

Einaxiale Verdichtungsversuche für landwirtschaftliche Stoffe

Einaxiale Verdichtungsversuche werden durchgeführt, um die mechanischen und rheologischen Eigenschaften landwirtschaftlicher Stoffe zu untersuchen. Ein großes Anwendungsgebiet ist das Bestimmen der Dichteigenschaften von Halmgütern für die Silierung oder für Schüttgüter in Silos. Dazu kann der Verdichtungsdruck als langzeitig wirkender statischer Druck oder im Wechsel von Belastung und Entlastung aufgebracht werden. Bei Versuchen mit behinderter radialer Dehnung (Presstopfversuch) ist zu beachten, dass der Vertikaldruck von der Oberfläche zum Boden durch die Wandreibung vermindert wird. Dieser Druckabbau kann bei ungünstig gewählten Geometrien erheblich sein.

Prof. Dr.-Ing habil. Christian Füll leitet die Abteilung „Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung“ im Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim, Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam; e-mail: cfuerll@atb-potsdam.de

Schlüsselwörter

Einaxialer Verdichtungsversuch, Dichteigenschaften, Lagerungsdichte, Landwirtschaftliche Stoffeigenschaften

Keywords

Uniaxial compression tests, density properties, storage density, properties of agricultural materials

Die Kenntnis der Lagerungsdichte ist aus folgenden Gründen besonders wichtig:

- Die Drücke in Behältern hängen in entscheidendem Maße von der Lagerungsdichte ab.
- In Materialgesetzen für die Berechnung von Fließgeschwindigkeiten und Spannungen für Schüttgüter in Silos müssen Kennwerte für die Elastizität, Kompression und Verdichtung bekannt sein.
- Für die Berechnung von Druckverlusten bei der Belüftung ist die Kenntnis der Lagerungsdichte unbedingt erforderlich.
- Beim Verdichten von Siliergut ist während des Einlagerns auf bekannte Mindestwerte zu achten. Zu geringe Dichten haben Verluste und ungenügende Silagequalität zur Folge.

Versuche

Versuchsaufbau

Für die Bestimmung der Verdichtungseigenschaften ist ein Presstopf mit behinderter radialer Dehnung geeignet (Bild 1). Im vorliegenden Fall beträgt die Grundfläche 200 cm². Die Messung der Kolbenabsen-

kung erfolgt mit Hilfe eines Potenziometers a, das mit der Achse der Umlenkrolle b für die Ausgleichsmasse c verbunden ist. Sie kann prinzipiell aber auch durch andere physikalische Methoden vorgenommen werden. Der Vertikaldruck in den Guthorizonten wird infolge der Wandreibung zum Behälterboden hin geringer. Es muss deshalb ein mittlerer Vertikaldruck p_v berechnet werden. Die dabei angenommenen Druckverhältnisse im Füllgut ergeben sich aus Gleichgewichtsbetrachtungen an einer differentiellen Schicht. Wird die Koordinate des mittleren Vertikaldruckes p_v mit z_0 bezeichnet, erhält man folgende Beziehung:

$$p_v = \frac{p_{v0}}{e^{k \cdot z_0 \cdot U / A}} \quad (1)$$

Mit:

- p_v = mittlerer Vertikaldruck im Presstopf
- p_{v0} = Vertikaldruck an der Oberfläche
- k = Druckverhältnis $k = \lambda \cdot \mu$
- λ = Horizontaldruckverhältnis
- μ = Reibungskoeffizient Gut und Innenwand
- U = Umfang des Presstopfes
- A = Querschnittsfläche des Presstopfes

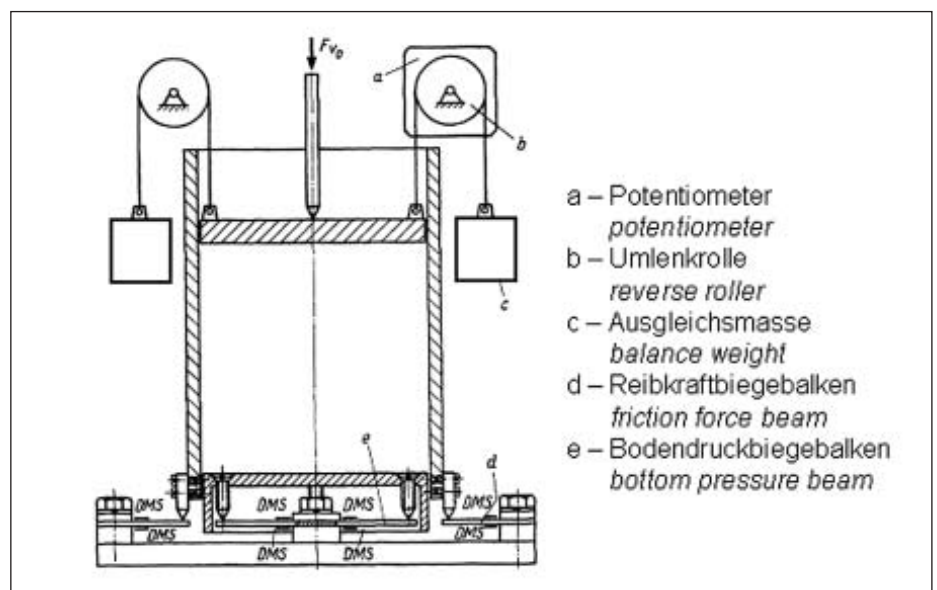


Bild 1: Presstopf für einaxiale Verdichtungsversuche

Fig. 1: Compression vessel for uniaxial compression tests

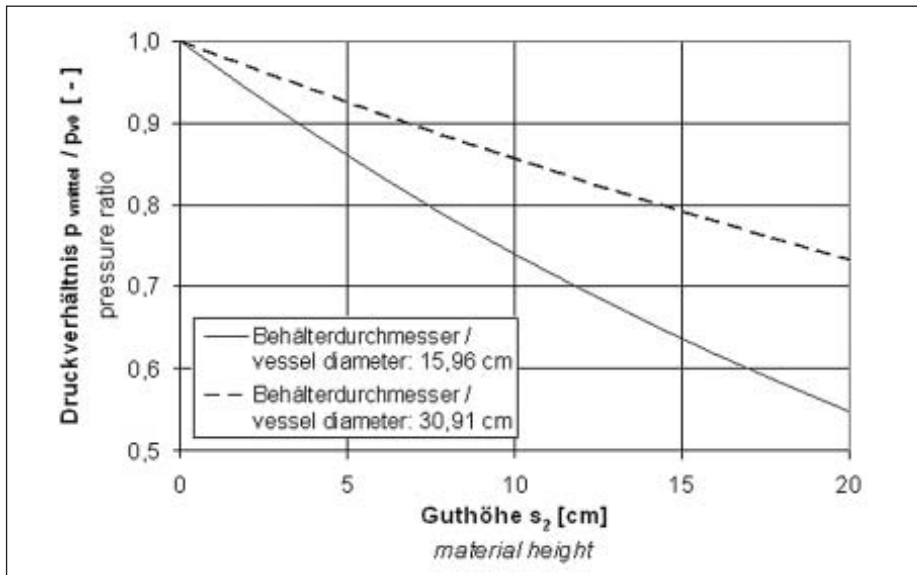


Bild 2: Verhältnis von mittlerem Vertikaldruck zu Kolbendruck in Abhängigkeit von der Guthöhe ($\mu = 0,6, \lambda = 0,4$)

Fig. 2: Ratio of a middle vertical pressure to piston pressure depending ofn material height ($\mu = 0.6, \lambda = 0.4$)

Da der Druckverlauf im zu betrachtenden Bereich annähernd linear ist, kann in (1) $z_0 = s_2/2$ gesetzt werden. Mit dieser Voraussetzung gilt für den mittleren Vertikaldruck p_v die Gleichung:

$$p_v = \frac{p_{v0}}{e^{k \cdot s_2 \cdot U / (2A)}} \quad (2)$$

Mit $s_2 =$ Höhe des verdichteten Gutes im Presstopf

Das Bestimmen des Druckverhältnisses k erfolgt aus den gemessenen Werten von Kolbendruck, Bodendruck, Fläche, Umfang und Guthöhe im Presstopf nach der Gleichung:

$$k = \frac{\ln(p_{v0} / p_b) \cdot A}{s_2 \cdot U} \quad (3)$$

Eine andere Möglichkeit ist bei bekannten Werten des Horizontaldruckverhältnisses λ und des Wandreibungskoeffizienten μ die Berechnung von k aus der Multiplikation dieser Werte (s. Legende Gl (1)). Bodendruck und Wandreibungsdruck werden im Versuch (Bild 1) jeweils aus den entsprechenden Kräften bestimmt, die über Dehnungsmessstreifen (DMS) auf den Kragträgern d und e gemessen werden. In Gleichung (2) wird angenommen, dass der Kolbendruck p_{v0} über der Füllguthöhe linear bis auf den Bodendruck p_b abnimmt.

Fehlerbetrachtung

Oftmals wird in einaxialen Verdichtungsversuchen nur der Druck an der Oberfläche p_{v0} gemessen. Dies ist nur dann zulässig, wenn der Bodendruck p_b geringfügig kleiner ist und der Fehler somit vernachlässigt werden kann. Dies hängt vor allem vom Presstopf-

durchmesser d , vom Horizontaldruckverhältnis λ und vom Wandreibungskoeffizienten μ ab (Bild 2). Würde man zum Beispiel zwischen dem Kolbendruck und dem mittleren Druck einen Fehler von 5 % zulassen, dürfte bei einem Presstopf mit dem Durchmesser von 15,96 cm, der einer Fläche von 200 cm² entspricht, die Guthöhe im verdichteten Zustand nur 2 cm betragen (Bild 2). Bei einem größeren Presstopf mit dem Durchmesser von 30,91 cm, entspricht 750 cm², könnte die Guthöhe 4 cm sein.

Versuchsdurchführung

Das Befüllen des Presstopfes muss sorgfältig und gleichmäßig geschehen. Will man die Dichte für lange Lagerungszeiten in Silos berechnen, muss die Kriechfunktion $\rho_L = f(p_{v0}, t)$ in Retardationsversuchen, also bei statisch wirkenden Drücken, über entsprechend lange Lagerzeiten t und bei verschiedenen vertikalen Kolbendrücken p_{v0} gemessen werden. Sollen die Verdichtungs Vorgänge durch Traktoren beim Einlagern von Siliergut simuliert werden, sind zyklische Versuche mit Phasen der Belastung und Entlastung durchzuführen. Die Belastung entspricht dem Überrollen der Siliergutoberfläche und liegt im Bereich von einer Sekunde. Die Entlastung sollte realitätsnah gewählt werden und mindestens fünf Minuten betragen.

Ergebnisse

Retardationsversuche

Für die Lagerungsdichte von angewelktem Siliergut unter statischen Belastungen gilt

die Verdichtungsfunktion [1]:

$$\rho_L = C p_v^m + \rho_{Sch} \quad (4)$$

Mit

ρ_{Sch} = Schüttdichte

C = Verdichtungsfaktor

m = Exponent (= 0,5)

Der Verdichtungsfaktor C enthält die Einflüsse durch die Guteigenschaften Trockenmassegehalt und Biegesteifigkeit der Blätter und Stängel sowie durch die Verdichtungszeit. Aus den Versuchen ergeben sich für den Verdichtungsfaktor Regressionsgleichungen für den Maximal- und den Minimalbereich in Abhängigkeit von der Lagerdauer t und vom Trockenmassegehalt TM :

$$C_{max} = 280,3 + 43,86 \ln(t) + 31,86 TM - 0,486 TM^2 \quad (5)$$

Bestimmtheitsmaß $B = 0,99$

$$C_{min} = 684,4 + 21,93 \ln(t) - 0,081 TM^2 \quad (6)$$

Bestimmtheitsmaß $B = 0,96$

Der Vertikaldruck hat den größten Einfluss auf die Lagerungsdichte. Danach folgen die Lagerungsdauer, der Trockenmassegehalt und die Biegesteifigkeit.

Versuche mit zyklischer Be- und Entlastung

Für die bleibende Deformation ϵ_{bl} von mähfrischem Wiesengras mit einer Häcksellänge $l_H = 40$ mm und einem Trockenmassegehalt $TM = 16\%$ wurde in Abhängigkeit vom Vertikaldruck p_v und der Haltezeit t_H des Vertikaldruckes folgende Gleichung ermittelt [2]:

$$\epsilon_{bl} = 0,345 + 0,11 p_v + 0,022 p_v \lg(t_H - 1) \quad (7)$$

Bestimmtheitsmaß $B = 0,838$

Geltungsbereich: $p_v = 0,1 \dots 1,0$ bar

$t_H = 1,2 \dots 1200$ s

Der Vertikaldruck hat hier den größten Einfluss.

Zusammenfassung

Bei einaxialen Verdichtungsversuchen müssen die Druckverhältnisse im Presstopf berücksichtigt werden. Um systematische Fehler zu vermeiden, ist der mittlere Vertikaldruck exakt zu berechnen oder es ist bei Zulassen eines geringen Fehlers mit entsprechend niedrigen Füllhöhen zu arbeiten.

Literatur

- [1] Fürll, Ch., et al.: Einflüsse durch das Verdichten und den äußeren Luftabschluss auf die Qualität von Grassilagen – Ergebnisse und Anforderungen. Agrartechnische Forschung 12 (2006), S. 19-29
- [2] Herold, B.: Rheologische Untersuchungen an Grashäcksel. Agrartechnik 20 (1970), H. 10, S. 475-476