

Ermittlung der Raumgewichte von Grasanwelksilage nach der Regressionsanalyse

Von Anton Grimm, Weihenstephan

Aus den Arbeiten des Landtechnischen Vereins in Bayern e. V. und der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik in Weihenstephan

Die Betriebswirtschaft hat in den letzten Jahren die Methoden zur Gewinnoptimierung durch Einsetzen von Datenverarbeitungsanlagen ständig verbessert und verfeinert. Der Aussagewert elektronisch noch so exakt errechneter Ergebnisse bleibt jedoch fragwürdig, wenn die den Computern eingegebenen Daten mangelhaft und wenig gesichert sind. Ziel der vorliegenden Untersuchung war die Gewinnung gesicherter Kalkulationsdaten über das Silageraumgewicht. Mit einem speziell dazu entwickelten Stechzylinder wurde unter Berücksichtigung aller Einflußfaktoren das Silageraumgewicht in den verschiedenen Zonen der Silos in einer Vielzahl von Messungen ermittelt. Die Meßergebnisse wurden nach der Regressionsanalyse ausgewertet. Mit den dabei gewonnenen Regressionskoeffizienten kann man mit Hilfe einer einfachen linearen bzw. logarithmischen Funktion das durchschnittliche Silageraumgewicht wie auch das Raumgewicht für eine bestimmte Zone innerhalb des Behälters für verschiedene Gegebenheiten errechnen. Außerdem läßt sich mit diesen Koeffizienten der Einfluß jedes einzelnen, auf das Raumgewicht wirkenden Faktors berechnen.

Für den Betriebswirtschaftler, den Landtechniker, den Fütterungsberater und nicht zuletzt für den praktischen Landwirt selbst ist es wichtig zu wissen, wie hoch die Silageraumgewichte in den verschiedenen Silobehältern bei unterschiedlichen Futterarten und Zustandsstufen (Anwelkgrad und Struktur) sind. Die bislang darüber vorliegenden Daten waren nicht genügend differenziert und berücksichtigen vor allem nicht die wichtigsten, das Silageraumgewicht bestimmenden Faktoren, nämlich: die Siloform und Art der Verdichtung, den Trockenstoffgehalt, die Futterstockhöhe und die Futterstruktur.

Aus diesem Grund wurden in Anwelksilage umfangreiche Raumgewichtsmessungen ausgeführt, deren Ziel es war, alle das Silageraumgewicht beeinflussenden Größen in einer Funktion zusammenzufassen, um so für die verschiedenen Silobehälter das Raumgewicht errechnen zu können.

Methoden

Bei den genannten Raumgewichtsmessungen wurden die in **Tafel 1** aufgeführten unabhängigen Größen (*x*-Variablen) berücksichtigt; aus dieser Tafel ist außerdem die Streuung der *x*-Variablen ersichtlich.

Tafel 1. Streubereich der für die Bestimmung des Siloraumgewichtes untersuchten *x*-Variablen.

<i>x</i> -Variable	Streubereich
x_1 Anwelkgrad (Trockenstoffgehalt) %	18 bis 60
x_2 Rohfasergehalt in % der Trockenmasse	21 bis 38
x_3 Probenabstand von der Futterstockoberkante ¹⁾	(m 0,25 bis 11,0 ²⁾ (m 0,25 bis 2,8 ³⁾
x_4 Silodurchmesser	
x_5 Probenabstand vom Silorand	m 3,0 bis 5,0
	m 0,10 bis 2,5

¹⁾ Futterstockoberkante gemessen nach dem Absetzen des Futters; ²⁾ Hochsilo; ³⁾ Flachsilo

Die Durchführung der Raumgewichtsmessungen erfolgte mit einem speziellen Stechzylinder von 10 cm Durchmesser, **Bild 1**. Dieser Zylinder, der an der Schnittseite mit einem Wellenschliff versehen ist, wird ähnlich wie ein Bohrer in den Futterstock gedreht, wobei sich das Futter in den Zylinder schiebt. Mit Hilfe von Verlängerungsstücken kann eine Futterschicht

von 2 m auf einmal durchbohrt werden. Dabei muß natürlich der Zylinder mehrmals entleert werden.

Zunächst mußte diese Stechzylindermethode auf ihre Genauigkeit hin geprüft werden. Dies geschah wie folgt: In einem Hochsilo wurde eine Fläche von 1 m² mit Hilfe eines Meßrahmens planiert. Mit dem Stechzylinder wurden anschließend 16 Futter säulen von 0,95 m Tiefe aus diesem abgegrenzten Bereich entnommen und einzeln abgewogen, so daß für jede Futtersäule das Raumgewicht ermittelt werden konnte. Im Anschluß daran wurde das restliche Futter aus diesem 1 m³ großen Block genau herausgeschnitten und zusammen mit dem zuvor entnommenen gewogen. Das Volumen des entnommenen Futterblockes konnte dadurch exakt festgestellt werden, daß die entstandene quadratische Grube mit einer dichten Folie ausgekleidet und mit genau abgeliterem Wasser ausgefüllt wurde.

Ein Vergleich dieser beiden Methoden bei weitgehend gleichem Futter ergab mit Hilfe des Stechzylinders 776,8 kg/m³ und bei der zuletzt genannten Methode 794,6 kg/m³. Diese geringe Differenz von 2% zeigt, daß die Verwendung des Stechzylinders zu genügend genauen Werten führt. Ein weiterer Vorteil dieser Methode besteht darin, daß mit relativ geringem Aufwand in kurzer Zeit zahlreiche Messungen, und zwar in den verschiedensten Bereichen des Behälters vorgenommen werden können.

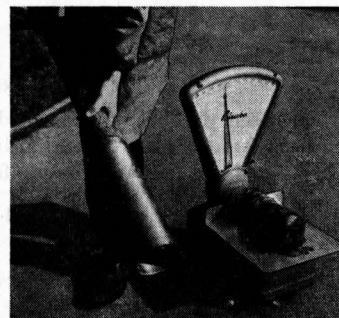


Bild 1. Mit diesem Hohlbohrer können exakt bemessene Futtersäulen aus Gärfutterstöcken entnommen werden.

Für die Regressionsanalyse standen die Ergebnisse von insgesamt 552 Raumgewichtsmessungen zur Verfügung. Die Regressionsrechnungen wurden auf der elektronischen Rechenanlage 8090 der Max-Planck-Gesellschaft am Institut für Plasmaphysik in Garching durchgeführt. Als Programm diente das „Weighed Regression Analysis Programm“, kurz WRAP genannt, das nach der schrittweise abbauenden Methode arbeitet.

Ergebnisse

In **Tafel 2** sind die Regressionskoeffizienten entsprechend den sechs unterschiedlichen Gruppen (Absauglo-Langgut Fahrsilo-Langgut, Fahrsilo-Häckselgut, Hochsilo-Preßdeckel-Langgut, Hochsilo-Langgut, Hochsilo-Häckselgut) aufgeführt. Mit ihrer Hilfe kann das Silageraumgewicht, ausgedrückt in kg Trockenmasse/m³ Silage, für die jeweiligen Verhältnisse errechnet werden. Die Größe der eingesetzten *x*-Variablen muß jedoch im Rahmen der in der Untersuchung gemessenen Werte nach **Tafel 1** liegen. Fallen sie aus diesem Rahmen heraus, kann das Ergebnis nicht mehr als ausreichend gesichert betrachtet werden. Inwieweit die nach dieser Methode errechneten Silageraumgewichte gesichert sind, geht aus **Tafel 2**, 7. Zeile, hervor: Die multiplen Korrelationskoeffizienten basieren nur auf den Variablen, die einen gesicherten Einfluß auf die Zielgröße, hier also das Siloraumgewicht, ausüben. Dazu ein Beispiel:

$R^2 = 0,64$ (in Spalte 2) besagt, daß durch die vier unabhängigen Variablen mit signifikantem Einfluß 64 v. H. der Varianz der Zielgröße in der Grundgesamtheit erklärt wird. Die rest-

LR Dr. agr. Anton Grimm ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung II „Praktische Anwendung“ der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik und stellvertretender Geschäftsführer des Landtechnischen Vereins in Bayern e. V., Weihenstephan.

Tafel 2. Regressionskoeffizienten für die Raumgewichtsbestimmung.

x-Variable	Gruppen						
	Absaugsilos	Fahrsilos	Fahrsilos	Hochsilos Preßdeckel	Hochsilos	Hochsilos	
	Langgut	Langgut	Häckselgut	Langgut	Langgut	Häckselgut	
Koeffizienten in kg Trockenmasse/m ³ Silage							
1	2	3	4	5	6	7	8
Anwelkgrad	a	1234,41	51,465	-88,607	38,776	11,958	25,627
Rohfasergehalt	b ₁	55,548	39,877	82,015	176,25	3,691	0,786
Abstand von Futterstockoberkante	b ₂	-331,26	—	—	—	—	—
Silodurchmesser	b ₃	45,323	34,217	16,974	39,803	25,727	10,154
Abstand von Silorand	b ₄	-108,66	—	—	-368,19	-26,015	13,929
	b ₅	—	—	—	27,380	34,484	27,582
Multipler Korrelationskoeffizient	r	0,80	0,57	0,87	0,81	0,88	0,78
Multipler Bestimmtheitsmaß	R ²	0,64	0,33	0,75	0,66	0,77	0,62
Funktion		y ₁	y ₁	y ₁	y ₁	y ₂	y ₂

$$y_1 = a + b_1 \ln x_1 + b_2 \ln x_2 + b_3 \ln x_3 + b_4 \ln x_4 + b_5 \ln x_5$$

$$y_2 = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_5$$

liche Varianz von 36 v. H. ist dadurch bedingt, daß einige Faktoren nicht erfaßt wurden und daß außerdem immer eine gewisse Fehlervarianz besteht.

An einem Beispiel soll erläutert werden, wie mit den in Tafel 2 angegebenen Werten das Silageraumgewicht für einen bestimmten Fall errechnet werden kann. Die veränderlichen Größen (x-Variablen) sollen sein: Ein Hochsilo von 10 m Höhe und 3,6 m Durchmesser, Futterstockhöhe nach dem Absetzen 8,5 m; Anwelkgras von 33% Trockenmasse als Langgut, kein zusätzliches Pressen oder starkes Festtreten. Das durchschnittliche Silageraumgewicht in kg Trockenmasse/m³ für die obigen Verhältnisse wird wie folgt berechnet:

$$y = a + b_1 x_1 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_5$$

$$= 11,96 + 3,69 \cdot 33 + 25,73 \frac{8,5}{2} - 26,02 \cdot 3,6 + 34,48 \frac{3,6}{4}$$

$$= 180,44 \text{ kg Trockenmasse/m}^3 \text{ Silage.}$$

In diesem Beispiel wurde das durchschnittliche Silageraumgewicht ermittelt. Da es sich in dieser Gruppe um eine lineare Funktion handelt, kann dies einfach dadurch geschehen, daß das Raumgewicht im Bereich der halben Futterstockhöhe $\frac{8,5}{2}$ m

sowie im Abstand $\frac{2r}{4}$ ($= \frac{3,6}{4}$ m) vom Behälterrang errechnet wird.

In Bild 2 ist das Silageraumgewicht, ausgedrückt in kg Trockenmasse je m³ Silage, bei den ausgewählten sechs Gruppen

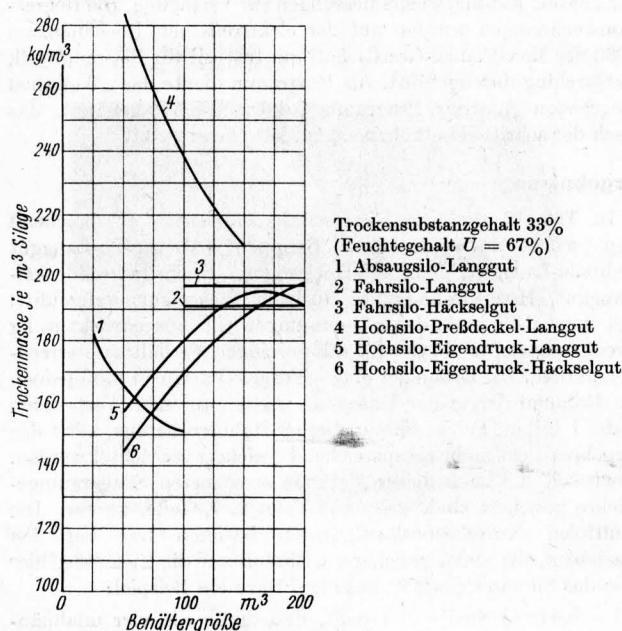


Bild 2. Trockenmasse je m³ Silage in Abhängigkeit von der Behältergröße bei unterschiedlicher Siloform und Futterstruktur.

in Abhängigkeit von der Behältergröße und einem Trockenstoffgehalt von 33% dargestellt.

Im Absaugsilos und im Hochsilo mit Betonpreßdeckelabdeckung sinkt das Raumgewicht mit zunehmender Behältergröße. Das ist dadurch bedingt, daß nicht gleichzeitig mit einer Vergrößerung dieser Behälter eine entsprechende Erhöhung der zusätzlichen Preßwirkung erfolgt. Im Absaugsilos wird meist in der Praxis unabhängig von der Behältergröße etwa gleich intensiv abgesaugt.

In Hochsilos mit Betonpreßdeckeln werden im allgemeinen, um die Hebeanlage nicht zu überlasten, weitgehend einheitliche Gewichte verwendet. Außerdem wird in Betrieben, die über größere Silobehälter verfügen, in der Regel in der gleichen Zeit mehr eingelagert als in Betrieben mit kleineren Siloeinheiten. Die Folge davon ist, daß bei größeren Behältern der Preßdeckel auf eine relativ hohe Futterschicht zu liegen kommt und demzufolge der Druck je m³ Silage im Vergleich zu kleineren Behältern, bei gleichem Gewicht des Deckels, abnimmt.

In Fahrsilos ist das Raumgewicht auch bei unterschiedlichem Siloinhalt konstant, wenn die Silohöhe gleichbleibt.

In Hochsilos steigt, abgesehen von Hochsilos mit Preßdeckeln, das Raumgewicht mit dem Größerwerden der Behälter, da der Eigendruck zunimmt. Besonders stark ist dieser Anstieg im Hochsilo mit Häckselgut, da sich hier neben dem wachsenden Eigendruck auch der Einfluß des Silodurchmessers in dieser Richtung auswirkt.

Bei Langgut weist dieser Koeffizient dagegen ein negatives Vorzeichen auf. Dies hängt vermutlich mit dem hier verwendeten Einlagerungsgerät, dem Greifer und dem Umfang der Verteilung in Abhängigkeit von der Betriebsgröße zusammen. Der Greifer wirft das Futter in großen Ballen ab und trägt dadurch zur Verdichtung des Futterstockes bei. Diese großen Haufen müssen allerdings etwas von Hand verteilt werden. In kleineren Betrieben mit entsprechend kleineren Behältern, in denen meist noch genügend Arbeitskräfte zur Verfügung stehen, geschieht dies auch. In Betrieben mit größeren Behältern wird dagegen diese Arbeit meist vernachlässigt.

In der Regel interessiert das durchschnittliche Silageraumgewicht eines bestimmten Behälters. Mit Hilfe der hier vorliegenden Funktionen und Koeffizienten kann ebenso das Silageraumgewicht einzelner, genau definierter Zonen eines Futterstockes errechnet werden. Außerdem läßt sich damit auch der Einfluß folgender Faktoren auf das Silageraumgewicht genau ermitteln: Anwelkgrad und Rohfasergehalt des Futters sowie Höhe und Durchmesser bzw. Breite des Futterstockes.

Abschließend sei noch vermerkt, daß für die Berechnung des Siloraumbedarfes nicht nur die Silageraumgewichte zu berücksichtigen sind, sondern auch der Leerraumanteil. Nach den darüber vorliegenden Untersuchungen beträgt dieser bei Hochsilos, auch wenn ein- bis zweimal nachgefüllt wird, im Durchschnitt etwa 15%, in Fahrsilos dagegen nur 5%, da hier bei ausreichendem Festwalzen kein Absetzen des Futterstockes mehr erfolgt.