

Wolfgang Buescher, Yuri Sun, Peter Schulze Lammers,  
Fabian Roß, Christian Maack, Jianhui Lin, Qiang Cheng und Wei Sun

# Verbesserte Dichtebestimmung von Silageballen mit Penetrometern

Die Lagerungsdichte spielt für die Silagequalität eine wichtige Rolle. Zur Bestimmung der Lagerungsdichte und deren Variabilität in Rundballen werden auch Penetrometer eingesetzt. Die üblichen Auswertungsmethoden der Daten bieten jedoch nur wenig Informationen hinsichtlich einer ortsspezifischen Interpretation. In dieser Studie wurde die konventionelle Methode durch eine zweidimensionale Datenanalyse (kartenunterstützte Analyse) erweitert.

## Schlüsselwörter

Silage, Lagerungsdichte, Penetrometer, Futterqualität

## Keywords

Silage, bulk density, penetrometer, forage quality

## Abstract

Buescher, Wolfgang; Sun, Yuri; Schulze Lammers, Peter; Roß, Fabian; Maack, Christian; Lin, Jianhui; Cheng, Qiang and Sun, Wei

Improved bulk density determination of silage round bales from penetrometer data

Landtechnik 64 (2009), no. 3, pp. 187 - 190,  
3 figures, 17 references

Bulk density plays an important role for silage quality. For the determination of the bulk density and its variability in round bales penetrometers are used, among other methods. However, the commonly used data analyses provide insufficient information in terms of site-specific interpretation. In this study, the conventional technique was expanded by two-dimensional data analysis (map-based analysis).

Die Lagerungsdichte von Silageballen ist aus mehreren Gründen von Bedeutung. Mit zunehmender Lagerungsdichte sinken sowohl die Transportkosten als auch der spezifische Foli- und Lagerplatzbedarf pro kg Silage ab. Die Silagequalität wird ebenfalls durch die Lagerungsdichte beeinflusst. Durch eine hohe Lagerungsdichte wird eine niedrige Porosität erreicht und das Risiko einer Nacherwärmung reduziert. [10, 11,

16, 5, 13, 4, 3, 15]. Ein gut verdichteter Rundballen zeichnet sich durch eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Dichte aus, die eine Formstabilität des Ballens gewährleistet. Vorangegangenen Studien zufolge wird die Lagerungsdichte und die Formstabilität durch die Presstechnik und anderen Faktoren wie Häcksellänge, Schichtdicke, Trockenmassegehalt und Erntezeit bestimmt [7, 8, 14, 10].

Zur Bestimmung der Silagequalität sind verschiedene Techniken, einschließlich Geo-Radar, Mikrowellenstreuungssonde, Messrad (Einsinktiefen), Ultraschall-dickensensor, Foliendruck/Kraftmesssystem, Nah-Infrarot-Spektroskopie, Ultraschall-

Abb. 1



Penetrometer in Arbeitsstellung  
Fig. 1: penetrometer in operating position

abstandssensor,  $\gamma$ -Strahlen und Penetrometer (**Abbildung 1**), getestet worden [5]. Diese Techniken werden – abhängig von ihrer Betriebsart – in invasive und nichtinvasive Methoden eingeteilt. Im Bereich der nichtinvasiven Methoden hat mit Ausnahme des Geo-Radars und der Gammastrahlen keine Methode genügend Eindringvermögen, um das Innere eines Ballens zu untersuchen [5, 9]. Manche Anwender sehen radiometrische Messverfahren aufgrund der hohen Messgenauigkeit als gut geeignet an, obwohl mit der Strahlung immer eine potenzielle Gefahr verbunden ist und vor jeder Messung eine aufwändige Kalibrierung erfolgen muss.

Unter den verschiedenen invasiven Methoden bietet das Penetrometer besondere Vorteile gegenüber anderen Methoden, da es verlässliche Daten liefert und einfach kalibriert werden kann [12]. Vorangegangene Studien konzentrieren sich jedoch hauptsächlich auf statistische Analysen und auf die Darstellung des Eindringverlaufs, um die Lagerungsdichte zu bestimmen. Tatsächlich ist die statistische Analyse ein dimensionsloser

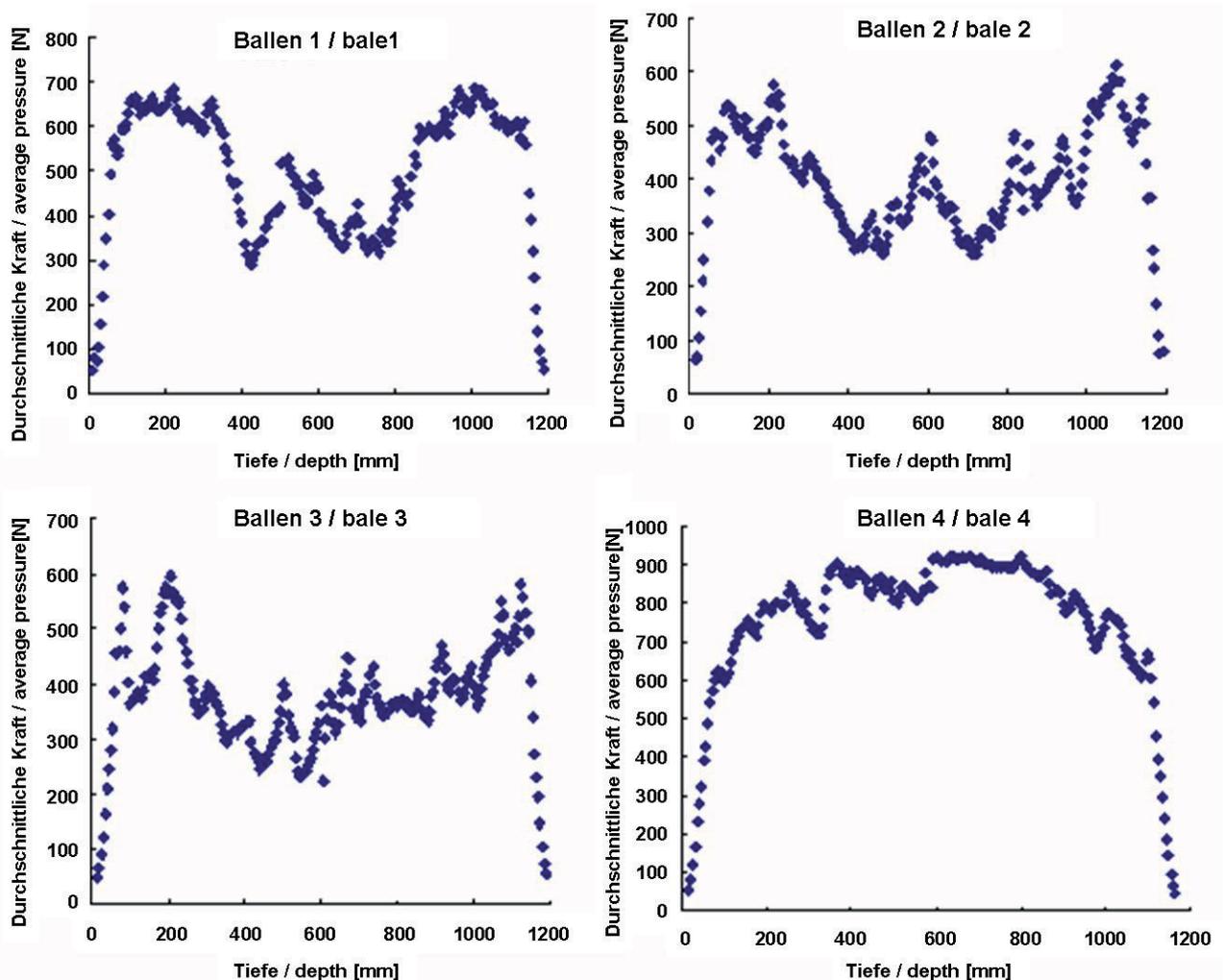
Datenprozess und eine Charakterisierung von ortsspezifischen Variationen ist nicht möglich. Für die Analyse des Eindringverlaufs werden Informationen zum Eindringwiderstand über der Eindringtiefe benötigt. In einer eindimensionalen Darstellung können die Ergebnisse jedoch nur eingeschränkt abgebildet werden. Ziel der eigenen Untersuchungen war es daher, das konventionelle Penetrometer-Verfahren durch eine kartengestützte Auswertung so zu erweitern, dass eine visuelle Bewertung der Ballendichte möglich ist. Die Verwendung des verbesserten Verfahrens soll einen Einblick in die Verdichtungsqualität des Rundballens ermöglichen.

### Material und Methode

Handbediente Penetrometer erreichen nur schwer eine konstante Eindringgeschwindigkeit, wenn sich der Eindringwiderstand verändert [6, 17]. Deshalb wurde für die Untersuchungen ein maschinell angetriebenes Penetrometer verwendet.

In **Abbildung 2** sind die Rohdaten der untersuchten Ballen

Abb. 2



Eindimensionale Ergebnisse: Eindringkraftverlauf, gemittelte Werte aus 12 Messungen für Ballen 1 bis 3: Festkammerpresse, Ballen 4: Rundballenpresse mit variabler Presskammer

Fig. 2: Single-dimensional results: penetration courses, averaged values of 12 measurements of bales 1 to 3: fixed chamber baler, bale 4: variable chamber baler

dargestellt. Für alle Ballen wurde angewelktes Gras verwendet. An jedem Ballen wurden sechs Eindringmessungen im Abstand von 20 cm durchgeführt. Die maximale Eindringtiefe betrug dabei 60 cm, womit gewährleistet war, dass der Konus des Penetrometers bis zur Ballenmitte vorstoßen konnte. Eine Untersuchung der gesamten Ballentiefe wurde durch eine wiederholte Messreihe nach Drehung des Rundballens um 180° erreicht. Nach der Durchführung von zwölf Messungen wurde für jeden Ballen der durchschnittliche Eindringverlauf berechnet und im eindimensionalen Raum dargestellt.

Außerdem erfolgte eine Bearbeitung der gewonnenen Daten per Kriging-Interpolation, so dass die Daten für eine digitale zweidimensionale Darstellung verwendet werden konnten. Zur Erstellung eines entsprechenden Dichtefeldes wurde die Software ArcGIS 9.2 verwendet.

## Ergebnisse und Diskussion

### Statistische Analyse (nicht-dimensionale Datenanalyse).

Unter allen untersuchten Ballen war der Mittelwert (721,1 N) des Eindringwiderstandes in Ballen 4 signifikant größer als der Mittelwert der anderen Ballen.

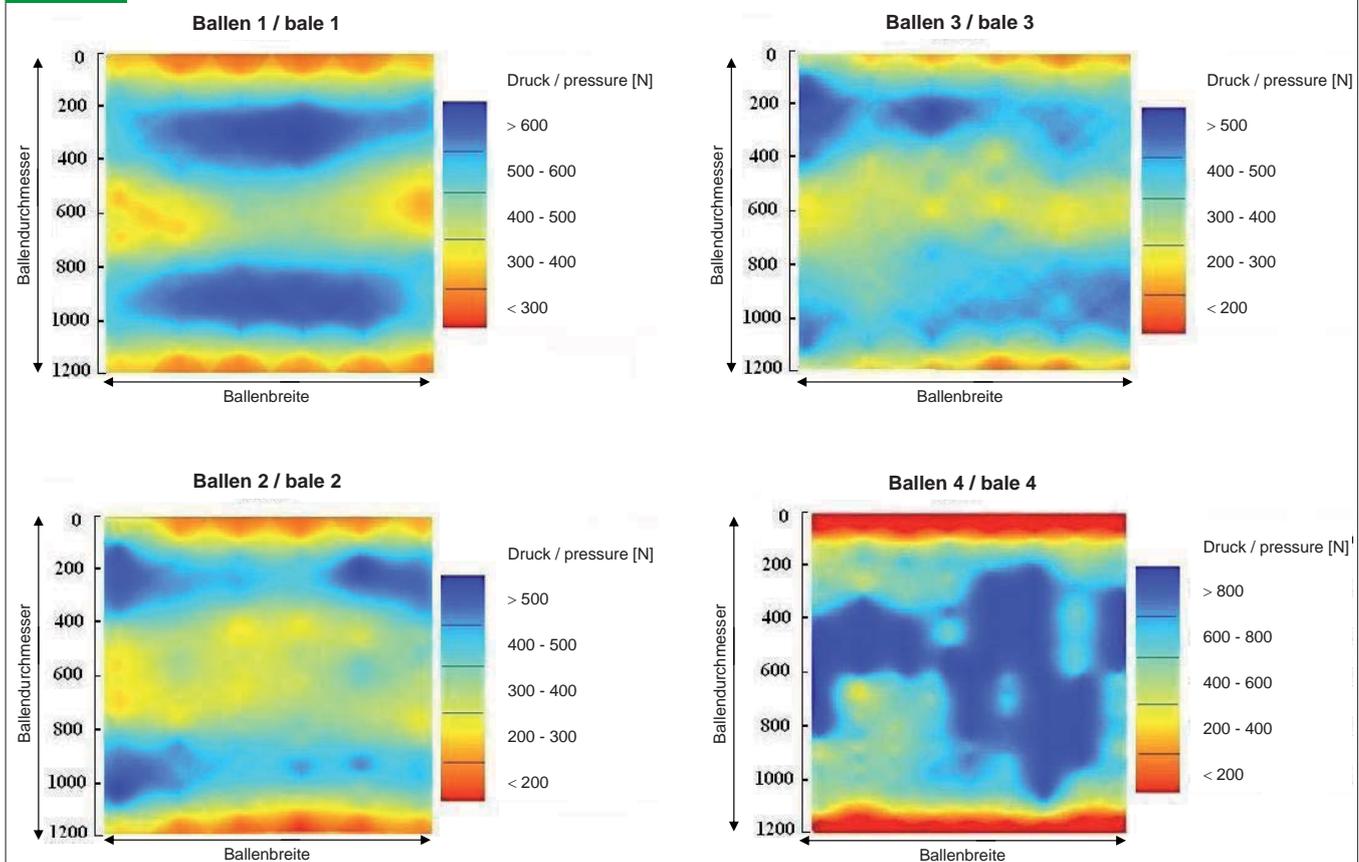
Zusätzlich ist ein Maximalwert (965,32 N) des Eindringwiderstandes in Ballen 4 aufgetreten. Beide Befunde entsprechen

den Werten für die Lagerungsdichten, wonach Ballen 4 die höchste Lagerungsdichte hatte ( $491 \text{ kg FM m}^{-3}$ ). Die Ergebnisse zeigen, dass Pressen mit variabler Kammer eine höhere Lagerungsdichte erreichen können.

**Datenanalyse im eindimensionalen Raum.** Die statistischen Ergebnisse liefern eine Aussage zur Abschätzung der Verdichtungsqualität, geben aber keine Information zur Erkennung ortsspezifischer Variationen im Innern des Ballens. In **Abbildung 2**, die den Eindringverlauf über den Ballendurchmesser zeigt, sind zwei wesentliche Ergebnisse zu sehen. Erstens: Ballen 4 hat einen harten Kern, weil der Höchstwert des Eindringwiderstandes in einer Tiefe von 60 cm zu finden ist, während die anderen Ballen einen weichen Kern haben, was sich an dem konkaven Verlauf der Kurve zeigt. Somit kann durch die Verwendung der eindimensionalen Analyse erkannt werden, ob die Ballen von einer Festkammerpresse oder einer Presse mit variabler Kammer verdichtet worden sind.

Zweitens: jeder Ballen – gleichgültig ob harter oder weicher Kern – hat eine symmetrische Struktur in Übereinstimmung zur Mittelachse. Trotz der Vorteile im eindimensionalen Raum gegenüber der statistischen Analyse, bleibt es immer noch unsicher, ob ortsspezifische Unterschiede der Dichte oder Porosität erkannt werden.

Abb. 3



Zweidimensionale Ergebnisse: Eindringkraftverteilungs-Karten für Ballen 1-3: Festkammerpresse, Ballen 4: Rundballenpresse mit variabler Presskammer

Fig. 3 Two-dimensional results: pressure distribution maps of bales 1-3: fixed chamber baler, bale 4: variable chamber baler

**Datenanalyse im zweidimensionalen Raum.** Die in **Abbildung 3** dargestellten zweidimensionalen Grafiken stellen die Verteilung der Eindringkraft in einem senkrechten Schnitt des auf dem Mantel liegenden Ballens dar. Unterschiede bezüglich des Eindringwiderstandes konnten auf diese Weise über die Ballenbreite und den Ballendurchmesser dargestellt werden. Der harte Kern in Ballen 4 wurde durch die Datenanalyse im zweidimensionalen Raum bestätigt. Im Gegensatz zu Ballen 4 hatten die anderen Ballen weiche Kerne. Außerdem konnte bei den Ballen aus der Festkammerpresse eine geschichtete Struktur beobachtet werden. Besonders der Kern von Ballen 1 scheint bemerkenswert weicher, während der mittlere Bereich zwischen Kern und Oberfläche extrem dicht erscheint. Die qualitativen Unterschiede zeigen ein ähnliches Bild wie beispielsweise ein radiometrischer Skan von Ballen der unterschiedlichen Pressentypen.

### Zusammenfassung

Obwohl Penetrometer als leistungsfähige Instrumente zur Erfassung der Lagerungsdichte angesehen werden, sind sowohl die statistische Analyse als auch die eindimensionale Analyse unzureichend, um die ortsspezifischen Unterschiede in einem Ballen ausführlich zu charakterisieren. Durch Einbeziehung der kartenunterstützten Methode in die konventionelle Penetrometer-technik können ohne zusätzliche Kosten Zusatzinformationen für die visuelle Bewertung der Verdichtungsqualität angeboten werden.

### Literatur

- [1] ASAE Standards, 2001: 48th Ed. S313.2: Soil cone penetrometer., St. Joseph, Mich.: U.S.A
- [2] ASAE Standards, 2001: 48th Ed. S358.2: Moisture measurement-forages, St. Joseph, Mich.: U.S.A
- [3] Amours, L.D. and Savoie, P., 2005: Density profile of corn silage in bunker silos, Canadian Biosystems Engineering, 47, pp. 221-228
- [4] Bernier-Roy, M., Tremblay, Y., Pomerleau, P., Savoie, P., 2001: Compaction and density of forage in bunker silo, ASAE Paper No. 011089, St. Joseph, Mich. U.S.A
- [5] Fuerll, C., Schemel, H. and Koeppen, D., 2008: Principles for measuring density in silages, Landtechnik, 63 (2), pp. 94-95
- [6] Herrick, J.E., Jones, T.L., 2002: A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. Soil Sci. Soc. Am. J. 66, pp. 1320-1324
- [7] Messer, H.J.M., Hawins, J.C. 1977b: The influence of moisture content and chop length of forage maize on silage bulk density and the pressure on bunker silo walls J. agric. Engng Res. 22, pp. 175-182
- [8] Messer, H.J.M., Hawins, J.C. 1977a: The influence of the properties of grass silage on bulk density and horizontal pressure, J. agric. Engng Res. 22, pp. 55-64
- [9] Mumme, M., and Katzameyer, J., 2008: Mobile test station for the radiometric measurement of density distribution in bales, Landtechnik, 63 (6), pp. 341-343
- [10] Muck, R.E., Holmes, B.J., 2000: Factors affecting bunker silo densities, Applied Engineering in Agriculture, 16 (6), pp. 613-619
- [11] Muck, R.E., Savoie, P., Holme, B.J. s, 2004: Laboratory assessment of bunker silo density, Part I: Alfalfa and grass, Applied Engineering in Agriculture, 20 (2), pp. 157-164
- [12] Perumpral, J.O. 1987: Cone penetrometer application: A review. Trans. ASAE. 30, pp. 939-944
- [13] Pitt, R.E., 1983: Mathematical predication of density and temperature of ensiled forage, Trans. ASAE, 26, pp. 1522-1527
- [14] Pitt, R.E., and Gebremedhin, K.G. 1989: Effects of forage species, chop length, moisture content, and harvest number on tower silo capacity and wall load, J. agric. Engng Res. 44 (3), pp. 205-215
- [15] Roß, F.; Maack, C.; Büscher, W. (2008): Einfluss von Trockenmasse-Gehalt, Lagerungsdichte und Häcksellänge auf das Porenvolumen im Siliergut, Landtechnik (6), S. 344-345
- [16] Savoie, P., Muck, R.E., Holmes, B.J., 2004: Laboratory assessment of bunker silo density, Part II: whole-plant corn, Applied Engineering in Agriculture, 20 (2), pp. 165-171
- [17] Sun, Y., Lin, J., Ma, D., Zeng, Q., Schulze Lammers, P., 2007: Measurement of penetration force using a Hall-current-sensor, Soil & Tillage Research

### Autoren

**Prof. Dr. Wolfgang Büscher** ist Leiter der Abteilung „Verfahrenstechnik der Tierischen Erzeugung“ am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn, E-Mail: buescher@uni-bonn

**Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze Lammers** ist Leiter der Abteilung „Systemtechnik in der Pflanzenproduktion“ am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn, E-Mail: lammers@uni-bonn.de

**Fabian Roß** und **Christian Maack** sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Landtechnik der Universität Bonn

**Prof. Dr. Yuri Sun** ist Leiter des Forschungszentrums für Präzisionslandwirtschaft der chinesischen Universität für Agrarwissenschaften Peking

**Jianhui Lin** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Schule für Technologie der Pekinger Forstwissenschaftlichen Universität, China

**Qiang Cheng** und **Wei Sun** sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Forschungszentrum für Präzisionslandwirtschaft

### Danksagung

Das Projekt wird vom Chinesisch-Deutschen Zentrum für Wissenschaftsförderung (Projekt GZ 4949) gefördert.