

Fabian Roß, Christian Maack und Wolfgang Büscher, Bonn

Einfluss von Trockenmasse-Gehalt, Lagerungsdichte und Häcksellänge auf das Porenvolumen im Siliergut

Für die bisher verwendeten Messverfahren zur Bestimmung des Porenvolumens von Silagen war es erforderlich, dass mit einem Probeentnahmegesetz aus einer bestehenden Silage Bohrkern entnommen wurden. Für die selbst entwickelte Methode „Porenvolumenbestimmung-Bonn, Version 1“ (PVB-B1) wird unverdichtetes Siliergut verwendet, das erst im Probe- raum zur gewünschten Dichte verdichtet wird. Dadurch werden durch Entnahme und Transport bedingte Veränderungen des Porenvolumens vermieden. Anhand der gewonnenen Daten wurde eine Formel zur Schätzung des Porenvolumens in Maissilage erarbeitet.

Fabian Roß (e-mail: ross@uni-bonn.de) und Christian Maack sind wissenschaftliche Mitarbeiter, Prof. Dr. Wolfgang Büscher ist Leiter der Abteilung „Verfahrenstechnik der Tierischen Erzeugung“ am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn.

Schlüsselwörter

Silage, Porenvolumen, Lagerungsdichte, Porenvolumenbestimmung

Keywords

Silage, pore volume, bulk density, pore volume determination

Literatur

Literaturhinweise finden sich unter LT 08609 über Internet www.landtechnik-net.de/literatur.htm.

Der Futterbau für die tierische Erzeugung hat in den letzten Jahren zunehmend Konkurrenz durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe bekommen. Der erhöhte Bedarf an nachwachsenden Rohstoffen, aber auch die weltweit steigende Nachfrage an Nahrungsmitteln haben dazu geführt, dass die Preise für Getreide und Zukauffuttermittel gestiegen sind. Eine Möglichkeit, die Ausgaben für teures Zukauffutter zu reduzieren, besteht in der Verbesserung der Grundfutterqualität. Es reicht aber nicht aus, hohe Grundfutterqualitäten zu ernten. Entscheidend ist, dass das Futter bis zum Zeitpunkt der Verwendung qualitativ hochwertig bleibt. Aus diesem Grund kommt der Grundfutterkonservierung sowohl in der Tierhaltung als auch in der Energieerzeugung eine herausragende Bedeutung zu.

Problemstellung und Zielsetzung

Die am meisten verbreitete Art der Grundfutterkonservierung ist die Silierung. Silage ist das Ergebnis einer anaeroben Konservierung von feuchtem Erntegut. Das Vorhandensein von Sauerstoff in der Silage führt dagegen zur Nacherwärmung. Dadurch entstehen erhebliche Verluste an Energie, Nährstoffen, Vitaminen und Trockenmasse [7, 11]. Die Nacherwärmung wird häufig von Schimmel- und Mykotoxinbildung begleitet, die gesundheitliche Folgen für das Tier haben können [11]. Erhebungen von [10] zeigen jedoch, dass in der Praxis Nacherwärmungen aufgrund unzureichender Verdichtung stark verbreitet sind.

Rein theoretisch ist es möglich, das Eindringen von Luft durch gründliches Abschließen des Silos mit einer Folie auszuschalten. Aber die Durchführbarkeit in der Praxis ist fraglich [5]. Es besteht die Gefahr, dass die Folie zum Beispiel durch Vögel während der Silagelagerung beschädigt wird [12]. Hinzu kommt, dass das Silo zur Futterentnahme geöffnet wird. Dadurch kommt Luft an die Anschnittfläche und dringt in die Silage ein [9]. Eine mangelhafte Silierungstechnik und eine fehlerhafte Entnahmetechnik können zum erhöhten Lufteintritt führen [7]. Die Poren der Silage enthalten einen ho-

hen Anteil an CO₂, das eine höhere Dichte als Luft hat. Am Anfang der Lagerung kann die CO₂-Konzentration in den Poren aufgrund des Fermentationsprozesses bis zu 90 % ausmachen. Später fällt der CO₂-Anteil auf 20 %. Aber dies reicht als Ursache für die Gasbewegung aus [6]. Neben der Diffusion spielt die Durchlässigkeit der Silage eine Rolle. Wurde beim Befüllen des Silos ausreichend verdichtet, ist das Porenvolumen in der Silage gering. Ein geringes Porenvolumen bedingt einen hohen Strömungswiderstand. Ein optimaler Strömungswiderstand beschränkt die Luftein- dringrate auf höchstens 20 l h⁻¹m⁻² und sorgt gleichzeitig dafür, dass die Luft nicht weiter als einen Meter in die Silage eintritt [1].

Zielsetzung der diesem Beitrag zugrunde liegenden Diplomarbeit war es, eine Schätzformel zur Berechnung des Porenvolumens in Maissilagen zu erarbeiten. Im Rahmen der Diplomarbeit wurde ein Messverfahren entwickelt, das eine möglichst genaue Bestimmung des Porenvolumens in Siliergütern ermöglicht. Auf diese Weise konnte der Einfluss von Trockenmasse-Gehalt, Lagerungsdichte und Häcksellänge auf das Porenvolumen untersucht werden.

Material und Methode

Zur Messung des Porenvolumens wurde die Methode „Porenvolumenbestimmung-Bonn, Version 1“ (PVB-B1) entwickelt und eingesetzt. Es handelt sich dabei um eine Weiterentwicklung des von [8] beschriebenen Verfahrens zur Bestimmung des Porenvolumens. Während [8] die zu untersuchende Silageprobe durch eine Entnahmeapparatur gewinnt, wird für die PVB-B1 das lose Siliergut direkt in der Messapparatur mit Hilfe einer Materialprüfmaschine verdichtet. Die zu verdichtende Masse kann mit einer Waage exakt abgewogen und auf das gewünschte Probevolumen verdichtet werden. Auf diese Weise ist gewährleistet, dass durch Entnahme und Transport bedingte Veränderungen des Porenvolumens vermieden werden.

Kalibrierungsmessungen

Zur Überprüfung der Messgenauigkeit dient der Zylinder der Materialprüfmaschine als Ersatz für das Silagevolumen. Durch Herunterfahren des Kolbens wurde der Luftraum reduziert. Grundlage dieser Methode ist die Tatsache, dass der luftverdrängende Körper nicht gleichmäßig im Raum verteilt sein muss. Er kann sich auch einseitig am Rand des Raumes befinden. Auf diese Weise war es möglich, die mit der PVB-B₁ bestimmten Werte durch das Verhältnis von Masse zu Volumen zu überprüfen. Die mit der PVB-B₁ gemessenen Porositätswerte hatten gegenüber dem tatsächlichen Wert eine mittlere Abweichung von 1,2 Prozentpunkten. Die maximale Abweichung vom tatsächlichen Porositätswert betrug 3,7 Prozentpunkte.

Beschreibung der Proben

Die untersuchten Substrat-Proben bestanden aus frisch gehäckseltem Mais, der nach dem Häckseln eingefroren worden war. Diese Proben variierten sowohl in der Häcksellänge als auch im Trockenmassegehalt. Die Ermittlung der Trockenmasse erfolgte nach 16-stündiger Trocknung bei 105 °C im Trockenschrank.

Die effektiven Häcksellängen wurden mit einem elektronisch angetriebenen Siebturm ermittelt, der die Erfassung von acht unterschiedlichen Fraktionen erlaubte. Die Proben wurden zwölf Stunden bei 100 °C getrocknet und 100 g drei Minuten gesiebt, wobei nach einer Laufzeit von drei Sekunden eine Ruhezeit von einer Sekunde folgte. Danach wurden die einzelnen Fraktionen gewogen und die prozentualen Massenanteile berechnet [2, 3].

Ergebnisse

Die Auswertung der Ergebnisse hat erwartungsgemäß ergeben, dass bei Erhöhung der

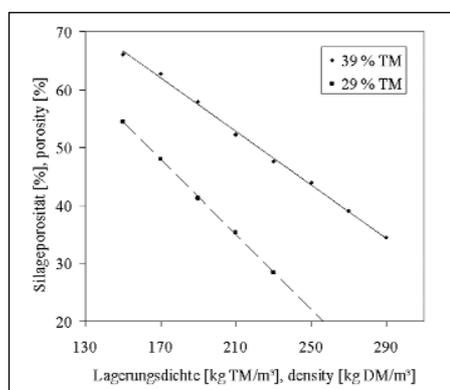


Bild 1: Zwei Silagen mit extremen TM-Gehalten

Fig. 1: Two silages with extremely different DM-contents

Lagerungsdichte das Porenvolumen sinkt. Das Volumen der „Keine-Luft-Fraktion“ steigt dagegen mit zunehmender Lagerungsdichte an. Es hat sich gezeigt, dass neben der Lagerungsdichte der TM-Gehalt der Silagen einen bedeutenden Einfluss auf die Porosität hat.

Beim Vergleich der beiden Silagen in Bild 1 ist zu sehen, dass ein Unterschied im TM-Gehalt von 10 Prozentpunkten Auswirkungen auf das Porenvolumen hat. Die Silage mit 39% TM-Gehalt hat bei einer Lagerungsdichte von 150 kg m⁻³ eine mittlere Porosität von 66,1%. Die Silage mit 29% TM-Gehalt hat bei gleicher Lagerungsdichte eine mittlere Porosität von 54,4%. Das entspricht einer Differenz von 11,7 Prozentpunkten.

Der Unterschied vergrößert sich mit Erhöhung der Lagerungsdichte. Bei einer Lagerungsdichte von 230 kg m⁻³ hat die Silage mit einem TM-Gehalt von 39 % eine Porosität von 47,6 % und die Silage mit 29 % TM-Gehalt eine mittlere Porosität von 28,4 %. Der Unterschied beträgt 19,2 Prozentpunkte.

Hinsichtlich des Porenvolumens konnte bei gleicher Dichte kein Unterschied zwischen Silagen mit unterschiedlichen Häcksellängen festgestellt werden. Dazu wurden Silagen mit ähnlichem TM-Gehalt, aber sehr unterschiedlicher Häcksellängenverteilung verglichen.

Bild 2 zeigt, wie sich das Porenvolumen in Abhängigkeit von TM-Gehalt und Lagerungsdichte verhält.

Regressionsanalyse

Die Einflussfaktoren Lagerungsdichte und TM-Gehalt wurden genauer analysiert. Anhand der 885 gemessenen Einzelwerte wurde eine multiple Regressionsanalyse durchgeführt. Als Einflussfaktoren für die Porosität einer Silage wurden Lagerungsdichte und TM-Gehalt berücksichtigt. Die Häcksellänge blieb in der Analyse unberücksichtigt, da sich bereits gezeigt hatte, dass die Häcksellänge innerhalb einer bestimmten Lagerungsdichte auf das Porenvolumen keinen Einfluss hat. Insgesamt konnten 98 % der Porositätsvarianz durch die Variablen „TM-Gehalt“ und „Dichte“ erklärt werden. Es hat sich herausgestellt, dass die Lagerungsdichte einen um den Faktor 2,383 größeren Einfluss auf die Porosität als der TM-Gehalt hat.

Die Schätzformel zur Berechnung des Porenvolumens in Maissilage lautet:

$$VP = 1,733 \cdot TMG - 0,256 \cdot \rho + 39,778$$

Wobei

VP = Porenvolumen in %

TMG = TM-Gehalt in %

ρ = Lagerungsdichte in kg TM m⁻³

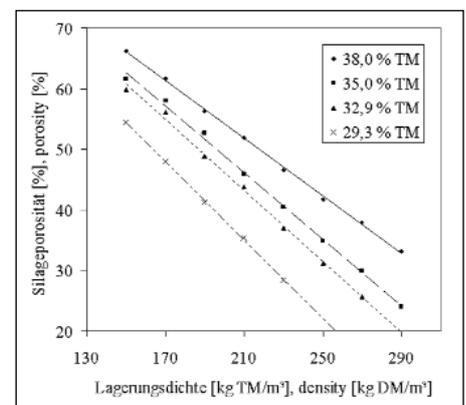


Bild 2: Porositäten der Silagen

Fig. 2: Silage porosity as a function of dry matter content and bulk density

Mit dieser Formel kann die Porosität von Maissilage berechnet werden, wenn TM-Gehalt und Lagerungsdichte bekannt sind. Auf diese Weise kann die Porosität in der Praxis einfach berechnet werden, wobei es sich empfiehlt, die Lagerungsdichte so zu ermitteln, wie es von [4] beschrieben worden ist. Die Formel sollte ausschließlich für Maissilagen angewendet werden, da die Formel auf der Grundlage von Maissilage-Porositätswerten erstellt worden ist und nicht alle Siliergüter die gleiche Feststoffdichte aufweisen.

Fazit und Ausblick

Selbst eine aufwändige Entnahmetechnik, wie sie zum Beispiel von [8] beschrieben wird, ist kein Garant dafür, dass Veränderungen an den Schnittstellen vermieden werden. Auch die Gefahr der Beschädigung der Probe während des Transports kann durch die Entnahmeapparatur von [8] nicht ausgeschlossen werden.

Hier setzt die eigene Methode an, deren Vorteil es ist, dass die untersuchten Silagen erst im Labor verdichtet werden. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass keine transport- und entnahmebedingten Veränderungen der Proben vorkommen.

Mit der eigenen Methode ist es zurzeit nicht möglich, die Porosität von Silagen mit geringem TM-Gehalt und gleichzeitig hoher Dichte zu messen. Ziel wird es deshalb sein, die Messapparatur technisch so zu verändern, dass das beim Verdichten austretende Wasser ungehindert abfließen kann. Unter Berücksichtigung des abfließenden Wasservolumens ist die Bestimmung des Porenvolumens auch bei sehr nassen Silagen möglich.

Eine Teilautomatisierung einzelner Schritte ist vorstellbar. So könnte zum Beispiel die Abfolge von Schließen und Öffnen der einzelnen Lufthähne automatisch gesteuert werden. Auf diese Weise würde erreicht, dass erstens das Risiko von anwenderbedingten Fehlern reduziert und zweitens der Einsatz der Bestimmungsmethode vereinfacht wird.

Literatur

Bücher sind mit • gezeichnet

- [1] *Honig, H.*: Influence of forage type and consolidation on gas exchange and losses in silo. In: Summary of Papers, 8th Silage Conference, Hurley (UK), 1987
- [2] *Leurs, K., A. Wagner und W. Büscher*: Nacherwärmung von Maissilage - Einfluss der Häcksellänge. Landtechnik 59 (2004), H. 2, S.100-101
- [3] • *Leurs, K.*: Einfluss von Häcksellänge, Aufbereitungsgrad und Sorte auf die Siliereigenschaften von Mais. In: Forschungsbericht Agrartechnik 438, Selbstverlag, Diss., Bonn, 2006
- [4] *Maack, Ch.*: Verdichtung von Siliergütern bei der Folienschlauchtechnologie. Landtechnik 63 (2008), H. 5, S. 282 - 283
- [5] *Mc Gechan, M.B., and A.G. Williams*: A model of air infiltration losses during silage storage. Journal of Agricultural Engineering Research 57 (1994), pp. 237-249
- [6] *Mc Gechan, M.B.*: Modelling the process of forage conservation. In: Proceedings of a Conference on Forage Conservation towards 2000. Landbau-forschung Völkenrode, Sonderheft 123, 1991
- [7] • *Pahlow, G.*: Gärungsbiologische Grundlagen und biochemische Prozesse der Silagebereitung. In: Bundesarbeitskreis Futtermittelkonservierung (Hrsg.) (2006): Praxishandbuch Futtermittelkonservierung, S.11-20, Silagebereitung – Silierzusätze – Dosiergeräte – Silofolien; DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 2006
- [8] *Rees, D.V.H., E. Audsley and M.A. Neale*: Apparatus for obtaining an Undisturbed Core of Silage and for Obtaining an undisturbed core of silage and for measuring the porosity and gas diffusion of the sample. In: Journal of Agricultural Engineering Research 28 (1983), pp. 107-114
- [9] • *Savoie, P., and J. C. Jofriet*: Silage Storage. In: Buxton, D. R. (Hrsg.) (2003): Silage Science and Technology; Madison, Wisconsin, 2003
- [10] *Spiekens, H., R. Miltner und W. Becker*: „Aktion Nacherwärmung“ deckt Schwachpunkte auf. Top Agrar, 33 (2004), H. 2, S. R10-13
- [11] • *Wilhelm, H., und K. Wurm*: Futtermittelkonservierung und –qualität: Silagebereitung. Heuwerbung. Getreide-, Maistrocknung. Leopold Stocker Verlag, Graz, 1999