

Meßeinrichtung zur Bestimmung der Zugkraft landwirtschaftlicher Geräte und Maschinen mit mechanischer Kräftesummierung

Dr.-Ing. A. Baur/Dipl.-Ing. Sigrid Baur, KDT/Dr.-Ing. J. Kranz, KDT/
Ing. H. Weinkauf, KDT/Dipl.-Ing. Astrid Landsmann
Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der AdL der DDR

Verwendete Formelzeichen

F	kN	Zugkraft
H_{mw}	%	Hysterese als prozentuale Abweichung vom Belastungs- und Entlastungskennwert
n		Anzahl der Messungen
S		Standardabweichung der Meßwerte
t		Koeffizient der Student-Verteilung
U		Meßunsicherheit
U_{rel}	%	relative Meßunsicherheit
α		Irrtumswahrscheinlichkeit

1. Gegenwärtig eingesetzte Meßeinrichtungen

Für die Zugkraftmessung an Geräten und Maschinen, die über das Dreipunktbaussystem mit dem Traktor gekoppelt sind, werden Meßdreiecke eingesetzt, bei denen jeweils am Anlenkpunkt des oberen Lenkers und an den Anlenkpunkten der unteren Lenker ein Sensor zur Kraftmessung angeordnet ist [1]. Diese wandeln die infolge der angreifenden Kräfte auftretenden Dehnungen in ein elektrisches Signal, das nach entsprechender Verstärkung sowie eventuell notwendiger Filterung und Verrechnung nach den Methoden der mathematischen Statistik weiterverarbeitet wird. Ein entscheidender Nachteil solcher Meßdreiecke besteht darin, daß der mechanische Teil der Sensoren nicht nur nach der zu messenden Zugkraft, sondern auch nach den beim Ausheben des Anbaugerätes entstehenden Kräften dimensioniert werden muß. Häufig sind aber die beim Ausheben von Anbaugeräten auf die Sensoren einwirkenden Kräfte größer als die beim Einsatz des Gerätes zu messenden Zugkräfte. Besonders gravierend ist dieser Nachteil, wenn die Zugkraft von Anbaugeräten, bestehend aus gezogenen und zapfwellengeführten Werkzeugen (Grubberfräse, Zinkenrotoren, Kombination aus Fräse und Drillmaschine u. a.), gemessen werden soll. Während die Zugkraft derartiger Geräte nur relativ kleine Werte aufweist, wird beim Ausheben häufig fast die zulässige Hubkraft des Traktors erreicht. Das bedeutet, daß die einzusetzenden Sensoren so dimensioniert sein müssen, daß die Zugkraftmessung nur unterhalb des Nennbereiches und daher nur mit entsprechend größerem Meßfehler erfolgen kann. Eine Anpassung der Sensoren an die jeweils zu messenden Zugkraftgrößen ist daher oft nur bedingt möglich.

Ein weiterer Nachteil besteht darin, daß drei bzw. zwei Sensoren mit gleicher Kalibrierkennlinie erforderlich sind, wenn eine elektrische Summierung der Meßsignale erfolgen soll. Dieser Nachteil tritt auch bei den von Fa. Bosch entwickelten magnetoelastischen Meßbolzen für die Zugkraftmessung zur elektronisch-hydraulischen Hubwerksregelung auf (System Hitch-Tronik) [2]. Durch Toleranzen bei der Fertigung wird die Forderung nach gleichen Sensorkennlinien nicht immer erfüllt. Dadurch kommt es zu einem zusätzlichen Fehler, dessen Größe von der Verteilung der angreifenden Kräfte auf die einzelnen Sensoren abhängt. Ein elektri-

ches Angleichen der Kalibrierkennlinien ist mit erheblichem Aufwand verbunden [3]. Werden Sensoren mit ungleichen Kalibrierkennlinien eingesetzt, müssen die Meßwerte aller Sensoren gesondert erfaßt werden. Der Aufwand vervielfacht sich, da mehrere Meßkanäle benötigt werden. Ebenso erhöht sich dadurch der Aufwand für die Auswertung und Registrierung der Meßergebnisse.

2. Aufbau der Meßeinrichtung mit mechanischer Summierung der Kräfte

Die beschriebenen Nachteile der Meßeinrichtungen mit elektrischer Summierung lassen sich weitgehend mit einem speziellen Meßdreieck beseitigen, das über ein Hebelsystem ein mechanisches Summieren der angreifenden Kräfte ermöglicht und diese Kräfte dann auf einen zentral angeordneten Sensor überträgt. Der Rahmen 1 der Meßvorrichtung (Bild 1) ist in diesem Beispiel V-förmig ausgelegt, um Freiraum für den Durchgang einer Gelenkwelle zu schaffen. Durch die am Rahmen 1 gelagerten Hebel 2 und 3 werden die in den Punkten 4 und 5 angreifenden Kräfte der Unter- und Oberlenker auf die gemeinsame Achse 6 und von dieser auf den Sensor 7 übertragen. Die Achse 6 realisiert eine lösbare Verbindung zwischen den unteren Hebeln 2 und dem oberen Hebel 3. Während des Meßvorgangs treten im Ober- und Unterlenker richtungsgleiche Kräfte auf, so daß über das Hebelsystem eine Summierung der Kräfte erfolgt. Die im Oberlenker des Dreipunktbaustrukturs beim Ausheben des Gerätes entstehenden Zugkräfte treten in den unteren Lenkern als Druckkräfte auf. Werden gleiche Hebelverhältnisse angewendet, heben sich die beim Ausheben des Gerätes entstehenden Kräfte gegenseitig auf, so daß der Sensor 7 nicht belastet wird. Der zentral angeordnete Sensor 7 ist über Kugelgelenke 8, 9, die um 90° gedreht zueinander angeordnet sind, mit dem Hebelsystem und dem Rahmen verbunden. Unerwünschte seitliche Verspannungen

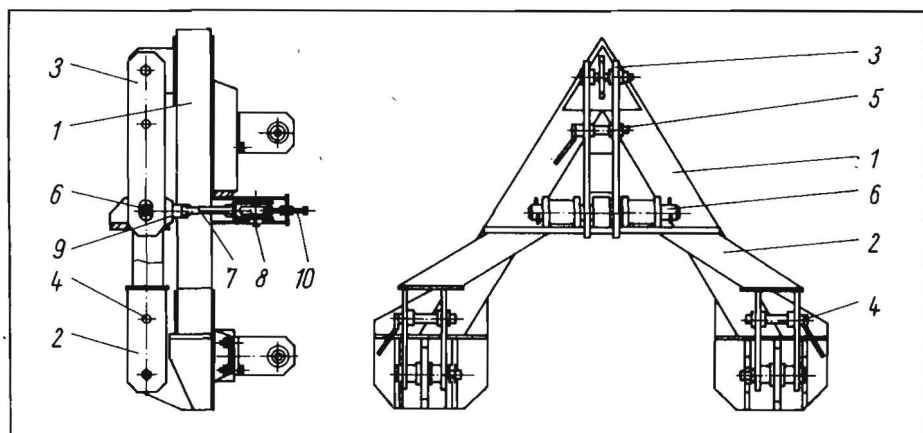
werden dadurch ausgeschlossen. Eine Stellschraube 10 ermöglicht beim Einsatz verschiedener Baugrößen von Sensoren, das Hebelsystem stets in eine vertikale Ebene zu bringen, so daß immer gleiche Hebelverhältnisse eingehalten werden. Geräteseitig ist die Meßeinrichtung mit verstellbaren Laschen ausgerüstet, so daß eine Anpassung an verschiedene Geräte möglich ist.

Nachteilig ist jedoch, daß sich durch eine derartige Konstruktion der Abstand zwischen Traktor und Gerät vergrößert. Dies kann eingeschränkt werden, indem eine andere Hebelanordnung realisiert wird, was an einem Beispiel für Geräte mit Kopplungsdreiecken gezeigt werden soll (Bild 2). Am unteren Querträger des Kopplungsdreiecks 1 sind die Lagerböcke 2 zur Führung der Welle 3 angebracht. Auf dieser Welle sind die Hebel 4, die die Achszapfen 5 zur Befestigung der Unterlenker tragen, der Hebel 6 zur Befestigung der Koppelstange 7 und der Hebel 8 zur Befestigung des Sensors 9 starr angebracht. Eine weitere Welle 10 wird durch die Lagerböcke 11 am oberen Ende des Kopplungsdreiecks befestigt. An dieser Welle 10 sind die Hebel 12 für die Lagerung des Oberlenkers und der Hebel 13 für die Befestigung der Koppelstange 7 starr angeordnet.

Wirken Zugkräfte am Ober- und Unterlenker, d. h. auf die Hebel 12 und 4, so erfolgt mit den Hebeln 13 und 6 über die Koppelstange 7 auf der Welle 3 eine Summierung der Zugkräfte, die über Hebel 8 auf den Sensor 9 übertragen werden. Der Sensor 9 ist durch die Halterung 14 am Kopplungsdreieck gelagert.

Beim Ausheben des Gerätes wird durch die gegenläufigen Kräfte im Ober- und Unterlenker der Sensor nicht belastet. Durch die veränderte Hebelanordnung wird eine platzsparende Anbringung des Sensors erreicht und der Abstand zwischen Traktor und Gerät gegenüber dem originalen Kopplungsdreieck nicht vergrößert.

Bild 1. Schematische Seitenansicht und traktorseitige Ansicht des Meßdreiecks mit zentral angeordnetem Sensor (Erläuterung im Text)



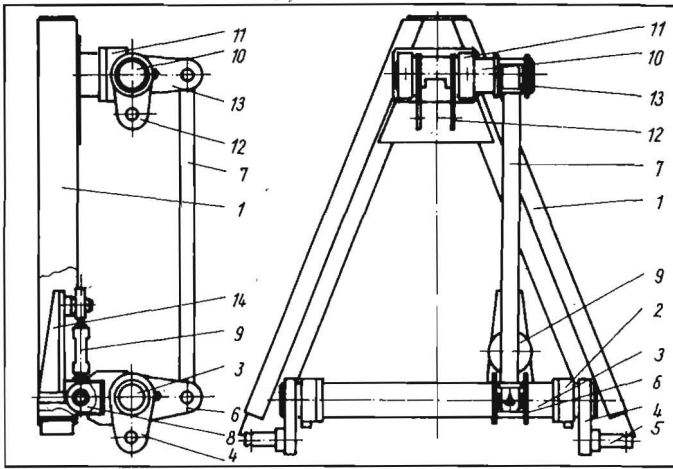


Bild 2
Schematische
Seitenansicht
und traktorseitige
Ansicht des
Meßdreiecks
mit mechanischer
Kräftesummierung
auf der Basis
eines Kopplungs-
dreiecks
(Erläuterung im Text)

$$U = \pm \frac{t}{\sqrt{n}} S. \quad (1)$$

Der Koeffizient t der Student-Verteilung wurde für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$ eingesetzt. Die relative Meßunsicherheit ist die Meßunsicherheit, bezogen auf den Mittelwert der Meßgröße.

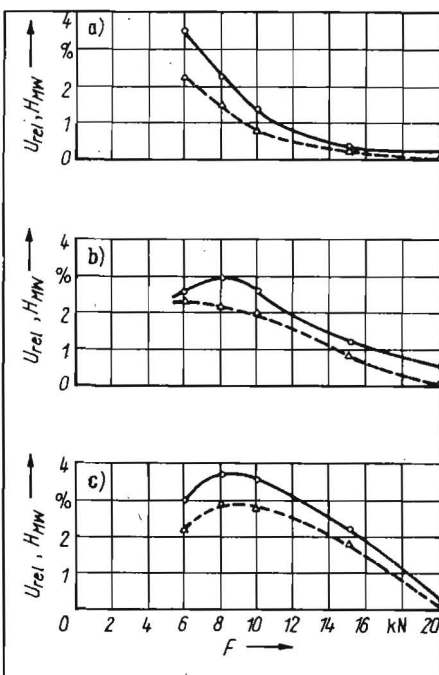
Im Ergebnis dieser Untersuchung zeigte sich, daß die relative Meßunsicherheit beim Einsatz der Meßeinrichtung mit mechanischer Summierung der angreifenden Kräfte wesentlich durch das Hystereseverhalten der Meßeinrichtung bestimmt wird (Bild 3). Im untersuchten Zugkraftbereich war die relative Meßunsicherheit unabhängig vom Kraftangriffspunkt stets $< 4\%$, wobei die höchsten Werte bei Zugkraftgrößen von etwa einem Drittel der Nennzugkraft ($\approx 20 \text{ kN}$) der Meßeinrichtung erreicht wurden. Im Bereich der Nennzugkraft betrug die relative Meßunsicherheit rd. 1% (Bild 3).

Diese Hebelanordnung läßt sich, beiderseitig angebracht, auch für o. g. Meßdreieck realisieren, wodurch sich der Freiraum für den Durchgang der Gelenkwelle beim Einsatz zapfwellengetriebener Werkzeuge noch vergrößert.

3. Anwendungsmöglichkeiten

Die beschriebenen Meßeinrichtungen wurden bei Versuchen auf verschiedenen Standorten erprobt. Sie gestatten die Messung der Zugkraft von Anbau- und Aufsattelgeräten mit nur einem Sensor unabhängig von den bei der Arbeit oder beim Ausheben auftretenden Vertikalkräften. Eine leichte Austauschbarkeit des Sensors ermöglicht, daß mit der gleichen Meßvorrichtung Zug- bzw. Schubkräfte nahe Null bis hin zur maximalen Zugkraft des Traktors stets im Nennbereich der Sensoren gemessen werden können, was zur Verringerung des Meßfehlers beiträgt.

Bild 3. Abhängigkeit der relativen Meßunsicherheit U_{rel} (—) und der prozentualen Änderung des Mittelwertes H_{mw} (---) infolge der Hysterese, bezogen auf den Mittelwert bei mechanischer Kräftemessung:
a) zentraler Kraftangriff
b) Kraftangriff am oberen Anlenkpunkt
c) Kraftangriff am unteren Anlenkpunkt



Durch die Ausführung des Meßvorganges durch die Ausübung des Meßvorganges mit nur einem Sensor verringert sich der Herstellungsaufwand um mehr als zwei Drittel, da keine einheitlichen Kalibrierkennlinien realisiert werden müssen. Ebenso vereinfacht sich der Austausch der Sensoren bei Defekten oder beim Wechsel des Meßbereiches.

Die Störanfälligkeit bei der Meßwertaufnahme, -verarbeitung und -registrierung verringert sich ebenfalls, da nur ein Meßkanal benötigt wird.

4. Fehlerbetrachtung

An den bisher eingesetzten Meßvorrichtungen mit Dehnungssensoren und elektrischer Summierung der Meßspannungen werden die drei Dehnmeßstreifen- (DMS-) Brücken parallel geschaltet. Dadurch verringert sich die abgegebene Meßspannung auf ein Drittel des Betrages, der bei Belastung eines einzelnen Sensors mit der gleichen Kraft auftreten würde. Der Innenwiderstand der parallel geschalteten DMS-Brücken beträgt ebenfalls nur noch ein Drittel des Wertes einer einzelnen DMS-Brücke. Über den Innenwiderstand der Speisespannungsquelle und den Leitungswiderstand der Meßkabel entsteht durch die dreimal höhere Stromaufnahme ein zusätzlicher Speisespannungsabfall, so daß die abgegebene Meßspannung weniger als ein Drittel der Meßspannung einer Einzelbrücke beträgt. Da sich die zu messende Kraft auf drei Sensoren aufteilt, wird das Meßsignal weiter in einen Bereich mit höherer Meßunsicherheit verschoben. Bei Anwendung des Prinzips der mechanischen Kräftesummierung und der damit möglichen Reduzierung auf nur einen zentral angeordneten Sensor läßt sich nicht nur eine höhere Meßempfindlichkeit erreichen, sondern auch eine Verringerung der Störeinflüsse, da das Ausgangssignal bei gleichgroßer Kraft höher ist als bei der Anwendung von 3 Sensoren.

Zur Ermittlung des Einflusses des Kraftangriffspunktes auf die zu messende Zugkraft beim Einsatz der Meßeinrichtung mit mechanischer Summierung der angreifenden Kräfte wurden in Meßreihen mit statischer Belastung bei unterschiedlichem Kraftangriff die relative Meßunsicherheit und die Hysterese als prozentuale Abweichung zwischen den Meßwerten der Belastungs- und Entlastungsreihe ermittelt (Bild 3). Die Meßunsicherheit wurde entsprechend Standard TGL 0-1319 [4] nach Gl. (1) berechnet:

5. Zusammenfassung

Ein Meßdreieck für die Zugkraftmessung an mobilen Geräten und Maschinen wird vorgestellt, mit dem die Zugkraftmessung über nur einen Sensor unabhängig von der Art der Kopplung des Meßobjektes mit dem Zugmittel möglich ist. Das wird dadurch erreicht, daß die in den Anlenkpunkten des Dreipunktanbaus auftretenden Kräfte über ein Hebelsystem mechanisch summiert auf einen zentral angeordneten, gegen seitliche Verspannung geschützten Sensor übertragen werden. Mit der Anwendung gleicher Hebelverhältnisse wird erreicht, daß sich die beim Ausheben oder Aufsatteln des Gerätes auftretenden Kräfte gegenseitig aufheben und somit der Sensor spannungsfrei bleibt. Damit ergibt sich die Möglichkeit, den Sensor jeweils an die zu messende Größe der Zugkraft anzupassen. Dadurch und infolge der höheren Meßempfindlichkeit bei Verwendung nur eines Sensors für die zu messende Kraft verringern sich die Störeinflüsse, so daß insgesamt eine Meßunsicherheit $< 4\%$ erreicht wird.

Literatur

- [1] Bernhardt, K.: Eine Meßeinrichtung zur Bestimmung von Kräften zwischen Traktor und Arbeitsgerät. Dt. Agrartechnik, Berlin 22 (1972), 5, S. 220-221.
- [2] Elektronisch-hydraulische Hubwerksregelung für Ackerschlepper. Firmenschrift Bosch-GmbH, Stuttgart 1984.
- [3] Hintze, G.: Kennlinienanpassung von parallel betriebenen Dehnmeßstreifen-Brückenschaltungen. messen-steuern-regeln, Berlin 29 (1986) 1, S. 33-36.
- [4] TGL 0-1319 Meßtechnik; Grundbegriffe. Ausg. April 1963. A 5194

Hinweis

Neue Erzeugnisse aus dem VEB Ausrüstungskombinat für Rinder- und Schweineanlagen Nauen stehen im Mittelpunkt der Beiträge unseres Augustheftes.

Sichern Sie sich durch ein Abonnement den regelmäßigen Bezug Ihrer Fachzeitschrift!