

folge der Meßergebnisse von Feldversuchen in Verbindung mit den theoretischen Grundlagen werden bei noch unbefriedigender Arbeit Korrekturen am Werkzeug vorgenommen.

3. Zusammenfassung

Um eine tiefere wissenschaftliche Durchdringung der Werkzeugentwicklung für die Bodenbearbeitung zu gewährleisten, sind folgende Maßnahmen notwendig:

- Ermittlung von Bodenkennwerten, die eindeutig den Bodenzustand und sein Verhalten charakterisieren
- Entwicklung von geeigneten Meßmethoden und -verfahren zur Bestimmung reproduzierbarer Bodenkennwerte
- Aufstellen von rheologischen Modellen
- theoretisches Erfassen der Spannungseinleitung in einen durch ein vorgegebenes rheologisches Modell charakterisierten Boden als Funktion der Form der Druckübertragungsfläche.

Es ist zu bemerken, daß die ersten drei Maßnahmen nur im Komplex in ihrer gegenseitigen Beeinflussung zu betrachten sind.

Dozent Dr.-Ing. K. Plötner*

1. Problemstellung

Beim Be- und Verarbeiten landtechnischer Stoffe (wie z. B. Boden, Halmgut, Hackfrüchte) werden auf die Arbeitselemente der Landmaschinen und Anlagen Belastungen übertragen, die vorrangig räumlich wirkende Kraftsysteme darstellen, und beim gegenwärtigen Stand der Erkenntnisse experimentell bestimmt werden müssen. Räumlich wirkende Kraftsysteme sind durch 3 Kraftkomponenten in Richtung der gewählten Koordinatenachsen und 3 Drehmomente um die Koordinatenachsen gekennzeichnet. Sie können mit einer 6-Komponenten-Meßeinrichtung gemessen werden.

Für die Untersuchungen [1] war eine 5-Komponenten-Meßeinrichtung, nachstehend allgemein mit Maßeinrichtung bezeichnet, ausreichend, die resultierende Kraft nach Größe, Richtung und Lage eindeutig zu bestimmen. Die folgenden Betrachtungen über die Maßeinrichtung stellen eine Kurzfassung des vom Verfasser in der Wissenschaftlichen Zeitschrift der Universität Rostock veröffentlichten Beitrages: „Zur Ermittlung räumlich wirkender Kräfte in der Landtechnik“ dar [2].

2. Anforderungen an die Maßeinrichtung

Unter Berücksichtigung des Ziels der Meßaufgabe werden an die Maßeinrichtung folgende Anforderungen gestellt [2] [3] [4] [5]:

- kompakte und robuste Bauweise bei guter Anpassung an das Meßobjekt
- geringe Anfälligkeit gegen Feuchtigkeit, Wärme und mechanische Erschütterungen, d. h. vielseitiges Verwenden unter Labor- und Praxisbedingungen
- hohe Empfindlichkeit und gleichzeitig große Steifigkeit bei Proportionalität zwischen Belastung und Meßwertanzeige und weitgehender Hysteresefreiheit
- schnelles, exaktes statisches Eichen und dynamisches Untersuchen, möglichst ohne Demontage

* Universität Rostock, Sektion Landtechnik (Direktor: Prof. Dr.-Ing. habil. Chr. Eichler)

Literatur

- 1/ Giriya Vallabhai: Finite Element Method for Problems in Soil Mechanics. Soil Mechanics and Foundation Division (1968) H. 3, S. 473
- 2/ Kezdi, A.: Handbuch der Bodenmechanik. Bd. 1. 2. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen, Budapest: Verlag der Ung. Akademie der Wissenschaften 1968.
- 3/ Plötner, K.: Untersuchungen über den Bodenwiderstand und den Bodenaufbruch beim Einsatz von Lockerungswerkzeugen. Dissertation TU Dresden 1970 (unveröff.)
- 4/ Regge, H.: Zerkleinerungserfolg als Bearbeitungsmaßstab für Bodenbearbeitungsgeräte und -maschinen. Deutsche Agrartechnik 15 (1965) H. 8, S. 376-378
- 5/ Vasilenko, P. M.: O Vlijanii formy bokovogo profilija rezuzičich rabočich organov i skorosti dviženija na ich tjažovoe soprotivlenie (Über den Einfluß des Querschnittprofils von Bodenbearbeitungswerkzeugen und der Arbeitsgeschwindigkeit auf den Zugwiderstand. Traktory i sel'chošmašy 35 (1965) H. 8, S. 25-27
- 6/ Korotkevic, P. S.: O vlijanii formy lezvia noža na soprotivlenie podrezanija plasta pri obrabotke počvy. (Über den Einfluß der Form der Messerschneide auf den Schnittwiderstand bei der Bodenbearbeitung. Mechanizacija i elektrifikacija sel'skogo chozajstva 21 (1967) H. 8, S. 13-17
- 7/ O'Callaghan: Entwicklung eines Pflugstreichbleches mit einem analytischen Verfahren. Landtechnische Forschung 15 (1965) H. 4, S. 112-116
- 8/ Baganz: Untersuchungen über Modellbeziehungen bei Bodenbearbeitungswerkzeugen; Deutsche Agrartechnik 15 (1965) H. 12, S. 555; Deutsche Agrartechnik 18 (1968) H. 3, S. 111 A 8744

Eine elektrische 5-Komponenten-Meßeinrichtung

- Messen der einzelnen Kraftkomponenten unabhängig von ihrer Lage und eindeutiges Trennen und Entkoppeln der Komponenten, die für das Bestimmen von Größe, Richtung und Lage der Resultierenden erforderlich sind, d. h. die zusätzlich wirkenden Kräfte und Momente in räumlicher Anordnung dürfen keinen unvermeidbaren Einfluß auf das Meßergebnis ausüben
- Messen dynamischer Vorgänge mit zeitlichem Verlauf der Meßgrößen und dynamische Abstimmung der Maßeinrichtung, wobei eine möglichst optimale Dämpfung in Resonanz (häufig Zusatzdämpfung erforderlich) und je nach dem zu erfassenden Frequenzbereich eine entsprechend hohe Eigenfrequenz des Gesamtsystems (Meßeinrichtung und Übertragungselemente) anzustreben ist
- einfaches Handhaben bei vielseitiger Verwendung und geringem gerätetechnischem Aufwand.

3. Bauelemente und Wirkungsweise der Maßeinrichtung

Nach Sadowy und Scheuber [4], Büttner und Sydow [5] und nach Siemens, Weber und Thornburn [6] erfüllen ringförmige Meßfedern mit Dehnungsmeißstreifen als Meßgeber die gestellten Anforderungen.

Die Vorteile dieser Meßgeber sind:

- Relativ große Steifigkeit und große Sicherheit gegen Knickung bei gleichzeitiger günstiger Meßempfindlichkeit
- eindeutiges Entkoppeln senkrecht zueinander gerichteter Kraftkomponenten
- gutes Anpassen an die Originalausführung der Kraftübertragungselemente
- doppelte Empfindlichkeit in tangentialer Richtung gegenüber der radialen Richtung
- Anwenden von Dehnungsmeißstreifen als Meßwandler.

Die Grundlagen für diese Meßgeber folgen aus der Elastizitätstheorie dünner, kreisförmiger Ringe [7]. Sie lassen sich aus dem Momentenverlauf in den Ringen bei getrennter radialer und tangentialer Belastung ableiten.

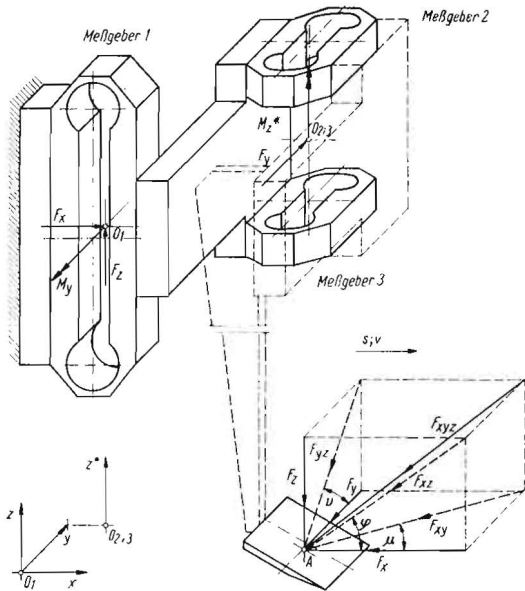


Bild 1. Prinzip der elektrischen 5-Komponenten-Meßeinrichtung mit den Meßgebern 1, 2 und 3 und den aus dem räumlich wirkenden Kraftsystem resultierenden Meßgrößen

Für die elektrische 5-Komponenten-Meßeinrichtung nach Bild 1 wurden die Meßgeber als Oktogonalringe (achteckiger Querschnitt) mit folgender Begründung ausgeführt:

- einfache Fertigung aus einem Stück bei guter Formgenauigkeit und Maßhaltigkeit,
- günstiges Anbringen der Dehnungsmessstreifen (ebene Flächen)
- gleiches Meßverhalten gegenüber der Kreisringform, was nach Sadowy und Scheuber /4/ durch Versuche bestätigt wurde.

Mit einem solchen Meßgeber können nur 3 Komponenten (2 Kräfte und 1 Moment) gemessen werden /7/. Deshalb

wurde für die Maßeinrichtung eine Kombination von 3 Meßgebern in räumlicher Anordnung gewählt. Die Meßgeber 2 und 3 sind nach den Erfordernissen der Untersuchungsaufgabe /1/ in einem bestimmten Abstand parallel zueinander und asymmetrisch im rechten Winkel zum Meßgeber 1 angeordnet. Die 3 Meßgeber sind durch starre Verbindungselemente formschlüssig und kraftschlüssig untereinander verbunden. Außerdem können die Meßgeber auch in anderer Kombination (z. B. symmetrische Anordnung der Meßgeber 2 und 3 zum Meßgeber 1 oder Kombination von nur 2 Meßgebern) oder auch als Einzelmeßgeber angewendet werden.

Wirkt auf die Maßeinrichtung ein räumliches Kraftsystem (Bild 1), so werden auf den einzelnen Meßgebern der 5-Komponenten-Meßeinrichtung gemessen:

— Meßgeber 1

Die Kraftkomponenten F_x und F_z in Richtung der Koordinatenachsen x und z und das Moment M_y um die y -Koordinatenachse (Koordinatenursprung im Punkt O_1)

— Meßgeber 2 und 3

Die Kraftkomponente F_y in Richtung der Koordinatenachse y und das Moment M_z^* um eine der z -Koordinatenachse parallele und entsprechend der Anordnung der Meßgeber verschobene Koordinatenachse z^* (Koordinatenursprung im Punkt $O_{2,3}$).

Ausgangspunkt für die Anordnung und Vollbrückenschaltung der Dehnungsmessstreifen nach Bild 2 war, daß die Dehnungen der nicht zu messenden Komponenten an der entsprechenden Vollbrücke keine Meßspannung erzeugen. Das ist bei gleichgroßen Widerstandsänderungen in den entsprechenden Brückengliedern garantiert /8/.

4. Anwendungsgrenzen der Maßeinrichtung

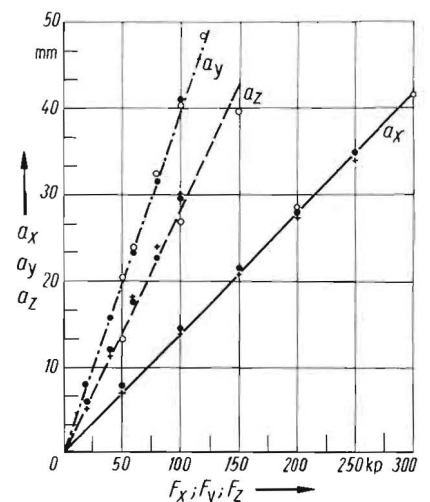
Aus statischen Eichversuchen und dynamischen Untersuchungen, bei denen die Maßeinrichtung in Verbindung mit dem Meßobjekt betrachtet wird, ergeben sich die Kennwerte für die Maßeinrichtung. Der Vergleich dieser Kennwerte mit den gestellten Anforderungen zeigt die Anwendungsgrenzen der Maßeinrichtung.

Bild 2. Elektrische 5-Komponenten-Meßeinrichtung mit Anordnung und Schaltung der Dehnungsmessstreifen auf den Meßgebern 1, 2 und 3

Anordnung der Dehnungsmessstreifen	Meßgeber	Meßgröße	Schaltung der Dehnungsmessstreifen
	1	F_x	
		F_z	
		M_y	
	2; 3	F_y	
		M_z^*	

Bild 3. Eichkennlinien der Kraftkomponenten F_x , F_y und F_z für die Belastungsfälle I bis IV und V bei konstantem Kraftangriffspunkt (Mittelwerte aus Be- und Entlastung):

- $\alpha_x = f(F_x)$; $\alpha_y = f(F_y)$; $\alpha_z = f(F_z)$
- + $\alpha_x = f(F_x; F_z)$; $\alpha_z = f(F_x; F_z)$
- $\alpha_x = f(F_x; F_y; F_z)$
- $\alpha_y = f(F_x; F_y; F_z)$
- $\alpha_z = f(F_x; F_y; F_z)$



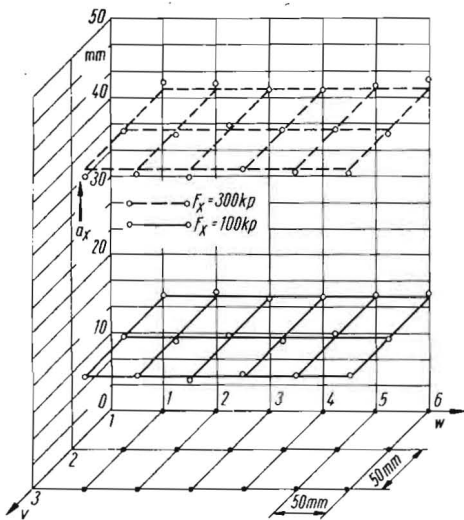


Bild 4. Meßwertanzeige der Kraftkomponenten F_x in Abhängigkeit vom Kraftangriffspunkt $v_1 \dots v_6$ für den Belastungsfall I (Mittelwerte aus Be- und Entlastung); ● Kraftangriffspunkt für F_x

Die Meßeinrichtung wurde auf einem Versuchsstand im demontagelosen Zustand geeicht [1/2]. Der Aufbau des Eichversuchsstands ermöglichte getrenntes Einleiten der Kraftkomponenten F_x, F_y, F_z , gleichzeitiges Einleiten von jeweils 2 und gleichzeitiges Einleiten der 3 Kraftkomponenten. Schwerpunkte der Untersuchung der Meßeinrichtung waren:

- Abhängigkeit zwischen Größe der Belastung und Meßwertanzeige für die einzelnen Meßgrößen bei Be- und Entlastung und in verschiedenen Meßbereichen
- Einfluß der Kraftangriffspunkte auf die Meßwertanzeige der Kraftkomponenten
- gegenseitige Beeinflussung der Meßgrößen bei getrenntem Wirken der drei Kraftkomponenten, bei gleichzeitigem Wirken von jeweils 2 und bei gleichzeitigem Wirken der 3 Kraftkomponenten F_x, F_y und F_z .

Die Untersuchung wurde nach den folgenden 5 Belastungsfällen vorgenommen:

Belastungsfall	I	II	III	IV	V
Wirkende Kräfte	F_x	F_y	F_z	$F_x; F_z$	$F_x; F_y; F_z$
wirkende Momente	$M_y; M_z^*$	M_z^*	M_y	$M_y; M_z^*$	$M_y; M_z^*$

Bei der Untersuchung der Belastungsfälle I bis V wurden für die Meßgrößen F_x, F_y, F_z, M_y und M_z in den gewählten Schrittweiten die entsprechenden Meßwertanzeigen a_x, a_y, a_z, A_y und A_z^* bei Be- und Entlastung auf Meßschiebe aufgezeichnet.

Ausschnitte aus den Ergebnissen der Untersuchungen sind in den Bildern 3 und 4 dargestellt. Das Bild 3 zeigt die Meßwertanzeigen (Mittelwerte aus Be- und Entlastung) in Abhängigkeit von den wirkenden Kräften für die Belastungsfälle 1 bis IV im Vergleich mit V bei konstantem Kraftangriffspunkt. Im Bild 4 sind die Meßwertanzeigen (Mittelwerte aus Be- und Entlastung) für zwei Stufen der Kraftkomponente F_x in Abhängigkeit vom Kraftangriffspunkt $v_1 \dots v_6$ für den Belastungsfall I dargestellt.

Aus den insgesamt ermittelten Ergebnissen können für die untersuchten Bereiche der Belastungsfälle I bis V folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

- Die Eichkennlinien für die Meßgrößen F_x, F_y, F_z, M_y und M_z^* zeigen einen linearen Zusammenhang zwischen Belastung und Meßwertanzeige
- die Meßwertanzeige für die Kraftkomponenten F_x, F_y und F_z ist unabhängig vom Kraftangriffspunkt
- die Kraftkomponente F_z hat gegenüber der Kraftkomponente F_x bei gleichen Meßbereichen die doppelte Empfindlichkeit

— die gegenseitige Beeinflussung der Meßgrößen F_x, F_y, F_z, M_y und M_z^* ist vernachlässigbar klein.

Nach den angegebenen Untersuchungsschwerpunkten wurden die Ergebnisse einer Fehlerbetrachtung unterzogen. Dabei zeigte sich, daß die Einflüsse durch Be- und Entlastung, verschiedene Meßbereiche und unterschiedliche Kraftangriffspunkte (Untersuchungsschwerpunkt 1 und 2) im Bereich der Auswertegenauigkeit liegen. Deshalb wurden bei der Fehlerbetrachtung zum Untersuchungsschwerpunkt 3 die Belastungsfälle I, II, III und V verglichen. Die berechneten Fehler und die Versuchsergebnisse der statischen Eichversuche [1] zeigen, daß die Summe der relativen Fehler für den untersuchten Bereich der Meßgrößen in jedem Fall < 5 Prozent ist. Nach diesem Ergebnis ist eine Korrektur der Versuchsergebnisse bei Anwendung der elektrischen 5-Komponenten-Meßeinrichtung nicht erforderlich.

Bei den dynamischen Untersuchungen der Meßeinrichtung konnte diese Aussage bestätigt werden. In dem Zusammenhang muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß die Erregerfrequenz der Meßeinrichtung genügend weit unterhalb ihrer Eigenfrequenz liegt. Beim Einsatz der beschriebenen Meßeinrichtung bei den Untersuchungen in [1] konnte diese Bedingung eingehalten werden.

5. Zusammenfassung

Beim Be- und Verarbeiten landtechnischer Stoffe treten an die Arbeitselemente Belastungen auf, die vorrangig räumlich wirkende Kraftsysteme darstellen und beim gegenwärtigen Stand der Erkenntnisse mit Hilfe von Mehrkomponenten-Meßeinrichtungen experimentell ermittelt werden müssen.

Nach den Anforderungen, die man an eine Mehrkomponenten-Meßeinrichtung stellt, werden die Bauelemente, die Wirkungsweise und die Anwendungsgrenzen der elektrischen 5-Komponenten-Meßeinrichtung dargelegt. Als Meßgeber werden für diese Meßeinrichtung 3 Oktogonringe mit Dehnungsmößstreifen als Meßwandler verwendet.

Aus den Ergebnissen der statischen Eichversuche und der dynamischen Untersuchungen geht hervor, daß diese Meßgeber die gestellten Anforderungen mit hinreichender Genauigkeit erfüllen. Der besondere Vorteil der Meßgeber besteht darin, daß sie sowohl als Einzelgeber als auch in verschiedenen Kombinationen verwendet werden können, wodurch das Messen mehrerer Komponenten bzw. das Verwirklichen verschiedener Meßbereiche gewährleistet ist.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, daß die Herstellung von Meßgebern nach diesem Prinzip in einer Baukastenreihe dazu beitragen würde, die umfangreichen Meßaufgaben in der Landtechnik schnell und sicher zu lösen.

Literatur

- 1/ Plötner, K.: Untersuchungen über den Bodenwiderstand und den Bodenaufbruch beim Einsatz von Lockerungswerkzeugen. Dissertation TU Dresden. 1970
- 2/ Plötner, K.: Zur Ermittlung räumlich wirkender Kräfte in der Landtechnik. Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock, mathematisch-naturwissenschaftliche Reihe 20 (1971) H. 3/4. S. 281 bis 292
- 3/ Queitsch, K.: Eine elektrische 6-Komponenten-Meßeinrichtung zur Ermittlung räumlich wirkender Kräfte an einem Bodenbearbeitungswerkzeug. Deutsche Agrartechnik 18 (1968) H. 3, S. 109–111
- 4/ Sadowy, M. / H. Scheuber: Grundlegende Zusammenhänge bei statischen und dynamischen Schnittkraftmessungen. Werkstatttechnik 57 (1967) H. 6, S. 280–284
- 5/ Büttner, A. / W. Sydow: Praktische Auslegung eines Schnittkraftmessers für schleiftechnische Untersuchungen. Meßtechnische Briefe (1967) H. 3, S. 37–40
- 6/ Siemens, J. C. / J. A. Weber / T. H. Thornburn: Mechanics of Soil as Influenced by Model Tillage Tools (Mechanische Eigenschaften des Bodens unter dem Einfluß von Modell-Bodenbearbeitungswerkzeugen). Transactions of the ASAE, 8 (1965) H. 1, S. 1–7
- 7/ Göldner, H.: Leitfaden der Technischen Mechanik. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1966
- 8/ Troppens, D.: Grundlagen der Meßtechnik bei Landmaschinenuntersuchungen. Deutsche Agrartechnik 20 (1970) H. 5, S. 223, H. 6, S. 291, H. 7, S. 238, H. 8, S. 382, H. 9, S. 432, H. 11, S. 536–538 A 8805