

Bild 12 bis 14. (Erklärung im Text)

Zum Abschluß noch einige Bemerkungen zur Konstruktion der Strohpressen-Untergruppen: Rahmen, Getriebe, Preßkolben, Strohzuführung und Bindeeinrichtung. Während bei der Ballenpresse (Bild 1) der Stellrahmen im wesentlichen aus Profilträgern zusammengefügt ist, zeigt die ebenfalls als Ballenpresse anzusprechende Sammelpresse (Bild 6) in ihrem Rahmenaufbau neben gepreßten Kanalseitenwänden alle Kennzeichen der Leichtbauweise. Auch bei den Pressen (Bild 3, 4, 5, 10, 11) sind die Rahmenseitenwände aus einem Stück gepreßt und gestanzt. Die Lagersitze sind in den ausgestanzten Aussparungen unverrückbar festgehalten. Die Getriebe der Bauarten 1 und 6 sind gefräst und im Übersetzungsverhältnis 1:16 und 1:8 ausgeführt. Die Bauarten (Bild 4, 5, 10, 11) verwenden einfache Zahngetriebe oder Kettengetriebe in Übersetzung 1:4 bis 1:6. Für die Zusammenarbeit von Preßkolben und Strohzuführung gewinnt die Anordnung der rotierenden Strohzuführung (Bild 10) immer mehr an Verbreitung. An die Bindeeinrichtungen der Strohpressen mit höherer Preßgutverdichtung werden besondere Anforderungen gestellt. Je nach der Preßdichte und der zwischen Preßkolben und Preßkanal auftretenden Strohquetschung wird das Bindematerial zusätzlich stark beansprucht. Dadurch werden besondere Formgebungen der Bindematerialhalter und Knoter sowie Entspannungsvorrichtungen nötig. Bei Ballenpressen mit hohem Verdichtungsgrad spielen ebenfalls Entspannungsvorrichtungen sowie die Art der Verdrillung eine Rolle. Es würde im Rahmen dieses Beitrages zu weit führen, diese Hinweise ausführlicher zu skizzieren. Jedoch soll eine

Fehlerquelle, die bei der Konstruktion der Bindeeinrichtungen besonders zu beachten ist: die Bindenadelbeschädigungen und ihre Ursachen, näher erläutert werden. Diese sind durch zwei Tatsachen bedingt: Erstens muß die Bindenadel, um die Bindung bei völlig zusammengedrücktem Preßgut vornehmen zu können, etwa 5 cm hinter der Preßkolbenvorderkante gleichzeitig mit dem Preßkolben in den Preßkanal eintreten. Dies wird dadurch ermöglicht, daß sie durch einen besonderen Nadelschlitz, der im Preßkolben angebracht ist, hindurchtritt. Zweitens muß die Nadelbewegung je nach Belastung der Presse in kleineren oder größeren Zeitabständen erfolgen, und das bedingt das Vorhandensein einer sogenannten Eintourenkupplung, d. h. einer Kupplungsvorrichtung, die es erlaubt, Nadel und Knüpfgetriebe jeweils nur für eine einzige Umdrehung mit dem Preßkolbenantrieb zu verbinden und dann wieder stillzusetzen. Bleibt nun die Bindenadel infolge Versagens dieser Kupplung im Kanal stehen, so kann die Preßkolbenwelle unmittelbar auf die Nadel auftreffen und diese verbiegen. Diese Verbiegungen lassen sich zwar dadurch verhindern, daß man die Nadelschlitz im Kolben (Bild 12 und 13) so weit ausspart, daß die Nadeln auch bei der tiefsten Kolbenstellung noch freien Durchgang haben. Bringt aber der Kolben bei seinem nächsten Preßhub eine neue Lage Stroh in den Preßkanal, so werden die Nadeln unter allen Umständen in Mitleidenschaft gezogen, weil sie nicht in die durch das Stroh verdeckten Schlitz des Kolbens eintreten können. Bild 14 zeigt die Stellung der Mitnehmerklinke bei einer Fehlschaltung. Zur Beseitigung solcher Fehlschaltungen oder zum mindesten zur Beseitigung der Folgen von Fehlschaltungen sind bereits eine Reihe von Vorschlägen bekannt oder ausgeführt worden. Sie zielen darauf ab, die Bewegung der Schaltkulissee nicht mehr allein vom Strohvorschub, sondern durch einfache Zusatzvorrichtungen von der Stellung des Preßkolbens beziehungsweise des Schaltrades abhängig zu machen. Die Kenntnis dieser Fehlerquellen sind für den Pressenkonstrukteur genauso wichtig wie das Ergebnis von Messungen, um den fortschreitenden Forderungen nach besserer Werkstoffausnutzung und Leistungssteigerung nachzukommen.

A 2193

## Kräfte zwischen Schlepper und Pflug

Von Prof. Dr.-Ing. K. MARKS, Berlin

DK 631.512.004.15

Die in den letzten Jahren erschienenen Veröffentlichungen über die zwischen Schlepper und Pflug wirksamen Kräfte, den Bodenbearbeitungswiderstand, die Regelung von Arbeitsbreite und Tiefe und weitere damit zusammenhängende Fragen, sind vielfach durch die Untersuchungen mit dem Sechskomponentenmeßpflug des Instituts für Landtechnische Grundlagenforschung in Völknerode beeinflusst worden und stellen die Dinge oft in so komplizierter Weise dar, daß der Schlepper- und Pflugkonstrukteur wenig damit anfangen kann. Auch besteht die Gefahr, daß Irrtümer aufkommen. Es sei daher nachstehend der Versuch einer vereinfachten, darum aber nicht weniger exakten Darstellungsweise gemacht. Da ich vor nunmehr drei Jahrzehnten im Landmaschineninstitut der Technischen Hochschule in München den ersten Sechskomponentenmeßpflug gebaut habe (der inzwischen außer in Völknerode auch in USA und in England Nachfolger gefunden hat), darf ich mir auch wohl einige kritische Bemerkungen über die Möglichkeiten und Grenzen dieser Art der Kräftermessung erlauben.

Der Pflug kann am Schlepper angehängt, angelenkt oder starr angebracht sein. Der erste Fall ist rasch erledigt: Es genügt, einen Zugkraftmesser zwischen Schlepper und Pflug anzubringen, um Größe und Richtung der zwischen ihnen wirksamen Einzelkraft festzustellen. Fall drei, der bei den ersten Tragpflügen die Regel bildete, kommt heute verhältnismäßig selten vor. Vierradschlepper mit starrer Pflughanbringung gibt es wohl überhaupt nicht. Sie findet sich bei Einachsschleppern mit hinterem Stützrad und bei den ihnen verwandten Dreiradschleppern mit vorderen Triebädern, wobei jedoch bei letzteren

schon eine Tendenz zur Anlenkung festzustellen ist. Sie findet sich ferner bei Meßpflügen nach ehemals Münchener und jetzt Völkneroder Muster, wo ein Pflugkörper eines Mehrschar-Rahmenpfluges in einem besonderen Meßrahmen, angebracht ist, der gegenüber dem eigentlichen Pflughahmen durch sechs Meßdosen so abgestützt wird, daß er seine Lage unter dem Einfluß der auf ihn wirkenden Kräfte nicht oder nur ganz geringfügig ändern kann. Auf die starre Anbringung wird zum Schluß noch kurz eingegangen.

Der wichtigste Fall der Anlenkung findet sich als Einpunktanhangung mit zwei Freiheitsgraden (Drehung um Hoch- und Querachse) reell beim Wechselflug und ähnlichen Anhängungen, ideell bei der Dreipunktanhangung in dem Sonderfall verwirklicht, daß sich die Richtungen der drei Lenker in einem Punkt schneiden (oder parallel laufen). Die freie Drehung um die Längsachse ist im allgemeinen bei der Dreipunktanhangung durch die Kraftheberstangen, beim Wechselflug durch eine einstellbare Arretierung aufgehoben. Den ideellen Zugpunkt kann man in weiten Grenzen frei wählen, und zwar sowohl bei der Konstruktion als auch beim ausgeführten Gerät durch Verstellung der Lenkerlängen sowie der Lage des Pfluges relativ zur Ebene der drei Anlenkpunkte. Im Gegensatz zur reellen Einpunktanhangung wandert der ideelle Dreipunktanhangung bei Auslenkungen des Pfluges auf einer räumlichen Polbahn, außerdem gibt es bei größeren Auslenkungen keinen gemeinsamen Schnittpunkt der drei Lenkerichtungen mehr, selbst wenn er in der Normalstellung vorhanden ist. Größere Auslenkungen kommen aber bei der normalen Arbeit überhaupt

nicht vor, und selbst die beim Anpflügen, beim Kurvenfahren und beim Ausweichen vor Hindernissen auftretenden verursachen nur eine geringfügige Divergenz der Lenkerrichtungen, wenn ursprünglich Konvergenz vorhanden war. Man kann daher konvergente Dreipunktanhangung der Einpunktanhangung gleichsetzen. Dies gilt auch dann noch, wenn die beiden unteren Lenker einen gemeinsamen Schnittpunkt haben (praktisch stets ausgeführt) und die durch den oberen Lenker und den genannten Schnittpunkt gelegte Ebene gleichzeitig den später definierten Widerstandspunkt enthält. Dies ist zumindest bei Mehrfurchenpflügen mit großer Annäherung der Fall. (Der weitere gleichwertige Sonderfall, daß der Widerstandspunkt in der durch die beiden unteren Lenker gelegten Ebene liegt, hat praktisch keine Bedeutung.)

Der in Bild 1 bis 3 dargestellte Fall der Einpunktanhangung entspricht daher in den meisten Fällen streng, im übrigen annähernd, der Wirklichkeit. Die am Pflug wirkenden Kräfte sind ausgezogen, die am Schlepper wirkenden gestrichelt dargestellt. Vom Eigengewicht des Schleppers herrührende Kräfte wurden, da in diesem Zusammenhang nicht interessierend, fortgelassen. Der einfacheren Darstellung wegen ist die durch die Berührungspunkte der Räder mit dem Boden gelegte Fahrebene  $F$  in der Zeichnung horizontal gelegt. Dies ergibt weniger Verkürzungen, außerdem lassen sich verschiedene Geländeneigungen einfacher darstellen. Die Geländeneigung ist dadurch erkennbar, daß die Gewichtskräfte auf der Horizontalebene  $H$  senkrecht stehen. Bei der in den Bildern dargestellten Fahrt in der Ebene fällt  $H$  mit der Geländeebene  $E$  zusammen. Ist das nicht der Fall, so ändert sich nur die Richtung von  $G$  und entsprechend die Größe, deren Normalkomponente  $G_n$  und die in der Fahrebene wirkende Komponente  $G_f$ , die den Pflug bzw. den Schlepper (bei diesem nicht dargestellt) furchenwärts drückt. Im Stillstand hält ihr eine entgegengesetzt gerichtete Bodenkraft das Gleichgewicht. Beim Ziehen ist die Richtung der zwischen Schlepper und Pflug wirksamen Kräfte durch die Verbindungslinie: Ideeller Zugpunkt  $A$  und Widerstandspunkt  $P$  gegeben. Ich greife bewußt die in der älteren Literatur zu findende Bezeichnung Widerstandspunkt auf. Man kann nämlich mit guter Annäherung den Pflug als punktförmig annehmen und die an ihm angreifenden Kräfte durch eine Resultierende ersetzen. Bei den Meßpflugversuchen ergibt sich zwar immer außer der Einzelkraft noch ein Restmoment, aber erstens ist dieses klein, und zweitens dürfte es mit hoher Wahrscheinlichkeit noch viel kleiner werden, wenn man dem Pflugkörper die Möglichkeit gäbe, sich frei einzustellen. Das ist aber für den einzelnen Pflugkörper bei Mehrschar-Rahmenpflügen nicht der Fall. Daß der Pflug trotzdem ruhig in der Furche bleibt, erreicht man durch hohes Gewicht und entsprechende Führungskräfte an den Rädern. Die üblichen schweren Anhängerpflüge für Schlepperzug haben die Kenntnis und das Gefühl für das Kräftespiel am Pfluge verkümmern lassen, worauf wahrscheinlich mancher Rückschlag bei der Konstruktion der am Schlepper angelenkten Pflüge zurückzuführen ist. Mit dem Völkneroder Meßpflug, hat Getzla// die Änderung der Kräfte bei Drehung der Pflugkörper aus der Normallage gemessen und dabei überraschend große Veränderungen, z. B. bei Drehung um die Hochachse um  $4^\circ$  bis zu 30% Zugkraftersparnis, festgestellt. Dies wirft doch sofort die Frage auf, läuft denn der Pflug, der sich bei der Dreilenkeranhangung um zwei, bei anderen Anlenkungsarten zuweilen sogar um alle drei Achsen frei drehen kann, wirklich in Normallage, wie sie ihm im Rahmen- und damit im Meßpflug aufgezwungen wird? Was geschieht ferner, wenn er sich gleichzeitig um zwei oder drei Achsen drehen kann und nicht - aus naheliegenden versuchstechnischen Gründen - jeweils nur eine Veränderung vor-

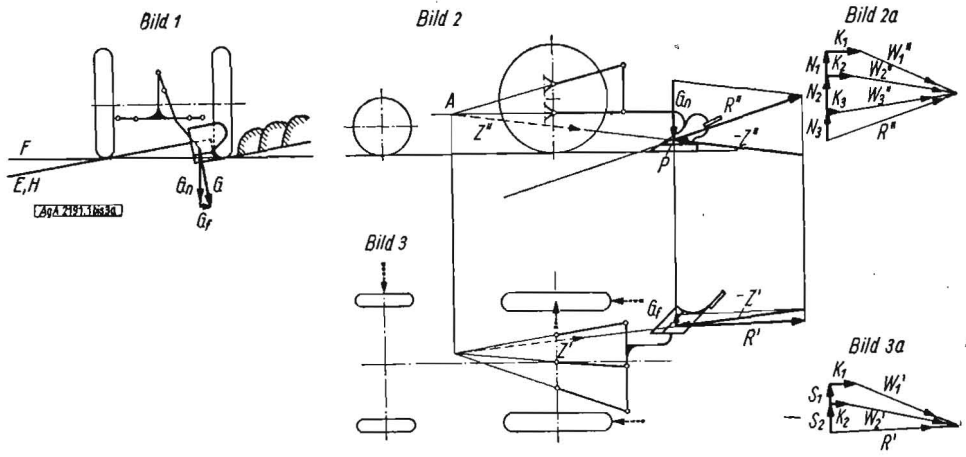


Bild 1 bis 3. (Erklärung im Text)

genommen wird? Dazu kommt noch, daß bei jedem Rahmenpflug üblicher Bauart mit starr angebrachten Pflugkörpern im Gegensatz zu angelenkten Pflügen jede Tiefgangveränderung eine Drehung um die Längsachse hervorruft, die beträchtliche Winkeländerungen der horizontalen und vertikalen Richtebene bewirkt. Sie betragen z. B. rd.  $3^\circ$  für je 6 cm Tiefgangverstellung bei 1,2 m Spurweite, wie sie ein Zweifurchenpflug ungefähr hat.  $3^\circ$  Drehung um die Längsachse aus der Normallage können aber nach den Versuchen von Getzla// den Zugkraftbedarf schon bis zu 15% ändern. Auch die Richtung der resultierenden Kraft sowie das Restmoment werden durch Drehungen aus der Normallage erheblich beeinflußt.

Wie empfindlich ein Pflug auf Verstellungen reagiert, ist vom Schwing- und Karrenpflug her bekannt. Auf alle Fälle müssen bei gelenkiger Aufhängung Momente, die außer der Einzelkraft noch auftreten, von den Arbeits- und Führungskflächen des Pfluges selbst aufgenommen werden. Die drei Lenker können nur Zug- oder Druckkräfte übertragen und üben bei Konvergenz überhaupt kein Drehmoment, bei der praktisch vorkommend geringen Divergenz nur ein entsprechend kleines auf den Pflug aus. Es liegen ähnliche Verhältnisse vor wie beim Schwing- und beim Karrenpflug, wo durch die Sterzen bzw. durch die Sattelfläche zwischen Grindel und Karre nur vernachlässigbar kleine Momente übertragen werden können.

Es fragt sich nun noch, wo liegt der Widerstandspunkt? Offenbar irgendwo innerhalb des Furchenquerschnittes, womit schon eine recht enge Begrenzung gegeben ist. Ebenfalls in der älteren Literatur findet sich die Angabe, daß er der Schnittpunkt einer in  $1/3$  Furchentiefe (von der Sohle aus gemessen) und  $1/3$  Breite (von der Furchenwand aus gemessen) gelegten Längsachse mit der Arbeitsfläche sei. Ich möchte mich ebenfalls für diese Annahme entscheiden. Die möglichen Abweichungen, nämlich Scharspitze einerseits und Mitte Furchenquerschnitt andererseits, sind so geringfügig, daß sie gegenüber anderen Ungenauigkeiten gar keine Rolle spielen. Die Streubereiche der Richtungen der auf die Arbeitsflächen wirkenden Kräfte, die bei Versuchen mit Meßpflügen ermittelt wurden, sind wesentlich größer. Bei Mehrscharpflügen kann man einen Gesamtwiderstandspunkt in der Mitte der Verbindungsgeraden der einzelnen Widerstandspunkte annehmen. Sech und Vorschäler lassen sich in ähnlicher Weise berücksichtigen. Da sie ohnehin nahezu auf der Verbindungsgeraden  $A-P$  liegen, sind etwaige Schätzungsfehler unerheblich.

Damit ist die Richtung der am Schlepper angreifenden Kraft  $Z'$  festgelegt. Ihre Größe kann von 0 bis zu einem Maximalwert schwanken, der dadurch bestimmt ist, daß ihre Längskomponente nicht größer werden kann als Triebbelastung mal Kraftschlußbeiwert, vermindert um den Fahrwiderstand des Schleppers. Der Kraft  $Z$  halten (bei ungesperrtem Differential) zwei gleich große, entgegengesetzt der Fahrtrichtung wirkende, an den Triebädern angreifende Kräfte das Gleichgewicht sowie zwei senkrecht zur Fahrtrichtung an den Vorder- und Triebädern angreifende Kräfte, wie aus Bild 3 ersichtlich. Wie sich die Seitenkräfte bei verschiedener Lage von  $Z'$  sowie

bei gesperrtem Differential verändern, soll nicht dargestellt werden.

Die resultierende auf den Pflug wirkende Kraft im Grundriß ergibt sich aus der Zusammensetzung von  $-Z'$  und  $G_f$ . Die vom Boden auf den Pflug übertragene Kraft  $R'$  ist ihr gleich und entgegengesetzt gerichtet. Ich halte es für anschaulicher und zweckmäßiger, zunächst von den aktiven vom Schlepper auf den Pflug ausgeübten Kräften zu sprechen und dann erst von den Reaktionskräften im Boden.

Will man statt der hier gewählten Darstellung von den mit einem Meßpflug ermittelten Kräften ausgehen, so muß man die auf die Arbeitsfläche wirkende Kraft  $W'$ , die auf die Führungsflächen wirkende Normalkraft  $S$  sowie an den letzteren angreifende Reibungskraft  $K$  so wählen, daß ihre geometrische Summe wieder  $R'$  ergibt. Das ist deshalb leicht möglich, weil die Richtung der auf die Arbeitsfläche wirkenden Kraft – meist Bodenbearbeitungswiderstand genannt – und damit die Größe der zugehörigen Führungskraft sowie der Anlagenreibung in weiten Grenzen schwanken. Dabei ist noch zu bedenken, daß die Reibungskraft  $K$  sowohl von der horizontalen als auch von der vertikalen Komponente von  $R$  abhängt. In Bild 3a sind einige Kräfte dargestellt, die der genannten Bedingung genügen. Welches im Einzelfall zutrifft, ist nicht zu entscheiden – und ist auch uninteressant! Beispielsweise vermag auch eine genaue Kenntnis der Richtung der in einem bestimmten Fall auf die Arbeitsfläche wirkenden Kraft nichts zur Beantwortung der wirklich wichtigen Frage beizutragen, wohin der Konstrukteur den ideellen Zugpunkt  $A$  legen muß, damit der Pflug möglichst stabil läuft, ohne daß die Reibungskräfte an der Anlage unnötig groß werden. Anders ausgedrückt, wie weit darf die Richtung von  $Z'$  unter Berücksichtigung einer etwaigen seitlichen Gewichtskomponente von der Fortbewegungsrichtung land- oder furchenseitig abweichen? Den Zugpunkt kann man ja bei Dreipunktaufhängung durch Querverschiebung oder Drehung des Pfluges um eine Vertikalachse oder durch beide Maßnahmen in weiten Grenzen frei wählen. Entsprechendes gilt für die auf der Fahrebene senkrechte Längsebene. Es ist auch ohne weiteres konstruktiv zu verwirklichen, daß er bei Kehrpflügen beliebiger Art jeweils seine Lage zur Schlepperlängsachse wechselt. Zieht der Schlepper den Pflug in Richtung auf das gepflügte Land, so ist immer noch ein stabiler Zustand denkbar, solange die auf die Anlage wirkende Kraft nicht  $= 0$  wird. Aber wie weit darf man gehen? Das kann nur die Beobachtung am angelenkten Pflug selber lehren. Übrigens ist die Erhaltung eines stabilen Zustandes viel wichtiger als die Verminderung der Reibungskraft, zumal letztere doch nur mit einer Vergrößerung der seitlich auf den Schlepper wirkenden Kräfte erkaufte wird. Wie denn überhaupt ungestörte Arbeit und gute Arbeitsqualität gegenüber einer auf Kraftersparnis bedachten Betrachtung im Vordergrund stehen sollten.

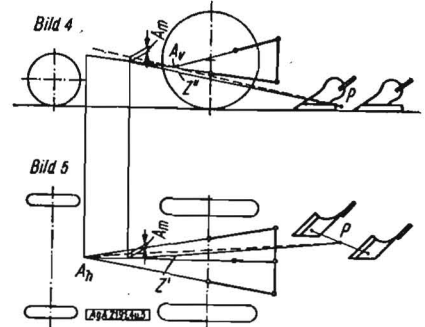
Die hier behandelte seitliche Verlegung des Zugpunktes darf nicht mit der Breitenverstellung am Schwing- und am Karrenpflug verwechselt werden. Dort bleibt die Lage des Zugpunktes, der reell gegeben ist, durch die Berührungspunkte der Stränge mit den Zugtieren erhalten, geändert wird der seitliche Anstellwinkel, die Kette Pflug-Zugstränge erhält einen Knick, der sich unter der Einwirkung der Zugkraft strecken muß, bis sich unter Änderung der Arbeitsbreite eine neue Gleichgewichtslage eingestellt hat. Eine Verlegung des Zugpunktes dagegen braucht in gewissen Grenzen keine Veränderung der Breite (und der Tiefe) zu bewirken, denn damit verbunden wäre eine Verdrehung des Pfluges, was erhebliche Rückstellkräfte im Boden zur Folge hat.

Das über die Kräfte in der Fahrebene Gesagte gilt analog auch für die Kräfte in der Längsebene. Die Gewichtskraft  $G_n$  kann annähernd ebenfalls als durch den Widerstandspunkt hindurchgehend angenommen werden. Trifft sie nicht mehr die durch Scharschneide und Sohle gebildete Unterstütsungsfläche, was bei Ausrüstung des Pfluges mit Vorschäler und Sech zutreffen kann, so wird die hier übertragene Bodenreaktion kleiner und es ergibt sich eine zusätzliche auf den Schlepper wirkende Vertikalkraft, die im ideellen Zugpunkt des Lenkers angreifend gedacht werden kann. Sie ist aber im allgemeinen vernachlässigbar klein. Betont sei nochmals, daß die Seitenprojektion von  $Z$

also  $Z''$  und ihre hier in Erscheinung tretende Vertikalkomponente nichts mit Bodenbearbeitungswiderstand üblicher Definition zu tun hat. Verführt wird man zu dieser Auffassung, weil bei der üblichen Lage des Zugpunktes, insbesondere wenn er reell vorhanden ist, die Richtung von  $Z''$  etwa mit der häufigsten Lage der auf die Arbeitsfläche wirkenden Bodenkraft übereinstimmt. Verlegt man jedoch den Zugpunkt nach unten, was bei Dreilenkeraufhängung einfach und auch zweckmäßig ist, so kann man eine horizontale, ja sogar schräg abwärts gerichtete Lage von  $Z''$  erreichen. Damit ergibt sich die Möglichkeit, das Gewicht des Pfluges klein zu halten – die meisten Pflüge sind mit Rücksicht auf gutes Einziehen zu schwer gebaut – oder durch Feder- oder Kraftheberaufhängung auf den Schlepper zu verlagern. Auch hier ist es wieder anschaulicher, von der Aktion auszugehen und zu sagen, die Resultierende von  $Z''$  und  $G_n$  zieht den Pflug in der dargestellten Richtung in den Boden hinein. Wieder bleibt es unbenommen, die resultierende Bodenkraft  $R''$  zu zerlegen in eine auf die Arbeitsflächen wirkende Komponente  $W''$ , eine nach oben auf die Sohle wirkende Stützkraft  $N$  und eine Reibungskraft  $K$ , wie dies in Bild 2a in mehrfacher Weise geschehen ist. Aber wieder ist damit so gut wie gar nichts gewonnen, die Fragen des Konstrukteurs nach der zweckmäßigsten Lage des Zugpunktes, nach dem erforderlichen Gewicht des Pfluges, der Länge der Lenker, die die Polbahn des Zugpunktes beim Anfahren und bei Nickschwankungen beeinflussen, bleiben unbeantwortet.

Bei den üblichen Konstruktionen schneiden sich die Richtungen der unteren Lenker in einem Punkt  $A_h$  und die Richtung des oberen mit der unteren Lenkerebene in Punkt  $A_v$ , Bild 4. (Die Gewichtskräfte sind hier der Einfachheit halber fortgelassen.) Außerdem pflügt der obere Lenker kürzer zu sein.

Bild 4 und 5.  
(Erklärung im Text)



Dieser Umstand vergrößert die Divergenz bei Auslenkungen. Diese können aber trotzdem nur klein sein, da sonst die Rückstellkräfte sehr groß werden. Dabei ist zu bedenken, daß auch rein seitliche Auslenkungen Kippbewegungen des Pfluges um die Querachse hervorrufen, besonders bei kurzem oberem Lenker. Divergenz der Lenker bedeutet, daß auf den Pflug nicht mehr eine Einzelkraft, sondern noch zusätzlich ein Drehmoment ausgeübt wird, das von den Arbeits- und Führungsflächen aufgenommen werden muß. Da aber erstens bei den ausgeführten Konstruktionen die Divergenz gering ist und zweitens der Widerstandspunkt, zumal bei Mehrscharpflügen, nur wenig außerhalb der Ebene oberer Lenker-Zugpunkt liegt, kann man mit großer Annäherung sagen: Die drei Lenker ziehen den Pflug in der Fahrebene und in der Seitenansicht in Richtung  $A_m - P$ , wobei  $A_m$  der Mittelpunkt der Strecke  $A_h - A_v$  ist. Hinzu kommen, wie in Bild 1 bis 3 dargestellt, die Gewichtskräfte. Die Größe des außerdem noch von den Lenkern auf den Pflug übertragenen Momentes ist gekennzeichnet durch den Abstand des Punktes  $A_m$  von der durch  $P$  und  $A_h$  gelegten Geraden (Moment um die Hochachse), bzw. durch den Abstand  $A_m -$  Verbindungsgerade  $P - A_v$  (Moment um die Querachse).

Wenden wir uns schließlich dem dritten Fall, der starren Anbringung des Pfluges am Schlepperrahmen zu. Hier liegen die gleichen Verhältnisse wie beim Sechskomponentenmeßpflug vor – mit allen dort auftretenden Schwierigkeiten, die sich aus der statischen Unbestimmtheit des Problems ergeben. Man pflügt zwar an dem zu untersuchenden Pflugkörper Sohle und

Anlage zu entfernen, um nach Möglichkeit nur auf die Arbeitsflächen wirkende Bodenkkräfte zu messen, aber das gelingt doch nur zum Teil. Die Veröffentlichungen über Versuchsergebnisse bei flachem Pflügen und beim Pflügen im steinigem Boden zeigen, daß oft beträchtliche vertikal nach oben wirkende Kräfte auftreten, die offenbar auf die Scharschneide wirken. Daß diese derartige Vertikalkräfte zu übertragen vermag, beweist jeder auf dem Boden stehende Pflug, es beweist dies die oft anzutreffende verhärtete Pflugschle. Daher ist ein auf drei Rädern und drei Pflugkörpern stehender Pflug ein statisch unbestimmtes Gebilde, bei dem es nur durch sorgfältige Einstellung gelingt, den Meßkörper bei Normalarbeit – steinfreier Boden, keine zu flache Furche – so frei zu machen, daß nur auf die Arbeitsfläche wirkende Bodenkkräfte die Meßdosen beeinflussen. Daß im praktischen Betrieb die gleichen Verhältnisse vorliegen, kann man nicht erwarten, ganz abgesehen davon, daß der Pflugkörper ja in diesem Falle mit Sohle und Anlage ausgerüstet ist und deren Aufgaben nicht allein dem hinteren Stützrad, wie beim Meßpflug übertragen werden. Auf alle Fälle erscheint mir die jetzt fast allgemein zu findende Annahme, daß bei starrer Pflugschle, z. B. zwischen den drei Rädern eines Dreiradschleppers, die Räder eine zusätzliche Belastung durch die „vertikale Komponente des Bodenbearbeitungswiderstandes“ erfahren, als zu günstig. Beim Anpflügen und in steinigem Boden ist das Gegenteil der Fall, und diesen ungünstigen Fall muß der Konstrukteur berücksichtigen – und er tut es glücklicherweise auch, ohne sich viel um die Theorie zu scheren. Bei starrer An-

bringung kann im Gegensatz zur Anlenkung das gesamte Pfluggewicht auf den Schlepperrädern ruhen, soweit es nicht über die Sohle auf den Boden übertragen wird. Nimmt man das erstere an, so tut man wohl gut daran, im Normalfall nicht auch noch zusätzlich eine nach abwärts gerichtete Komponente des Arbeitswiderstandes in Rechnung zu setzen, sondern diese durch die Sohlenkraft als ausgeglichen zu betrachten. Genau dasselbe gilt für die seitlichen Kräfte.

**Zusammenfassung**

Meine Ausführungen sollten nicht den Wert von Meßpfluguntersuchungen an sich in Frage stellen. Für die Beurteilung der Wechselwirkung zwischen Schlepper und angelenktem Pflug haben diese auch keine Bedeutung. In allen Fällen – und das sind weitaus die meisten –, in denen es nur auf die Kenntnis des Wechselspiels der Kräfte zwischen Pflug und Schlepper ankommt und nicht darauf, wie die einzelnen Teile oder der Pflugkörper bzw. andere Arbeitswerkzeuge dazu beitragen, genügt es und ist überdies durchsichtiger und einfacher, von der Gesamtbodenkraft auszugehen. Ihre Richtung ist bei Anlenkung hinreichend genau bekannt, ihre Größe durch das Zugvermögen des Schleppers begrenzt. Bei starrer Anbringung der Arbeitswerkzeuge ist die Kräfteverteilung statisch unbestimmt.

**Literatur**

Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf (1952) Heft 3.

A 2191

# Die Zugleistung eines Kettenschleppers<sup>1)</sup>

Von Kfz.-Ing. E. H. DOERGE, Schönebeck (Elbe)

DK 629.114.2: 004.15

Für die Berechnung der Zughakenleistung  $N_Z$  des Gleisketten- oder Raupenschleppers gelten dieselben Bedingungen wie für den Radschlepper:

$$N_Z = N_e - (N_R + N_S + N_V) \quad [PS]. \quad (17)$$

**1 Die Leistung für Eigenfortbewegung**

Ebenso wie bei dem Radschlepper dient die Leistung für Eigenfortbewegung  $N_R$  zur Überwindung des Roll- gegebenenfalls auch des Steigungswiderstands.

Für Gleiskettenschlepper mit Stahlkette kann im Mittel der Rollwiderstandsbeiwert für Asphaltstraßen = 0,06 und für Ackerboden = 0,07 bis 0,12 gesetzt werden, der außer von der Fahrbahn (Bodenwiderstand) noch von anderen Faktoren, wie Art und Breite der Kette, Größe der Lauf- und Leitrollen usw. abhängig ist. Seine genaue Bestimmung erfolgt am einfachsten durch einen Ausrollversuch.

Zum Befahren einer Steigung ist zusätzlich eine Steigungsleistung  $N_{st}$  erforderlich. Es sei hier auch für den Radschlepper nachgetragen, daß Gefälle die Bewegung fördern, somit einen Leistungsgewinn ergeben. Mit geändertem Vorzeichen behalten die Gleichungen (9) bzw. (10) auch für Gefällstrecken Gültigkeit.

$$W_{st} = -G \cdot \sin \alpha = -G \cdot \frac{H}{L} \quad [kg], \quad (9a)$$

$$N_{st} = -\frac{\sum W \cdot V}{3,6 \cdot 75} = -\frac{G \cdot \sin \cdot V}{270} = -\frac{G \cdot \frac{H}{L} \cdot V}{270} \quad [PS]. \quad (10a)$$

Unter Vernachlässigung des Luftwiderstands kann an Stelle der Gleichung (7) die Leistung für Eigenfortbewegung

$$N_R = \frac{\sum W \cdot V}{3,6 \cdot 75} = \frac{(W_r \pm W_{st}) \cdot V}{270} = \frac{(G \cdot f \pm G \sin \alpha) \cdot V}{270} \quad [PS] \quad (7a)$$

allgemeingültig angeschrieben werden, wenn

- + für Steigung,
- für Gefälle

gesetzt wird, dabei ist zu beachten, daß für Gefällstrecken  $W_{st}$  nach Gleichung (9) ermittelt wird.

**2 Die Verlustleistungen**

Wird der bei Kettenschleppern auftretende Schlupf  $s$  im Mittel zu 5% angenommen, dann ist dafür eine Schlupfverlustleistung

$$N_S = 0,05 \cdot N_e \quad [PS] \quad (15a)$$

erforderlich. Im Bereich der größten Zugkraft  $Z_{max}$  erreicht auch bei Kettenschleppern der Schlupf Werte von 10% und mehr.

Für die Triebwerkverlustleistung  $N_V$  setze man beim Kettenschlepper zweckmäßig in Gleichung (16)

$$\eta_{Tr} = 0,75$$

ein.

**3 Die Zughakenleistung und Zugkraft**

Wie bereits dargelegt, ist die auf die Fahrbahn übertragene Umfangskraft  $U$  vom Haftreibungsbeiwert  $\mu$  und dem Adhäsionsdruck  $G_{ad}$  abhängig. Während bei dem Radschlepper mit einer Treibachse nur der Gewichtsanteil der Treibachse  $G_{Tr}$  für die Adhäsion wirksam ist, wird für den Kettenschlepper

$$G_{ad} = G \quad [kg], \quad (36)$$

damit geht Gleichung (22) über in

$$U = \mu \cdot G \quad (kg). \quad (22a)$$

Nach Gleichung (21) ist die Zugkraft

$$Z = U - \Sigma W \quad [kg], \quad (37)$$

mit wachsendem  $U$  muß demnach auch  $Z$  größer werden, wenn  $\Sigma W$  gleich bleibt. Mit bekanntem  $Z$  kann die Zughakenleistung nach Gleichung (18) bestimmt werden.

<sup>1)</sup> Siehe auch: Die Zugleistung eines Radschleppers, H. 11, (1955), S. 445. Zur besseren Übersicht für den Leser sind die Formeln und Skizzen in beiden Aufsätzen fortlaufend durchnummeriert.