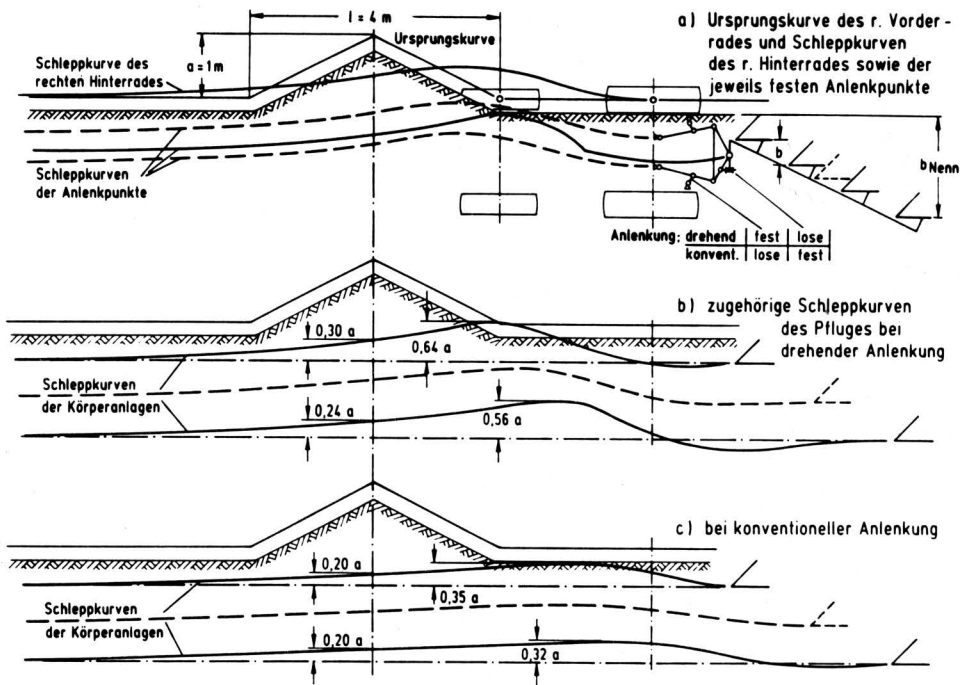


Bild 7. Schleppkurven beim Durchfahren eines dreiecksförmigen Kurses mit dem rechten Vorderrad; a Ursprungskurve (Spur des rechten Vorderrades) und Schleppkurven des rechten Hinterrades sowie der jeweils festen Anlenkpunkte, b zugehörige Schleppkurven für die vordere, (gedachte) mittlere und hintere Pflugkörperanlage bei drehender Anlenkung, c dasselbe für die konventionelle Anlenkung.

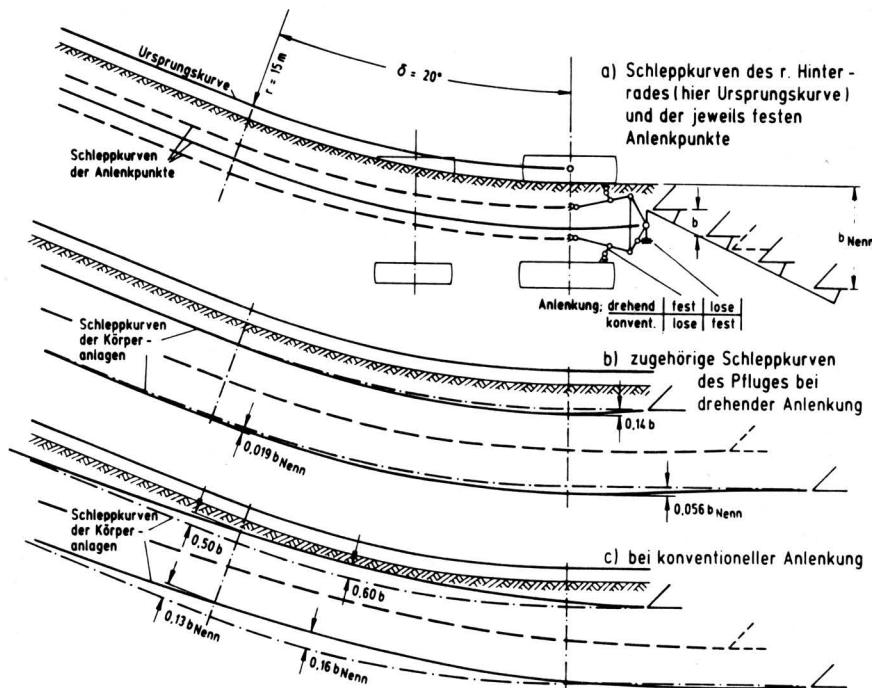


Bild 8. Schleppkurven beim Durchfahren eines Kreisbogens mit dem rechten Hinterrad; a Ursprungskurve (Spur des rechten Hinterrades) und Schleppkurven der jeweils festen Anlenkpunkte am Schlepper, b zugehörige Schleppkurven der Pflugkörperanlagen bei drehender Anlenkung, c dasselbe bei konventioneller Anlenkung.

für den Fall der drehenden Anlenkung der erste Körper im Maximum 64 %, der letzte Körper maximal 56 % der Auslenkung a des rechten Vorderrades erreicht, Bild 7b. Die gestrichelte Linie stellt die zunächst ermittelte Schleppkurve des gedachten mittleren Körpers dar. Im Maximum der Lenkungsabweichung werden vom ersten Körper 30 %, vom letzten Körper 24 % von a erreicht. Dies entspricht – auf die Nennarbeitsbreite des Pfluges bezogen – einer um 15 % kleineren Gesamtarbeitsbreite. Mit zunehmender Entfernung von der Störung nimmt die Abweichung ständig ab.

Bei der konventionellen Anlenkung ergeben sich für den Pflug etwas andere Schleppkurven beim Durchfahren der Dreieckskurve, Bild 7a und c. Die Anlenkpunkte des Pfluges am Schlepper sind die der beweglichen Unterlenker. Da die Punkte nahe an der Hinterachse liegen, sind deren Schleppkurven der Kurve des rechten

Hinterrades sehr ähnlich. Wie die Zeichnung erkennen läßt, gehen sie nach dem Durchfahren der Ursprungskurve – wie auch die Schleppkurve der senkrechten Achse bei der drehenden Anlenkung – schon nicht ganz auf den ursprünglichen geraden Verlauf zurück. Die Pflugkörper folgen noch weiter verzögert, Bild 7c. Die Schleppkurven erreichen im gezeichneten Bereich weder die Lage, noch die Abmessungen der Ursprungskurve. Die größte Abweichung vom ungestörten Geradeauslauf der Furche beträgt – bezogen auf die maximale Auslenkung a des rechten Vorderrades – für den ersten Körper 35 %, für den letzten Körper 32 %. Im Bereich der größten Auslenkung der Ursprungskurve erreichen die Körper 20 % von a. Anders ausgedrückt, der Pflug arbeitet hier bezogen auf die Nennbreite nur 12,5 % schmäler als bei Geradeausfahrt.

Für die zweite Ursprungskurve (Bild 8), wo das rechte Hinterrad entlang einem Kreisbogen fährt, gilt, daß sich bei der drehenden Anlenkung die Drehachse am Pflug auch auf einem Kreisbogen bewegt. Die erzeugten Schleppkurven der Pflugkörper zeigen insgesamt eine relativ gute Abbildung der Idealform, Bild 8b. Die jeweils ideale Bahn des Pflugkörpers bildet der Kreisbogen um den Kreisbogenmittelpunkt mit dem zugehörigen Radius. Die Vorderfurchenbreite wird maximal um 14 % vergrößert, die Gesamtarbeitsbreite um 5,6 %. Auffallend ist die Lage der Maximalwerte gleich zu Beginn der Kurve zum Ungepflügten hin. Am Ende der Kurve ist die ursprüngliche Arbeitsbreite des ersten Pflugkörpers praktisch wieder erreicht. Der hintere Körper weicht noch um 1,9 % der Nennbreite von der Idealform ab.

Die Spuren der Unterlenkeranlenkpunkte am Schlepper erhalten beim Durchfahren der Ursprungskurve nach Bild 8a ebenfalls die Form von Kreisbögen um den Mittelpunkt der Ursprungskurve des Hinterrades. Bei der konventionellen Anlenkung verlaufen die Schleppkurven der Pflugkörper abgeflachter als bei der drehenden Anlenkung (Bild 8c gegenüber 8b). Der erste Körper arbeitet im Maximum 60 % zu schmal, der Pflug insgesamt 16 %. Ausgangs der 200-Kurve ist die Vorderfurchenbreite noch um 50 % zu klein, der gesamte Pflug arbeitet noch um 13 % zu schmal.

Die Unterschiede im Verhalten der beiden Pfluganlenkungsarten sind in den Bildern deutlich zu erkennen. Weicht der Schlepper einem Hindernis aus, so folgt der Pflug mit der drehenden Anlenkung der gewollten Auslenkung am stärksten. Allerdings erzeugt der letzte Körper dabei zu Beginn der Kurve ein Ausbeulen der Furche zur Landseite hin. Dies ist bei der konventionellen Anlenkung zwar auch festzustellen, jedoch nicht so ausgeprägt. Die Kurven zeigen auch, daß hier die Auslenkung im Bereich des Maximums der Ursprungskurve kleiner ist. Ein Hindernis ist also weiträumiger zu umpflügen. Eine räumliche Verschiebung der Schleppkurve gegenüber der Ursprungskurve ist bei beiden Systemen vorhanden. Das Umfahren eines Hindernisses mit Schlepper und Pflug erfordert demnach immer eine besondere Übung des Schlepperfahrers. Sieht man das Beispiel der Dreieckscurve allerdings als ungewollte Auslenkung der Vorderräder an – ohne Hindernis, aus welchen Gründen auch immer –, wandeln sich Vorteile in Nachteile um. Die größere Auslenkung des Pfluges führt zu einem größeren Bogen in der Furche. Außerdem ist das Auspflügen einer ungeraden Furche schwieriger. Die gewählte Ursprungskurve ist hierfür allerdings ein extremes Beispiel, das eher auf das Umfahren eines Hindernisses zutrifft.

Beim Durchfahren einer kreisbogenförmigen Kurve verhält sich die drehende Anlenkung günstiger als die konventionelle Anlenkung. Die Schleppkurven der vorderen und hinteren Körper weichen nur relativ wenig von der idealen Form ab. Zwar lenkt zu Beginn der Kurve der letzte Körper wieder stärker ins Ungepflügte, jedoch wird im weiteren Verlauf beim konventionellen Pflug die Arbeitsbreite erheblich kleiner. Das führt zu einem anderen Furchenverlauf als ihn die Ursprungskurve, normalerweise die letzte Furche der vorherigen Fahrt, vorgibt.

5. Breitenverstellung

5.1 Wirtschaftliche und ackerbauliche Vorteile

Die bisherigen Ausführungen betrafen vor allem grundsätzliche Fragen der Pfluganlenkung und -führung, die unabhängig von der am untersuchten Pflug vorhandenen zentralen stufenlosen Breitenverstellung behandelt werden konnten. Eingangs ist zwar bereits auf die Vorteile einer stufenlosen Breitenverstellung hingewiesen worden. Hier sollen sie noch weiter erläutert werden. Zum einen sind es ackerbauliche Vorzüge und zum anderen können wirtschaftliche Vorteile entstehen, wenn die Anschaffungs- und Reparaturkosten nicht zu weit über denen herkömmlicher Pflüge liegen.

Auf einem Betrieb, dessen Ackerflächen sich unterschiedlich schwer bearbeiten lassen oder häufig unterschiedlich tief gepflügt werden, kann der Zugkraftbedarf des Pfluges mit der Breitenverstellung jeweils dem Zugkraftangebot des Schleppers angepaßt

werden. Unter zusätzlicher Anpassung der Geschwindigkeit kann man so jeweils etwa die maximal mögliche Flächenleistung erzielen. Das heißt, dort wo der Landwirt seine oder die Arbeitszeit seines Mitarbeiters als Geldwert ansieht, läßt sich mit einer höheren Flächenleistung bzw. einem geringeren Arbeitszeitbedarf eine Kostensenkung erreichen.

Auf einem Standort mit etwa gleichen Böden, die immer in etwa gleicher Tiefe gepflügt werden, ist dem Landwirt am ehesten mit einem einfacheren kostengünstigeren konventionellen Pflug gedient, wenn bei der Anschaffung auf die richtige Zuordnung von Schlepper, Pflug und Boden geachtet wird! An dieser Stelle sei noch einmal (s.a. [9]) darauf hingewiesen, daß es bei einer vorhandenen Kombination von Schlepper und Pflug bei vorgegebenen Bodenverhältnissen nur einen optimalen Betriebspunkt für die maximale Flächenleistung gibt. Diesen Punkt erreicht man nur bei einer bestimmten Arbeitsbreite und bei einer bestimmten Fahrgeschwindigkeit.

Ein ökonomischer Vorteil kann auch die Möglichkeit sein, bergauf und bergab unterschiedlich breit zu pflügen. Selten hängt jedoch ein Gelände nur in eine Richtung, so daß eine mittlere Neigung kaum bestimmbar ist. Auch die Möglichkeiten, Keiflächen leichter auspflügen, Furchen einfacher begradigen und die Arbeitsbreite der letzten Fahrt am Feldrand richtig einstellen zu können, sind Vorzüge, die zwar praktisch sind, deren Wert sich aber kaum berechnen läßt.

Die Arbeitsqualität begrenzt die Größe einer sinnvollen Breitenverstellung zur Steigerung der Flächenleistung. Je nach Bodenart und -zustand ist die Krümelung unterschiedlich. Während auf leichten bis mittleren Böden der Verstellbereich ohne große Qualitätsunterschiede ausgenutzt werden kann, fällt ein schwererer Boden bei großer Arbeitsbreite sehr grobschollig, so daß die Saatbettbereitung u.U. erschwert wird. Wird hier zu schmal gearbeitet, dreht sich der Bodenbalken nur in eine senkrechte Stellung. Auf der anderen Seite kann aber das variable Breiten/Tiefen-Verhältnis ein ackerbaulicher Vorteil sein. Sieht man von der maximalen Flächenleistung ab, so läßt sich durch die Wahl der richtigen Arbeitsbreite mit der damit erzielbaren feinkrümeligen Oberfläche, die nachfolgende Saatbettbereitung vereinfachen, und eventuell kann man sogar auf einen Arbeitsgang verzichten. Bei entgegengesetzter Zielrichtung ist ein sehr grobscholliger Bodenbalken erreichbar, nämlich dann, wenn im Herbst die Winterfurche gepflügt und im Frühjahr bestellt werden soll.

5.2 Kinematische CAD-Analyse und praktische Feldversuche

Die Hersteller breitenverstellbarer Pflüge haben unterschiedliche konstruktive Lösungen entwickelt, die zu unterschiedlichem Einsatzverhalten führen. Z.T. beruhen die Konstruktionen auf relativ komplizierten kinematischen Zusammenhängen und erfordern einen großen Bauaufwand. Am untersuchten Pflug mit der drehenden Anlenkung wurde allerdings – wie in Abschnitt 2 bereits erläutert – eine relativ einfache Lösung gefunden. Bild 1 zeigt den Pflug in drei Arbeitsbreiteneinstellungen.

Die detaillierten kinematischen Zusammenhänge bei der Breitenverstellung wurden an einem CAD-Arbeitsplatz mit Hilfe des Programms CATIA analysiert. Dazu ist zunächst eine Strichmodellzeichnung des Pfluges am Bildschirm erstellt worden. Ein Kinematikmodul im Programmpaket von CATIA erlaubt die Wandlung des Pfluges in ein Gelenkgetriebe und die Simulation von Bewegungsabläufen. Dazu sind die Getriebeglieder, die sich gegeneinander bewegen können, sowie die Art der verbindenden Gelenke festzulegen. Nach der Definition der feststehenden Teile und der veränderlichen Größe – hier normalerweise die Länge einer Spindel bzw. eines Zylinders – kann die simulierte Bewegung ablaufen. Die Koordinaten der Bewegungsbahnen bestimmter Punkte werden in Diagramm- und Tabellenform ausgedruckt. So ist z.B. auf einfache Weise die Abhängigkeit der Vorderfurchenbreite von der eingestellten Breite ermittelt worden.

Für die praktische Erprobung im Feldeinsatz wurde uns von der Fa. Krone ein Prototyp der neuen Pflugserie des "Mustang 140/4 SLV" zur Verfügung gestellt. Auf die Meß- und Versuchstechnik soll hier nur kurz eingegangen werden. Die Kräfte zwischen Schlepper und Pflug wurden mit einem von Reich [10] beschriebenen Kraftmeßrahmen gemessen, die Vorderfurchenbreite und die Arbeitstiefe mit Ultraschallsensoren sowie die Gesamtarbeitsbreite mit einer Meßlatte. Zur Messung der realen Geschwindigkeit stand ein fünftes Rad zur Verfügung, der Kraftstoffverbrauch wurde mit einem Durchflußmeßgerät bestimmt. Die in den folgenden Bildern eingetragenen Meßpunkte beruhen jeweils auf 12 bis 16 Wiederholungsfahrten von jeweils 15 m Länge.

Gepflügt wurde bei den Versuche eine gegrubberte Wintergerstefläche aus tonigem Schluff mit durchschnittlich 19 % Feuchtegehalt. Um eine gleichmäßige, bei allen Einstellungen vergleichbare Arbeitstiefe zu erhalten, wurde ständig mit Lageregelung und ohne Oberlenker gefahren. Vertikalkräfte konnten so nur die Unterlenker und das Stützrad belasten. In der Praxis läuft, bedingt durch den Oberlenker, bei den größeren Anbaupflügen das Stützrad meist in einem undefinierten Belastungszustand, z.T. getragen, z.T. belastet. Um die Vergleichbarkeit der Meßwerte der verschiedenen Varianten und der verschiedenen Pflüge zu gewährleisten und um eine eindeutig definierte Einstellung zu erhalten, wurde hier auf den Oberlenker verzichtet.

5.3 Anpassung der Vorderfurchenbreite

Für die kinematische Analyse am CAD-System ist bei der Nennarbeitsbreite von 400 mm je Körper die Vorderfurchenbreite mit Hilfe der Parallelführung hinter der senkrechten Drehachse ebenfalls auf 400 mm zeichnerisch eingestellt worden. Bild 1 läßt bereits in etwa erkennen, daß bei den veränderten Breitereinstellungen von 300 mm und 500 mm die Arbeitsbreite des ersten Körpers nicht gleich der Breite der anderen Körper ist. Theoretisch erfolgt dann also keine exakte Anpassung der Vorderfurchenbreite an die eingestellte Breite. Die Ursache liegt in der Lage der zentralen Drehachse relativ zu den Drehachsen der Körper am Rahmen. Um am ersten Körper immer eine richtig angepaßte Breite zu erhalten, müßte sich gemäß dem Strahlensatz die Drehachse des Rahmens um einen Körperabstand in Rahmenrichtung vor der Drehachse des ersten Körpers befinden. Dieser Zusammenhang gilt allgemein für alle Verstellpflüge, wobei die Rahmendrehachse reeller oder auch ideeller Art sein kann.

Bild 9 zeigt in Diagrammform im oberen Teil a) die theoretische und im Teil b) die in Feldversuchen ermittelte Vorderfurchenbreite über der eingestellten Arbeitsbreite der anderen Körper aufgetragen. Man erkennt in Bild 9a die relativ schlechte theoretische Anpassung der Vorderfurchenbreite. Bei kleiner eingestellter Arbeitsbreite arbeitet der vordere Körper zu breit, bei großer Arbeitsbreite zu schmal. Die kinematische Analyse hat ergeben, daß der erste Körper bei einer eingestellten Arbeitsbreite von 300 mm mit einer Breite von 346 mm arbeitet, bei 500 mm eingestellter Breite nur 459 mm breit arbeitet. Der leicht geschwungene Verlauf kommt durch die trigonometrischen Zusammenhänge zwischen der Lage der senkrechten Drehachse und der Lage des Parallelogrammgestänges zustande.

Die demgegenüber im praktischen Einsatz gemessenen Abweichungen der Arbeitsbreite des ersten Körpers von der Breite der übrigen Körper sind aber deutlich weniger gravierend als die theoretischen. Die reale Vorderfurchenbreite in Abhängigkeit von der eingestellten Breite der übrigen Körper ist in Bild 9b für zwei Varianten aufgetragen, und zwar für 30 cm Arbeitstiefe, 4,5 km/h Fahrgeschwindigkeit (Variante I) und für 28 cm Arbeitstiefe, 2,4 km/h Fahrgeschwindigkeit (Variante II).

Bei Variante I erfolgte bei etwa 400 mm Arbeitsbreite die Grundeinstellung, d.h., hier entspricht die Breite des ersten Körpers der Breite der anderen Körper. Mit steigender Arbeitsbreite paßt sich die Vorderfurchenbreite relativ genau an. Je kleiner die Arbeitsbreite wird, umso breiter arbeitet im Verhältnis der erste Körper.

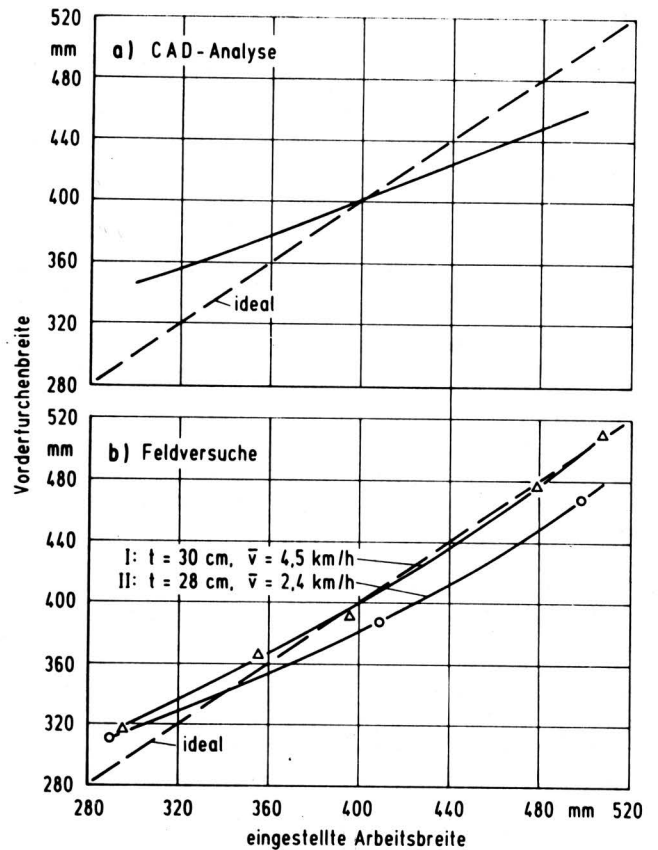


Bild 9. Breite der Vorderfurchen in Abhängigkeit von der eingestellten Arbeitsbreite der übrigen Pflugkörper; a) mit dem CAD-System ermittelter theoretischer Verlauf, b) in Feldversuchen für zwei Versuchsvarianten (I und II) gemessener Verlauf; Wintergerstestoppel, flach gegrubbert, toniger Schluff, Bodenfeuchte 18–20 %.

Die Anpassung der Vorderfurchenbreite an die eingestellte Breite gelingt aber im gesamten Breitenbereich besser als theoretisch zu erwarten war.

Für die Variante II wurde die Grundeinstellung von Variante I übernommen. Dies hat zur Folge, daß bereits bei einer eingestellten Arbeitsbreite von 400 mm der erste Körper zu schmal arbeitet. Demnach ist die Vorderfurchenbreite abhängig von der Geschwindigkeit und der Arbeitstiefe, also abhängig von den am Pflug wirkenden Bodenkräften. Hätte eine Anpassung der Vorderfurchenbreite auf 400 mm stattgefunden, so würde die Kurve der Variante II in Bild 9b – parallel nach oben verschoben – durch diesen Punkt verlaufen. Die geringeren Bodenkräfte haben sich aber auch auf den Kurvenverlauf ausgewirkt: Die Kurve steigt vor allem bei kleineren Breiten weniger stark an als die Kurve der Variante I. Zwar gelingt die Anpassung der Vorderfurchenbreite noch immer besser als theoretisch anzunehmen war, jedoch nicht so gut wie unter den Bedingungen der Variante I. Für diese Unterschiede zwischen theoretischen und praktischen Ergebnissen gibt es Gründe, die im folgenden Abschnitt erläutert werden.

5.4 Erklärung der elastischen Auslenkung

Die Ursache für die beim untersuchten Pflug mit senkrechter Drehachse festgestellten Unterschiede zwischen der theoretischen und praktischen Anpassung der Vorderfurchenbreite ist einfach zu ergründen. Bei der herkömmlichen Anlenkung greift die resultierende Kraft am ideellen Führungspunkt an, der normalerweise zwischen der Vorder- und der Hinterachse liegt. Dagegen greift sie bei der drehenden Anlenkung am realen Führungspunkt etwa 1,35 m hinter der Hinterachse an. Die seitliche Komponente der resultierenden Kraft hat also einen realen Kraftangriffspunkt, an dem sie die festgestellten Unterlenker belastet. Dadurch wird die Hinter-

achse zur ungepflügten, die Vorderachse zur gepflügten Seite gezogen. Da im Gegensatz zur Theorie die Unterlenker und deren Seitenstreben sowie die Reifen nicht vollkommen starr sind, kommt es zum Ausgleich von vorhandenem Spiel und zu Verformungen.

Die Größenordnung dieser Abweichung wurde unter vereinfachten Bedingungen in einem Versuch ermittelt. Der Pflug wurde einem auf Beton stehenden Schlepper aufgesattelt und an der senkrechten Drehachse seitlich mit einer Zugkraft belastet. Wie bei den Feldversuchen wurde ohne Oberlenker gearbeitet. Das Stützrad des Pfluges war auf einen in Richtung der Beanspruchung beweglichen Wagen gesetzt. Die auf den Schlepper wirkende Seitenkraft wurde mit dem Kraftmeßrahmen und die jeweils zugehörigen Auslenkungen an der Vorderachse, der Hinterachse und an der Scharspitze des ersten Körpers wurden mit dem Metermaß gemessen. Die Seitenkraft wurde dann schrittweise soweit erhöht, daß noch kein seitliches Verschieben der Vorder- oder Hinterräder auf dem Boden erfolgte.

Bild 10 zeigt den Verlauf der gemessenen seitlichen Auslenkung der ersten Scharspitze mit zunehmender Seitenkraft. Der degressiv steigende Verlauf der gesamten Verlagerung des ersten Körpers setzt sich aus den beiden Anteilen Reifenverformung und Unterlenkerverlagerung zusammen. Der Anteil der Reifenverformung läßt sich mit der gemessenen Auslenkung der Vorder- und der Hinterachse, mit dem Achsabstand sowie dem Abstand der senkrechten Drehachse zur Hinterachse berechnen. Der Anteil der Unterlenkerverlagerung ist die Differenz aus der gemessenen gesamten Verlagerung und der Reifenverformung.

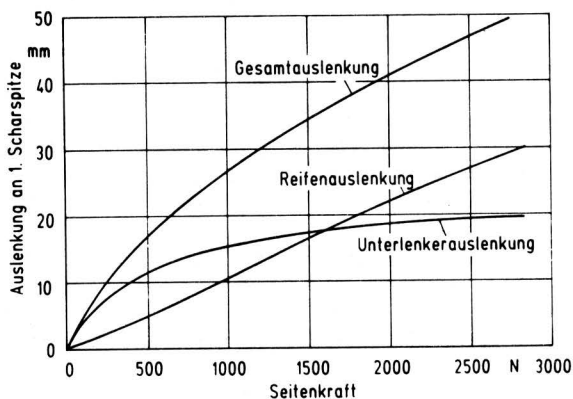


Bild 10. Elastische Auslenkung, gemessen an der Spitze des 1. Schares (Gesamtauslenkung), und ihre wesentlichen Komponenten in Abhängigkeit von der Seitenkraft auf die senkrechte Drehachse des Pflugrahmens; ermittelt auf Betonboden.

Die Unterlenkerauslenkung ergibt sich vor allem aus dem Spiel im Bereich der Gelenkpunkte des Gestänges, der Tragachse, der Unterlenker, der Anlenkbolzen am Schlepper und der seitlichen Streben. Daß es sich um Spiel handelt, wird an der stark degressiv steigenden Kurve dieses Verformungsanteils deutlich. Der Auslenkungsanteil der Reifen nimmt dagegen fast linear mit der Seitenkraft zu. Die Felgen verschieben sich durch die Reifenverformung gegenüber den theoretischen Aufstandspunkten.

Die Abweichungen zwischen theoretisch ermittelter und praktisch gemessener Vorderfurchenbreite in Bild 9 lassen sich also durch die seitenkraftabhängige Lage der senkrechten Drehachse erklären. Wird die Arbeitsbreite vergrößert, so nimmt nicht nur die resultierende Kraft zu, sondern es verlagert sich mit dem Kraftangriffspunkt am Pflug auch die Zuglinie. Dadurch nimmt die Seitenkraft auf die senkrechte Drehachse zu. Mit der Verlagerung von Unterlenker und Reifen, bzw. mit der Auslenkung der Drehachse, vergrößert sich die Arbeitsbreite des ersten Pflugkörpers. Hingegen reicht die kleinere Seitenkraft bei kleineren Breiten nicht aus, die von der Kinematik herrührende zu große Vorderfurchenbreite

nöch weiter zu vergrößern. Im Gegenteil: wie das Bild 9 zeigt, arbeitet der erste Körper praktisch noch schmaler als theoretisch ermittelt. Dies ist mit dem relativ starken Abfall der Kurve in Bild 10 mit geringer werdenden Seitenkräften zu erklären. Bereits bei einer eingestellten Arbeitsbreite von 400 mm — hier wurde die Vorderfurchenbreite bei Variante I angepaßt — ist eine Seitenkraft vorhanden, die die Drehachse seitlich verlagert. Mit geringeren Seitenkräften, also auch kleineren Breiten, nimmt die Auslenkung des Unterlenkergestänges überproportional ab. Dadurch nimmt auch die Vorderfurchenbreite mit kleiner werdenden Breiten stärker ab, als es theoretisch zu ermitteln ist.

5.5 Auswirkung auf den Zugkraftbedarf und den Kraftstoffverbrauch

Wie ändert sich nun der Zugkraftbedarf des Pfluges bei zunehmender Arbeitsbreite? **Bild 11** zeigt die Meßergebnisse aus zwei verschiedenen Versuchen I und II. Aufgetragen sind hier der Zugkraftbedarf und der spezifische Pflugwiderstand in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite. Mit steigender Arbeitsbreite nimmt der Zugkraftbedarf progressiv zu. Vergleicht man die beiden Versuchsvarianten, so zeigt sich, daß bei größerer Tiefe und größerer Geschwindigkeit (Variante I) der Absolutwert der Kraft zwar größer, aber der Verlauf etwas flacher wird als bei kleineren Tiefen und geringerer Geschwindigkeit (Variante II).

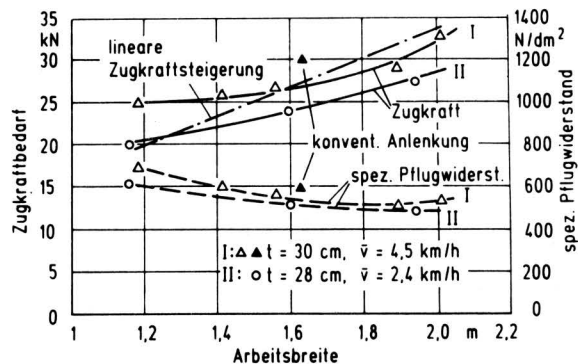


Bild 11. Zugkraftbedarf und spezifischer Pflugwiderstand in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite für zwei Versuchsvarianten (I und II); Wintergerstestoppel, flach gegrubbert, toniger Schluff, Bodenfeuchte 18–20 %.

Um den Kurvenverlauf für die Variante I besser beurteilen zu können, ist zusätzlich der theoretische breitenabhängige Zugkraftanstieg nach dem Ansatz von *Gorjatschkin* [11] eingetragen. Der Verlauf kommt dem linearen Zugkraftanstieg eines Pfluges, an dem zur Breitenänderung die Körperanzahl geändert wird, gleich. Für die Nennarbeitsbreite von 1,60 m ist der gleiche Zugkraftbedarf angenommen worden, wie er am untersuchten Pflug gemessen wurde, Bild 11. Bei kleiner Arbeitsbreite ist der Zugkraftbedarf des Verstellpfluges bezogen auf die Vergleichsgerade größer. Mit steigender Arbeitsbreite nimmt die Zugkraft zunächst weniger stark, dann stärker zu.

Der Verlauf der Zugkräfte bei einer Arbeitsbreite größer als 1,60 m läßt sich wie folgt erklären. Wird mit kleineren Breiten als der Nennarbeitsbreite gearbeitet, so schneiden die Schare an der Sohle zwar nur in der jeweiligen Arbeitsbreite, sie erzeugen aber auf der gesamten Scharschneidenlänge eine Reibkraft auf der Furchensohle. Außerdem tritt wegen der Breite des Körpers zusätzliche Reibung zwischen dem Streichblech und dem Bodenbalken auf. Somit ist der absolute Zugkraftbedarf eines breitenverstellbaren Pfluges bei kleiner Arbeitsbreite größer als bei einem herkömmlichen nicht verstellbaren Pflug, der mit Nennarbeitsbreite arbeitet. Dementsprechend wird auch der spezifische Pflugwiderstand zu kleineren Breiten hin größer.

Da die Lage der Pflugkörper zur Fahrtrichtung bei allen Breiten etwa die gleiche ist (siehe Bild 1), schneiden die Schare auch bei 500 mm Arbeitsbreite nur etwa 400 mm (Nennarbeitsbreite), der Rest wird nicht geschritten, sondern abgebrochen. Bei etwas vergrößerter Arbeitsbreite führt dies zunächst zur Reduzierung des spezifischen Pflugwiderstandes (gestrichelte Linie). Jedoch benötigt dann bei großer Breite das Abbrechen und das Wenden des großen Bodenbalkens auf dem dafür eigentlich nicht geformten Streichblech wieder erheblich mehr Energie. Der spezifische Pflugwiderstand steigt unter den Bedingungen der Versuchsvariante I bei sehr großen Arbeitsbreiten wieder leicht an.

Zum praktischen Vergleich mit der konventionellen Anlenkung wurden die Zugkraftverhältnisse auch bei frei beweglichen Unterlenkern und festgestellter Anschlagvorrichtung am Pflug untersucht. Die Arbeitsbreite des Pfluges wurde dabei nicht variiert, weil die Einstellmöglichkeiten von Zugpunkt und Vorderfurchenbreite dazu nicht ausreichen. Sie sind dafür aber auch nicht konzipiert. Die Messung wurde im Vergleich zur Variante I bei etwa 1,60 m Arbeitsbreite mit 16 Wiederholungen gefahren. Es zeigte sich, daß bei der herkömmlichen Anlenkung deutlich höhere Zugkräfte nötig waren. Der Pflug war so eingestellt, daß das Unterlenkergestänge weit auf der ungepflügten Seite nahe dem Anschlag lag. Somit lag die Zuglinie weitmöglichst auf der zugkraftmäßig günstigen Seite. Die Lage ist dabei aber immer noch ungünstiger als bei der drehenden Anlenkung, und dadurch ist auch die aufzubringende Zugkraft größer.

Welche Auswirkungen haben die Breitenverstellung und die Anlenkungsart auf den Kraftstoffverbrauch? Bild 12 zeigt den stündlichen und flächenbezogenen Verbrauch in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite. Auch hier sind wieder die Kurven für die oben erläuterten beiden Versuchsserien mit der drehenden Anlenkung und der Meßpunkt für die konventionelle Anlenkung eingetragen. Der stündliche Verbrauch steigt relativ flach an, die Regressionskurve ist praktisch eine Gerade. Vergleicht man die beiden Versuchsserien, so erkennt man, daß geringere Zugkräfte (Variante II) zu einer erheblichen Verringerung des stündlichen Kraftstoffverbrauchs führen. Allerdings hat dies einen erhöhten flächenbezogenen Verbrauch zur Folge, weil der Schleppermotor nicht ausgelastet ist. Insbesondere die größere Geschwindigkeit in Variante I ist für den geringeren Kraftstoffverbrauch je Hektar ausschlaggebend. Mit zunehmender Breite nimmt dieser Verbrauch bis zu einem Minimum bei etwa 1,90 m ab, von wo er leicht wieder ansteigt. Auch beim Kraftstoffverbrauch sind deutlich die Unterschiede zwischen der konventionellen und der drehenden Anlenkung erkennbar. Trotz der günstigen Einstellung ist der Verbrauch bei der herkömmlichen Anlenkung um 1,5 l/h höher. Auf die Fläche bezogen verändert sich der Kraftstoffverbrauch von 20 l/ha auf 22 l/ha.

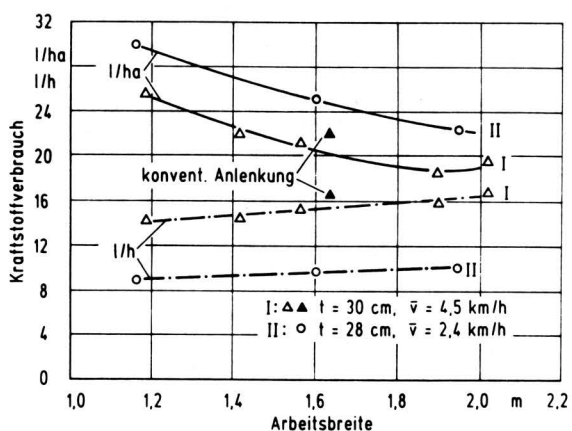


Bild 12. Flächenbezogener und stündlicher Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite für zwei Versuchsvarianten (I und II); Wintergerstenstoppel, flach gegrubbert, toniger Schluff, Bodenfeuchte 18–20 %.

6. Zusammenfassung

In unseren Breiten ist der Pflug auch heute noch das wichtigste und am häufigsten eingesetzte Gerät für die Grundbodenbearbeitung. Die von den meisten Herstellern angebotene zentrale stufenlose Arbeitsbreitenverstellung kann ökonomische und ackerbauliche Vorteile mit sich bringen. Der Verstellpflug von der Fa. Krone unterscheidet sich von anderen Bauarten durch eine Pflügenanlenkung, bei der die Unterlenker festgestellt sind und der Rahmen um eine feste Achse dreht. Der Pflug besitzt damit einen reellen Führungspunkt in der Horizontalebene.

Um das neue Konzept beurteilen zu können, wurden verschiedene Kriterien im Vergleich zur konventionellen Anlenkung analysiert und diskutiert. Das Verhalten eines Pfluges beim Durchfahren einer weichen Stelle im Acker und auch bei einer seitlichen Auslenkung des Schleppers, diente zur Beurteilung der Pflugführung. Der Vergleich der neuen drehenden Anlenkung mit der konventionellen zeigt, daß der herkömmliche Pflug im Bereich einer weichen Stelle stärker seitlich ausgelenkt wird. Werden mit dem Schlepper verschiedene Ursprungskurven durchfahren, so weisen die ermittelten Schleppkurven der Pflugkörper für beide Anlenkungsarten Vor- und Nachteile aus.

An einem CAD-System ist die Kinematik des zentral breitenverstellbaren Pfluges analysiert und in Feldversuchen sind die tatsächlichen Auswirkungen gemessen worden. Die praktischen Ergebnisse zeigen eine bessere Anpassung der Vorderfurchenbreite als die Rechneranalyse. Ein Vergleich der neuen Anlenkungsart mit der herkömmlichen zeigt bzgl. des gemessenen Zugkraftbedarfs und des Kraftstoffverbrauchs für die neue Anlenkung günstigere Werte.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] *Frerichs, L.:* Kinematische Untersuchungen an Pflügen mit zentraler Arbeitsbreitenverstellung. Internationale Tagung Landtechnik, Neu-Ulm 27./28. Okt. 1988, Kurzfassung der Vorträge.
- [2] *Getzlaff, G.:* Messung der Kraftkomponenten an einem Pflugkörper. Grundl. Landtechnik Nr. 1 (1951) S. 16/24.
- [3] ● *Holzmann, G., H. Meyer u. G. Schumpich:* Technische Mechanik. Teil 1. Stuttgart: Verlag B.G. Teubner 1977.
- [4] *Beek, A. v.d.:* Die Lage des ideellen Führungspunktes und der Zugkraftbedarf beim Pflügen. Grundl. Landtechnik Bd. 33 (1983) Nr. 1, S. 10/13.
- [5] *Hain, K.:* Zur Kinematik der Tiefenhaltung von Schlepperanbaugeräten. Grundl. Landtechnik Nr. 3 (1952) S. 119/28.
- [6] *Steiner, M.:* Analyse, Synthese und Berechnungsmethoden der Triebkraft-Schlupf-Kurve von Luftreifen auf nachgiebigem Boden. Diss. Techn. Univ. München 1979.
- [7] *Hain, K.:* Die Form der Furchensole auf unebenem Acker bei verschiedenen Anbausystemen. Grundl. Landtechnik Nr. 4 (1953) S. 72/76.
- [8] *Hain, K.:* Die zeichnerische Bestimmung der Schleppkurven. Ingenieur-Archiv Bd. 18 (1950) Nr. 5, S. 302/309.
- [9] *Jahns, G. u. H. Steinkampf:* Einflußgrößen auf Flächenleistung und Energieaufwand beim Schleppereinsatz. Grundl. Landtechnik Bd. 32 (1982) Nr. 1, S. 20/27.
- [10] *Reich, R.:* Messung der Kräfte zwischen Schlepper und Gerät. Grundl. Landtechnik Bd. 28 (1978) Nr. 4, S. 156/59.
- [11] *Söhne, W.:* Bodenmechanische Grundlagen und ihre Umsetzung in der Werkzeuggestaltung. Landtechnik Bd. 41 (1986) Nr. 9, S. 373/76.