

# Kräfteeinwirkungen des Triebachsers auf den Schlepper

Institut für Landmaschinen, TH Aachen

Bei ungünstigen Wegverhältnissen kann der Triebachsanhänger zum wirkungsvollen Helfer der Landwirtschaft werden. Aus Beobachtungen beim Betrieb des Triebachsers anlässlich einer Übung im Institut für Landtechnik der TH Aachen sind Schwierigkeiten aufgefallen. Durch diese Feststellung wurde eine genauere Untersuchung angeregt und durch eine theoretische Untersuchung [1] eingeleitet.

Im vorliegenden Bericht werden die Kräfteverhältnisse am Kupplungspunkt zwischen einem Schlepper und einem einseitig getriebenen Triebachsanhänger dargelegt. Von besonderem Interesse sind die Verhältnisse bei Kurvenfahrt.

## Versuchsaufbau

Zur Durchführung der Versuche stand der schon beschriebene Schleppertriebachswagen-Zug zur Verfügung [1]. Ergänzend zu der Beschreibung in [1] seien hier noch folgende Daten angegeben:

Für den Schlepper:  
 Spur hinten 1278 mm;  
 Radstand 1960 mm;  
 Kupplungshöhe 825 mm;  
 Bereifung hinten 9—36 mit 1,5 atü Luftdruck;  
 Bereifung vorne 5,50—16 mit 1,0 atü Luftdruck.

Für den Triebachswagen:  
 Bereifung 10—15 mit 3,0 atü Luftdruck

Da die Schlepperantriebskupplung wesentlich über der Anhängertriebachse liegt, ist die Verbindungslinie von Mitte Triebachse bis Kupplung, im folgenden Deichsel genannt, gegenüber der Horizontalen geneigt.

Die statische Belastung der Achsen wurde durch Wiegen (auf einer Fuhrwerkswaage) festgestellt. Sie beträgt bei angehängtem Anhänger ohne Gewichte von Fahrer und Bedienungsmann für die Meßgeräte

für die Schleppervorderachse	600 kp;
für die Schlepperhinterachse	1860 kp;
für die Triebachse	4160 kp;
für die Aufsattellast	656 kp.

Der Aufbau der Kräfte-meßanordnung ist schon beschrieben [1]. Außer den Kräften am Schlepperkupplungspunkt, Vertikalkraft, Seitenkraft und Zugkraft, wurden noch der zurückgelegte Weg, das über die Zapfwelle übertragene Drehmoment und die Drehzahl der Zapfwelle zur Leistungsbestimmung gemessen.

Um den Weg zu ermitteln, wurde unter dem Kupplungspunkt ein Nachlaufrad mit einem elektrischen Kontaktgeber montiert. Je Umdrehung wurde ein elektrischer Impuls auf die Meßspule des Meßgerätes<sup>1)</sup> gegeben. Der Umfang des Nachlaufrades wurde durch einen Eichschieb ermittelt, bei dem das Nachlaufrad über eine vorher abgemessene Wegstrecke geführt wurde.

Das Drehmoment wurde durch einen Drehmomentgeber gemessen, der zwischen die Zapfwelle des Schleppers und die Gelenkwelle eingebaut war. Durch die Anordnung der Dehnmeßstreifen wurde eine vollständige Temperatur- und Biegemomentkompensation erreicht. Die Meßwerte wurden auf einen Spulenschwinger des Oszillographen geleitet. Die Drehzahl der Zapfwelle wurde am Antriebszapfen für das Stalldungstreuwerk abgegriffen. Zwischen Antriebszapfen und Zapfwelle besteht das konstante Übersetzungsverhältnis von 1:1,85. Je Umdrehung des Antriebszapfens wurde ein Unterbrecherkontakt betätigt, der den Stromimpuls auf eine magnetisch betätigte Klappe am Nulllinienspiegel des Meßgerätes leitete und den Lichtstrahl unterbrach.

Durch einen zu dieser Anordnung parallel geschalteten Druckknopfschalter konnte man mit der Klappe am Nullspiegel den Lichtstrahl abdecken bis zum Überfahren einer Wegmarke und

<sup>1)</sup> Es wurde das Meßgerät „Oszillograph 6“ der Firma SIEMENS benutzt

so Anfang und Ende der Versuchsstrecke auch auf dem Meßschieb markieren.

Als Registriergerät wurde ein Spulenschwingeroszillograph mit eingebautem Zeitordinatengeber benutzt. Durch Auswerten des Zeit- und Wegschiebes war die augenblickliche Geschwindigkeit errechenbar.

## Versuchsdurchführung mit Versuchsbedingungen

Bei den Versuchen wurde eine Kurve mit einem Radius von 6 m bis zur Mitte der Schleppertriebachse durchfahren. Die Einfahrtangente betrug 10 m und die Ausfahrtangente 15 m. Über diesen Weg wurden zwei Rechtskurven und 2 Linkskurven gefahren. Aus der Schleppkurve (Bild 1) ergibt sich eine notwendige Länge der Ausfahrtangente von 12 m, um den Zug bis auf einen Winkel von  $\alpha < 1^\circ$  zu strecken.

Die erste Versuchsreihe wurde auf einem ebenen Gelände mit feinem Ascheuntergrund gefahren. Der durchfahrene Winkel betrug  $145^\circ$ . Die zweite Versuchsreihe fand auf einem Gelände mit einem leichten Gefälle statt. Einfahr- und Ausfahrtangente lagen in Falllinie, und zwar die Einfahrtangente bergab und die Ausfahrtangente bergauf. Der Boden bestand aus feinem Ascheuntergrund mit leichtem Grasbewuchs. Der durchfahrene Winkel betrug  $180^\circ$ . Die dritte Versuchsreihe wurde ebenfalls auf einem Gelände mit leichtem Gefälle durchgeführt, wobei die Einfahrtangente bergauf und die Ausfahrtangente bergab gefahren wurde. Der Untergrund war Teer asphalt. Der durchfahrene Winkel betrug  $211^\circ$ .

## Diskussion der Ergebnisse

In den Schrieben bedeutet  $W$  der Weg,  $S$  die Seitenkraft,  $V$  die Vertikalkraft,  $Z$  die Zugkraft,  $Md$  das Drehmoment und  $n$  die Drehzahl. Die Kräfte am Kupplungspunkt wurden in Schlepperkoordinaten gemessen. Definitionen der Kraftrichtungen:

Vertikalkraft	$V$	positiv nach unten negativ nach oben
Seitenkraft	$S$	positiv, in Fahrtrichtung nach rechts negativ, in Fahrtrichtung nach links

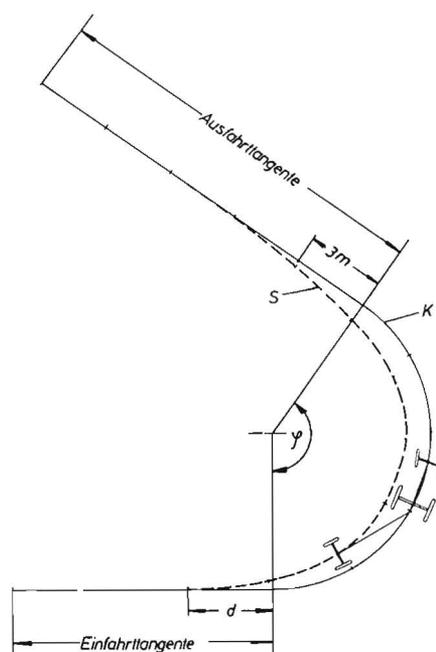


Bild 1: Gefahrener Weg für die Mitte der Schleppertriebachse (K) und Schleppkurve des Anhängers (S)

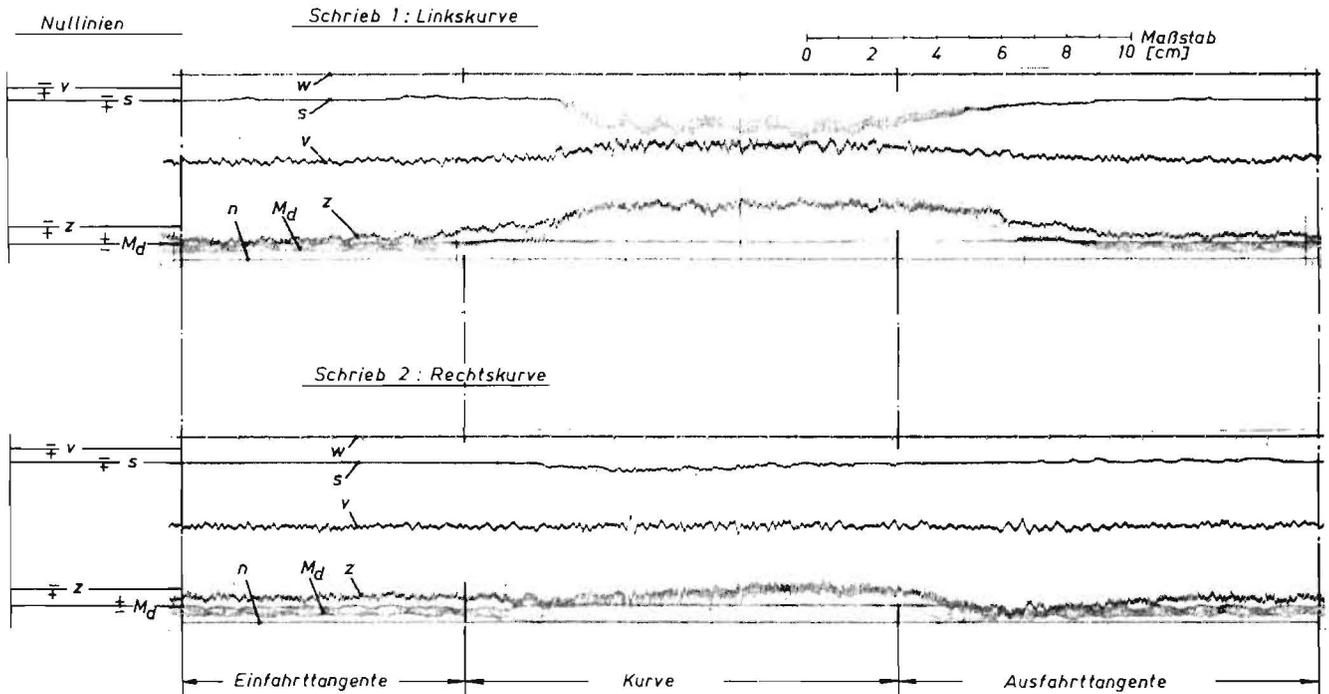


Bild 2: Meßschriebe für eine Links- und eine Rechtskurve mit 6 m Kurvenradius  
 Maßstäbe:  $V$  25 kp/mm;  $S$  25 kp/mm;  $Z$  50 kp/mm;  $M_d$  2 mkp/mm. Nur linkes Rad der Triebachse angetrieben

- Zugkraft  $Z$  positiv nach hinten  
 negativ nach vorne (Schubkraft)
- Zapfwellen-  
 drehmoment  $M_d$  positiv, wenn Schlepper Drehmoment abgibt  
 negativ, wenn Schlepper Drehmoment (Bremsmoment) aufnimmt.

Eine Gegenüberstellung des Schriebes 1, der für eine Linkskurve aufgenommen wurde, und des Schriebes 2, der in der gleichen Versuchsreihe für eine Rechtskurve aufgenommen wurde (Bild 2), zeigen einen augenfälligen Unterschied in der Auswirkung der Kräfte. Da bei dem untersuchten Triebachsanhänger nur das linke Rad angetrieben wurde, war bei der Linkskurve der gefahrene Weg des angetriebenen Anhängerrades wesentlich kleiner als der Weg, den die Mitte der Schleppertriebachse, bei der beide Räder über Differential angetrieben sind, zurücklegte. Dieser Unterschied im zurückgelegten Weg glich sich in der Rechtskurve zum größten Teil aus, weil das getriebene Anhängerrad auf der Außenseite der Bahnkurve lief, welche die Triebachsmitte beschrieb. Da die Kräfteverhältnisse am Kupplungspunkt des Schleppers bei der Rechtskurve ein ausgeglichenes Bild zeigen und von geringer Bedeutung sind, werden nur die Linkskurven der drei Versuchsreihen diskutiert.

Infolge der ebenen Wegverhältnisse zeigen die in ein Diagramm (Bild 3) übertragenen Mittelwerte der Messungen aus der ersten

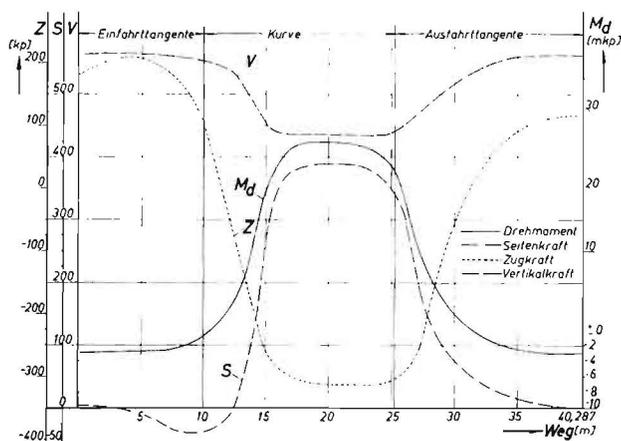


Bild 3: Kräfteverlauf bei einer Linkskurve auf ebenem Gelände mit feinem Asche-Untergrund (erste Versuchsreihe)

Versuchsreihe einen gleichmäßigen Verlauf. Wie eingangs schon erwähnt, treten in der Kurve Extremwerte auf, bedingt durch die Änderung der Nacheilung der Triebachse. Diese Extremwerte bleiben über einen bestimmten Bereich konstant, bauen sich dann wieder ab und sind gegenüber dem Weg, den der Kupplungspunkt beschrieb, um Deichsellänge verschoben.

Das Absinken der nach unten gerichteten Vertikalkraft in der Kurve läßt sich durch das Zusammenwirken des Triebachs-Aufbäumomentes, das man aus dem gemessenen Drehmoment errechnen kann, und der nach oben gerichteten Komponente der Schubkraft ( $-Z$ ) erklären.

Die Seitenkraft, die sich bei Geradeausfahrt (Einfahrttangente) um den Nullpunkt bewegt, wird beim Einfahren in die Kurve negativ, steigt anschließend positiv steil an, behält in der Kurve ihren Maximalwert bei und fällt dann langsamer ab, als der Anstieg ist. Da der Kupplungspunkt infolge seines horizontalen Abstandes von der Schleppertriebachsmittte nach außen schwenkt, kommt das kurzzeitige Auftreten einer negativen Seitenkraft zustande. Dementsprechend bedeutet das Ausfahren aus der Kurve auf die Tangente eine Verzögerung für den Übergang von der Voreilung der Triebachse in eine Nacheilung. Diese Art des Kurvenverlaufes findet sich ebenfalls bei der Vertikalkraft, bei der Zugkraft und beim Drehmoment und kann auch dort mit der Lage des Kupplungspunktes zur Schlepperhinterachse begründet werden.

Das Drehmoment ändert sich ähnlich wie die drei gemessenen Kräfte. Bemerkenswert ist, daß der Momentenverlauf mit einem negativen Wert beginnt, das heißt, das Anhängerrad drückte dem Schleppermotor ein bremsendes Moment infolge Fehlens eines Freilaufes auf.

Aus dem starken Anstieg der Seitenkraft in der Kurve ergibt sich die Gefahr, daß bei starker Reifenhaftung der Schlepper nicht mehr seitlich weggeschoben wird und dann umkippt. Die infolge des Anhängergewichtes stets nach unten gerichtete Vertikalkraft bildet mit der halben Spurweite der Schlepperhinderräder als Hebelarm ein Gegenmoment zum Kippmoment. Da die Anhängerdeichsel aber geneigt ist, vermindert sich in der Kurve die Vertikalkraft und vergrößert damit die Kippgefahr.

Das Diagramm der zweiten Versuchsreihe (Bild 4) weist die gleichen Grundtendenzen auf wie das Diagramm der ersten Versuchsreihe. Der Stufensprung im Kurvenverlauf ist wie folgt zu erklären: Da in der Einfahrttangente bergab gefahren wurde und in der Ausfahrttangente bergauf, trat der Wechsel in der Hangneigung während der Kurvenfahrt ein. Aus dem gleichen Grund sind die Werte

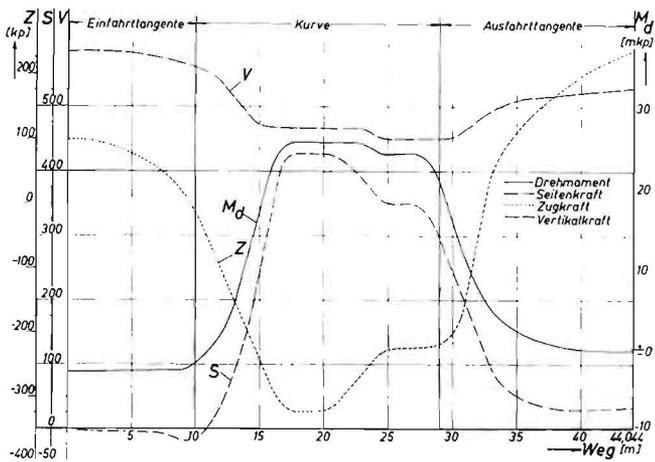


Bild 4: Kräfteverlauf bei einer Linkskurve auf einem Gelände mit 3% Hangneigung mit feinem Asche-Untergrund und leichtem Grasbewuchs (zweite Versuchsreihe)

der Kräfte zu Beginn und Ende der Versuchsstrecke unterschiedlich. Zum Beispiel weist die Zugkraft eine Differenz von 130 kp auf. Eine Auswirkung der unterschiedlichen Bodenverhältnisse wurde nicht festgestellt. Die nicht gezeigten Kurven der dritten Versuchsreihe verlaufen entsprechend.

Tafel 1 zeigt abschließend die Extremwerte der Kräfte des Triebachsers auf den Schlepper bei einer 6-m-Linkskurve.

Bei der Rechtskurve traten ähnliche Extremwerte nicht auf.

### Zusammenfassung

Der Versuchsbericht ist ein Beitrag zu den bisher noch ungeklärten Kräfteverhältnissen zwischen Triebachsanhänger und Schlepper. Von den möglichen Einflußgrößen konnte nur ein Teil erfaßt werden. Bei konstantem Kurvenradius wurden Rechts- und Linkskurven bei unterschiedlichen Hang- und Bodenverhältnissen gefahren. Da nur das linke Rad des Triebachsanhängers getrieben wurde, zeigt der Kräfteverlauf in der Linkskurve Extremwerte.

### Schrifttum

- [1] KOCH, M. und W. DIXSE: Deichselkräfte am Triebachswagen. Landtechnische Forschung 11 (1961), S. 61—65
- [2] SCHILLING, E.: Landmaschinen. Bd. 1: Acker- und Feldmaschinen. Rodenkirchen bei Köln 1955

Tafel 1: Extremwerte der Kräfte des Triebachsers auf den Schlepper

	Versuchsreihe I	Versuchsreihe II
Vertikalkraft . . . . .	+ 435 kp	+ 450 kp
Seitenkraft . . . . .	+ 390 kp	+ 425 kp
Zugkraft . . . . .	— 310 kp	— 325 kp
Zapfwelldrehmoment . . . . .	+ 26 mkp	+ 26 mkp

### Résumé

*Manfried Koch and Hansjakob Hünslers: "The Effect of Forces in Powered Trailers on the Tractor."*

This report forms a contribution to the study of the relationships between the forces present in powered trailers and the tractor. These relationships have as yet not been fully explained. Only a portion of the possible magnitudes of the relationships could be determined. Right-hand and left-hand curves were traversed at a constant radius of curvature on various types of slopes and surface conditions. Only the left-hand wheel of the trailer was powered, so that extreme values for the forces were obtained when passing through left-hand curves.

*Manfried Koch et Hansjakob Hünslers: «Influence des forces transmises de la remorque à essieu moteur au tracteur.»*

L'étude présente s'occupe des influences encore inconnues des forces transmises de la remorque à essieu moteur au tracteur. On n'a pu déterminer qu'une partie des grandeurs dont l'influence est possible. On a fait tracer au tracteur des virages droits et gauches à rayon constant sur un terrain à inclinaison et structure variables. Étant donné que seule la roue gauche de la remorque a été motrice, la courbe des forces montre des valeurs extrêmes aux virages gauches.

*Manfried Koch y Hansjakob Hünslers: «Influencia de las cargas que ejerce el remolque de árbol de impulsión sobre el tractor.»*

El informe quiere contribuir a aclarar las relaciones de los esfuerzos mutuos entre el remolque de impulsión y el tractor que hasta ahora quedado sin clarar. De los valores que posiblemente podrían ejercer influencia, sólo se ha podido considerar una parte. Quedando el radio en curvas constante, se han dado vueltas a la derecha y a la izquierda en terrenos de superficie y de pendiente distintas. Como se impulsaba solamente la rueda izquierda del remolque, el diagrama des esfuerzos en curva a la izquierda da valores extremos.

## 18,8 Mrd. für die Wissenschaft

Nach Unterlagen des „Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft“, Essen, wurden in den vergangenen zwölf Jahren von der Öffentlichen Hand und der Gewerblichen Wirtschaft (einschließlich Privathand) rund 18,8 Mrd. DM für den Wiederaufbau der

deutschen Wissenschaft zur Verfügung gestellt. Die Leistungen von Bund, Ländern, Gemeinden und Gewerblicher Wirtschaft während der vergangenen Jahre sind im einzelnen in der Tafel aufgeführt.

Mittel für den Wiederaufbau der deutschen Wissenschaft (in Mio DM)

Jahr	Bund <sup>1)</sup>		Länder		Gemeinden	Gewerbliche Wirtschaft	
	Bundeshaushalt	Sondervermögen <sup>2)</sup>	für landeseigene wissenschaftl. Einrichtungen	für Königsteiner Abkommen		Spenden	Wirtschaftseigene Forschung/Entwicklung
1948/49	30	69 <sup>3)</sup>	550	20	130 <sup>3)</sup>	11	2300 <sup>3)</sup>
1950	44		321	22		15	
1951	51		325	27		25	
1952	50		359	31		30	
1953	79		450	36		31	
1954	92		494	40		34	
1955	102	71 <sup>3)</sup>	547	43	156 <sup>3)</sup>	38	5500 <sup>3)</sup>
1956	127		595	48		44	
1957	245 <sup>4)</sup>		694 <sup>4)</sup>	52		49	
1958	425 <sup>4)</sup>		813 <sup>4)</sup>	57		51	
1959	503 <sup>4)</sup>		1003 <sup>4)</sup>	65		53	
1960	550 <sup>4)</sup>		1198 <sup>4)</sup>	70		53 <sup>5)</sup>	

<sup>1)</sup> ohne Forschungsausgaben des Verteidigungsministeriums, jedoch einschließlich wissenschaftsfördernder Titel des Ministeriums für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft  
<sup>2)</sup> ERP, Bundesbahn, Bundespost  
<sup>3)</sup> Geschätzt  
<sup>4)</sup> Umsatzzahlen der Haushaltspläne  
<sup>5)</sup> Durch Erhebung ermittelt, 1960 geschätzt