

1. Aufgabenstellung

Die Silagebereitung erfordert das Verdichten des Häckselgutes. Entsprechende Kennwerte für das Verdichtungsverhalten von Häckselgut sind nur im geringen Umfang vorhanden [1] [2] [3].

Es lag deshalb nahe, für dieses Schüttgut die Zusammenhänge zwischen Belastung und Verdichtung — zumindest innerhalb gewisser Grenzen — mit Hilfe phänomenologisch begründeter rheologischer Modelle zu beschreiben, wie sie seit einigen Jahrzehnten besonders in der Plastforschung erfolgreich angewendet werden. Die in Struktur und Verhaltensweise mit einfachen elektronischen Schaltungen vergleichbaren rheologischen Modelle werden aus Elementen mit idealen mechanischen Eigenschaften aufgebaut, deren Kenngrößen und Verknüpfungsgesetze durch Analyse des Materialverhaltens bei einfachen Beanspruchungsfällen gewonnen und zur Ermittlung effektiver Verdichtungstechnologien verwendet werden können.

Für die vorliegenden Untersuchungen war die Aufgabe gestellt, den Einfluß technischer Parameter auf die bleibende Verdichtung von Häckselmischungen mit Hilfe von Laborversuchen im Preßtopf und Deutung über rheologische Modelle zu kennzeichnen, wobei Belastungsgröße und Belastungsdauer über den voraussichtlich praktisch realisierbaren Bereich hinaus variiert wurden.

2. Meßeinrichtung

Die Untersuchungen erfolgten mit der Meßeinrichtung von M. MÜLLER. Das System Preßtopf — Stempel — Meßsonde erlaubte mit Einschränkungen die Durchführung von Retardationsmessungen, d. h. Messungen des Kriechens unter konstanter Normalspannung sowie der Rückdehnung bei anschließender Entspannung über der Zeit.

Die Aufbringsgeschwindigkeit v des Stempels ist — technisch bedingt — endlich. Sie verändert sich für Nennspannungen σ von

$$0,1 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \leq v \leq 1,0 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$$

progressiv wachsend zwischen

$$100 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \leq v \leq 300 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

Daher werden der Einfluß der zeitabhängigen Verformung in einem Zeitintervall von etwa 1 s vernachlässigt (das entspricht der durchschnittlichen Dauer der Lastaufbringung) und der Arbeitsbereich der Meßeinrichtung auf Frequenzen unter 1 Hz beschränkt.

Um die Aussagekraft der in dieser Versuchsreihe gefundenen Resultate zu festigen, sollte bei Fortsetzung der Arbeiten der untersuchte Bereich auf Frequenzen über 1 Hz ausgedehnt werden.

3. Versuchsanlage

Als Versuchsmaterial diente Häcksel (Häckselänge $l \approx 40$ mm) aus einem Wiesengrasgemisch (mähfrisch: TM-Gehalt ≈ 16 %).

Die Ausgangsdichte betrug in allen Fällen $\rho_0 = 91$ g/dm³. Es wird unterstellt, daß der Rohfasergehalt sich im Versuchszeitraum nicht merklich verändert hat und daher die Ergebnisse nicht beeinflusst.

Die Versuchstemperatur entsprach der Raumtemperatur ($T \approx 15$ bis 20 °C). Das Versuchsschema ergab sich aus der vollständigen Variation der Belastungsgröße (Normalspannung) σ zwischen 0,1 und 1,0 kp/cm² und der Belastungsdauer τ_σ zwischen 1,2 und 1200 s in jeweils vier Stufen.

4. Auswertung

Der Deformationsverlauf beim Retardationsversuch (Bild 1) läßt erkennen, daß das Häckselgut im Preßtopf sowohl rein elastische als auch viskoelastische Merkmale aufweist. Außer-

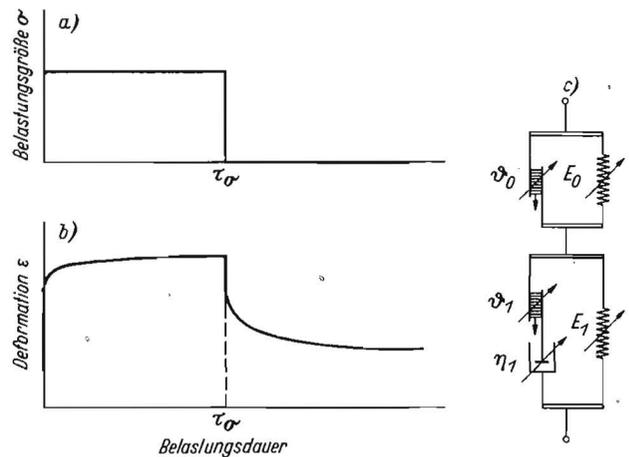


Bild 1. Schematische Darstellung des Retardationsversuchs mit anschließender Entspannung — Rheologisches Modell; a) aufgeprägte Belastungsfunktion, b) resultierende Deformation, c) abgeleitetes rheologisches Modell

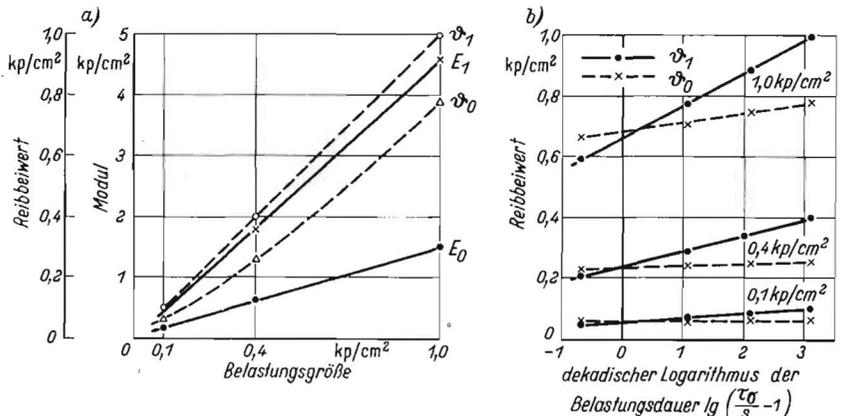


Bild 2. Modellparameter. a) Einfluß der Belastungsgröße auf die elastischen und Reibungsparameter (Endwerte nach langandauernder Belastung). b) Abhängigkeit der Reibbeiwerte von der Belastungsdauer bei verschiedenen Belastungsgrößen

$$\epsilon_{bl}(\sigma, \tau_\sigma) = 0,345 + 0,110 \cdot \sigma + 0,022 \cdot \sigma \cdot \lg\left(\frac{\tau_\sigma}{s} - 1\right); B = 0,838 (+ + +)$$

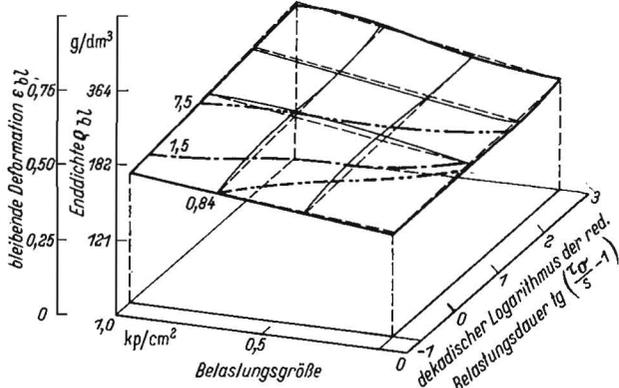


Bild 3. Bleibende Deformation und Enddichte des Materials in Abhängigkeit von den unabhängigen Variablen δ und τ_δ ; — gemessener Verlauf, - - - berechneter Verlauf. - - - - Linien konstanten Arbeitsaufwands entsprechend $\delta \cdot \tau_\sigma = 0,84; 1,5$ und $7,5$ kps/cm²

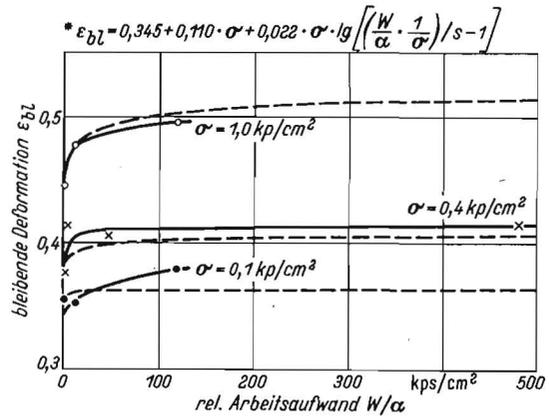


Bild 4. Arbeitsaufwand W und Verdichtungseffekt bei verschiedenen Belastungsgrößen; — gemessene Kurve, - - - - berechnete Kurve; α Proportionalitätsfaktor

dem muß man berücksichtigen, daß die rein elastischen und die viskoelastischen Komponenten von Reibungs- und Gleitvorgängen überlagert sind. Der auf diesen Überlegungen basierende Entwurf für ein rheologisches Modell des Verdichtungsverhaltens (Bild 1c) enthält zwei elastische Elemente mit den Moduln E_0 und E_1 , denen die asymmetrischen reibungsabhängigen Elemente mit den Beiwerten ϑ_0 und ϑ_1 , und E_1 zusätzlich ein mit η_1 bezeichnetes Dämpfungsglied parallel geschaltet sind.

Alle Parameter sind Funktionen der Materialdichte ρ , die sich bei Belastung mit der Größe σ einstellt; die Reibungsbeiwerte sind außerdem als von der Belastungsdauer τ_σ abhängig definiert worden. Die Kennzeichnung der Modellelemente durch Pfeile weist auf deren nichtlineare Eigenschaften hin.

Die rheologische Modellierung ermöglicht eine bequeme qualitative und quantitative Analyse des Materialverhaltens. Die danach erfolgende Auswertung der Experimente entsprechend der Aufgabenstellung ergab, daß für die Ermittlung der bleibenden Verformung nur der Einfluß der elastischen und reibungsabhängigen Parameter von Bedeutung ist. Das nichtlineare Dämpfungsglied (η_1) bestimmt nur den Anstieg des zeitlichen Deformationsverlaufes, der durch eine Logarithmusfunktion in der Zeit approximiert werden kann.

E_0, E_1, ϑ_0 und ϑ_1 sind von der Belastungsgröße abhängig (Bild 2a) und können allgemein als Potenzfunktionen der Belastungsgröße aufgefaßt werden. (E_1, E_0 und ϑ_1 sind nahezu linear von der Belastung abhängig).

Die Reibbeiwerte ϑ_0 und ϑ_1 weisen in diesem Modell definitionsgemäß auch einen zeitabhängigen Einfluß auf (Bild 2b), der sich näherungsweise durch eine linear logarithmische Beziehung beschreiben läßt.

Mit dieser Definition des rheologischen Modells war es möglich, die bleibende Verformung direkt als Funktion der unabhängigen variablen Belastungsgröße und Belastungsdauer anzusehen und so zu einem einfachen Zusammenhang zu kommen. Mit den für die elastischen und reibungsabhängigen Glieder ermittelten Beziehungen ergibt sich ein geschlossener Ausdruck hoher Bestimmtheit der Form

$$\epsilon_{bl}(\sigma, \tau_\sigma) = a_0 + a_1 \cdot \sigma + a_2 \cdot \sigma \cdot \lg\left(\frac{\tau_\sigma}{s} - 1\right)$$

für die bleibende Verformung ϵ_{bl} der untersuchten Häcksel-schüttung (Bild 3).

Die spezifische Wirkung der beiden Einflußgrößen σ und τ_σ auf das Verdichtungsergebnis besitzt vor allem technologische Bedeutung und wird deshalb in bezug auf den Arbeits-

aufwand zum Verdichten betrachtet. Hierzu wird unterstellt, daß die zur Erzeugung der Belastungsgröße σ notwendige Leistung P der Beziehung

$$P = a \cdot \sigma \quad (a \text{ Proportionalitätskonstante})$$

genügt. Damit ergibt sich der zum Verdichten benötigte Arbeitsaufwand W zu

$$W = a \cdot \sigma \cdot \tau_\sigma$$

Unter den angegebenen Voraussetzungen ist dann das Produkt $\sigma \cdot \tau_\sigma$ eine charakteristische Größe für den Arbeitsaufwand. Aus der Darstellung des Verdichtungsergebnisses über dem dazu erforderlichen Arbeitsaufwand folgt, daß durch Vergrößerung der Belastungsgröße bei gleichem Arbeitsaufwand der höhere Effekt erzielt wird (Bilder 3 und 4).

5. Schlußfolgerungen

Beim Erarbeiten einer Beziehung zwischen Belastung und Verdichtung für Grashäcksel im Preßtopf wurde festgestellt, daß die Angabe rheologischer Kennwerte im Hinblick auf die starken Dichteänderungen nur in qualitativer Form sinnvoll erscheint. Dagegen bietet die dargestellte Methode, auf der Grundlage des rheologischen Modells das Materialverhalten zu analysieren, eine beträchtliche Erleichterung der Arbeit.

Das Ergebnis, d. h. die Größe der Verformung, wird schließlich in Abhängigkeit von den äußeren Faktoren Belastungsgröße und Belastungsdauer in einer Weise formuliert, die die Materialeigenschaften implizit enthält. Auf den Gültigkeitsbereich des gefundenen Zusammenhangs in bezug auf Belastungsgröße und besonders Belastungsdauer (etwa 10^0 bis 10^3 s) sowie Versuchsmaterial ist eingangs hingewiesen worden.

Die labormäßig ermittelten Beziehungen gestatten die Aussage, daß bei Verdichtungsverfahren mit einer quasistatischen Belastung über eine Dauer von mehr als 1 s unter den genannten Bedingungen die wirksamste Verdichtung durch Erhöhung der Belastungsgröße erzielt wird.

Literatur

- [1] OSOBOV, V. I.: Nachwirkung beim Verdichten faseriger Pflanzstoffe Vestnik sel'skochozjajstvennoj nauki 13 (1968) H. 3, S. 115 bis 119
- [2] MULLER, M.: Ein Beitrag zu verfahrenstechnischen Grundlagen der Silagebereitung. Bericht aus dem Inst. f. Mechan. der Landwirtschaft Potsdam-Bornim 1969 (unveröffentlicht)
- [3] FIALA, J.: Einige mechanisch-physikalische Eigenschaften des Gär-futters. Zemédelská technika 10 (1964) H. 10, S. 601 bis 618

A 8097