

## Die Seitenführungskräfte an Ackerluftreifen beim Fahren quer zum Hang

Von Hans Lange

Die Seitenführung der Schlepperräder ist für die Arbeitsgüte der Anbaugeräte in Reihenkulturen am Hang von besonderer Bedeutung. Sie wird außer durch Hangneigung, Bodenart und -zustand durch die Größe und Verteilung der Radlasten sowie durch die Reifengröße, den Reifeninnendruck und die Ausbildung der Lauffläche beeinflusst.

Die vielen, bisher veröffentlichten Arbeiten [1 bis 7] über die Kräfte am rollenden Luftreifen betrafen ausschließlich Straßenreifen, die meist auf besonderen Laufständen, immer aber auf harten, waagerechten Fahrbahnen geprüft werden. Man untersucht üblicherweise ein Einzelrad derart, daß man Belastung, Schräglauf und Sturz fest einstellt und die am laufenden Reifen auftretenden Kräfte durch wegarme Meßglieder bestimmt. Nach diesem Verfahren wird auf einem Reifenprüfstand und mit einem Einzelradmeßgerät für Straßenversuche hinter einem Lastkraftwagenchassis, die im *Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren der TH Stuttgart* entwickelt wurden [4], gearbeitet. Durch die dort in der letzten Zeit durchgeführten Versuche wurden für Personenwagenreifen die Beziehungen von Radlast, Reifenluftdruck, Schräglaufwinkel und Sturzwinkel zu Seitenführungskraft, Rückstellmoment und Reifennachlauf weitgehend geklärt [5, 7].

Die Ergebnisse lassen sich jedoch nicht auf die Verhältnisse am Ackerluftreifen übertragen, da sie auf waagerechter Fahrbahn als Wirkung von Massenkraften (Kurvenfahrt, Anfahrt, Bremsen) gewonnen wurden. Der Schräglaufwinkel – für den Acker Schlepper in Reihenkulturen eine entscheidende Meßgröße – ist bei Straßenreifen im allgemeinen von untergeordneter Bedeutung. Fährt ein Schlepper quer zur Hangneigung auf nachgiebiger Fahrbahn, so ist er mit seiner geringen Fahrgeschwindigkeit von 5 bis 10 km/h nur unwesentlichen Massenkraften ausgesetzt; die auf ihn wirkenden Kräfte stehen vorwiegend in Beziehung zu seinem Gewicht, soweit nicht noch Arbeitswerkzeuge und -geräte oder Anhänger zusätzliche Kräfte ausüben.

Zweifellos wäre auch für eine grundlegende Untersuchung der Kräfte am Ackerluftreifen ein Einzelradmeßgerät geeignet, das sich auf ein schweres, einwandfrei lenkbares Fahrzeug abstützt. Derartige

Einrichtungen sind sowohl in Deutschland als auch im Ausland in Verwendung, dienen jedoch meist anderen Zwecken [8].

Die Hinterräder eines am Hang genau in Schichtlinie gelenkten Schleppers rutschen so weit ab, bis die mit der Schrägstellung des Schleppers gegenüber der Schichtlinie zunehmende Seitenführungskraft der Räder mit der hangabwärts gerichteten Gewichtskomponente und anderen äußeren Seitenkräften im Gleichgewicht steht. Die Schrägstellung des Schleppers pendelt dabei um einen Mittelwert; die Pendelung ist nach subjektiver Beobachtung verursacht durch wechselnden Bodenzustand, wechselnde Gestalt der Bodenoberflächen und durch die Form der Reifenlauffläche. Nicht zuletzt müssen wegen des seitlichen Abrutschens des Schleppers die Vorderräder gegen den Hang eingeschlagen werden, um eine vorgeschriebene Fahrbahn möglichst einzuhalten; auch hierbei wird die tatsächlich gefahrene Bahn um die Sollbahn pendeln.

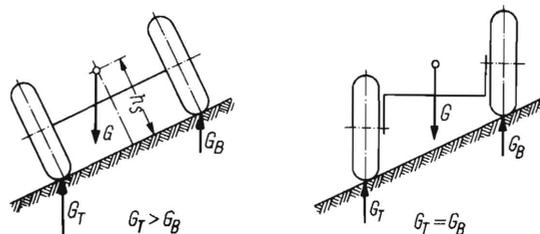


Bild 1. Normalachse und Stufenachse.

Als konstruktives Mittel, die Schrägstellung am Hang zu verringern, erschien die Stufenachse brauchbar, deren Radebenen nicht wie üblich senkrecht zur Hangebene, sondern lotrecht stehen (Bild 1). Die Möglichkeit, die Räder einer Achse höhenverstellbar zu machen, findet bei zwei neueren Konstruktionen, wenn auch zu anderen Zwecken, Anwendung:

- 1) Die amerikanischen Hangmähdrescher sichern sich eine gleichbleibende Arbeitsgüte von Dresch- und Siebteilen auch an stärkeren Seitenhängen dadurch, daß sie diese Einrichtungen immer in normaler Lage halten [9].
- 2) Ein russischer Gebirgsschlepper, der in Teeplantagen u.ä. Verwendung findet, scheint aus dem Wunsch heraus entwickelt zu sein, das an einer

Normalachse am Hang auftretende Moment hangabwärts zu vermeiden. Es kann beträchtliche Werte annehmen und erfordert erhebliche Betätigungskräfte beim Gegenlenken [10].

### Zweck der Untersuchungen

Landwirtschaftlich gesehen, ist die Schrägstellung eines Schleppers in Verbindung mit Radstand und Lage der Werkzeuge ein Kriterium für das Arbeiten am Hang [11]. Sie ist bei gegebenen Reifen abhängig von

- 1) der Hangneigung,
- 2) Bodenart und -zustand,
- 3) den Achslasten,
- 4) der Schwerpunktslage des Schleppers und
- 5) dem Reifenluftdruck.

Über diese Zusammenhänge liegen unseres Wissens noch keine Meßergebnisse vor. Daher lag es nahe, schrittweise vorzugehen und zunächst die Schrägstellung in Abhängigkeit von der Hangneigung, den Achslasten und der Schwerpunktslage bei konstantem Luftdruck zu untersuchen. Da einerseits verschiedene Hangneigungen gleichen Bodens und Bodenzustandes nicht verfügbar waren, andererseits die Haftung in der Berührungsfläche zwischen Reifen und Fahrbahn den Meßwert stark beeinflusst, wurde eine harte Fahrbahn gewählt. Um die Versuchsdurchführung zu vereinfachen, sollten unter Verzicht auf einen Radantrieb vorerst nur gezogene Räder an einer Normal- und an einer Stufenachse untersucht werden. Die Erweiterung der Versuche auf angetriebene Räder wurde zurückgestellt. [12].

### Meßeinrichtung

Es wurde eine Zweiradkarre hergerichtet (Bild 2), deren Belastung variiert und derart verteilt werden kann, daß die vertikale Stützkraft am vorderen Ende der Deichsel so klein wie möglich wird. Bei einer Spurweite von 1420 mm und einem Abstand zwischen Zugöse und Achse mit 1900 mm entspricht das Verhältnis beider Zahlen etwa dem an kleinen Acker-

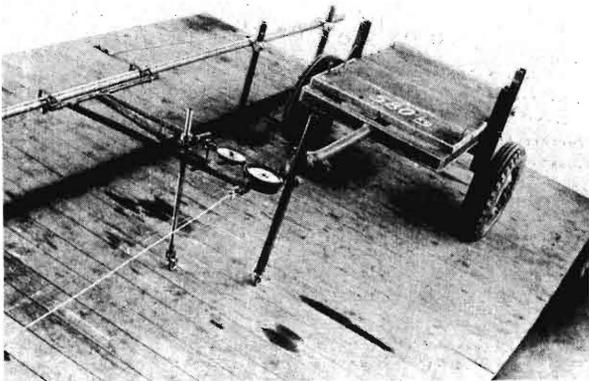


Bild 2. Messkarre am Hang.

wagen üblichen Verhältnis von Spurweite zu Radstand. Um den störenden Einfluß gelenkter Vorderäder zu eliminieren, wird die Zugöse mit Hilfe eines Führungsschlittens an einem sorgfältig ausgerichtetem Rohr parallel zu einer Schichtgeraden geführt. Mit zwischengebauten Dynamometern werden der Fahrwiderstand und die Seitenführungskraft gemessen. Außerdem erlaubt die Karre das Verlegen des Schwerpunktes von 0 bis 400 mm über Achsmittelpunkt und das wahlweise Herrichten von Normalachse oder Stufenachse. Als Fahrbahn diente eine Holzplattform, die auf Hangneigungen bis 50% gestellt werden konnte. Die Versuche wurden im Hinblick auf konstante Bahnverhältnisse unter Dach durchgeführt.

### Versuchsdurchführung

Die Karre wurde jedesmal mit ihrer Längssymmetrieachse genau parallel zum Führungsrohr in Richtung einer Schichtlinie gestellt. Während des Schleppens, das mit etwa 1 km/h erfolgte, stellte sich nach einer gewissen Strecke, deren Länge von Last und Schwerpunktslage abhing, eine konstant bleibende Schrägstellung ein. Ihr Verlauf wurde auf der Fahrbahn markiert und ausgemessen. In Kontrollversuchen wurde dann etwa die doppelte Schrägstellung vorgegeben; es zeigte sich, daß sie während des Schleppens auf den gleichen Wert wie beim ersten Versuch zurückging.

Erste Tastversuche mit Reifen 7 – 30 AS ergaben wegen der durch das Stollenprofil verursachten, wechselnden Art und Größe der Berührungsfläche zwischen Rad und Fahrbahn stark streuende und ungesicherte Werte für den Schräglauf. Deshalb wurden für die weiteren Messungen Reifen 5,50 – 16 AS Front ohne Querteilung der Lauffläche benutzt.

Um Extremwerte zu gewinnen, wurde der Reifenluftdruck auf 1 atü gesenkt und bei allen Versuchen konstant gehalten. Damit wurde allerdings die Normtragfähigkeit bereits in der horizontalen Ebene um mehr als 50% überschritten; am Hang mit 48% Neigung ergaben sich beim Talrad Überlasten bis 200%.

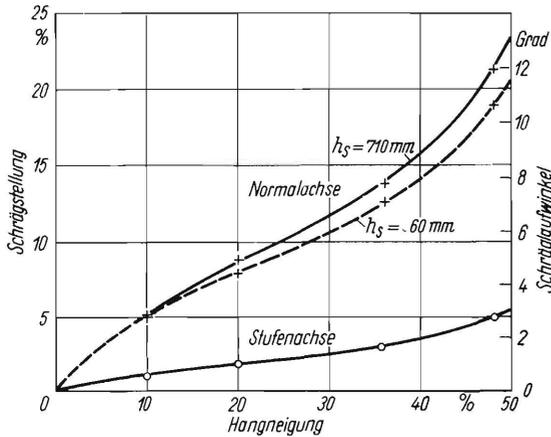
Um den Einfluß der Laufflächengestalt zu untersuchen, wurden abgefahrene Personenwagenreifen 5,50 – 16 unter gleichen Bedingungen am Hang mit 35% Neigung gefahren. Die Schrägstellung betrug nur rund die Hälfte der an AS-Front-Reifen ermittelten Werte. Da die Seitenführungskraft um so höher ist, je geringer der Schräglauf ist, decken sich diese Beobachtungen mit Versuchen von Gauss und Wolff [7], wonach Reifen ohne Profil höhere Seitenführungskräfte aufnehmen können.

Die ersten systematischen Versuchsreihen zeigten zwar die erwartete Tendenz: Die Schrägstellung der Karre betrug bei der Ausrüstung mit der Stufenachse nur rund 1/3 der Werte, die für die Normalachse gefunden wurden. Gewisse Unstetigkeiten

ließen jedoch vermuten, daß sich die Verhältnisse der Reibpaarung Gummi – Rauhholz im Verlauf der Versuche wesentlich geändert hatten. Deshalb wurden die Reihen mit einer Paarung Gummi – Walzblech wiederholt; die Ergebnisse mit dieser Paarung können als gesichert angesehen werden.

### Versuchsergebnisse

**Bild 3 und 4** zeigen die Abhängigkeit der Schrägstellung einmal von der Hangneigung bei gleicher Achslast, zum anderen von der Achslast bei konstanter Hangneigung.



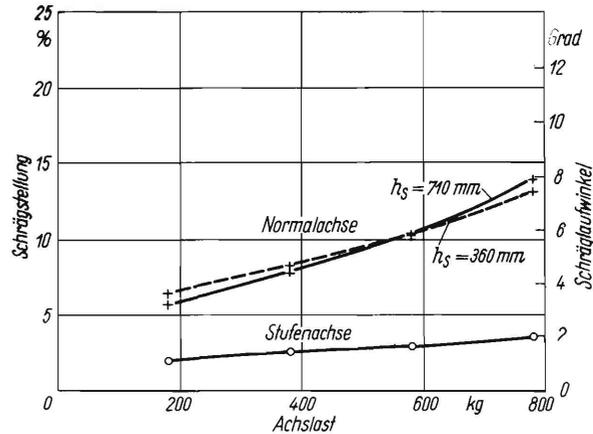
**Bild 3.** Schrägstellung der Schleppkarre in Abhängigkeit von der Hangneigung bei konstanter Achslast.  
Achslast 780 kg  
Reifen 5,50 – 16 AS Front  
Reifeninnendruck 1 atü  
Fahrbahn Stahl (Walzblech)  
 $h_s$  Schwerpunktsabstand von der Bodenoberfläche

Der Einfluß der Schwerpunkthöhe  $h_s$  bei der Normalachse ist praktisch ohne Bedeutung für den Schräglaufl der Karre. Parallelversuche am Hang mit 20% und 35% Neigung, bei denen das Gewicht so auf das bergseitige Rad verlagert wurde, daß  $G_{\text{Berg}} = G_{\text{Tal}}$  wurde, brachten ebenfalls keine merkliche Herabsetzung der ermittelten Werte. Die Schrägstellung steigt bei der mit der Normalachse ausgerüsteten Karre nur mit der Quadratwurzel der Achslastvergrößerung an (Bild 4).

Erheblich ist hingegen die Wirkung der Bauart. Die Schrägstellung der Karre mit Stufenachse beträgt nur 20 bis 25% der mit der Normalachse ermittelten Werte; sie wächst annähernd proportional mit der Größe der Hangneigung im untersuchten Bereich von 10 bis 48% Neigung. Der eigenartige Kurvenverlauf der Schrägstellung der Karre mit Normalachse mit einem Wendepunkt der Kurve bei etwa 20% Hangneigung dürfte in der Verformung des dann stark überlasteten, talseitigen Reifens begründet sein.

Während aller Versuche wurde die erforderliche Zugkraft in Fahrtrichtung sowie die hangabwärts gerichtete Seitenkraft am Deichselzuggpunkt abge-

lesen. Beide Werte schwankten jedoch so stark, daß sie für die Bestimmung von Größe und Richtung des Fahrwiderstandes ungeeignet waren, es sei denn, man hätte aufschreibende Geräte verwenden können. Die Seitenkraft betrug als Gegenkraft des bergab drehenden Momentes bei der Normalachse bis zu 50% des Zugwiderstandes. Bei der Stufenachse gingen die Zugkräfte auf 30 bis 40% zurück, während die Seitenkraft, wie erwartet, verschwand, eine für die Lenkung eines Schleppers am Hang bedeutsame Erscheinung [10]. Inzwischen haben Tastversuche mit der Meßkarre auf lehmigem Sand am Hang mit



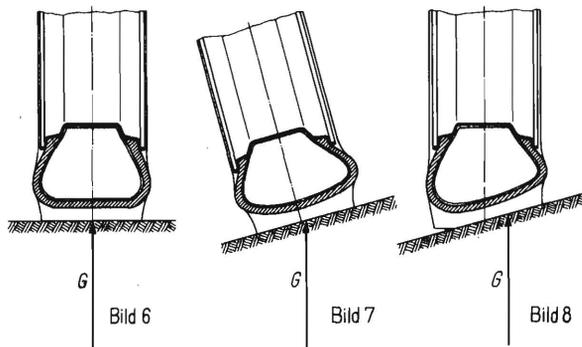
**Bild 4.** Schrägstellung der Schleppkarre in Abhängigkeit von der Achslast bei konstanter Hangneigung.  
Hangneigung 35%  
Reifen 5,50 – 16 AS Front  
Reifeninnendruck 1 atü  
Fahrbahn Stahl (Walzblech)  
 $h_s$  Schwerpunktsabstand von der Bodenoberfläche

25% Neigung das Verhältnis der Schrägstellungen der Karre mit Stufenachse bzw. Normalachse mit etwa 1 zu 3 ergeben.

Hinsichtlich der starken Reifenverformung am Talrad der Normalachse (**Bild 5**), seien noch einige Hinweise über die Lage der Reaktionskräfte infolge der Reifenbelastung in den verschiedenen Radstel-



**Bild 5.** Verformung des talseitigen Reifens 5,50 – 16 AS Front an der Stufenachse.



**Bild 6 bis 8.** Angriffspunkte der Stützkraft  $G$  am Reifen.  
 Bild 6. auf einer horizontalen Ebene  
 Bild 7. bei einer Normalachse am Hang  
 Bild 8. bei einer Stufenachse am Hang

lungen gegeben. Beim Schlepperrad, das auf einer horizontalen Ebene rollt (**Bild 6**), liegt die Stützkraft  $G$  in der Reifensymmetrieebene. Bei der Normalachse am Hang (**Bild 7**) steht die Reifenebene annähernd senkrecht zur geneigten Aufstandsfläche; die Stützkraft greift lotrecht, aber unter dem Hangwinkel gegen die Symmetrieebene des Reifens geneigt, in der Mitte der Reifenauflfläche an. Ihre in der Aufstandsfläche liegende Komponente drückt den Kraftangriffspunkt am Reifen aus der Symmetrieebene hangaufwärts. Bei der Stufenachse am Hang (**Bild 8**) wirkt hingegen die Stützkraft auf den Reifen parallel zu seiner Reifensymmetrieebene, aber von vornherein hangaufwärts verschoben.

Im Stillstand wird in den beiden letzten Fällen die ellipsenförmige Bodenberührungsfläche mit ihrer großen Hauptachse aus der Symmetrieebene mehr oder weniger bergwärts parallel verschoben. Hingegen am rollenden Rad ist diese Ellipse um den Schräglaufwinkel gegen die Symmetrieebene gedreht, weil die Rollrichtung nicht mehr in diese Ebene fällt [3].

### Zusammenfassung

Die im vorhergehenden beschriebenen Versuche mit geschleppten Achsen auf fester Fahrbahn gä für einige bestimmte Fälle Aufschluß über die Beziehungen zwischen Hangneigung und Schrägstellung der Längsachse eines luftbereiften Schleppers, ferner über die Abhängigkeit der Schrägstellung von

der Achsbelastung. Es wurde die Erwartung bestätigt, daß die Schrägstellung durch Anwendung der Stufenachse wesentlich verringert wird. Weiterhin scheint erwiesen, daß die bei einer Normalachse am Hang auftretende, ungleiche Verteilung der Last auf die beiden Räder nur einen unbedeutenden Einfluß auf den Schräglauf hat. Die Neigung der Radenebene gegen den Hang bei der Normalachse hat einen viel größeren Einfluß auf den Schräglauf.

Im ganzen gesehen, ermutigen die bisherigen Ergebnisse, die Versuche auf nachgiebigen Fahrbahnen unter Änderung des Reifenluftdruckes fortzusetzen und auf angetriebene Räder (Stufenschlepper) auszudehnen. Dafür wird es aber erforderlich sein, die große Variationsbreite von Bodenart, Bodenzustand und Hangneigung einzugrenzen [12].

### Schrifttum

- [1] Fiala, E.: Seitenkräfte am rollenden Luftreifen. VDI-Z. 96 (1954) S. 973/979.
- [2] Rotta, J.: Zur Statik des Luftreifens. Ing. Arch. XVII (1949) S. 129/141.
- [3] Gasparjan, G.: Über den Schräglauf des Kraftfahrzeuges. (Russ. Übersetzung). Kraftfahrzeugtechnik 6 (1956) S. 451/453.
- [4] Rieckert, P., und F. Gauss: Untersuchungen über die Führungskräfte von Gummireifen. VDI-Berichte 16 (1956) S. 294/300.
- [5] Gauss, F.: Der Kraftschluss des Reifens und seine Messung. ATZ (1955) S. 294/300.
- [6] Fiala, E.: Der Einfluss des Sturzwinkels von Pendelachsen auf die Strassenlage. ATZ (1954) S. 275/278.
- [7] Gauss, F., und H. Wolff: Untersuchungen über die Führungskräfte von Gummireifen. Deutsche Kraftfahrzeugforschung. Techn. Forsch. Ber. (1956) Nr. 2, S. 13.
- [8] Bailey, P. H.: The NIAE Single Wheel Tester. National Institute of Agricult. Engng. Report No. 40, August 1954.
- [9] Heitshu, D. C.: The Self-Propelled Hillside Combine. Agricult. Engng. 37 (1956) No. 3, S. 182/183.
- [10] Keresselidse, Sch. J., u.a.: Gebirgsschlepper. Übersetzt von Balkin. Agrartechn. 4 (1954) S. 313/316.
- [11] Skahweit, H.: Einsatzgrenzen von Schlepper und Gerät am Querhang. Landtechn. Forsch. 5 (1956) S. 143/146.
- [12] Meyer, H.: Ein Stufenschlepper für Reifenversuche am Hang. Landtechn. Forsch. 5 (1956) S. 139/142.

Eingegangen am 19. 2. 1957

Institut für Schlepperforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig - Völkenrode

Direktor: Prof. Dipl.-Ing. Helmut Meyer

Anschrift des Verfassers: Dipl.-Ing. Hans Lange, (20b) Braunschweig, Bundesallee 50