

- hohe Nullpunkt Konstanz des Meßgeräts
- Vermeidung von Lötstütz- und anderen nicht unbedingt notwendigen Punkten, zwischen denen sich Übergangswiderstände bilden bzw. ändern können
- Möglichkeit der Nullpunkt Kontrolle der Meßstellen oder mindestens ungefähre Kenntnis der Änderungen der Meßwerte
- Schutz gegen Witterungseinflüsse, insbesondere gegen Regen
- Messung möglichst in den Morgenstunden oder abends, d. h. nicht bei praller Sonne

Wie Tafel 4 zeigt, wirken sich extreme Witterungsverhältnisse, wie sie während der Winterperiode auftreten, stark auf die Nullpunktswanderungen aus. Deshalb ist eine Messung während der Wintermonate mit größeren Fehlern als während der Sommermonate verbunden. In den Sommermonaten muß man bei etwa 80 bis 90 Prozent Meßstellen mit einem Fehler von  $\pm 5$  Prozent ( $\approx 3$  Prozent Nullpunktänderung + 2 Prozent Skalenwertänderung) rechnen. Ebenso muß man mit unvorhersehbaren Übergangswiderständen bzw. -widerstandsänderungen und damit Ausfall der Meßstelle rechnen. Man sollte deshalb einige Meßstellen mehr als notwendig vorsehen. Insbesondere nach anhaltendem Regen sind sprunghafte Veränderungen, soweit sie nicht durch

die Natur des Meßvorgangs bedingt sind, stets ein Zeichen von Widerstandsänderungen. Da bei den Meßstellen auf Zwischenstecker nicht verzichtet werden konnte, die ebenfalls der Witterung ausgesetzt waren, wird ein Teil, möglicherweise sogar der größere Teil der Nullpunktveränderungen durch sie bewirkt. Die Ergebnisse sind auch auf die sorgfältige Ausführung der Meßstellen zurückzuführen. Die Qualität der Meßstellen hängt u. a. von den Erfahrungen beim Umgang mit DMS ab. Deshalb sollten, bevor DMS für Langzeitmessungen benutzt werden, mehrjährige Erfahrungen vorliegen und evtl. in einem Laborversuch die Qualität der Meßstellen getestet werden.

## 5. Zusammenfassung

An einem Formstein-Silobaukörper waren die Spannungen von Siloringen über mehrere Monate hinweg zu messen. Von den zur Verfügung stehenden Eigenbau-Setzdehnungsmessern, Saitendehnungsmessern und Dehnungstreifen (DMS), wurden in Vorversuchen als günstigste Variante die DMS ausgewählt. Die anschließenden Messungen ergaben, daß Langzeitmessungen mittels DMS möglich sind, jedoch muß mit Nullpunktänderungen gerechnet werden. Daher muß eine Kontrollmöglichkeit gegeben sein. Weitere Bedingungen und zu erwartende Fehler werden genannt. A 9432

# Bestimmung des Meßfehlers bei statischen Wanddruckmessungen an Gärfutterbehältern mit Halmgutfüllung

Dipl.-Ing. F. Zschaage, KDT, Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim der AdL der DDR

## 1. Aufgabe

Umfangreiche Messungen der Beanspruchungen von Hochsilos durch das Siliergut führten dazu, daß verbesserte Lastannahmen vorgeschlagen werden konnten /1/. Aus ihnen resultieren geringere Beanspruchungen, als die bisher zur Berechnung verwendeten Lastannahmen nach DIN 1055 ergaben. Unbefriedigend sind die bisherigen Erkenntnisse über den Meßfehler bei den Wanddruckmessungen /1/ /2/.

Die Hauptbeanspruchungen eines Silobaukörpers werden vom Druck des Silierguts auf seine Wandung hervorgerufen. Deshalb ist der Wanddruck die wichtigste Meßgröße. Fehler in der Wanddruckmessung bedingen Fehler in den aus den Meßergebnissen abgeleiteten Lastannahmen und damit Fehler in der Dimensionierung.

Zur Wanddruckmessung werden Eigenbau-Meßwertgeber verwendet, deren Mehrzahl im Prinzip aus einer in einer Öffnung der Silowand eingelassenen kreisförmigen Platte besteht. Die durch das Siliergut auf diese Druckmeßplatte (DMP) ausgeübte Druckkraft befindet sich mit einer von außen auf die DMP wirkenden Stützkraft im Gleichgewicht. Abhängig von der Erzeugung der Stützkraft bewegt sich die DMP mit zunehmendem Silowanddruck mehr oder weniger vom Siliergut weg, sofern nicht eine komplizierte Kompensationseinrichtung eine weglose Druckmessung ermöglicht. Bei der wegbehafteten Messung wird ein geringerer Druck als tatsächlich vorhanden angezeigt /2/. Bisher wurde der Meßfehler nur für eine spezielle Meßeinrichtung an einem Versuchsbehälter bestimmt. Die Ergebnisse sind nicht auf Meßeinrichtungen mit DMP übertragbar /3/.

Für Meßeinrichtungen mit DMP ist daher eine Methode zur Bestimmung der Meßfehler zu entwickeln.

## 2. Möglichkeiten zur Bestimmung des Meßfehlers

### 2.1. Vorbemerkungen

Bekanntlich wird der Fehler eines Meßgeräts oder einer Einrichtung durch Vergleichen mit einem Normal oder einem geeichten Meßgerät bestimmt. Bei Meßeinrichtungen für den Wanddruck in Gärfuttersilos sind diese Möglichkeiten nicht gegeben, da der Druck sich hier nicht wie z. B. bei einer Flüssigkeit nach allen Seiten gleichmäßig fortpflanzt. Diese Voraussetzung muß erfüllt sein, wenn eine Wanddruckmeßeinrichtung mit unbekanntem Fehler mit einer neben ihr eingebauten geeichten Meßeinrichtung verglichen werden soll. Daher sind zur Meßfehlerbestimmung nur mittelbare Verfahren anwendbar.

### 2.2. Rechnerische Bestimmung des Meßfehlers

Bei der rechnerischen Bestimmung des Meßfehlers muß erstens ein Problem der Plattentheorie gelöst werden. Das Siliergut als nahezu unbegrenzte, von einem (konstant verteilt angenommenen) Druck beaufschlagte „Platte“ mit großer Dicke liegt auf der Behälterwand und der in ihr eingelassenen DMP auf. Während normalerweise Plattengleichungen dazu dienen, entweder Beanspruchungen in der Platte oder ihre Durchbiegung zu berechnen, würde in diesem Fall nach der Stützkraft  $P$  an der DMP und deren Veränderung nach Verschieben der DMP um den Weg  $s$  zu fragen sein. Die Veränderung der Stützkraft wird durch Normal- und Schubspannungen im Siliergut bei Verschiebung um den Weg  $s$  bewirkt.

Ein derartiger Fall ist bisher nicht gelöst und wegen der Kompliziertheit nur nach starken Vereinfachungen lösbar. Die Vereinfachungen würden u. a. die Randbedingungen

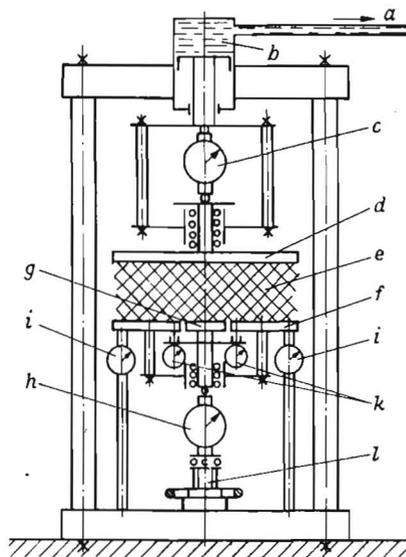


Bild 1. Einrichtung zur Untersuchung des Meßfehlers bei Druckmessung an Siliergütern (Erläuterungen im Text)

betreffen, da die „Einspannung“ des Materials an den Rändern der DMP-Öffnung schwierig zu definieren ist.

Zweitens müssen die Materialeigenschaften des Silierguts bekannt sein. Bei der Berechnung der Verformung eines Körpers aus Stahl oder anderem Metall wird die Materialeigenschaft durch eine einzige Konstante, den Elastizitätsmodul  $E$ , charakterisiert. Bei Stoffen wie Siliergut aber können die Eigenschaften zweckmäßig durch rheologische Modelle beschrieben werden [3, 4, 5]. Die Modelle setzen sich zusammen aus elastischen ( $E$ ), Reibungs- ( $\theta$ ) und Dämpfungsgliedern ( $\eta$ ), wobei die Zusammensetzung je nach Art der Belastung variiert werden muß. Die Anzahl der Glieder hängt u. a. von der erforderlichen Genauigkeit ab, mit der das Materialverhalten vorausberechnet werden soll. Bei Garnen kann das Spannungs-Dehnungs-Verhalten bei einachsigem Spannungszustand durch ein 15gliedriges Modell mit einem Fehler von etwa  $\pm 25$  Prozent vorausberechnet werden. Bei Verdichtungsuntersuchungen am Siliergut zeigte sich, daß die Kennwerte des rheologischen Modells stark von der Höhe und Dauer der Belastung abhängen. Deshalb war es sinnvoller, die Größe der Verformung durch die Belastungskennwerte selbst zu beschreiben, in denen die Materialeigenschaften implizit enthalten sind [4].

Wegen der Kompliziertheit der zu lösenden Probleme, insbesondere wegen der zur Lösung des „Plattenproblems“ erforderlichen Vereinfachungen und wegen der mit Unsicherheiten behafteten Vorausberechnung des Materialverhaltens beim mehrachsigen Spannungszustand wird die Berechnung der Meßfehler aber ungenau. Bei der Berechnung der Durchbiegung einer Stahlmembran mit einer nicht mehr als klein gegenüber ihren anderen Abmessungen zu bezeichnenden Dicke, aber definierten Einspannbedingungen und Materialeigenschaften, beträgt die Unsicherheit rund  $\pm 30$  Prozent. Für die Vorausberechnung der Verringerung der Stützkraft wird eine Unsicherheit von mindestens  $\pm 60$  Prozent geschätzt. Nimmt man für die Beschreibung des Materialverhaltens beim mehrachsigen Spannungszustand eine Unsicherheit von rd.  $\pm 50$  Prozent an, so ergibt sich nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz eine Gesamtunsicherheit von mindestens  $\pm 80$  Prozent. Damit scheidet eine Berechnung aus.

### 2.3. Experimentelle Bestimmung des Meßfehlers

Für die experimentelle Meßfehlerbestimmung wurde bereits eine Einrichtung beschrieben [2] (Bild 1). Zwischen einer oberen Platte  $d$  mit der Fläche  $A_{ob}$  und einer gleichgroßen

unteren Platte  $f$ , die eine im Durchmesser veränderbare Druckmeßplatte  $g$  der Fläche  $A_D$  enthält, befindet sich das Siliergut  $e$ .

Das Prinzip der Einrichtung besteht darin, daß ein verstellbarer definierter Druck auf das Siliergut ausgeübt werden kann, der mit der zu untersuchenden Druckmeßeinrichtung gemessen wird. Der Meßfehler  $\Delta F$  ist dann die Differenz zwischen erzeugter ( $F_{ob}$ ) und gemessener Kraft ( $F_D$ ), wobei der erzeugte Druck  $F_{ob} \cdot A_{ob}$  das Vergleichsnormale ist, das den Druck im Silierbehälter ersetzt. Wegen ungleichmäßiger Druckverteilung (s. auch Abschn. 2.1.) an der unteren Platte muß hierbei noch ein Druckverteilungsfaktor  $a$  eingeführt werden. Somit ergibt sich für den Meßfehler:

$$\Delta F = F_D - a \cdot \frac{A_D}{A_{ob}} \cdot F_{ob}$$

Der Faktor  $a$  hat den Wert  $a = 1$ , wenn das Gut in der Versuchseinrichtung homogen verteilt ist. Da bei der Versuchsdurchführung keine homogene Verteilung des Guts erreicht wird, läßt sich dieser Einfluß nur durch eine große Anzahl  $n$  von Wiederholungen eliminieren. Messungen einer Versuchsperson bei  $s = 0$  und  $n = 45$  ergaben eine Schwankungsbreite des Faktors  $a$  von  $0,43 < a < 2,77$ ; der Mittelwert betrug  $\bar{a} = 1,07$ . Um subjektive Fehler beim Füllen der Versuchseinrichtung auszuschalten, muß außerdem zwischen mehreren Versuchsdurchführenden gemittelt werden. Daran änderte im Prinzip auch ein Umbau der Versuchseinrichtung nichts (Bild 2): In die obere Platte  $e$  wurde eine Druckplatte  $d$  mit gleichem Durchmesser wie die DMP  $g$  eingelassen. Es verringerte sich aber die Schwankungsbreite. Bei  $n = 12$  ergab sich  $0,73 < a < 1,15$  und  $\bar{a} = 0,97$ . Für eine Fehlerkurve sind etwa 10  $\Delta F$ -Werte erforderlich. Damit ist diese Art der Fehlerbestimmung praktisch nicht durchführbar.

Der experimentellen Ermittlung des Meßfehlers wurde deshalb folgende Methode zugrunde gelegt. Bei einer Kraft  $F_{ob}$ , die nur zum Erzeugen eines Drucks an der DMP dient, wird die Stützkraft  $F_{0D}$  an der DMP beim Weg  $s = 0$  gemessen. Danach wird die DMP um definierte Wege  $s$  bewegt. Dabei werden die Veränderungen der Stützkraft  $F_D$  bestimmt. Der relative Meßfehler beim Weg  $s$  ergibt sich aus der Beziehung

$$f = \frac{F_D - F_{0D}}{F_{0D}}, \text{ wobei } F_{0D} \text{ die Stützkraft beim Weg}$$

$s = 0$  bedeutet. Dabei wird definiert:

$$f = 0 \text{ bei } s = 0.$$

Das ist der Ersatz für ein Vergleichsnormale. Wird der Fehler bei verschiedenen Einflußgrößen (Siliergutdruck  $p_D$ ; Durchmesser der DMP, Weg  $s$ , Dichte  $\rho$  des Silierguts, Siliergutart u. a.) bestimmt, so ergeben sich Fehlerkurven, aus denen sich die Fehler eines Wanddruckmeßgeräts angeben lassen, wenn dessen Parameter bekannt sind.

### 3. Ergebnisse

Es werden hier nur der Einfluß des Meßwegs und des Durchmessers der DMP dargestellt (Bild 3). Die Fehlerkurven sind folgendermaßen gewonnen worden: Nach Füllen der Versuchseinrichtung (Bild 1) wurde mit Hilfe der oberen Druckplatte  $d$  ein Druck in den Siliergutstapel eingeleitet und durch eine im Bild nicht dargestellte Einrichtung konstant gehalten. Während der allmählichen Drucksteigerung ist die Bewegung der DMP  $g$  durch Drehen der Spindel  $l$  kompensiert worden (Meßweg Null), um nach Erreichen des Druck-Endwerts den als fehlerfrei definierten Bezugswert  $F_{0D}$  (Stützkraft an der DMP beim Meßweg Null) für die Fehlerbestimmung zu erhalten.

Aus der Kraft  $F_{0D}$  und der beim jeweiligen Meßweg  $s$  ermittelten Kraft  $F_D$  ergab sich der Meßfehler zu  $f = (F_D - F_{0D}) / F_{0D}$ . Die DMP wurde dabei zuerst vom Siliergut weg-, dann bis zur Ausgangsstellung zurückbewegt (Meßweg negativ), anschließend um den gleichen Weg in das Siliergut hineingedrückt und schließlich wieder in die Ausgangsstellung

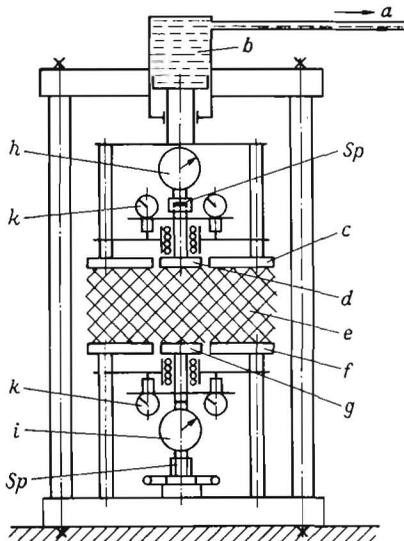


Bild 2. Einrichtung mit veränderter oberer Druckplatte

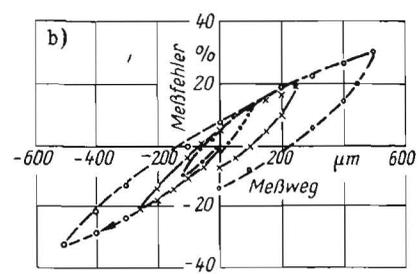
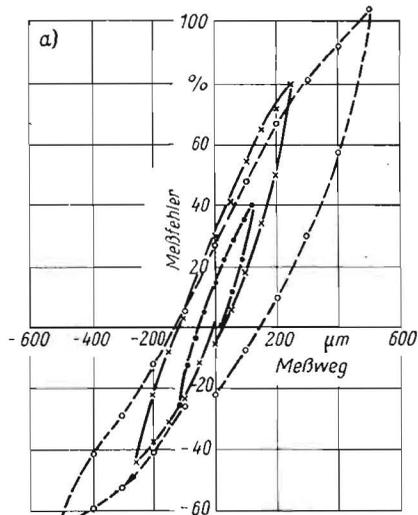


Bild 3. Meßfehler bei verschiedenen Meßwegen und Durchmessern der Druckplatte. Versuchsmaterial Häcksel aus Wiesengrasgemisch (TM-Gehalt  $\approx$  84 Prozent, mittlere Häcksellänge  $\approx$  60 mm). Fehlerkurven wurden im Uhrzeigersinn durchfahren:  
 a) Druckmeßplatten-Durchmesser 50 mm  
 b) Druckmeßplatten-Durchmesser 200 mm

gebracht (Meßweg positiv). Die Wiederholung dieses Vorgangs bei gleicher Füllung ergab die Fehlerkurven (Bild 3). Sie bestätigen die bisherigen Vermutungen, daß der Fehler stark vom Meßweg abhängig ist und bei gleichem Meßweg mit zunehmendem Durchmesser der DMP kleiner wird. Ihr Verlauf ist durch die Materialeigenschaften des Silierguts bedingt und gleicht mehr dem der Magnetisierungskurven ferromagnetischer Werkstoffe als den von Meßgeräte-Fehlerkurven. Wegen der Hysterese der Fehlerkurven ist eine exakte Angabe des Fehlers u. a. nur möglich, wenn neben dem Meßweg auch dessen vorheriger Verlauf bekannt ist. Die Untersuchungen wurden auf positive Meßwege ausgedehnt, weil sich bei Wanddruckmeßgeräten mit hydraulischer Druckübertragung die Flüssigkeit durch Temperaturerhöhung (Erwärmung durch Sonneneinstrahlung und oder Siliergut) ausdehnt.

#### 4. Zusammenfassung

Nach einer kurzen Begründung der Notwendigkeit, den Meßfehler bei der Wanddruckmessung an Gärfutterbehältern mit Halmgutfüllung zu kennen, werden die Möglichkeiten

den Meßfehler rechnerisch und experimentell zu ermitteln, diskutiert. Es wird begründet, weshalb das Experiment der Berechnung vorgezogen wird. Für die experimentelle Fehlerbestimmung wird definiert, daß der Meßfehler gleich Null ist, wenn der Meßweg der Druckmeßplatte ebenfalls Null ist. Anhand von 6 Fehlerkurven wird der Einfluß des Meßwegs und des Durchmessers der Druckmeßplatte auf den Meßfehler dargestellt.

#### Literatur

- 1) Günther, W.: Vorschlag für eine belastungsgerechte Dimensionierung von industriemäßig bewirtschafteten Silagehochsilos. Forschungsabschlußbericht Institut für landwirtschaftliche Bauten bei der Bauakademie der DDR, Berlin 1973 (unveröffentlicht).
- 2) Zschaage, F.: Zur Problematik bei Wanddruckmessungen an Gärfutterbehältern. Dt. Agrartechnik 20 (1970) H. 10, S. 479.
- 3) Fürll, Ch.: Ein Beitrag zum Berechnen von Dichten und Horizontaldrücken bei der Lagerung landwirtschaftlicher Halmgüter in Behältern. Diss. Universität Rostock 1972.
- 4) Herold, B.: Rheologische Untersuchungen an Grashäcksel. Dt. Agrartechnik 20 (1970) H. 10, S. 475 und 476.
- 5) Porila, M.: O fiziko-chimičeskoj mehanike sel'skochozajstvennych materialov. Sb. nauč. Tr. est. sel'skochoz. Akad. Tartu 67 (1971). S. 33-41. A 9524

## Der Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Beanspruchung tragender Teile und Rahmen von Landmaschinen

Dipl.-Ing. A. Lorenz, KDT, Institut für Landmaschinentechnik des VEB Weimar-Kombinat

In /1/ berichtete Bergmann über gesetzliche Vorschriften beim Transport von Landmaschinen auf öffentlichen Straßen bei höheren Fahrgeschwindigkeiten. Ergänzend dazu erscheint es notwendig, näheres zur fahrbahnbedingten Beanspruchung tragender Teile von Landmaschinen auszusagen und damit zum Teil vom Gesetzgeber vorgegebene Einschränkungen bezüglich der Bauart zu interpretieren.

#### 1. Theoretische Vorbetrachtungen

Landmaschinen sind während ihres Einsatzes dynamischen Beanspruchungen durch die Fahrbahn und den technologischen Prozeß unterworfen.

Die größten Belastungen der Rahmen und anderer tragender Teile von Landmaschinen treten jedoch fast immer bei der Fahrt auf den meist sehr unebenen landwirtschaftlichen We-

gen sowie auf den verschiedenen Straßen auf und nur selten bei der unmittelbaren Arbeit.

Die von den Fahrbahnunebenheiten hervorgerufenen Kräfte wirken über die Reifen ohne weitere federnde Elemente in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit auf die Tragesysteme der Maschinen ein.

Zur Schaffung betriebssicherer Maschinen und zur Verwirklichung des ökonomischen Leichtbaus ist es erforderlich, die Größe der auf die Maschinen einwirkenden dynamischen Kräfte so genau wie möglich zu ermitteln und danach die Rahmen sowie andere tragende Elemente zu bemessen, d. h. die Rahmen der Landmaschinen werden nur so bemessen, daß sie den Beanspruchungen genügen, die während des ihrer Zweckbestimmung entsprechenden Einsatzes auftreten können.