

# Zugkraftmessung am Dreipunktanbau des Ackerschleppers mittels elektrischer Meßmethoden

Institut für Landtechnische Grundlagenforschung, Braunschweig-Völkenrode

Bei der Weiterentwicklung von landwirtschaftlichen Geräten, die vom Schlepper gezogen werden, muß man in vielen Fällen außer anderen Größen auch die Zugkraft zwischen Schlepper und Gerät messen. Bisher bereitete es aber Schwierigkeiten, die Zugkraft von jenen Geräten zu messen, die mit dem Dreipunktanbau [1] an den Schlepper angebaut sind. Die dabei z. B. verwendete Meßmethode, den Versuchsschlepper mit Anbaugerät von einem besonderen Schlepper ziehen zu lassen und aus den Zugmeßwerten zwischen den beiden Schleppern auf die Zugkraft des Gerätes allein zu schließen, war sehr umständlich und ungenau.

## Neues Meßprinzip

Im Institut für Landtechnische Grundlagenforschung wurde<sup>1)</sup> ein neues Meßverfahren zur Messung der Zugkraft am Dreipunktanbau mit Hilfe der elektrischen Meßtechnik verwirklicht. Das Prinzip dieses Meßverfahrens beruht darauf, daß von den Kräften, die in jedem der drei Anlenkpunkte am Dreipunktanbau (Abb. 1) eingeleitet werden, auf je einem Meßelement ein der Horizontalkomponente (bezogen auf die Schlepperlängsachse) proportionaler elektrischer Meßwert gebildet wird und daß diese drei Meßwerte in einer elektrischen Schaltung algebraisch addiert werden.

Damit kann sowohl eine Zugkraft (z. B. Zugwiderstand beim Pflügen usw.) als auch eine Druckkraft (z. B. Schub beim Fräsen) gemessen werden.

## Vorteile der Meßmethode

Dieser Meßmethode kommen alle Vorzüge der elektrischen Messung mechanischer Größen zugute, das heißt man hat dabei hauptsächlich folgende Vorteile [2]: Vernachlässigbare Beeinflussung der Meßgröße durch den Meßvorgang, größte Anpassungsfähigkeit der Empfindlichkeit an sehr unterschiedliche Meßwerte bei der Untersuchung verschiedener Geräte, Übertragungsmöglichkeit der Meßwerte auf große Entfernungen sowie gleichzeitige phasenrichtige Registrierung mehrerer mechanischer Größen auf einem Registrierstreifen. Sehr wichtig ist hier z. B. der letztgenannte Vorteil, denn dadurch kann man bei meßtechnischen Untersuchungen von Geräten am Dreipunktanbau sofort in einem Oszillogramm die Zusammenhänge von verschiedenen mechanischen Größen erkennen, was die Beurteilung der Meßergebnisse sehr erleichtert. Eine hydraulische Kraftmeßeinrichtung am Dreipunktanbau [3], die zur gleichen Zeit im Institut für Schlepperforschung entstanden ist, liefert immer nur ein eigenes Oszillogramm für die Zugkraft, stellt jedoch zusammen mit dem Indikator eine verhältnismäßig einfache geschlossene Meßeinrichtung dar. Es mag daher vielleicht als Nachteil erscheinen, daß für Messungen mit der beschriebenen elektrischen Kraftmeßeinrichtung eine ziemlich teure elektronische dynamische Meßanlage nötig ist. Für alle Entwicklungsstellen von landwirtschaftlichen Geräten, die heute bereits eine elektronische Meßanlage in Gebrauch haben, ist jedoch der zusätzliche Aufwand für die Anschaffung der beschriebenen Meßanordnung zur Zugkraftmessung verhältnismäßig gering. Wenn die schnellen Schwankungen der Zugkraft nicht interessieren, so kann man auch mit einfacheren elektronischen Meßgeräten mit Direktanzeige messen.

## Aufbau und Wirkungsweise der Meßeinrichtung

Im folgenden soll der Aufbau und die Wirkungsweise der elektrischen Meßeinrichtung zur Zugkraftmessung am Drei-

punktanbau näher erläutert werden. Abbildung 1 zeigt die Anordnung der drei Meßelemente  $M_A$ ,  $M_B$  und  $M_C$  in den Anlenkpunkten. Jedes Meßelement besteht aus einem Zapfen, der eine Biegefeder mit kreisförmigem Querschnitt darstellt. Auf den freien zylindrischen Teilen der Zapfen sind je zwei Dehnungsmeßstreifen — zum Beispiel  $A_1$  und  $A_2$  — gemäß Abbildung 2 gegenüberliegend aufgeklebt.

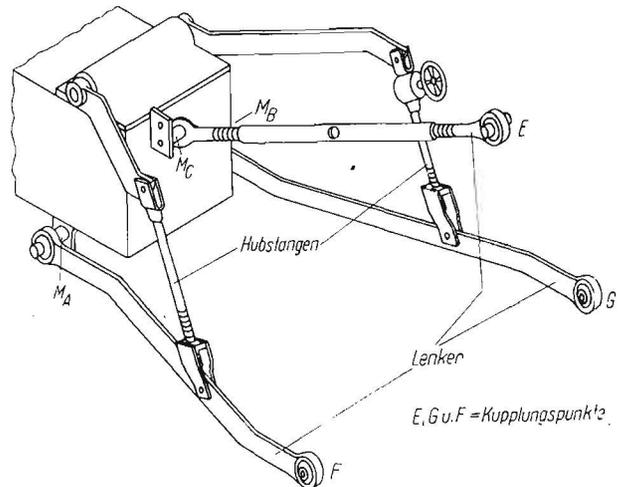


Abb. 1: Dreipunktanbau mit Meßelementen  $M_A$ ,  $M_B$  und  $M_C$  in den Anlenkpunkten

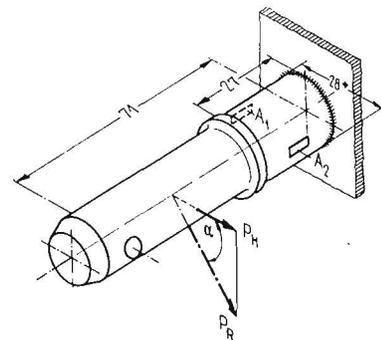


Abb. 2: Meßelement  $M_i$ , bestehend aus einem Meßzapfen mit zwei Dehnungsmeßstreifen  $A_1$  und  $A_2$

Bei Belastung eines Zapfens durch eine Lenkerkraft in beliebiger räumlicher Richtung entstehen an der Zapfenoberfläche Zug- oder Druckspannungen mit überlagerten Biegespannungen. An den Meßstellen werden mittels der beiden Dehnungsmeßstreifen Dehnungswerte gemessen, die den in die horizontale Ebene fallenden Kraftkomponenten proportional sind. Die Dehnungsmeßwerte durch die Zug- oder Druckkräfte werden elektrisch eliminiert, so daß nur die von den zur Schlepperachse parallel liegenden Kraftkomponenten herrührenden Meßwerte verbleiben. Diese Meßwerte aller drei Meßelemente werden in der elektrischen Meßschaltung algebraisch summiert und liefern als Ergebnis einen Meßwert, der der Zug- (oder Druck-)kraft im Dreipunktanbau proportional ist.

Die Zapfen wurden so berechnet, daß bei einer am Dreipunktanbau angreifenden Zugkraft von 600 kg an jeder Meßstelle die Dehnung nicht größer als etwa 1‰ wird. Die Meßzapfen wurden so kurz wie möglich gehalten und

<sup>1)</sup> Unter Mitwirkung von Dr.-Ing. Eggemüller bei der Formulierung der Meßaufgabe

so am Schlepper angebaut, daß dadurch die normalen Anlenkpunkte der Lenker nur um wenige Millimeter im zulässigen Toleranzgebiet verlagert sind.

Wichtig ist, daß alle Meßelemente die gleiche Empfindlichkeit haben, das heißt, daß jede Meßstelle bei gleicher Belastung gleiche Meßwerte liefert, damit die Meßeinrichtung unabhängig von der Lage des Angriffspunktes der Zugkraft im Dreipunktanbau ist. Zum Schutze der Meßelemente gegen Beschädigung durch Stoßkräfte beim Transport von Anbaugeräten wurden am Schlepper neben den Meßelementen zusätzliche Tragzapfen vorgesehen, an die das Anbaugerät für den Transport angebaut wird.

### Eichung der Meßelemente

Die Meßelemente wurden vor dem Einbau einzeln geeicht, um ihre Empfindlichkeit und auch die Abhängigkeit des Meßwertes von der Krafrichtung zu ermitteln.

Zu Beginn der Eichung streuten die Meßwerte zu stark, weil die Kugelgelenke der Lenker lose auf die Meßzapfen aufgeschoben waren. Bedingt durch den kurzen Hebelarm am Meßelement, hat jede kleine Verlagerung des Kraftangriffspunktes eine große Änderung des Biegemomentes und damit des Meßwertes zur Folge. Deshalb waren die Kugeln der Gelenke zwischen zwei konischen Scheiben mit einer Schraube fest auf die Zapfen aufgespannt. Unterschiede in der Empfindlichkeit der Zapfen wurden dabei durch geringe Verlegungen des Kraftangriffspunktes mittels verschieden starker Scheiben ausgeglichen.

Wie der Meßwert von der Krafrichtung in einer senkrechten Ebene, das heißt von dem in Abbildung 2 eingezeichneten Neigungswinkel  $\alpha$  abhängt, zeigt Abbildung 3. Darin erkennt man, daß der durch 5 Meßpunkte gegebene Verlauf des Verhältnisses der horizontalen zur resultierenden Kraftkomponente  $P_{Hl}/P_R$  in Abhängigkeit vom Winkel  $\alpha$  sehr gut mit dem theoretischen Verlauf, das heißt mit der eingezeichneten Cosinus-Funktion übereinstimmt.

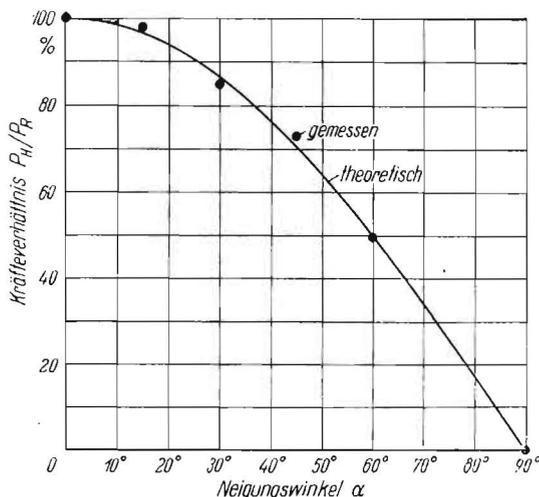


Abb. 3: Gemessene und theoretische Abhängigkeit der Meßwerte am Meßelement vom Neigungswinkel der Krafrichtung

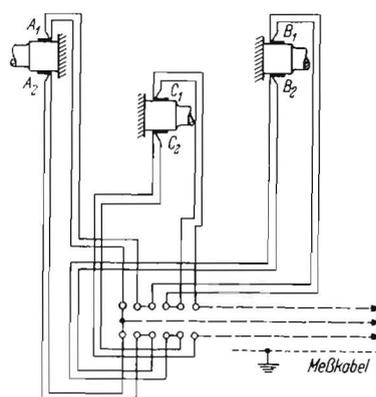


Abb. 4: Schaltschema mit Meßelementen (Grundriß)

### Elektrische Schaltung

Die ausgeführte elektrische Schaltung für die Erzeugung eines Meßergebnisses, das der Zugkraft im Dreipunktanbau entspricht, ist in Abbildung 4 wiedergegeben. Diese zunächst etwas verwickelt anmutende Schaltung stellt eine Halbbrücke, das heißt die Hälfte einer Wheatstone-Meßbrücke, dar. Die Verteilung der Einzelwiderstände der verschiedenen Dehnungsmeßstreifen  $A_1$  bis  $C_2$  in der Halbbrücke kann man aber ganz leicht im Prinzipschaltplan in Abbildung 5 erkennen. Für die Zusammenschaltung der Einzelwiderstände wurde jede Zuleitung zu den Dehnungsmeßstreifen über Meßkabel an einen Vielfachstecker geführt, um die elektrische Schaltung leicht verändern zu können, wenn man zum Beispiel die horizontale Kraftkomponente in den einzelnen Anlenkpunkten für sich messen möchte. Diese Verbindungskabel sind kaum hinderlich, weil alles auf dem Schlepper befestigt ist. Vom Anschlußstecker führt ein frei bewegliches Meßkabel bis zu 50 m Länge zur elektrischen Meßanlage, bestehend aus Trägerfrequenzverstärker und Oszillographen

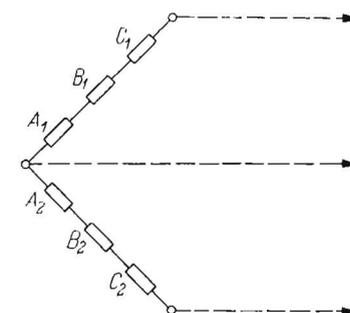


Abb. 5: Prinzipschaltung der Dehnungsmeßstreifen

### Eichung der Meßeinrichtung

Für die Eichung der gesamten Meßeinrichtung wurde an einem an den Kupplungspunkten des Dreipunktanbaus befestigten Rahmen mit horizontalen Zug- oder Druckkräften belastet. Dabei wurde der Kraftangriffspunkt in der Höhe in mehreren Stufen zwischen etwa 100 und 700 mm über dem Erdboden verschoben. Es ergaben sich bis zu Eichbelastungen von 500 kg jeweils lineare Eichkurven. Die Empfindlichkeitswerte streuten im Bereich von etwa  $\pm 6\%$ , eine für den beabsichtigten Einsatz der Meßeinrichtung vollkommen ausreichende Meßgenauigkeit. Beim Messen muß man natürlich darauf achten, daß horizontale Kräfte vom Dreipunktanbau zum Schlepper nur durch die Lenker und nicht zum Teil auch durch die Hubstangen geleitet werden.

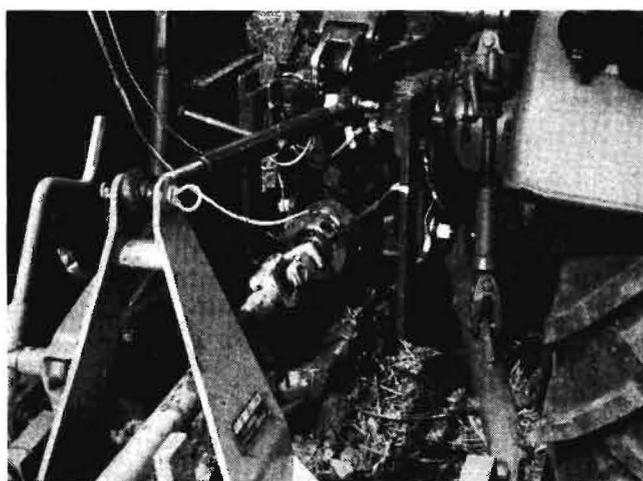


Abb. 6: Ansicht der Kraftmeßeinrichtung am Dreipunktanbau

## Ergebnisse

Abbildung 6 zeigt eine Aufnahme der ausgeführten Kraftmeßeinrichtung. An den Anlenkpunkten kann man die hellen Flächen der Meßstellen mit den geschützten Dehnungsmeßstreifen erkennen. Der Drehmoment-Meßgeber, der in dieser Abbildung zu sehen ist, wurde für Untersuchungen an einem Quirlpflug [4] zwischen die Zapfwelle des Schleppers und die Gelenkwelle des Quirlpfluges gesteckt. Als elektrische Meßanlage diente bei diesen Messungen ein Trägerfrequenzverstärker eigener Herstellung und der Siemens-Schleifenoszillograph „Oszipoport“.

Als Beispiel für ein Meßergebnis mit der neuen Zugkraftmeßeinrichtung am Dreipunktanbau zeigt Abbildung 7 ein Oszillogramm, das bei Messungen an einem Federzinken-Grubber gewonnen wurde. Darin ist der zeitliche Verlauf vom gesamten Zugwiderstand  $P$  (gemessen am Dreipunktanbau) sowie vom Zugwiderstand  $P_1$  eines einzelnen Zinkens zu sehen. Hier wird der Vorteil der neuen Meßeinrichtung deutlich, denn der zeitliche Zusammenhang zwischen  $P$  und  $P_1$  ist im Oszillogramm sehr eindrucksvoll zu erkennen.

## Weiterentwicklung

Bei der bisherigen Ausführung sind die Meßelemente auf dem Schleppergehäuse befestigt, so daß für schnelle Vergleichsmessungen mit verschiedenen Schleppern jeder Schlepper damit ausgerüstet sein muß. Das Meßprinzip läßt sich aber — mit etwas mehr Aufwand — auf einen beweglichen Meßrahmen übertragen, der zwischen die Kupplungspunkte des Dreipunktanbaus und des Anbaugerätes angehängt wird und somit sehr leicht austauschbar ist.

Die hier beschriebene Meßeinrichtung läßt sich zum Beispiel dadurch erweitern, daß auf den Meßelementen je zwei weitere Dehnungsmeßstreifen senkrecht gegeneinander aufgebracht werden, um auch die Vertikal-Komponenten der Kräfte im Dreipunktanbau messen zu können.

Vielleicht wird man später die mit dieser Meßeinrichtung gewonnenen elektrischen Meßwerte auch irgendwie zur Steuerung bestimmter Vorgänge heranziehen.

## Résumé:

Dr.-Ing. R. Thiel:

„Zugkraftmessung am Dreipunktanbau des Ackerschleppers mittels elektrischer Meßmethoden.“

Bei der Untersuchung von Anbaugeräten muß man oft auch den Zugwiderstand beziehungsweise die Schubkraft der Anbaugeräte messen. Mit der hier beschriebenen Meßeinrichtung kann man die Messung der Zug- und Druckkraft am Dreipunktanbau des Ackerschleppers mit verhältnismäßig geringem Aufwand verwirklichen. Die dabei angewendeten elektrischen Meßverfahren bieten bei der Untersuchung von landwirtschaftlichen Maschinen viele Vorteile.

Dr. Ing. R. Thiel:

“The Measurement by Electrical Means of the Tractive Effort at Three-point Attachments to Agricultural Tractors.”

During the course of investigations on attachments to agricultural tractors it is frequently necessary to measure the resistance to traction and/or the tangential stresses of the attachments. The measuring instruments and circuits described in this article enable the tractive efforts and pressures at three-point attachments to tractors to be obtained with comparative ease. The electrical measuring equipment as described in this article greatly facilitate investigations and measurements on all types of agricultural machinery.

Dr.-Ing. R. Thiel:

«Mesure de l'effort de traction à l'attelage trois points du tracteur agricole à l'aide de méthodes de mesure électriques.»

L'essai des outils portés exige souvent la mesure de l'effort résistant respectivement de l'effort de poussée des outils portés. L'installation de mesure décrite par l'auteur permet de mesurer l'effort de traction et de poussée à l'attelage trois point des tracteurs agricoles à l'aide de moyens relativement modestes. Les procédés de mesure électriques utilisés offrent de nombreux avantages dans l'essai de machines agricoles.

Ing. Dr. R. Thiel:

«Medición del esfuerzo de tracción en la suspensión por tres puntos del tractor agrícola, empleando métodos eléctricos.»

En la investigación de aperos montados con frecuencia es preciso medir también la resistencia a la tracción, v. gr. el esfuerzo de empuje de los aperos. Con el dispositivo que se describe, se puede efectuar la medición tanto del esfuerzo de tracción, como también el de empuje en el punto de acoplamiento por tres puntos del tractor. Estos procedimientos eléctricos ofrecen numerosas ventajas en la investigación de máquinas agrícolas.

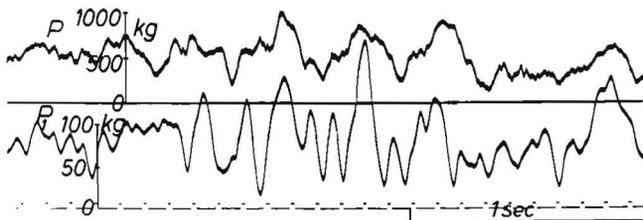


Abb. 7: Zeitlicher Verlauf des Zugwiderstandes an einem Federzinken-Grubber.  $P$  = Gesamtzugkraft am Dreipunktanbau,  $P_1$  = Einzelzugkraft an einem Werkzeug

## Zusammenfassung

Im Institut für Landtechnische Grundlagenforschung, Braunschweig-Völkenrode, wurde für die Zug- und Druckkraftmessung am Dreipunktanbau mit Hilfe der elektrischen Dehnungsmessung eine Meßeinrichtung geschaffen, die auf folgendem Prinzip beruht: In jedem Anlenkpunkt des Dreipunktanbaus wird auf einem Meßelement ein der dort wirkenden horizontalen Kraftkomponente proportionaler Meßwert gebildet, und die drei Meßwerte werden in einer elektrischen Schaltung algebraisch addiert. Das Meßergebnis entspricht der Zug- oder Druckkraft am Dreipunktanbau, wenn durch die Hubstangen keine Horizontalkräfte übertragen werden. Das elektrische Meßprinzip bietet viele Vorteile, zum Beispiel die gleichzeitige Registrierung mehrerer Meßgrößen auf einem Oszillogramm und die leichte Erweiterungsfähigkeit für die Messung weiterer Kraftkomponenten.

## Schrifttum:

[1] Dreipunktanbau von Geräten. Berlin und Köln: Beuth-Vertrieb 1958, 2 S. (Deutsche Normen DIN 9674)

[2] Thiel, R.: Messen dynamischer Vorgänge in Getrieben. VDI-Z. 99 (1957) S. 231—237

[3] Skalweit, H.: Messungen des Zugwiderstandes von Dreipunkt-Anbaugeräten. Landtechn. Forschung 8 (1958), S. 108—109

[4] Eggenmüller, A.: Quirlpflüge. Untersuchungen am Aratore Civello. Instituts-Bericht Nr. 333.48