

Roy Latsch und Joachim Sauter

# Bestimmung der Lagerungsdichte von Grassilage – 5 Messmethoden im Vergleich

Um die Lagerungsdichte von Grassilage zu ermitteln, werden in der Praxis häufig Siloblöcke vermessen und gewogen. Bei wissenschaftlichen Untersuchungen zur Lagerungsdichte und Silagequalität wurden dieser Variante vier weitere Messmethoden gegenübergestellt. Siloblöcke sind in sich relativ heterogen und somit für die schnelle und präzise Dichtebestimmung unbrauchbar. Kleinblöcke repräsentieren die Lagerungsdichte gut, sind aber aufgrund der aufwändigen Handhabung für eine schnelle Beprobung ungeeignet. Die drei Messmethoden „Pioneer<sup>TM</sup>-Bohrer“, „Kernlochbohrer schräg“ und „Kernlochbohrer vertikal“ liefern vergleichbare Ergebnisse; die Variante „Kernlochbohrer schräg“ ist aufgrund der Ergebnisse und der Handhabbarkeit jedoch zu bevorzugen.

## Schlüsselwörter

Grassilage, Lagerungsdichte, Messmethode

## Keywords

grass silage, density, measurement methods

## Abstract

Latsch, Roy and Sauter, Joachim

Density determination of grass silage – Comparison of five measurement methods

Landtechnik 66 (2011), no. 6, pp. 418–421, 4 figures, 9 references

In practice silage blocks are frequently measured and weighed to determine the density of grass silage. Scientific studies of density and silage quality were carried out to compare this variant with four other measurement methods. "Big blocks" are inherently relatively heterogeneous and hence cannot be used for the fast, precise determination of density. "Small blocks" represent density well, but their handling makes them unsuitable for quick sampling. The three measurement methods - "Pioneer<sup>TM</sup> drilling jig", "inclined drilling cylinder" and "vertical drilling cylinder" - gave comparable results. The "inclined drilling cylinder" was identified as the preferred variant on the basis of results and manageability.

■ Für die Erzeugung hochwertiger Grassilage ist eine gute Futtermittelverdichtung essentiell. Sie minimiert eine Nacherwärmung und den einhergehenden Energieverlust beim Öffnen des Silos. Eine hohe Lagerungsdichte senkt die Sauerstoffdiffusion in den Futterstapel, die  $20 \text{ l/m}^2 \cdot \text{h}$  nicht überschreiten sollte [1]. Der Bereich der Silage, in dem aerobe Schadorganismen wie Essigsäurebakterien und Schimmelpilze aktiv sein können, ist unter diesen Voraussetzungen minimal und die Silage bleibt stabil.

Mit der steigenden Leistungsfähigkeit der Feldhäcksler und Ladewagen wird die Verdichtungsarbeit im Flachsilo mehr und mehr zum zeitlichen Engpass des Silierprozesses. Bisher sind noch keine Verfahren zur Bestimmung der Lagerungsdichte während der Silobefüllung verfügbar, daher kann eine Beurteilung der Verdichtungsqualität erst nach dem Öffnen erfolgen. Häufig werden Siloblöcke zur Bestimmung der Lagerungsdichte verwendet, da sie einfach zu entnehmen, zu wiegen und zu vermessen sind. Die Problemzonen an den Rampen, am Rand und an den Oberflächen der Silage [2–4] werden bei dieser Art der Beprobung nicht erfasst. Hierfür können Kernlochbohrer eingesetzt werden, wie sie bei der Bestimmung der Lagerungsdichte von Maissilage zum Einsatz kommen [5]. Allerdings erzeugt dieses Verfahren aufgrund der Faserstrukturen von Grassilage eine mechanische Störung der Proben. Ein bereits existierender „Apparat für den Erhalt eines unbeeinträchtigten Silagekerns“ [6] ist bis dato nicht weit verbreitet. Darüber hinaus besteht keine Standardprozedur für die Probeentnahme.

Deshalb wird in einem Forschungsprojekt der Eidgenössischen Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART



In der Untersuchung verwendete Probenehmer: 1 – Siloblockschneider; 2 – Kernlochbohrer (ART); 3 – Elektrischer Silageschneider; 4 – Pioneer™-Bohrer

Fig. 1: Sampling devices used in the trial: 1 – Silage block cutter; 2 – Drilling cylinder (ART); 3 – Electric silage cutter; 4 – Pioneer™ drilling jig

der Zusammenhang von Lagerungsdichte und Silagequalität untersucht. In diesem Rahmen wird die Probeentnahme mittels Handgeräten der Methode „Siloblock“ gegenübergestellt.

### Material und Methoden

Für den Vergleich wurden zwei Siloblöcke aus unterschiedlichen Flachsilos entnommen. Die mittleren TS-Gehalte der Blöcke betragen 26,6 und 30,7 %. Die theoretische Schnittlänge des einführenden Ladewagens lag bei 40 mm. Die eingelagerte Grünmasse stammte sowohl von Natur- als auch von Kunstwiesen. Verdichtet wurde mit einem ballastierten Standardschlepper mit einem Gesamtgewicht von 10 230 kg und einem Reifeninnendruck von 2,5 bar.

Verglichen wurden die Varianten „Siloblock“, „Kleinblock“, „Pioneer™-Bohrer“ und ein selbst entwickelter „Kernlochbohrer“, der in schräger und senkrechter Bohrrichtung eingesetzt wurde. Die Probenehmer sind in **Abbildung 1** zu sehen.

Die Siloblöcke wurden mit einem Trioliet Blockschneider Typ TU 145 (Oldenzaal, NL) entnommen (Breite x Tiefe: 1,75 x 0,75 m). Ein handgeführter elektrischer Silageschneider (OMC, type AS/85, Correggio, IT) ermöglichte das Herausschneiden von Kleinblöcken (0,2 x 0,2 x 0,015 m<sup>3</sup>). Das Volumen der mit dem Pioneer™-Bohrer (Pioneer, type Hi-Bred, Buxtehude, DE) entnommen Proben wurde mittels Bohrlochdurchmesser (45 mm) und der gemessenen Bohrlochtiefe bestimmt. Das Volumen des von der Forschungsanstalt Agroscop Reckenholz-Tänikon ART entwickelten Kernlochbohrers aus Edelstahl (Innendurchmesser 56 mm, Wandstärke 2 mm) wurde bestimmt, indem die Kernbohrung durch Schlitze im Bohrzylinder auf eine definierte Länge von 100 mm begrenzt wurde. Der Antrieb des Kernlochbohrers erfolgte elektrisch mit 120 U/min. In die angefasste Schneide wurden grobe Zähne eingefeilt, um die Grassilage gut zu zerschneiden.

Da Siloblöcke bei der Entnahme in vertikaler Richtung expandieren können, wurden die zu beprobenden Schichten (je 0,2 m) schon in der ungestörten Silage markiert. Die Höhe

des Siloblocks wurde für die Untersuchung auf 1,2 m begrenzt. Nach der Entnahme wurden die genaue Maße sowie das Gewicht der Siloblöcke bestimmt. Aus diesen Blöcken wurden im weiteren Verlauf Proben mit den Handgeräten (**Abbildung 1**) entnommen.

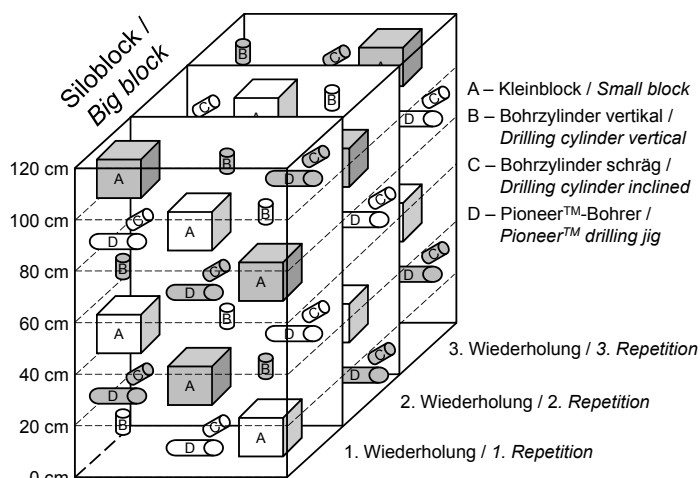
**Abbildung 2** zeigt die 18 ausgewiesenen Stellen der Probeentnahme in sechs unterschiedlichen Höhen und drei Wiederholungen. Für alle Proben wurden Volumen und Gewicht zur Dichtebestimmung ermittelt. Ergänzt wurde der Versuch mit jeweils paarweisen Vergleichen der Probenehmer, die in gleicher Weise direkt im Silagestapel durchgeführt wurden.

Die statistische Auswertung erfolgte mittels eines paarweisen linearen Regressionsmodells (Tibco Spotfire S+, Somerville, MA, USA).

### Ergebnisse und Diskussion

In der Regel wird die Lagerungsdichte von Siloblöcken als repräsentativ angesehen und direkt auf die Gesamtsilage übertragen. Im Rahmen dieses Projektes wurde auch die mittlere Gesamtlagerungsdichte der untersuchten Flachsilos anhand der eingeführten Erntemassen und dem gemessenen Gesamtvolumen des Futterstapels erfasst. Beim Vergleich ergibt sich dabei eine nicht unerhebliche Abweichung der Werte voneinander. Mit 857 kg FM/m<sup>3</sup> überschätzt der erste Siloblock die mit 690 kg FM/m<sup>3</sup> ermittelte Gesamtlagerungsdichte im Silos um 24 %. Der zweite Siloblock (880 kg FM/m<sup>3</sup>) überschätzt die Gesamtlagerungsdichte (756 kg FM/m<sup>3</sup>) um 16 %. Als Erklärung für diese Differenz kann angeführt werden, dass der Siloblock an einer gut verdichteten Stelle des Silostapels entnommen wurde. Problematische Silozonen wie Anfang und Ende, Wandbereiche und Silageoberflächen können aufgrund der Schräge systembedingt nicht betrachtet werden. Die Zielwerte für gut verdichtete Grassilage werden mit 800 kg FM/m<sup>3</sup> bei 20 % TS-Gehalt und 560 kg FM/m<sup>3</sup> bei 40 % TS-Gehalt angegeben [7, 4]. Im Mittel ist die Verdichtung der Siloblöcke (TS-Gehalte 27 und 31 %) somit als sehr gut zu bewerten.

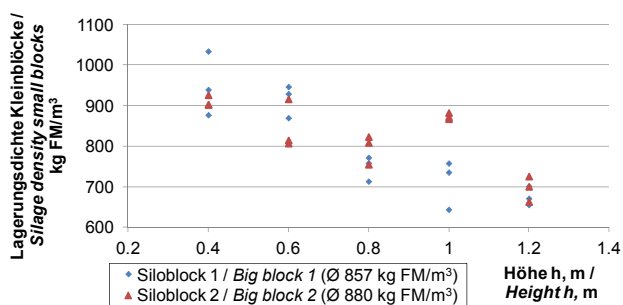
Abb. 2



Schematische Darstellung eines Siloblocks mit der räumlichen Verteilung der vier unterschiedlichen Methoden der Probenahme mit jeweils drei Wiederholungen

Fig. 2: Scheme of the silage block with the spatial allocation of the four different sampling methods in three repetitions

Abb. 3



Streubreite der Lagerungsdichte in den Siloblöcken bei der Variante „Kleinblock“

Fig. 3: Mean variation of silage density in big blocks determined by small block variant

**Abbildung 3** zeigt die Dichteheterogenität der Siloblöcke im Vergleich zu der Lagerungsdichte der Kleinblöcke. Die Auswertung der Messungen bestätigt Beobachtungen, wonach die Lagerungsdichte mit zunehmender Entfernung von der Bodenplatte abnimmt [8, 9]. Ganze Siloblöcke eignen sich deshalb nur für eine schnelle Einschätzung der mittleren Gesamtdichte der Flachsilos. Zur Vergleichbarkeit der punktuell gezogenen Proben wurde im weiteren Verlauf das Verfahren „Kleinblock“ als Referenz herangezogen.

In **Abbildung 4** sind die Werte der drei Bohrvarianten in Bezug auf die Variante „Kleinblock“ dargestellt. Der Reststandardfehler (Res. SE), als Maß für die Streuung der Datenpunkte um die Regressionsgerade herum, liegt bei den drei Bohrvarianten vergleichsweise nah beieinander. Die Variante „Kernlochbohrung schräg“ hebt sich dabei durch eine etwas geringere Streuung positiv von den beiden anderen Varianten ab. Berechnet

man aber beispielsweise die Differenz in der Vorhersagegenauigkeit der beiden Kernlochbohrervarianten, so unterscheiden sich diese lediglich um 1 bis 2 % voneinander. Die Steigung sowie der Versatz der Regressionsgeraden zur  $x = y$ -Linie wurden für  $x = 869 \text{ kg FM/m}^3$  berechnet, spielen bei der gegebenen Streubreite der Werte aber eine untergeordnete Rolle. Alle drei Varianten unterschätzen die Lagerungsdichte der Referenz „Kleinblock“.

Kleinmans et al. [3] und Thaysen et al. [2] berichten über gute Ergebnisse des Pioneer™-Bohrers in Maissilage. Analog zu den hier dargestellten Ergebnissen wird auch dort berichtet, dass der Pioneer™-Bohrer die Lagerungsdichte tendenziell unterschätzt.

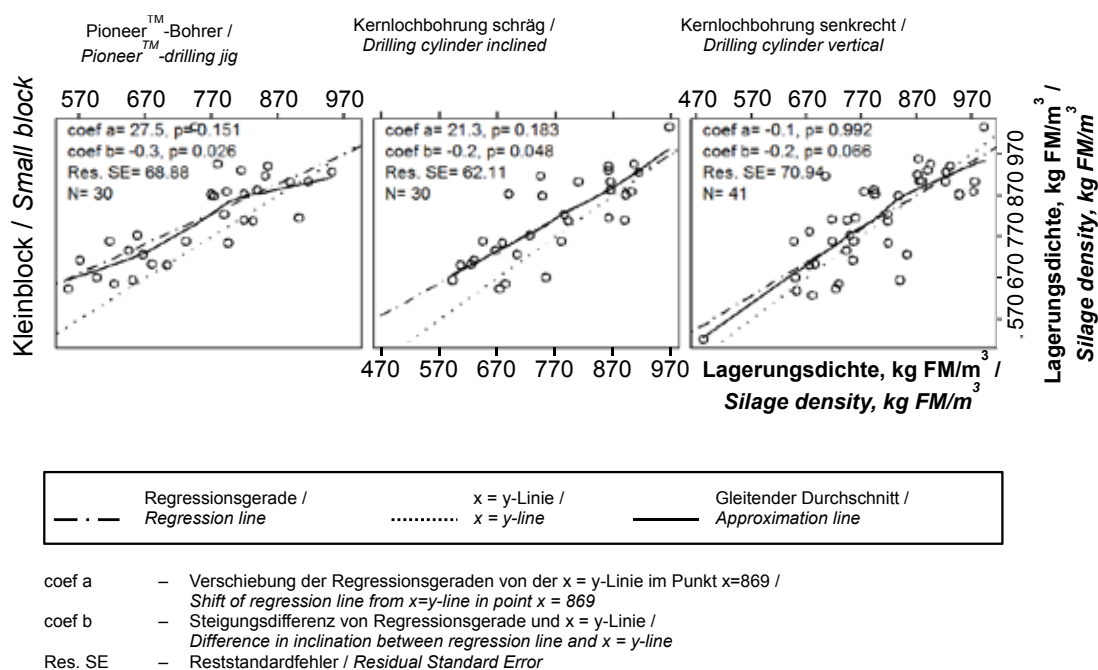
Für die Entnahme von Mais mit dem Pioneer™-Bohrer wird von Kleinmans et al. [3] eine horizontale Bohrung empfohlen. Im Vergleich dazu führt die faserige Struktur von Grassilage dazu, dass die Silage bei horizontaler Beprobung wieder aus dem Bohrer herausgezogen wird und durch das Vermessen der Bohrlochtiefe die errechnete Lagerungsdichte anschließend geringer ausfällt. Eine schräg zu den horizontalen Lagerschichten der Silage ausgeführte Bohrung trennt die Fasern der Grassilage generell besser und die einzelnen Schichten werden nicht mehr aus dem Bohrer herausgezogen.

Der in diesem Versuch verwendete Kernlochbohrer wurde mittels einer elektrischen Bohrmaschine angetrieben. Dies stellt insbesondere bei der Entnahme einer größeren Probenanzahl eine enorme Arbeitsentlastung dar. Eine schräge Bohrrichtung ist gegenüber einer senkrechten vorteilhaft, da so direkt an der Anschnittstelle der Silage beprobt werden kann.

### Schlussfolgerungen

Die Untersuchung zeigte, dass die entnommenen Siloblöcke die mittlere Gesamtlagerungsdichte aufgrund der Wahl des Entnahmeortes um bis zu 24 % überschätzen. Die Einzelproben mit den

Abb. 4



Lagerungsdichte der Bohrervarianten bei der Variante „Kleinblock“

Fig. 4: Silage density of the drilling variants with reference to the small block

Handgeräten wiederum belegen die enorme Heterogenität der Dichteverhältnisse innerhalb der Siloblöcke. Es konnte festgestellt werden, dass mit zunehmendem Abstand von der Bodenplatte die Lagerungsdichten der Silage abnehmen. Gleiches gilt für die Randbereiche des Futterstapels. Bei einer Probenahme in Flachsilos müssen demnach alle Bereiche der Silage betrachtet werden. Dabei gilt, dass eine größere Anzahl kleiner Silageproben die Dichteverhältnisse im Flachsilo besser repräsentiert als einige wenige großvolumige Proben.

Mithilfe von Kernlochbohrern kann eine große Anzahl von Proben schnell und effizient entnommen werden. Weniger verdichtete Schichten, die luftführend sind und so Aktivitäten von aeroben und fakultativ anaeroben Mikroorganismen nicht unterdrücken, lassen sich identifizieren und es können geeignete Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Die Bohrrichtung ist dabei für eine zufriedenstellende Befüllung der Bohrer zu beachten. Um die faserige Struktur der Grassilage zu zertrennen, sollte schräg oder senkrecht in Bezug auf die Lagerrichtung der Fasern gebohrt werden.

Die getesteten Varianten zeigen in der statistischen Auswertung nur geringe Unterschiede der Vorhersagegenauigkeit der Lagerungsdichte von 1 bis 2 %, wobei die Lagerungsdichte tendenziell unterschätzt wird. Die etwas bessere statistische Übereinstimmung mit der Referenz „Kleinblock“ und die vergleichsweise einfachere Handhabung macht die Variante „Kernlochbohrer schräg“ zur bevorzugten Variante dieser Untersuchung.

## Literatur

- [1] Honig, H. (1987): Gärbiologische Voraussetzungen zur Gewinnung qualitätsreicher Anweilensilage. In: Grünfütterernte und -konservierung, KTBL-Schrift Nr. 318, S. 47–58
- [2] Thaysen, J.; Ruser, B.; Kleinmanns, J. (2006): Dichte Controlling – Bedeutung und Instrumente. GKL-Frühjahrstagung 2006 – Siliererfolg auch bei großen Erntemassen, 28./29.03.2006, Bonn, S. 14–17
- [3] Kleinmanns, J.; Ruser, B.; Oetjen, G.; Thaysen, J. (2005): Eine neue Methode zur Bestimmung der Silageverdichtung – Einsatz des Probenbohrers in der Praxis. Mais 32(4), S. 134–136
- [4] Miller, A. M. (2006): Gute, stabile Maissilagen: Verteil- und Walzarbeiten entscheiden über den Erfolg. Milchpraxis 44(3), S. 118–119
- [5] Bundesarbeitskreis Futterkonservierung Hg. (2006): Praxishandbuch Futterkonservierung – Silagebereitung, Siliermittel, Dosiergeräte, Silofolien, DLG-Verlag, 7. Aufl., S. 354
- [6] Rees, D. V. H.; Audsley, E.; Neale, M. A. (1983): Apparatus for obtaining an undisturbed core of silage and for measuring the porosity and gas diffusion in the sample. Journal of Agricultural Engineering Research 28, pp. 107–114
- [7] Honig, H. (1991): Reducing losses during storage and unloading of silage. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 123, S. 116–128
- [8] Amours, L. D.; Savoie, P. (2005): Density profile of corn silage in bunker silos. Canadian Biosystems Engineering 47, pp. 2.21–2.28
- [9] Craig, P. H.; Roth, G. (2005): Penn State University: Bunker silo density study – Summary report 2004–2005. College of Agricultural Sciences, Dauphin, PA, USA, p. 9

## Autoren

**Dr. Roy Latsch** und **Dr. Joachim Sauter** sind wissenschaftliche Mitarbeiter an der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon 1, CH-8356 Ettenhausen, E-Mail: roy.latsch@art.admin.ch