

Verbesserung der Schlepperseitenführung am Hang durch Scheibenseche

Von Walter Söhne

Wenn ein starres oder luftbereiftes Rad beim Rollen neben der vertikalen Radlast auch noch zusätzlich Seitenführungskräfte auf den Boden übertragen soll, so kann es dies bekanntlich nur, wenn es unter einem bestimmten Schräglaufwinkel zur Fahrtrichtung abrollt. Dieser Winkel hängt von den Radabmessungen, der Größe der Seitenkraft und dem Bodenzustand ab. Bei einem am Hang fahrenden Schlepper oder Gerät ergeben sich Seitenkräfte aus der Gewichtskomponente in der Hangneigung. Infolge des dabei notwendigen Schräglaufwinkels der Räder werden Hack-, Häufel- und Pflegearbeiten erschwert oder gar unmöglich gemacht. Die Seitenkraft ist annähernd gleich dem Schleppergewicht mal der prozentualen Hangneigung ¹⁾.

Auf Vorschlag von H. Meyer, Völkenrode, wurde die Frage untersucht, ob diese Seitenkraft durch ein schräg zur Schlepperlängsachse eingestelltes Messer- oder Scheibensech aufgenommen werden könnte. Dabei müßte aber gefordert werden, daß dies ohne einen zu großen Zugkraftbedarf und eine zu große Entlastung der Schlepperräder möglich ist.

Um einen Überblick über die Größe der von Sechen ausgeübten Kräfte zu gewinnen, wurden zunächst Sechskomponentenmessungen an Messer- und Scheibensechen durchgeführt. Zwei mit gleichem Winkel gegeneinander eingestellte Messer- bzw. Scheibenseche wurden am Meßgerät so angebracht, daß sich deren Kräfte gegenseitig aufhoben; auf die Sechskomponentenmeßeinrichtung arbeitete jedoch nur eins der Seche.

Die Seitenkräfte eines Messersechs betragen auf einem dicht gelagerten, lehmigen Sandboden bei einem Anstellwinkel von 18° und einer Arbeitstiefe von 14 cm etwa 200 kg. Die erforderliche Längskraft (Zugkraft) belief sich gleichzeitig auf 180 kg. Auch unter anderen Bodenverhältnissen sowie bei anderen Schnittiefen und Anstellwinkeln waren die erforderlichen Längskräfte immer von gleicher Größenordnung wie die optimal erreichbaren Seitenkräfte. Daraus ergab sich die Schlußfolgerung, daß bei Messersechen der Zugkraftbedarf für die Erzeugung einer Seitenkraft viel zu hoch ist und daher Messerseche für den gedachten Zweck gänzlich ungeeignet sind.

Mit Scheibensechen ergaben sich dagegen auf gleichem Boden bei 15 cm Arbeitstiefe und bei Anstellwinkeln ²⁾ von 6° Seitenkräfte von 400 bis 500 kg, Längskräfte von 200 bis 250 kg und nach oben gerichtete Vertikalkräfte von 120 kg. Die Sei-

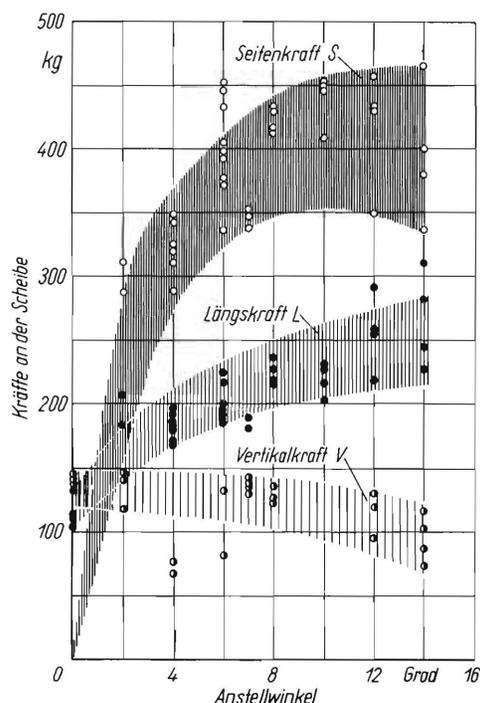


Bild 1. Kräfte auf ein Scheibensech in dichtgelagertem, lehmigem Sandboden A (Stoppelfeld) in Abhängigkeit vom Anstellwinkel der Seche.

Scheibendurchmesser 550 mm
 Arbeitstiefe 10 cm
 Bodenfeuchtigkeit 14 Gew. %

tenkräfte sind hier also rund zweimal so hoch wie die erforderlichen Längskräfte. Bei den ersten Versuchen wurden normale Pflugscheibenseche verwendet. Diese sollen beim Pflügen keine Seitenkräfte übertragen und sind deshalb um eine Hochachse schwenkbar angelenkt. Bei unseren Versuchen waren die Scheiben jedoch starr angebracht und wurden durch die hohen Seitenkräfte sehr stark durch Biegung und Verwindung elastisch verformt. Um

¹⁾ Rechnerisch genau ist die Seitenkraft $S = G \sin \alpha$, wobei α der Hangneigungswinkel ist. Die prozentuale Hangneigung ist gleich $\tan \alpha$. Für Winkel unter 20° ist $\sin \alpha \approx \tan \alpha$.

²⁾ Der Anstellwinkel der Scheibenseche entspricht dem Schräglaufwinkel rollender Räder, die zusätzlich seitlich belastet sind.

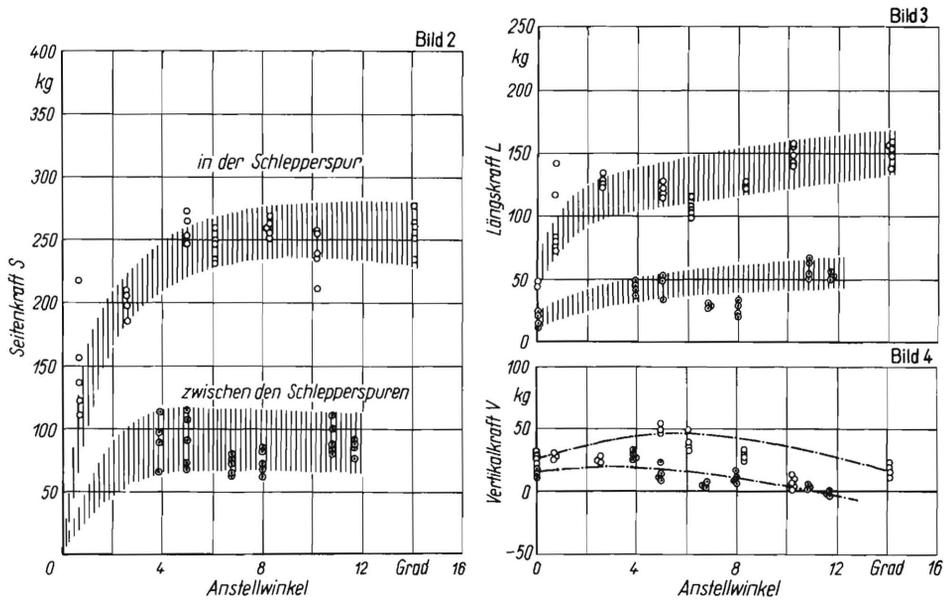


Bild 2 bis 4. Kräfte auf ein Scheibensech in und ausserhalb der Spur eines schweren Schleppers in lockerem, lehmigem Sandboden B in Abhängigkeit vom Anstellwinkel der Scheibe. Scheibendurchmesser 550 mm Boden 6 Wochen nach dem Pflügen

diese Verformungen und die davon herrührende Fälschung der Meßergebnisse zu vermeiden, wurde bei den weiteren Versuchen ein stärkeres Scheibensech von 550mm Durchmesser und 8mm Scheibendicke verwendet, wie es bei Pflug- und Rodearbeiten im Forstbetrieb üblich ist ³⁾.

In **Bild 1** sind die Meßergebnisse mit dem Forstrundsech in einem dicht gelagerten, lehmigen Sandboden (Stoppelfeld) bei 10cm Arbeitstiefe wiedergegeben. Das Bild zeigt links die Seiten-, Längs- und Vertikalkräfte am Sech in Abhängigkeit vom Anstellwinkel. Auch hierbei waren die Seitenkräfte bei einem optimalen Winkel von 6° bis 8° etwa doppelt so hoch wie die erforderlichen Längskräfte. Der schraffierte Streubereich der Meßwerte ist relativ groß. Eine Erhöhung des seitlichen Anstellwinkels über 8° hinaus bis auf 14° ergab keine Zunahme der Seitenkräfte mehr, wohl aber ein Ansteigen der Längskräfte. Dabei traten besonders bei den Seitenkräften große Schwankungen auf, die durch das periodische, seitliche Aufbrechen des Bodens hervorgerufen wurden. Man erhält bei größeren Anstellwinkeln auch unerwünscht breite Furchen. Aus diesen Gründen sind Anstellwinkel über 6° ungünstig.

Von besonderem Interesse sind die Scheibenkräfte auf lockerem Boden, wie er etwa während der Bestell- und Pflegearbeiten vorhanden ist. Es wurden daher Messungen auf einem lockeren Boden gemacht, der sechs Wochen vor dem Versuch gepflügt worden war. Dabei lief das Scheibensech das eine Mal in der sehr breiten Schlepperspur eines schweren Schleppers, das andere Mal in der Mitte zwischen

den Schlepperspuren. In **Bild 2 bis 4** sind die gemessenen Kräfte miteinander verglichen. Die Seitenkraft der Scheibe in der verdichteten Schlepperspur ist etwa 2,5 mal so groß als auf dem lockeren Boden außerhalb der Spur. Die Längskraft ist in der Schlepperspur sogar fast dreimal so groß als in dem lockeren Boden. Die Vertikalkraft zeigt dagegen keine so großen Unterschiede.

Auf Grund dieser Ergebnisse sollte man die Scheibe in der Spur der Schlepperhinterräder laufen lassen, wenn nicht andere Gründe dagegen spre-

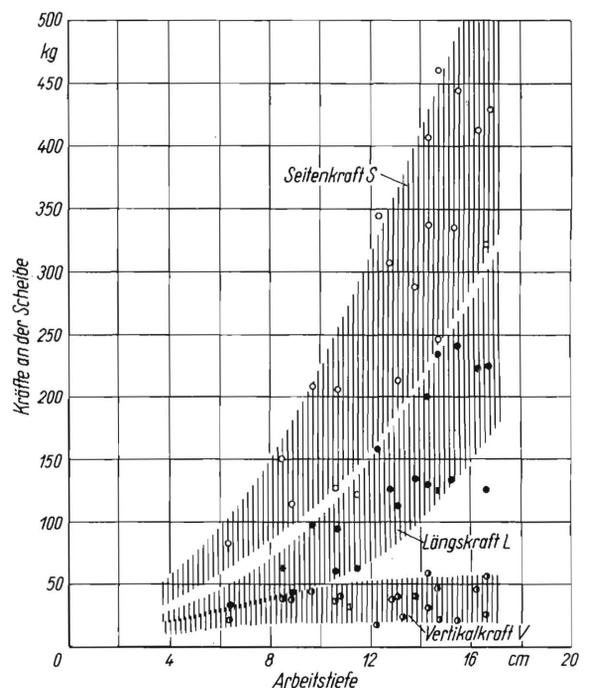


Bild 5. Kräfte auf ein Scheibensech in lehmigem Sandboden C (Stoppelfeld) in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe. Scheibendurchmesser 550mm Scheibenanstellwinkel 4°

³⁾ Das Forstrundsech — wie auch die Messer- und Scheibenseche — wurde von der Pflugfabrik Gebr. Eberhardt, Ulm, zur Verfügung gestellt.

chen. Allerdings wird der Unterschied der Seitenkräfte auf lockerem Boden und in der verdichteten Schlepperspur hinter einem leichten Schlepper mit schmalen Rädern nicht so ausgeprägt sein wie hinter einem schweren Schlepper. Andererseits kann man durch Vergrößerung der Schnitttiefe auch auf lockerem Boden die Seitenkräfte erhöhen.

In Bild 5 sind die Kraftkomponenten bei konstantem Anstellwinkel von 4° in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe auf einem Stoppelfeld eines lehmigen Sandbodens wiedergegeben. Längskraft L und Seitenkraft S steigen mit zunehmender Arbeitstiefe progressiv an. Dagegen steigt die Vertikalkraft V von 8 bis 16 cm Arbeitstiefe nur noch geringfügig an. Die Arbeitstiefe ist also keine eindeutige Funktion der Belastung (Vertikalkraft). Es können sich bei konstanter Belastung verschiedene Arbeitstiefen einstellen. Soll die Scheibe eine konstante Arbeitstiefe einhalten, muß man sie durch besondere Maßnahmen, z.B. einen Felgenring, begrenzen.

Bild 6 zeigt die Kraftkomponenten in Abhängigkeit vom Anstellwinkel auf einem Stoppelacker eines lehmigen Sandbodens bei einer mittleren Arbeitstiefe von 12,5 cm. Überraschenderweise ist in diesem Falle die Längskraft bei einem Anstellwinkel von etwas mehr als 1° geringer als bei 0° . Es ist nicht ganz eindeutig, ob dies daher rührt, daß bei dem geringen Anstellwinkel die seitliche Reibung auf der einen Scheibenseite verschwindet, während die erhöhten Seitenkräfte auf der anderen Scheibenseite sich noch nicht entsprechend auswirken, oder ob Meßungenauigkeiten des Winkels dies verursachen. Die Vertikalkraft nimmt mit zunehmendem Anstellwinkel erheblich ab. Das rührt daher, daß die Scheibe infolge ihrer Schrägstellung beim Einschneiden in den Boden sich nicht in einer schmalen, verdichteten Schnittspur, sondern in einer breiten, durch das seitliche Wegschieben des Bodens aufgelockerten Spur abstützt.

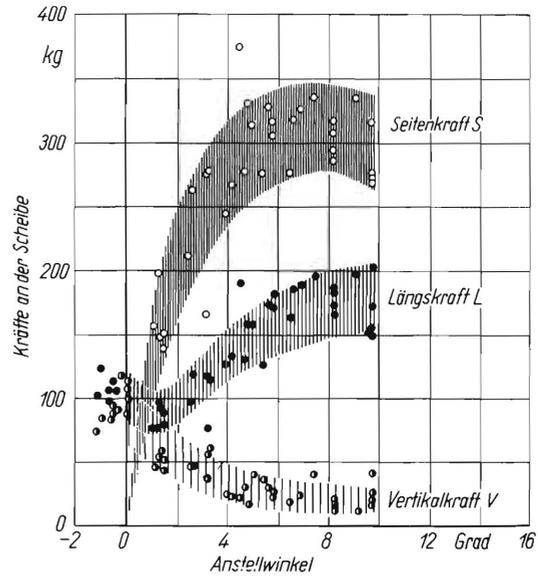


Bild 6. Kräfte auf ein Scheibensech in lehmigem Sandboden A (Stoppelfeld) in Abhängigkeit vom Anstellwinkel der Scheibe.

Scheibendurchmesser 550 mm
Arbeitstiefe 12,5 cm

In Bild 7 und 8 ist das Verhältnis der Scheibenseitenkraft zur Längskraft über dem Anstellwinkel für die verschiedenen Versuchsreihen dargestellt. In Bild 7 sind die beiden Versuchsreihen mit 10 und 12,5 cm Arbeitstiefe und in Bild 8 die Versuche auf lockerem Boden in bzw. außerhalb der Schlepperradspur aufgetragen. Danach ergibt sich das günstigste Verhältnis Seitenkraft zu Längskraft bei einem Anstellwinkel zwischen 2° und 4° .

Im Anschluß an die Sechskomponentenmessungen wurden Seitenführungsversuche mit einem mittelschweren Schlepper am Hang mit angebautem Scheibensech gemacht. Der Schlepper wog 1440 kg, von denen 870 kg auf die Hinterräder und 570 kg auf die Vorderräder entfallen. Das Scheibensech wurde dicht hinter dem rechten Hinterrad an der seitlich festgelegten Dreipunktaufhängung so angebracht, daß es mit der Längsachse des Schleppers einen

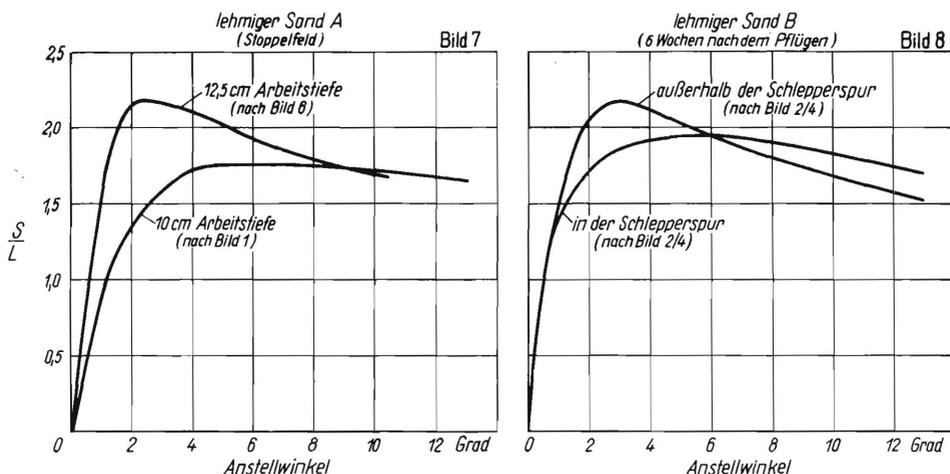


Bild 7 und 8. Verhältnis der Scheibenseitenkraft zur Längskraft in Abhängigkeit vom Anstellwinkel bei verschiedenen Bodenverhältnissen.

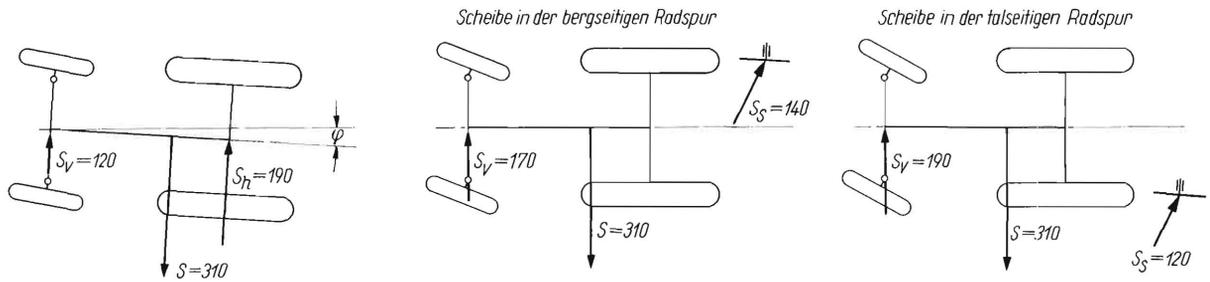


Bild 9. Seitenführungskräfte auf Vorder- und Hinterräder eines Schleppers ohne und mit Scheibe hinter dem bergseitigen bzw. dem talseitigen Schlepperhinterrad an einem Hang mit 22% Neigung auf einem schweren, tonigen Lehmboden. Schleppergewicht $G = 1440 \text{ kg}$ Achslast, vorn $G_v = 570 \text{ kg}$ Achslast, hinten $G_h = 870 \text{ kg}$

kleinen, einstellbaren Schräglaufwinkel bildet. Um die Schlepperhinterräder nun völlig von den Seitenkräften zu entlasten, muß die Scheibe die in **Bild 9** eingetragenen Seitenkräfte ausüben. Ohne Scheibe betragen bei einer Hangneigung von 22% – bei der u.a. Versuche durchgeführt wurden – die Seitenführungskräfte der Hinterräder 190 kg, die der Vorderräder 120 kg. Dabei stellte sich ein Schräglaufwinkel von etwa 3° bis 4° ein. Die Scheibe wurde einmal hinter dem bergseitigen und einmal hinter dem talseitigen Schlepperhinterrad gefahren. Bringt man die Scheibe bergseitig unter einem solchen Winkel an, daß die Hinterräder völlig von Seitenkräften entlastet sind und dann der Schräglaufwinkel dieser Räder Null wird, so errechnet sich die Seitenführungskraft der Scheibe zu 140 kg. Dabei wächst gleichzeitig die Seitenführungskraft der Vorderräder infolge des veränderten Hebelarmverhältnisses von 120 auf 170 kg an. Ist die Scheibe talseitig angeordnet, so ist der Abstand der Scheibenkraftresultierenden vom Schlepperschwerpunkt noch etwas größer. Die Seitenführungskraft der Scheibe beträgt hier zwar nur 120 kg, dafür muß aber von den Vorderrädern 190 kg Seitenführungskraft aufgebracht werden. Mit diesem Bild ist also schon die ganze Problematik aufgezeigt, die sich bei dieser Schei-

benanordnung zur Verbesserung der Seitenführung am Hang ergibt. Es werden nämlich die Seitenkräfte auf die Vorderräder so groß, daß die Vorderräder erheblich mehr eingeschlagen werden müssen. Bei bestimmten Bodenverhältnissen und größeren Hangneigungen sind die Schleppervorderräder gar nicht mehr in der Lage, diese großen Seitenkräfte aufzubringen.

Die Anordnung der Scheibe hinter dem bergseitigen Hinterrad ist günstiger als hinter dem talseitigen. Da es aber zu umständlich ist, bei Rückfahrt die Scheibe wieder zum bergseitigen Schlepperrad zu schwenken oder zwei Scheiben anzubringen, muß man hin und zurück mit der gleichen Scheibenanordnung fahren, so daß die Scheibe einmal hinter dem bergseitigen und einmal hinter dem talseitigen Rad läuft.

Im ganzen wirkt die Scheibe bei einer Anordnung hinter den Schlepperhinterrädern ähnlich wie das Ruder eines Schiffes. Sie übt ein Moment um die Schlepperhochachse aus, welches die Schleppervorderräder talwärts drücken will. Diesem Moment um die Hochachse muß durch einen größeren Einschlag der Vorderräder entgegengewirkt werden.

Mit einem so ausgerüsteten Schlepper wurde eine Reihe von Versuchen auf schwerem und leichtem Boden gemacht. Dabei wurde der Winkel zwischen Fahrtrichtung und Schlepperlängsachse und gleichzeitig der Einschlagwinkel der Vorderräder gemessen (**Bild 10**). Der Schlepper war mit einer Meßeinrichtung versehen, mit der der Einschlagwinkel der Vorderräder direkt abgelesen werden konnte. Der Schräglaufwinkel des Schleppers wurde aus dem seitlichen Abstand der Scheibenspur von der Spur eines unter der Vorderachse angebrachten Markierungsstabes errechnet.

Bild 11 zeigt die Ergebnisse auf schwerem, tonigem Lehmboden bei 22% Hangneigung. Während der Fahrt am Hang wurde alle 2 m der Einschlagwinkel der Vorderräder abgelesen und nachträglich alle 2 m der Winkel zwischen Schlepperlängsachse und Fahrtrichtung bestimmt. Die Meßergebnisse wurden in Form von Häufigkeitsverteilungen aufgetragen, wobei bei jedes Quadrat eine Einzelmessung bedeutet. Unten sind die Meßergebnisse ohne Scheibe wieder-



Bild 10. Schlepper mit einer Scheibenseche hinter dem rechten Schlepperhinterrad zur Verbesserung der Seitenführung am Hang und einer Messeinrichtung zum Ablesen des Einschlagwinkels der Vorderräder.

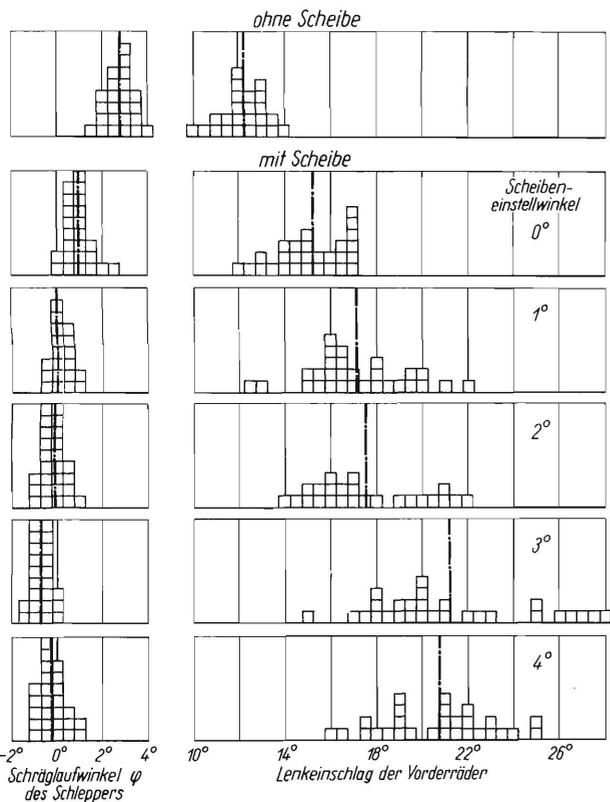


Bild 11. Häufigkeitsverteilung des Schräglaufwinkels eines mittelschweren Schleppers und der zugehörigen Lenkeinschläge der Vorderräder an einem Hang mit 22% Neigung ohne und mit Scheibensech bei verschiedenen seitlichen Einstellwinkeln der Scheibe zur Schlepperlängsachse.

gegeben. Dabei betrug der Mittelwert des Schräglaufwinkels zwischen Fahrtrichtung und Schlepperlängsachse etwa 3°. Dazu war ein mittlerer Einschlag der Vorderräder von etwa 12° erforderlich. Brachte man eine Scheibe mit einer Belastung von etwa 50 kg so an, daß sie keinen Winkel mit der Schlepperlängsachse bildete, so verringerte sich der Schräglaufwinkel des Schleppers im Mittel auf 1°. Gleichzeitig stieg aber der Mittelwert des Lenkeinschlages der Vorderräder auf 15°. Gab man nun der Scheibe verschiedene Einschlagwinkel von 1° bis 4° gegenüber der Schlepperlängsachse, so verringerte sich der Schräglaufwinkel des Schleppers immer mehr. Bei 3° ergab sich sogar ein geringer, negativer Schräglauf des Schleppers. Gleichzeitig stieg aber der erforderliche Lenkeinschlag der Vorderräder ganz erheblich an und erreichte bei 4° Scheibeneinstellung einen so großen Wert, daß die Lenkfähigkeit des Schleppers erheblich beeinträchtigt war. Überschreitet nämlich der Lenkeinschlag der Vorderräder einen bestimmten Winkel, so erhält man keine Vergrößerung der Seitenführungskraft mehr. Das von der Scheibe ausgeübte Moment um die Schlepperhochachse kann nicht mehr ausgeglichen werden, und der Schlepper ist nicht mehr steuerfähig. Aus der in Bild 11 gewählten Darstellung geht auch das Streugebiet bei diesen Messungen hervor. Die Streuung des Schräglaufwinkels des

Schleppers ist verhältnismäßig gering. Dagegen streut der Lenkeinschlag der Vorderräder wesentlich mehr, was zum Teil von den Unebenheiten des Bodens, aber auch von der Fahrweise des jeweiligen Schlepperfahrers herrühren kann.

In Bild 12 ist der Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Seitenführung dargestellt. Ohne Scheibe ergab sich im ersten (1,7 km/h) und im dritten (4,9 km/h) Gang ungefähr der gleiche mittlere Schräglaufwinkel des Schleppers und der gleiche mittlere Lenkeinschlag der Vorderräder. Auch bei Anbringung einer Scheibe unter einem Winkel von 2° zur Schlepperlängsachse ergaben sich bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten keine wesentlichen Unterschiede der Schräglaufwinkel des Schleppers und der Lenkeinschläge der Vorderräder. Dabei betrug der Schräglaufwinkel des Schleppers etwa 0°, der Lenkeinschlag der Vorderräder im Mittel etwa 18°.

Im ganzen haben die bisherigen Versuche, die Seitenführung eines Schleppers am Hang mit Scheibensechen zu verbessern, noch nicht den gewünschten Erfolg gebracht. Zwar gelang es, das Schräglaufen des Schleppers zu beseitigen, doch wurden dabei die erforderlichen Lenkeinschläge der Vorder-

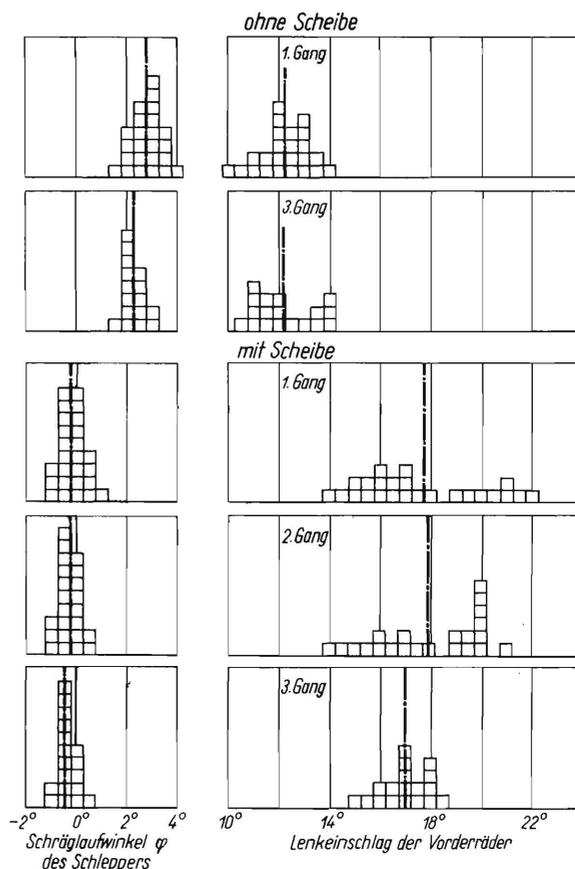


Bild 12. Häufigkeitsverteilung des Schräglaufwinkels eines Schleppers und der zugehörigen Lenkeinschläge der Vorderräder an einem Hang mit 22% Neigung ohne und mit Scheibensech bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten des Schleppers und einem seitlichen Einstellwinkel der Scheibe zur Schlepperlängsachse von 2°.

räder sehr groß. Unter bestimmten Bodenverhältnissen und Hangneigungen genühten die Lenkeinschläge nicht mehr, das zusätzliche, von der Scheibe hinter den Hinterrädern herrührende Moment um die Schlepperhochachse auszugleichen. Daher ergibt sich die Frage, ob es noch andere und günstigere Möglichkeiten gibt, die Scheibe am Schlepper anzubringen.

In Bild 13 sind die theoretischen Seitenführungskräfte auf Scheibe und Schleppervorderräder in Abhängigkeit von der Lage der Scheibe zum Schlepperschwerpunkt dargestellt. Je weiter die Lage der Scheibe nach vorn wandert, um so größer werden die erforderlichen Scheibenkräfte und um so mehr werden die Vorderräder von den Seitenkräften entlastet. Befindet sich die Scheibe unter dem Schlepperschwerpunkt, so müßte sie die gesamten Seitenkräfte übernehmen. Es empfiehlt sich nicht, über den Schlepperschwerpunkt hinaus nach vorn zu gehen, da dann die Scheibenkräfte sehr stark ansteigen und die Vorderräder gerade entgegengesetzte, also hangabwärts gerichtete Kräfte aufbringen müßten. Aus diesem Grunde erscheint auch eine Anordnung der Scheibe vor den Hinterrädern in der Spur der Vorderräder wenig sinnvoll, selbst wenn dort der nötige Platz vorhanden wäre und eine Aushebung der Scheibe vielleicht mit der Mähbalkenaushebung gekoppelt werden könnte.

Eine Anordnung der Scheibe unter oder dicht vor der Schlepperhinterachse ist, theoretisch betrachtet, die günstigste Lösung, da hier sowohl die Seitenkräfte auf die Scheibe als auch auf die Vorderräder in einem günstigen Verhältnis stehen. Jedoch ergeben sich gerade in dieser Stellung die größten konstruktiven Schwierigkeiten, die Scheibe unterzu-

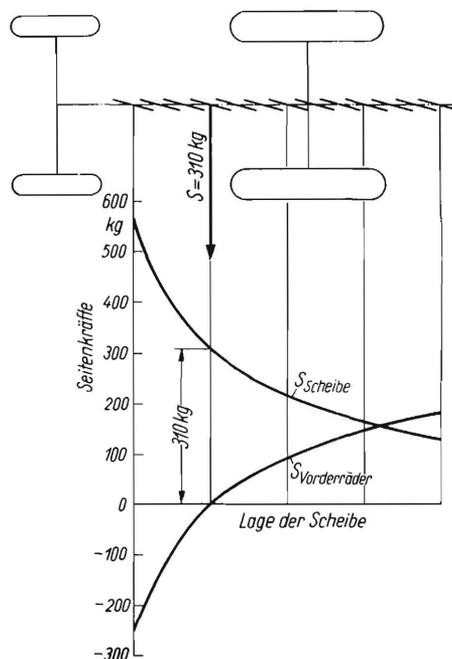


Bild 13. Seitenführungskräfte auf die Scheibe und die Vorderräder eines Schleppers am Hang mit 22% Neigung in Abhängigkeit von der Lage der Scheibe.

bringen und auszuheben. Außerdem muß man, wie bereits erwähnt, bei lockerem Boden größere Arbeitstiefen wählen als in der Spur der Hinterräder, um die nötigen Seitenführungskräfte zu erzielen.

Obwohl also Scheibenseche durchaus in der Lage sind, genügend große Seitenführungskräfte bei nicht zu hohen Zugkräften aufzubringen, ist es aus konstruktiven Gründen bei der herkömmlichen Schlepperbauart nicht möglich, eine völlig befriedigende Lösung zu finden.

Eingegangen am 21. 5. 1956

Institut für Landtechnische Grundlagenforschung
der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode
Direktor: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. W. Kloth

Anschrift des Verfassers: Dr.-Ing. Walter Söhne, (20b) Braunschweig, Bundesallee 50