

Dipl.-Ing. H. SCHMIDT

**Kraftmessung an einem Lager
in drei senkrecht aufeinanderstehenden Richtungen**

Grundsätzliches zur Kraftmessung

Für eine Halmgutverdichtungseinrichtung war ein Meßfühler zu schaffen, mit dem die Kräfte an einem Wälzlager einer Verdichtungswalze gemessen werden können [1]. Im folgenden soll der beschrittene Lösungsweg erläutert werden.

Die Lagerkraft ist ein gebundener Vektor und hat vier Bestimmungsgrößen: Angriffspunkt, Richtung, Richtungssinn und Betrag. Diese vier Bestimmungsgrößen müssen mit der Meßeinrichtung eindeutig ermittelt werden können. Richtung, Richtungssinn und Betrag ändern sich im vorliegenden konkreten Fall während des Betriebes ständig. Die ständig sich verändernde Richtung einer Kraft meßtechnisch unmittelbar zu erfassen ist schwierig und nur für einige Sonderfälle zweckmäßig. Deshalb geht man hier einen anderen Weg und legt die bekannte Aufspaltung

eines im Raum liegenden Vektors in drei senkrecht aufeinanderstehende Komponenten zugrunde. Obwohl nun drei Einzelkräfte zu messen sind, ergibt sich der Vorteil, daß die Richtungen und die Angriffspunkte der Einzelkräfte geometrisch festliegen. Die noch nötigen Bestimmungsgrößen, Betrag und Richtungssinn, können von der Meßeinrichtung wie skalare Größen verarbeitet werden, wobei sich der Richtungssinn als positiver oder negativer Wert der Anzeige darstellt.

Eine gebräuchliche Art von Meßfühlern für mehrere Kraftkomponenten arbeitet nach dem Prinzip von Spannungsmessungen an metallischen Verformungskörpern. Die Spannungsmessungen werden mit Dehnungsmeßstreifen durchgeführt, wobei man spezielle Eigenschaften dieser mechanisch-elektrischen Wanderelemente ausnutzt. Dehnungsmeßstreifen vermögen aus einem ebenen Spannungsverlauf eine Spannungsrichtung herauszufiltern. Die zu dieser Richtung senkrecht verlaufende Spannung wird nur zu etwa 1 Prozent und weniger angezeigt. Mit Hilfe spezieller elektrischer Zusammenschaltungen ist es weiterhin möglich, nur bestimmte Belastungsrichtungen des Verformungskörpers zur Anzeige zu bringen.

An einem einfachen Beispiel (Bild 1) soll die Wirkungsweise verdeutlicht werden.

Mit dem DMS-Paar 1 wird die Zugkraft P_1 und mit dem DMS-Paar 2 die Biegekraft P_2 gemessen. Da die Nennlasten meistens vorgegeben sind, muß der Verformungskörper so dimensioniert werden, daß an den Stellen der DMS eine genügend große Dehnung entsteht. Das führt zu komplizierten Verformungskörpern. Die Meßfehler werden im wesentlichen davon bestimmt, wie sehr sich die einzelnen Kraftkomponenten gegenseitig beeinflussen. Bei dem erläuterten Prinzip sind die Komponenten untereinander nicht gleichwertig, so daß z. B. eine Komponente nahezu frei von der Beeinflussung durch die anderen mit einem Fehler von nur 2 Prozent und eine andere Komponente dagegen mit einem Fehler von 10 Prozent gemessen wird [2].

Liegen die bei der Messung auftretenden Kräfte auch nur bei einer Komponente außerhalb des erwarteten Meßbereiches oder sind diese zu klein gegenüber der vor-

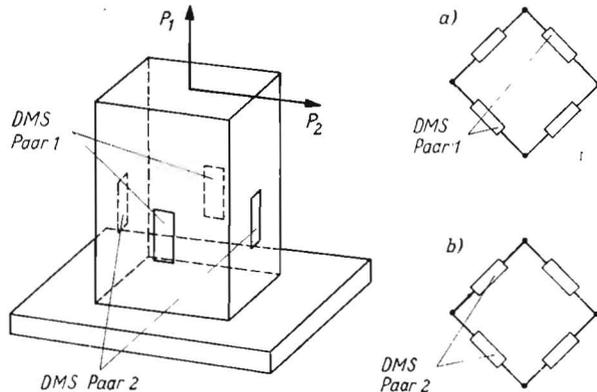


Bild 1. Schematische Darstellung einer einfachen Zwei-Komponenten-Kraftmessung; DMS Dehnungsmeßstreifen; a) Schaltung für die Messung von P_1 , b) Schaltung für die Messung von P_2

(Schluß von Seite 90)

größen. Bei der Zusammenstellung der Kollektive für bestimmte Arbeitsabschnitte sollten vorbereitete Entscheidungshilfen (z. B. der Katalog „Optimierte Mähdrusch-Komplexe“) berücksichtigt werden.

Literatur

[1] KASTEN, A.: Optimierte Komplexgrößen für den Einsatz der Maschinen bei kooperativer Pflanzenproduktion. Deutsche Agrartechnik 19. (1969) H. 11, S. 539.
 [2] KASTEN, A., E. FLEISCHER, W. SCHINKEL, u. a.: Zur optimalen Zuordnung von Arbeitskräften und Maschinen transportverbundener Fließerbeitsverfahren mit Hilfe der gemischt-ganzzahligen Optimierung, in: Beiträge über technologische Arbeitsmittel zur Einführung industriemäßiger Verfahren in der Pflanzenproduktion. VEB Ingenieurbüro für Betriebswirtschaft der VVB Saat- und Pflanzgut, Quedlinburg, 1970, S. 10 bis 19.
 [3] KASTEN, W., E. FLEISCHER, H.-J. BRÜCKNER; u. a.: Optimale Mähdruschkomplexe — Ein Beitrag zur Optimierung transportverbundener Fließerbeitsverfahren bei Kooperation in der Pflanzenproduktion, VVB Saat- und Pflanzgut Quedlinburg, Halle/S. und Quedlinburg 1970
 [4] o. V.: Zeitgliederung in der Landwirtschaft, Begriffe, Kurzzeichen, Erläuterungen, Überarbeiteter Entwurf vom Mai 1969, Fachbereichsstandard Landwirtschaft [2].
 [5] HERRMANN, K., K. HAUSE: Erfahrungen aus dem Komplexeinsatz der Mähdrösch E 512 in der KOG der LPG Görzig — Gröbzig — Wörbzig, Feldwirtschaft (1970) H. 5, S. 209 und 210 A 7991

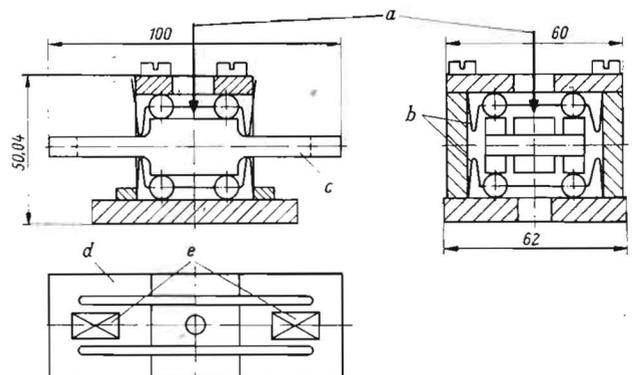


Bild 2. Baugruppe des Drei-Komponenten-Kraftmeßfühlers (vereinfachte Darstellung); a) angreifende Kraft, b) Kugelkäfige, c) Verformungskörper, d) Draufsicht des Verformungskörpers, e) Dehnungsmeßstreifen

gesehenen Höchstlast, so ist der Meßfühler in seiner Gesamtheit unbrauchbar. Das gleiche geschieht, wenn er in einer Richtung während der Messung stark überlastet wird und sich plastisch verformt.

Neuentwickelte Kraftmeßeinrichtung

Bei landtechnischen Versuchseinrichtungen, über die keine Betriebserfahrungen vorliegen, ist es oft sehr schwer, die zu erwartenden Belastungen abzuschätzen. Zum anderen ist mit kurzzeitigen starken Lastanstiegen infolge einer Havarie zu rechnen. Die Nachteile des geschilderten Arbeitsprinzips machen sich also für den geforderten Verwendungszweck in einer landtechnischen Versuchseinrichtung besonders störend bemerkbar. Aus diesem Grunde wurde von dem oft verwendeten Prinzip abgegangen und ein anderes konstruktiv ausgeführt. Grundlagen dieses Prinzips sind die geometrische Trennung der einzelnen Komponenten und die Verwendung getrennter Verformungskörper für jede Krafrichtung. Meßfühler dieser Art sind mechanisch aufwendiger, aber elektrisch einfacher aufgebaut. Bild 2 zeigt, wie die geometrische Trennung der Kraftkomponenten bei der ausgeführten Art erreicht wird.

Die eigentlichen Verformungskörper sind plattenförmig, flach ausgeführt [3] und in einer geschlossenen Wälzführung in einer Ebene frei beweglich (Bild 2). Auf diese Weise kann der Kraftfühler nur eine Krafrichtung aufnehmen, nämlich die senkrecht zur Führungsebene stehende. Eingelcitete Momente, die in der Führungsebene liegen, werden vom Meßfühler nicht angezeigt. Sie belasten aber die Wälzführung und führen zu Meßfehlern infolge von Rollreibung und sollten aus diesem Grunde vermieden werden.

Drei solcher Baugruppen sind nun in einem Gehäuse in drei senkrecht aufeinander stehenden Richtungen angeordnet (Bild 3).

Die Kraftmeßfühler sind unmittelbar mit dem Lagergehäuse verbunden. Wenn ein Kraftfühler beim Aufbringen einer Last einfedert, dann können die beiden anderen in ihren Wälzführungen der Bewegung folgen, ohne sie zu behindern. Der Federweg der Fühler beträgt maximal 0,2 mm. Die Mittelsenkrechten aller Kraftmeßfühler schneiden sich in einem Punkt, der gleichzeitig auch der Mittelpunkt einer Kugelführung ist. Dadurch ist gewährleistet, daß sowohl der von der Welle auf die Kraftmeßfühler übertragenen Kraft als auch gleichzeitig allen drei Komponenten ein eindeutiger Angriffspunkt zugeordnet werden kann. Die Krafrichtungen der Komponenten liegen, soweit es die Fertigungstoleranzen zulassen, genau fest. Die resultierende Lagerkraft ergibt sich — wie bei allen Mehrkomponentenmeßeinrichtungen — durch die geometrische Addition der drei senkrecht aufeinanderstehenden Teilkräfte.

Weil jede Krafrichtung mit einem Meßfühler gemessen wird, sind diese Meßfühler auch einzeln austauschbar. Das ist nötig, wenn z. B. der geforderte und der vorhandene Meßbereich nicht übereinstimmen oder wenn ein Fühler überlastet wurde. Das ist ein wesentlicher Vorteil besonders bei der Messung an landtechnischen Versuchseinrichtungen, bei denen — wie schon erwähnt — die zu erwartende Last vor der Messung nur sehr grob abgeschätzt werden kann. In die vorhandene Meßeinrichtung können Fühler für Nennlasten bis 400 kp eingebaut werden.

Auftretender Meßfehler

Für die Prüfung und Eichung der Meßeinrichtung wurde eine Belastungsvorrichtung gebaut. Sie gestattet es, den Meßfühler in drei senkrecht aufeinanderstehenden Richtungen zu belasten. Zwei grundlegende Prüfungen wurden mit dieser Belastungsvorrichtung durchgeführt.

In der ersten Prüfung wurde eine Krafrichtung stufenweise belastet, die beiden anderen waren unbelastet.

Ergebnis: Die Fehlergrenzen der belasteten Richtungen liegen bei $\pm 4,8$ Prozent, $\pm 2,9$ Prozent, $\pm 2,6$ Prozent vom

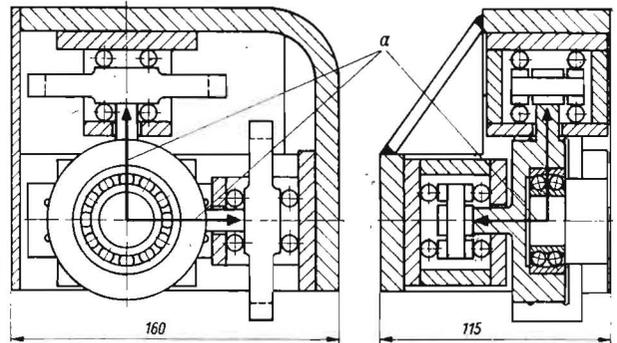


Bild 3. Vereinfachte Darstellung des Drei-Komponenten-Kraftmeßfühlers; a angreifende Kräfte

jeweiligen Meßbereichsendwert. Die Anzeige der unbelasteten Krafrichtungen lag zwischen Null und maximal 1 Prozent, im Durchschnitt bei 0,5 Prozent vom jeweiligen Meßbereichsendwert.

In der zweiten Prüfung wurde eine Krafrichtung stufenweise belastet, die beiden anderen waren mit 100 kp belastet.

Ergebnis: Die Fehlergrenzen der stufenweise belasteten Richtungen liegen bei $\pm 4,1$ Prozent, $\pm 3,0$ Prozent, $\pm 4,3$ Prozent vom jeweiligen Meßbereichsendwert.

Ursachen der Meßfehler sind: Ungenauigkeiten bei der Fertigung der mechanischen Teile, Fehler beim Einstellen der Führungsebenen und Rollreibung in den Führungen.

Es muß erwähnt werden, daß die Fehlerbestimmung nach einer Betriebszeit von etwa 200 Stunden durchgeführt wurde.

Im Durchschnitt liegen die Fehlergrenzen der gezeigten Einrichtung bei $\pm 3,7$ %. Gleich große Fehler haben auch einfache Kraft- und Drehmomentenmeßeinrichtungen vergleichbarer Bauart.

Obwohl der Drei-Komponenten-Meßwertfühler für den eingangs genannten konkreten Anwendungsfall konstruiert wurde, stellt er eine prinzipielle Lösung auch für andere Fälle dar, bei denen Kräfte in zwei oder drei Richtungen gemessen werden sollen. Besonders günstig lassen sich Lagerkräfte damit messen. Beim Einsatz in der Halmgutverdichtungseinrichtung zeigte der Meßfühler eine störungsfreie Funktion. Die Ergebnisse der Messungen brachten umfangreiche Kenntnisse über die Vorgänge im Wickelraum der Versuchseinrichtung und stellen gleichzeitig die Grundlage für die festigungsgemäße Gestaltung künftiger Anlagen dar.

Zusammenfassung

Für meßtechnische Untersuchungen an einer Verdichtungseinrichtung waren Meßfühler für die Messung von Lagerkräften zu schaffen. Nach einer Begründung der Aufgabenstellung werden die Möglichkeiten zur Lösung dieser Meßaufgabe diskutiert. Als Meßprinzip wurden mit Dehnungsmessstreifen beklebte Verformungskörper ausgewählt, die in einer Schutzkonstruktion angeordnet sind. Die Gebrauchswerte der Meßeinrichtung werden in einer ausführlichen Fehlerbetrachtung dargelegt.

Literatur

- [1] SCHWARZ, W.: Zum Prinzip des Verdichtens von Halmgut mit Walzenpressen. Deutsche Agrartechnik (in Vorbereitung)
- [2] ROHRBACH, C.: Handbuch für elektrisches Messen mechanischer Größen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1967
- [3] FISCHER, K. / K. HORN / J. JEDELSKY: Eine Präzisions-Kraftmeßdose mit Dehnungsmessstreifen für Kräfte zwischen 6 und 600 kp. ATM, Blatt J 133/2, Januar 1967
TGL 0-1319 Meßtechnik Grundbegriffe
HULTZSCH, E.: Ausgleichsrechnung mit Anwendung in der Physik. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest u. Portig K.-K. 1966 A 8092