

# Lagerungsdichte von Grünfuttersilage und Verfahren der Masseabschätzung

Dr. agr. H.-H. Edner, Humboldt-Universität Berlin, Sektion Pflanzenproduktion

## 1. Problemstellung

Feldnahe Silostandorte und fehlende Möglichkeiten der exakten Masseermittlung von Silage durch Wägen erfordern zuverlässige Verfahren der Silagemasseschätzung. Vorzugsvariante ist und bleibt die Massebestimmung mit Hilfe der Wägung. Die Berechnung der Masse aus Volumen und Dichte ist ein alternatives Verfahren. Eine Silagedichte ist dabei nicht immer meßtechnisch bestimmbar. An die Stelle des Meßwertes muß in diesen Fällen ein Schätzwert der Lagerungsdichte treten. Er ist nach Silageart, physikalisch-mechanischen Eigenschaften und Lagerungsbedingungen differenziert anzugeben und muß sich auf umfangreiche Meßergebnisse stützen. Da solche Meßergebnisse bisher nicht zur Verfügung standen, gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Richtwerte der Lagerungsdichte. Diese Richtwerte sind als Durchschnittswerte für eine orientierende Silobedarfsplanung geeignet. Für eine Masseabschätzung sind sie noch zu wenig nach den Lagerungsbedingungen differenziert.

## 2. Material und Methode

Ausgangswerte zur Ermittlung der Schätzwerte sind zehnjährige Meßergebnisse der örtlichen Lagerungsdichte in Silagestapeln. Zusätzlich sind zu jedem Dichtewert der Rohfasergehalt und der Trockensubstanzgehalt gemessen worden. Örtliche Lagerungsdichte ist die in einem Meßhorizont gemessene oder berechnete Lagerungsdichte. Ihre Messung erfolgt mit radiometrischen Dichtesonden [1, 2]. Für die mathematisch-statistischen Untersuchungen sind die Regressions- und Varianzanalyse genutzt worden. Bei der Regressionsanalyse ist die örtliche Originalsub-

stanzlagerungsdichte Zielgröße, während die Stoffparameter Gutart, Trockensubstanzgehalt, Rohfasergehalt und der Abstand der Dichtemeßstelle zur Stapeloberfläche die Einflußgrößen sind.

## 3. Ergebnisse und Diskussion

Zusammenhänge zwischen Einfluß- und Zielgrößen sind bisher bei Gras- und Maissilagen nachgewiesen worden [1]. Zur Berechnung von Schätzwerten der örtlichen Lagerungsdichte sind aus der Vielzahl der Regressionsgleichungen die mit dem straffsten Zusammenhang ausgewählt worden:

*Grassilage*

$$y_1 = 17,213 + 1,043x_1 - 7,902 \cdot 10^{-2}x_1^2 - 2,702 \cdot 10^{-1}x_2 + 2,258 \cdot 10^{-3}x_2^2 - 3,030 \cdot 10^{-2}x_3 + 5,184 \cdot 10^{-5}x_3^2 - 1,555 \cdot 10^{-4}x_2x_3 \quad (1)$$

$$B = 0,87$$

*Maissilage*

$$y_1 = 5,941 + 1,405x_1 - 1,208 \cdot 10^{-1}x_1^2 + 1,085 \cdot 10^{-2}x_3 - 5,287 \cdot 10^{-4}x_2x_3 \quad (2)$$

$$B = 0,61;$$

$x_1$  Abstand zur Futterstapeloberfläche in m

$x_2$  Trockensubstanzgehalt in %

$x_3$  Rohfasergehalt in g/kg TS

$y_1$  Originalsubstanzlagerungsdichte in dt/m<sup>3</sup>.

Mit den ermittelten Schätzwerten der örtlichen Lagerungsdichte lassen sich durch Berechnung des Gasporenanteils auch die physikalischen Lagerungsbedingungen von Silage in Stapelschichten einschätzen. Für die Massebestimmung ist dagegen der Betrag der Lagerungsdichte eines Silagestapels entscheidend. Zur Berechnung der mittleren La-

gerungsdichte sind die angeführten Regressionsgleichungen über die Einflußgröße  $x_1$ , hier die Stapelhöhe, integriert und Schätztabelle aufgestellt worden (Tafel 1). Erwartungsgemäß ist der Einfluß des Rohfasergehalts bei Silomais vernachlässigbar gering. Die zu bestimmende Silagemasse ergibt sich aus dem nach Abschluß des Silierprozesses eingenommenen Volumen und der mittleren Lagerungsdichte. Das Volumen eines Silagestapels ist aus Länge, Breite und mittlerer Stapelhöhe zu ermitteln. Die mittlere Stapelhöhe ergibt sich aus Differenzmessungen der Futterstockoberfläche zur Silooberkante.

Für das Verfahren der Masseabschätzung ist eine Betrachtung der maximal möglichen Fehler durchgeführt worden. Der Fehler setzt sich nach dem Gaußschen Fehlerfortpflanzungsgesetz aus den Fehlern der Volumen- und Dichtebestimmung zusammen. Bei der Volumenbestimmung beträgt er rd. 6%. Der Fehler der Dichteschätzung ist durch Überprüfung der Schätztabelle anhand von Meßwerten aus insgesamt 33 Horizontalsilos ermittelt worden. Er beträgt bei Grassilage rd. 8% und bei Maissilage rd. 12% [1].

Die Überprüfung des Verfahrens der Massebestimmung in der Praxis durch Vergleich mit Wägungen zeigt geringere Fehler. Bei insgesamt rd. 20000 t Silage ist eine um ein Prozent geringere Originalsubstanzmasse und eine um fünf Prozent größere Trockensubstanzmasse geschätzt worden.

## 4. Zusammenfassung

Für die Bestimmung der Silagemasse kann neben dem Vorzugsverfahren der Wägung die Berechnung der Masse aus Volumen und Lagerungsdichte genutzt werden. Schätztabelle der Lagerungsdichte von Silage sind dann zu verwenden, wenn keine Wägung oder Dichtemessung realisiert werden kann. Die aufgestellten Tabellen der örtlichen und mittleren Lagerungsdichte von Silagestapeln gestatten die Berechnung der Masse aus Volumen und Dichte mit einem für die Praxis vertretbaren Fehler.

## Literatur

- [1] Edner, H.-H.: Die Verdichtung von Siliergut und die Lagerungsdichte von Grünfuttersilage. Humboldt-Universität Berlin, Sektion Pflanzenproduktion, Dissertation 1985.
- [2] Rettig, H.; Kuhn, E.: Radiometrische Bestimmung der Dichte landwirtschaftlicher Stoffe. In: Physik und Landwirtschaft, Beiträge der 2. Wiss. Tagung „Agrophysik“, Tagungsbericht Nr. 208, Teil 1. Berlin: Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR 1982, S. 183–193.

Tafel 1. Mittlere Originalsubstanzlagerungsdichte eines Stapels in dt/m<sup>3</sup> (Auszug) [1]

Silageart	Stapelhöhe $x_1$ , m	TS-Gehalt $x_2$ , %	Rohfasergehalt $x_3$ in g/kg TS				
			230	250	270	300	320
Gras	3,0	25	808		775	761	757
		30	717		681	664	659
		35	637		598	578	572
		40	569		527	506	497
	5,0	25	870		837	823	819
		30	779		743	727	721
		35	699		660	642	634
		40	631		589	568	559
Silomais	3,0	22		749			743
		24		723			710
		26		696			676
	5,0	22		825			820
		24		799			786
		26		772			752