

des Schleppereinsatzes mit Hilfe geschlossener Systeme bedeutet. Im Zeitalter der Elektronik wäre eine solche Lösung technisch durchaus denkbar; sie würde aber andererseits zu einer weiteren Kostensteigerung führen, die gerade in dieser Zeit zu vermeiden ist.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

[1] *Geiger, F.*: Energiekonzepte für die Landwirtschaft Österreichs.
Diss. Technische Universität Wien, 1982.

[2] *Weiler, W.*: Optimaler Schleppereinsatz beim Pflügen.
Diplomarbeit Technische Universität Wien, 1982.
[3] ● *Mertins, K.-H. u. H. Göhlich*: Driver information displays – a step to optimum tractor operation.
Proc. III. Int. Conf. on energy use management, Berlin, 26./30. Okt. 1981. Bd. III, S. 1707/13.
Oxford and New York: Pergamon Press 1981.
[4] *Fiala, E.*: Die Schalt- und Verbrauchsanzeige.
ATZ-Automobiltechn. Zeitschrift Bd. 83 (1981) Nr. 4, S. 147/49.

Die Lage des ideellen Führungspunktes und der Zugkraftbedarf beim Pflügen

Von August van der Beek, Stuttgart-Hohenheim*)

DK 631.372:631.51

Der überwiegende Teil derzeit marktgängiger Anbaupflüge ist mit Verstellvorrichtungen versehen, mit denen entsprechend den Gegebenheiten des jeweiligen Schleppers die Arbeitsbreite des ersten Schares und die Lage des ideellen Führungspunktes einzustellen ist.

In diesem Beitrag wird mit einem vierscharigen Anbaupflug untersucht, wie die Lage des ideellen Führungspunktes den Zugkraftbedarf beeinflusst. Die Ergebnisse zeigen, daß der Zugkraftbedarf abnimmt, wenn der ideale Führungspunkt zur Furche hin verlagert wird. Mit der Verminderung von Schlupf und Kraftstoffverbrauch ist eine Verlagerung der Seitenkräfte vom Pflug auf den Schlepper hinsichtlich der Leistungsbilanz positiv. Der Geradeauslauf des Schleppers wird jedoch beeinträchtigt.

1. Einleitung

Bei der Einstellung von Volldrehpflügen ist eine Reihe unterschiedlicher Kriterien zu beachten. Gleichmäßige Arbeitstiefe an allen Körpern wird durch die Länge des Oberlenkers und die Neigungsverstellung erreicht, die Arbeitsbreite des ersten Körpers wird der folgenden durch Verschwenken des Rahmens relativ zur Koppel des Dreipunktgestänges angeglichen.

Nahezu alle derzeit marktgängigen Pflüge sind darüber hinaus mit Verstellvorrichtungen versehen, die es gestatten, die Lage des Dreipunktgestänges zu beeinflussen. Damit wird die Lage des ideellen Führungspunktes bestimmt, der für die Wirkungsrichtung der resultierenden Kräfte zwischen Schlepper und Pflug von entscheidender Bedeutung ist. Das System Schlepper/Pflug läßt sich auf diese Weise aufeinander abstimmen. Die Einflußgrößen des Schleppers sind durch Spurweite, Reifenbreite, Radstand, Vorderachslast sowie Zahl der angetriebenen Räder gegeben, die des Pfluges durch die Anzahl sowie Form der Körper und deren Arbeitsbreite.

*) *Dipl.-Ing. A. van der Beek* ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion (Lehrstuhlinhaber: Prof. Dr.-Ing. A. Stroppel) des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim.

Bisher wurde den Landwirten empfohlen, die Lage des Dreipunktgestänges so zu wählen, daß kein "Seitenzug" vom Pflug auf den Schlepper übertragen, insbesondere die Lenkfähigkeit nicht beeinträchtigt wird.

Am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim wurde untersucht, wie sich unterschiedliche Lagen des ideellen Führungspunktes auf den Zugkraftbedarf sowie den Gesamtleistungsbedarf des Systems Schlepper/Pflug auswirken.

2. Kinematik und Kinetik zwischen Schlepper und Pflug

Der auf einen Pflugkörper wirkende Bodenwiderstand kann näherungsweise durch eine Kraft ersetzt werden, die, bezogen auf den zu pflügenden Querschnitt, etwa in 1/3 der Furchentiefe über der Furchensole und 1/3 der Arbeitsbreite von der Furchenwand entfernt auf dem Streichblech in spitzem Winkel zur Furchenachse angreift. Die Widerstandskräfte der Körper können vektoriell zu einer Gesamtwiderstandskraft addiert werden, deren Wirkungslinie die Verbindungsgerade der Angriffspunkte der Einzelwiderstände im Punkt W schneidet, Bild 1.

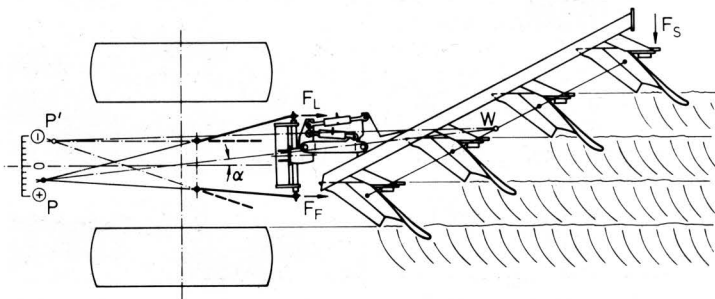


Bild 1. Kräfte am Pflug und Verlauf der Widerstandslinie für unterschiedliche Lagen des ideellen Führungspunktes.

Die Kräfte zwischen Schlepper und Pflug können zusammengefaßt werden in einer Geraden, der Widerstandslinie, die durch den Punkt W und den ideellen Führungspunkt P verläuft, der sich als Schnittpunkt in der Verlängerung der Lenker des Dreipunktgestänges ergibt. Bei den folgenden Betrachtungen wird nur die Kraftkomponente in der Horizontalebene berücksichtigt, wobei vorausgesetzt ist, daß die unteren Lenker in einer Ebene liegen, d.h. ihre Verlängerungen sich in einem Punkt schneiden.

Je nach Größe des Winkels α , der von Furchenachse und Widerstandslinie eingeschlossen wird, ändern sich die Kräfte, die von der Anlage auf die Furchenwand wirken. Verschiedene Winkel α , d.h. unterschiedliche Lagen des ideellen Führungspunktes, lassen sich bewußt durch Verstellen von Pflug und Dreipunktgestänge erreichen. Wandert der ideelle Führungspunkt zur Landseite, so wird der Winkel α kleiner oder negativ, strichpunktiert gezeichnete Position in Bild 1. Kleine oder negative Winkel α bedeuten am Pflug eine Erhöhung der Anlagenkräfte und für den Schlepper ein rechtsdrehendes Moment um die Hochachse, das an dem Vorderrad des Schleppers in der Furche eine Kraftkomponente zur Furchenwand bewirkt. Zunehmend positive Winkel α führen zu einem linksdrehenden Moment um die Schlepperhochachse mit einer Seitenkraft am Vorderrad von der Furchenwand weg. Rechtsdrehende Momente, d.h. kleine oder negative Winkel α , behindern den Geradeauslauf des Schleppers kaum oder nur wenig, der Schlepper läuft stabil an der Furchenwand geradeaus. Am Pflug wirken jedoch Seitenkräfte, die den Reibungswiderstand erhöhen. Große positive Winkel α , d.h. Verlagerung des ideellen Führungspunktes zur Furche hin, bewirken eine Entlastung der Anlagen, haben jedoch ein linksdrehendes Moment um die Hochachse des Schleppers zur Folge. Dieses Moment muß durch Gegenlenken kompensiert werden und führt u.U. zu einer Einschränkung der Lenkfähigkeit.

3. Versuchsdurchführung

Um die beschriebenen Verhältnisse in ihrer Auswirkung auf den Kraftstoffverbrauch quantitativ zu untersuchen, wurden am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim Feldversuche durchgeführt. Als Pflug wurde ein Anbau-Volldrehpflug mit einer Nennschnittbreite von 42,5 cm pro Körper verwendet, die Arbeitstiefe betrug ca. 30 cm, die Gesamtarbeitsbreite ließ sich durch Anflanschen einer unterschiedlichen Körperzahl (2 bis 6 Schare) verändern. Als Schlepper wurde ein 88 kW-Allradsschlepper mit einer Gesamtmasse von 6 500 kg verwendet. Die Fahrgeschwindigkeit betrug bei allen Versuchen etwa 4 km/h.¹⁾

An dieser Stelle sollen nur die Ergebnisse diskutiert werden, die mit der vierscharigen Ausführung des Pfluges ermittelt wurden. Jeder Punkt in den weiter unten dargestellten Diagrammen wurde aus 10 Wiederholungen berechnet. Folgende Größen wurden meßtechnisch erfaßt:

Die Anlagenkraft F_S wurde über eine zusätzliche fünfte Anlage gemessen; die serienmäßigen Anlagen wurden entfernt. Die fünfte Anlage wurde über eine Schwinge, Bild 2, mit einer Kraftmeßdose am Pflugrahmen abgestützt. Auf diese Weise wurde nicht die Gesamtkraft, mit der sich der Pflug an der Furche abstützt, gemessen, da nicht zu verhindern war, daß die Rümpfe die Furche berührten. Vergleichsmessungen mit der Serienausführung zeigten jedoch, daß keine Beeinflussung, beispielsweise des Zugwiderstandes, entstand. Es wurde somit eine der Gesamtanlagenkraft proportionale Kraft gemessen, die zur Klärung des anstehenden Zusammenhanges ausreicht, zumal der Gang des Pfluges von dieser Maßnahme unbeeinflußt blieb.

Die Kräfte in der Koppellebene des Dreipunktgestänges wurden mit einem Meßrahmen gemessen. Im einzelnen wurden die Vertikalkraft F_V , die Kräfte in Zugrichtung am furchenseitigen bzw. landseitigen Unterlenker F_F und F_L , Bild 1, gemessen, sowie die Kraft im Oberlenker.

¹⁾ Den Firmen Fendt in Marktoberdorf/Allgäu und Lemken in Alpen/Niederrhein sei für ihre Unterstützung herzlich gedankt.

Der Schlupf σ wurde aus den Wegstrecken der Hinterräder des Schleppers und der eines fünften Rades, das zwischen Vorder- und Hinterrad angeordnet war, berechnet. Das Meßsignal wurde über photo-elektrische Impulsgeber mit 360 Impulsen pro Radumdrehung erzeugt.

Der stündliche Brennstoffverbrauch B_h des Schleppers wurde über den Impulsausgang eines Durchflußmeßgerätes mit einer Auflösung von 1 Impuls pro cm^3 erfaßt. Die Signale aller Meßstellen wurden im gleichen Zeitintervall erfaßt und registriert.

Die Lage des ideellen Führungspunktes wurde über die Lage des Dreipunktgestänges bestimmt. Zu diesem Zweck wurde am Pflug an der Tragachse zwischen den unteren Anlenkern ein Meßlineal befestigt, und am Schlepperrumpf wurde ein Zeiger angebracht.

Die Messungen wurden für je sieben unterschiedliche Lagen des ideellen Führungspunktes durchgeführt, wobei die Grenzlagen durch die lichte Weite zwischen den Reifen bestimmt waren.

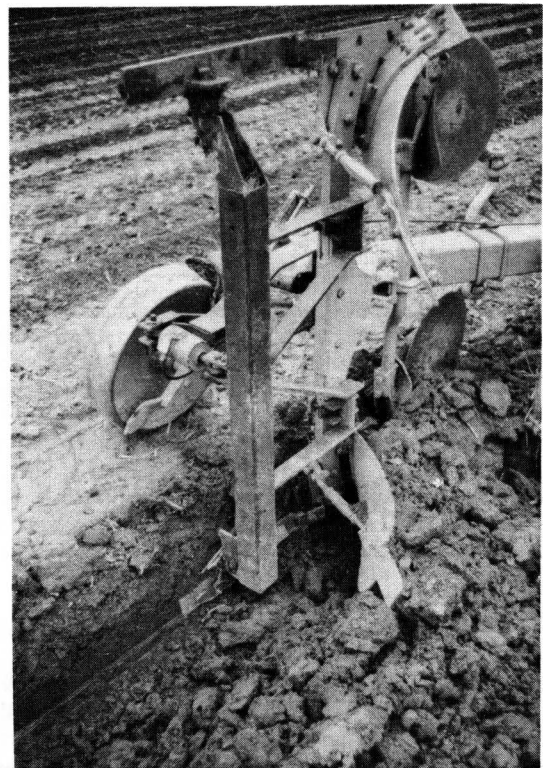


Bild 2. Schwinge mit "fünfter" Anlage und Kraftmeßdose zur Bestimmung der Anlagenkraft.

4. Ergebnisse

In Bild 3 sind die Kräfte zwischen Schlepper und Pflug in der Koppellebene des Dreipunktgestänges für den vierscharigen Pflug dargestellt. Auf der Abszisse ist die Lage des ideellen Führungspunktes aufgetragen, wobei von der Mittellängsebene des Schleppers ausgehend, ein "-" die Verlagerung zur Landseite und ein "+" die Verlagerung zur Furchenseite bedeutet; die maximale Abweichung betrug 180 mm.

Die Vertikalkraft F_V ist der Anteil von Pfluggewicht und Bodenwiderstand, der auf den Schlepper übertragen wird und somit die dynamische Achslastverteilung beeinflusst. F_V beträgt im Mittel 12,36 kN und ändert sich bei einem Variationskoeffizienten von $s_r = 4,26\%$ nur geringfügig, d.h. unterschiedliche Lagen des ideellen Führungspunktes haben keine wesentlichen Änderungen der dynamischen Achslastverteilung zur Folge. Diese Tatsache ist für die Beurteilung des Fahrverhaltens von Bedeutung.

Die Horizontalkräfte am land- bzw. furchenseitigen Unterlenker F_L und F_F , Bild 3, ändern sich ganz erheblich, wenn der ideale Führungspunkt von der Landseite zur Furche hin wandert. F_F wächst von ca. 10 kN auf über 20 kN an, während F_L von fast 43 kN auf ca. 18 kN abfällt. Diese Kräfte sind für die nach Größe und Richtung unterschiedlichen Momente um die Hochachse verantwortlich, die vom Pflug in den Rumpf des Schleppers eingeleitet werden und damit das Fahrverhalten beeinflussen. Je weiter der ideale Führungspunkt zur Landseite hin wandert, um so mehr wird das Vorderrad in der Furche zur Furchenwand hin belastet. Liegt der ideale Führungspunkt jedoch näher an der Furche, so wird der Schlepper von ihr weggedreht. Dieser Effekt kann in begrenztem Umfang durch Gegenlenken aufgefangen werden.

In Bild 3 ist weiterhin die Zugkraft F_Z aufgetragen, die aus der vektoriellen Addition der Kräfte im Oberlenker und in den Unterlenkern errechnet wurde. F_Z nimmt bis zu 20 % ab, je näher der ideale Führungspunkt an der Furche liegt.

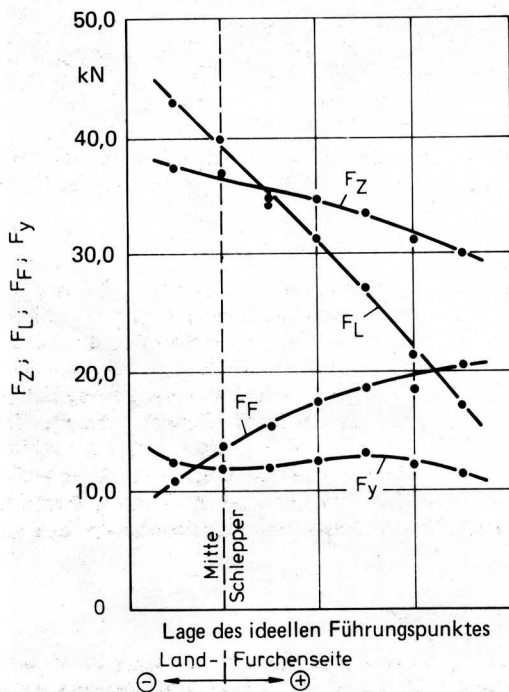


Bild 3. Kräfte zwischen Schlepper und Pflug in Abhängigkeit von der Lage des ideellen Führungspunktes.

- F_F Längskraft im unteren Lenker, Furchenseite
- F_L Längskraft im unteren Lenker, Landseite
- F_y Vertikalkraft
- F_Z Zugkraft

Die Anlagenkraft F_S ist in Bild 4 dargestellt, sie fällt von ca. 2,10 kN auf 1,35 kN ab, wenn der ideale Führungspunkt zur Furche hin verlegt wird.

Neben F_S ist in Bild 4 der spezifische Pflugwiderstand f als Quotient aus Zugkraft F_Z und gepflügtem Querschnitt A aufgetragen. Bei der Versuchsdurchführung wurde danach getrachtet, Arbeitsbreite und -tiefe nicht zu verändern. Daß dies weitgehend gelungen ist, kommt in den Kurven für die Zugkraft F_Z in Bild 3 und den spez. Pflugwiderstand f in Bild 4 zum Ausdruck, die im Mittel den gleichen prozentualen Abfall aufweisen.

Die Kurven in den Bildern 3 und 4 sagen nur etwas über die Kräfte in der Koppelenebene bzw. den Zugkraftbedarf des Pfluges aus. Wie schon erwähnt, müssen die Momente um die Hochachse des Schleppers eventuell durch Gegenlenken kompensiert werden. Der Schräglauf der Vorderräder läßt dann eine Erhöhung des Gesamt-

rollwiderstandes erwarten. Erst eine Betrachtung des Gesamtleistungsbedarfs des Schleppers gibt daher Aufschluß darüber, ob der geringere Zugkraftbedarf des Pfluges wirksam wird oder ob der erhöhte Rollwiderstand des Schleppers diesen Vorteil zunichte macht.

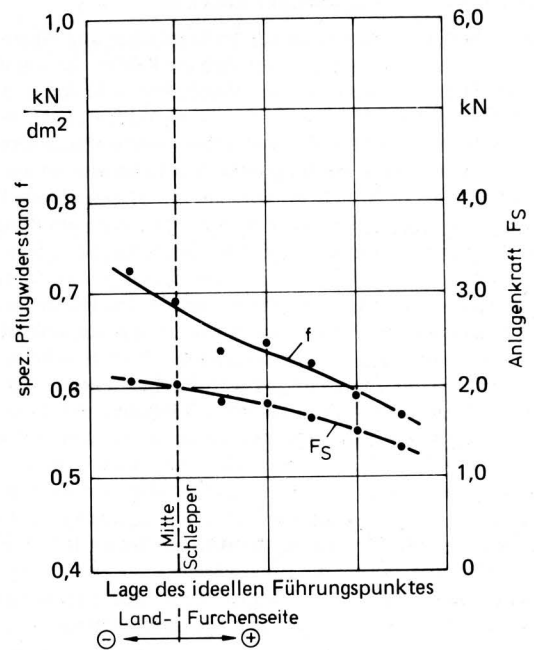


Bild 4. Anlagenkraft F_S und spezifischer Pflugwiderstand f in Abhängigkeit von der Lage des ideellen Führungspunktes.

Die Auswirkungen, die sich aus unterschiedlichen Lagen des ideellen Führungspunktes für den Schlupf σ und den stündlichen Brennstoffverbrauch B_h ergeben, sind in Bild 5 verdeutlicht. Wandert der ideale Führungspunkt auf die Furche zu, so nimmt der Schlupf ab. Verläuft die Widerstandslinie unter einem größeren Winkel α zur Furchenachse, so werden am Pflug die Anlagen entlastet und der Zugkraftbedarf reduziert. Daraus resultierende Momente um die Schlepperhochachse erfordern Gegenlenken und bewirken tendenziell einen höheren Rollwiderstand des Schleppers. Die Funktion des Schlupfes σ in Bild 5 zeigt jedoch, daß die Rollwiderstandskräfte, gemessen am Abfall der Zugkraft, nur unwesentlich ansteigen. Der Schlupf wird umso geringer, je weiter der ideale Führungspunkt zur Furche hin verlegt wird. Diese Tatsache wird durch die Kurve für den stündlichen Brennstoffverbrauch B_h bestätigt, B_h weist die gleiche Tendenz auf wie die Zugkraft F_Z und der Schlupf σ .

Mit Bild 6 wird gezeigt, wie sich eine unterschiedliche Arbeitsbreite des Pfluges auf den Winkel der Widerstandslinie auswirkt. Dazu ist im Bild die Richtung der Widerstandslinien bei gleicher Lage des ideellen Führungspunktes für einen Zweischar- und einen Sechsscharpflug eingezeichnet. Während bei dem Pflug mit zwei Körpern die Widerstandslinie nahezu parallel zur Furchenachse verläuft, ist bei einer größeren Arbeitsbreite, im gezeichneten Fall von sechs Körpern, ein deutlicher Winkel zwischen Furchenachse und Widerstandslinie festzustellen. Es ist somit zu erwarten, daß bei Pflügen mit zunehmender Scharzahl prinzipiell größere Anteile der Seitenkräfte an den Pflugkörpern auf den Schlepper übertragen werden. Nach den Ergebnissen für den vierscharigen Pflug wäre daher auch ein geringerer spezifischer Leistungsbedarf zu erwarten.

In Bild 7 ist der auf den bearbeiteten Querschnitt A bezogene stündliche Brennstoffverbrauch in Abhängigkeit von der Anzahl der Pflugkörper, d.h. der Arbeitsbreite, aufgetragen. Die in dem Diagramm eingetragenen Punkte sind als arithmetisches Mittel des

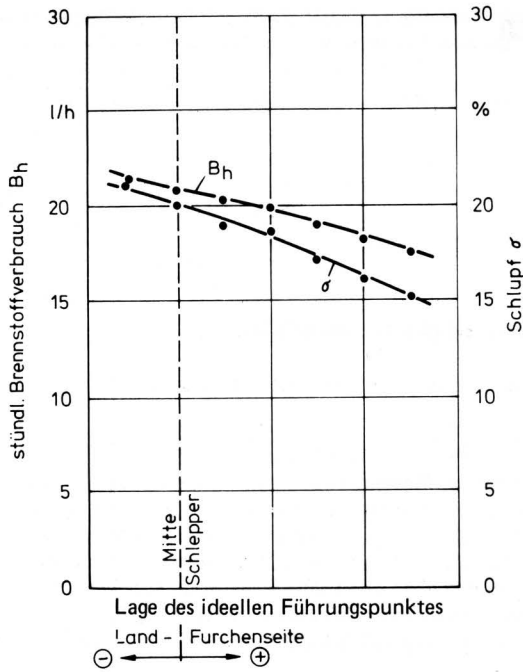


Bild 5. Stündlicher Brennstoffverbrauch B_h und Schlupf σ in Abhängigkeit von der Lage des ideellen Führungspunktes.

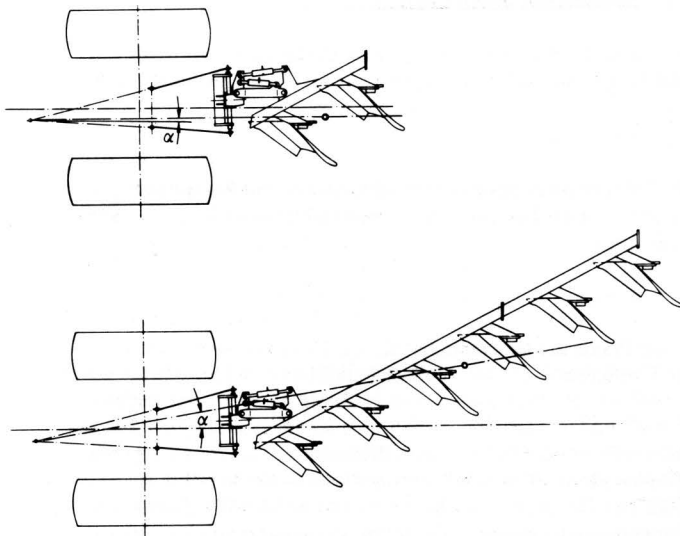


Bild 6. Widerstandslinien am zwei- bzw. sechsscharigen Pflug bei gleicher Lage des ideellen Führungspunktes.

gemessenen Brennstoffverbrauches für den gesamten Stellbereich des ideellen Führungspunktes bei der jeweiligen Körperzahl berechnet worden.

Der auf den gepflügten Querschnitt bezogene Brennstoffverbrauch B_h/A nimmt von $0,53 \text{ l/h dm}^2$ bei zwei Körpern ab bis auf $0,3 \text{ l/h dm}^2$ bei sechs Körpern. Diese Abnahme ist unerwartet groß, entspricht jedoch in ihrer Tendenz den Ergebnissen, die vorstehend für den Pflug mit vier Scharen beschrieben wurde. Es muß

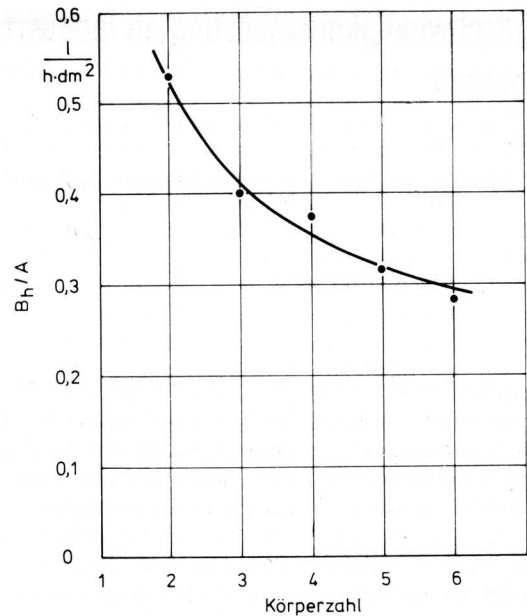


Bild 7. Auf den bearbeiteten Bodenquerschnitt bezogener stündlicher Brennstoffverbrauch B_h/A in Abhängigkeit von der Körperzahl.

jedoch berücksichtigt werden, daß der Schlepper, der für alle Meßreihen verwendet wurde, mit dem Zweischarpflug wesentlich geringer ausgelastet war als mit dem Sechsscharpflug, d.h. bei den geringen Arbeitsbreiten war der Rollwiderstand aufgrund des hohen Gewichtes im Verhältnis zum Pflugwiderstand vergleichsweise hoch, und der Motor arbeitete nicht im Bereich optimalen Verbrauchs. Andererseits war es naheliegend, aufgrund des Einflusses, den die Geometrie des Schleppers und die kinematische Verbindung zwischen Schlepper und Pflug auf den Leistungsbedarf hat, den gleichen Schlepper für alle Versuchsreihen zu verwenden.

5. Zusammenfassung

Die vorstehend beschriebenen Versuche, bei denen die Lage des ideellen Führungspunktes variiert wurde, haben ergeben, daß der Zugkraftbedarf des Pfluges geringer wird, wenn der ideelle Führungspunkt zur Furche hin verlagert wird. Die dann auftretenden Momente um die Hochachse des Schleppers beeinträchtigen das Fahrverhalten des Schleppers und müssen gegebenenfalls durch Gegenlenken kompensiert werden. Der Lenkeinschlag der Vorderäder läßt eine Zunahme des Rollwiderstands erwarten. Für den beschriebenen Fall nahm der Zugkraftbedarf in weit stärkerem Maße ab, als die Rollwiderstandskräfte zunahm, dies ist den Funktionen für den Schlupf und Brennstoffverbrauch in Abhängigkeit von der Lage des ideellen Führungspunktes zu entnehmen. Der Gesamtleistungsbedarf des Systems Schlepper/Pflug wird geringer, wenn der ideelle Führungspunkt zur Furche verlagert wird.

Die Frage, ob die vorgestellten Ergebnisse für alle Schlepper in gleicher Weise gelten, kann nicht endgültig beantwortet werden, weil Radstand, Spurweite, Reifenbreite, Masse sowie Achslastverteilung und nicht zuletzt das Vorhandensein eines Allradantriebes entscheidenden Einfluß auf die Fahrstabilität des Schleppers haben. Welchen Faktoren in diesem Zusammenhang die größere Bedeutung zukommt, wird in weiteren Meßreihen untersucht werden.