

Wolfgang Büscher, Christian Maack, Yuri Sun, Jianhui Lin, Qiang Cheng, Fanjia Meng und Huili Zhang

# Dichteuntersuchungen von Rundballen-Silage mit einem Penetrometer-Prüfstand

Die durchschnittliche Ballendichte kann durch Gewichts- und Volumenmessung relativ einfach bestimmt werden. Um einen genaueren Einblick in die Dichteverteilung zu erhalten sind jedoch andere Messmethoden, z. B. mit einem Penetrometer, erforderlich. Die Messung des Eindringwiderstandes mit einem Penetrometer wurde in einen halbautomatischen Prüfstand integriert. Die Messergebnisse werden während der Messung graphisch dargestellt; die weitere Datenverarbeitung ermöglicht auch eine 3-D-Darstellung der Ballendichte. Das System wurde mithilfe von Vergleichsmessungen an einem radiometrischen Prüfstand des DLG-Testzentrums Groß-Umstadt validiert.

## Schlüsselwörter

Penetrometer, Prüfstand, Dichtedarstellung, Ballenqualität

bale allows a three dimensional view into the bale density. The system was calibrated by parallel measurements with the radiometric test bench of the DLG in Groß-Umstadt and shows in a comparison test similar results.

## Keywords

Penetrometer, test bench, density mapping, bale quality

## Abstract

Büscher, Wolfgang; Maack, Christian; Sun, Yuri; Lin, Jianhui; Cheng, Qiang; Meng, Fanjia and Zhang, Huili

Density distribution research of silage round bales with a penetrometer test bench

Landtechnik 68(1), 2013, pp. 26–29, 7 figures, 7 references

The average density of bales can easily be calculated by mass and volume of the sample. To get a more detailed view to the density distribution of the bale other measurement methods are necessary. One of them can be realised by the use of a penetrometer which has been implemented in a test bench to use the method in a semiautomatic way. The developed software gives the opportunity to visualise the penetration resistance of the cone during the measurement in a two dimensional map. The data processing of the hole

Penetrometer sind als bodenwissenschaftliche Sensoren bekannt, mit denen Dichteunterschiede in Böden detektiert werden. Dabei wird die vertikale Eindringkraft über den Eindringweg gemessen und elektronisch aufgezeichnet. Ausgehend von Dichtemessungen an Rundballen mit klassischen Boden-Penetrometern [1], entstand die Idee, einen Prüfstand zu entwickeln, mit dem eine Person in zwei Stunden ein Dichteprofil eines Silage-Ballen erstellen kann.

Den Bedarf an Prüfständen zur Dichtebestimmung von Rundballen hat auch die DLG-Prüfstelle in Groß-Umstadt erkannt und bietet der Industrie seit dem Jahre 2005 Messungen mit einem Röntgen-Gerät an [2]. Die eigenen mit dem Penetrometer ermittelten Untersuchungsergebnisse wurden 2009 und 2010 mit den Ergebnissen des Röntgen-Prüfstands verglichen: Es konnten nur minimale Messwertunterschiede festgestellt werden. Wir konnten zeigen, dass die mechanische Messung zur Bestimmung der Dichteverteilung in Rundballen mit Penetrometern mit speziellen Vorteilen verbunden ist [3]. Dagegen ist beim radiometrischen Messverfahren ein potenzielles Gesundheitsrisiko durch Gamma-Strahlen-Belastungen für das Prüfpersonal gegeben. Vorteile des Röntgen-Verfahrens liegen in der zerstörungsfreien Prüfung – die Folie wird nicht beschädigt – und der hohen physikalischen Genauigkeit des Messprinzips.

Abb. 1



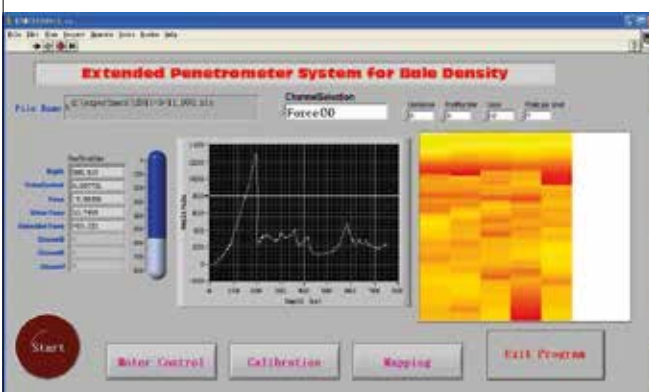
Penetrometer-Prüfstand zur Messung der Lagerungsdichte von Rundballen-Silage in der Seitenansicht. Der Antrieb der Bodenwalzen zur Drehung der Ballen erfolgt von der gegenüberliegenden Seite.  
*Fig. 1: Test bench for measuring the bale density in side view. The bale is rotated by the electric driven roles below. (Foto: Büscher)*

Abb. 2



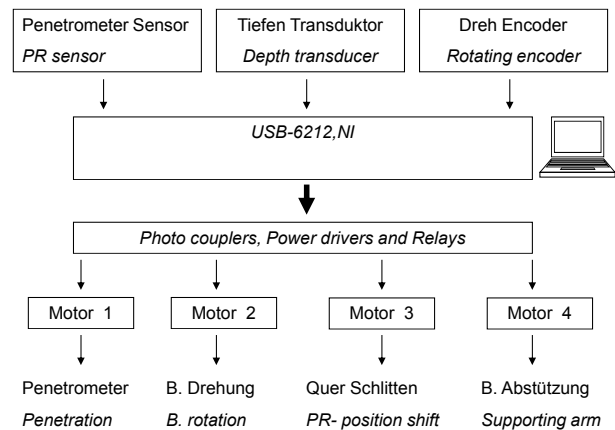
Penetrometer-Prüfstand zur Messung der Lagerungsdichte von Rundballen-Silage in der Vorderansicht.  
*Fig. 2: Penetrometer unit of the test bench in front view (Foto: Büscher)*

Abb. 3



Bedienungsfläche des Messrechners (Screenshot) während einer laufenden Messung. Die aktuellen Kraftwerte an der Messlanze und die zweidimensionale Kartierung werden dargestellt.  
*Fig. 3: User interface of the software during the measurement. The actual force at the cone and the two dimensional mapping is shown*

Abb. 4



Steuerungs-Schaubild des Ballen-Dichteprüfstandes mit seinen wichtigsten Funktionselementen  
*Fig. 4: Schedule of the main functional elements of the test bench*

## Aufbau und Funktionsweise

Seit 2011 verfügt das Institut für Landtechnik der Universität Bonn über einen Penetrometer-Prüfstand (**Abbildung 1**), mit dem man horizontal in das Zentrum von Rundballen einstechen kann. Da der Kraftaufnehmer elektrisch verschiebbar ist und der Ballen elektromechanisch gedreht werden kann, lassen sich Einstiche und Messungen aus jeder Position – auch bei unterschiedlichen Ballendurchmessern – durchführen (**Abbildung 2**). Die Einstechsonde wird mit einem Spindeltrieb horizontal in die Ballenmitte geschoben. Einstiche am Ballen werden sofort wieder luftdicht mit Kunststoff-Klebeband verschlossen.

Die Software protokolliert die Messdaten und erzeugt online Dichteverteilungsgrafiken, die während der Messung in einem Fenster auf der LabView-Oberfläche des Messrechners

erscheinen (**Abbildung 3**). Der Prüfstand ist unter [4] beschrieben und hat sich in den Jahren 2011 und 2012 mit bereits über 80 untersuchten Silageballen sehr gut bewährt [1; 3; 5; 6; 7]. Der Prüfstand ist mit einem Stapler versetzbar, damit auch Messungen auf landwirtschaftlichen Betrieben möglich sind. **Abbildung 1** zeigt den Prüfstand in der Maschinenhalle des Instituts für Landtechnik. Auf dem Bild ist erkennbar, dass der Prüfstand mit elektronischen Wiegefüßen ausgestattet ist, um bei exakt waagerechter Aufstellung die Ballenmasse mit hoher Genauigkeit festzustellen. Über die Geometrie des Ballens lässt sich die durchschnittliche Dichte des gesamten Ballens errechnen. Um den Ballen gegen Wegrollen nach hinten zu schützen, ist ein pneumatischer Zylinder angebracht worden. Der erforderliche Luftdruck wird über einen kleinen, transportablen Kompressor erzeugt.

Bei Penetrometer-Messungen in Silagen ist immer zu prüfen, ob das Substrat so elastisch ist, dass eine Reibung am Schaft des Penetrometers entsteht und Einfluss auf die Messwerte hat. Kennt man die Reibungswirkung, zum Beispiel durch Substratuntersuchungen an Materialprüfmaschinen, kann diese bei der Auswertung der Prüfstanddaten rechnerisch berücksichtigt werden. Der Bonner Ballendichteprüfstand wurde durch eine Sensormodifizierung verändert: Der Kraftaufnehmer wurde direkt an der Spitze des Penetrometers angebracht, damit eine eventuell auftretende Reibung am Schaft keinen Einfluss auf die Messwerte hat. Der Schaft wurde hohl angefertigt, um darin die Datenleitung zu führen. **Abbildung 4** zeigt die Steuerung der elektrischen und elektronischen Funktionselemente des Penetrometers. Der Messbereich des Penetrometers konnte von 1 000 auf 2 000 Newton erhöht werden, um auch höhere Ballendichten erfassen zu können.

### Ergebnisse

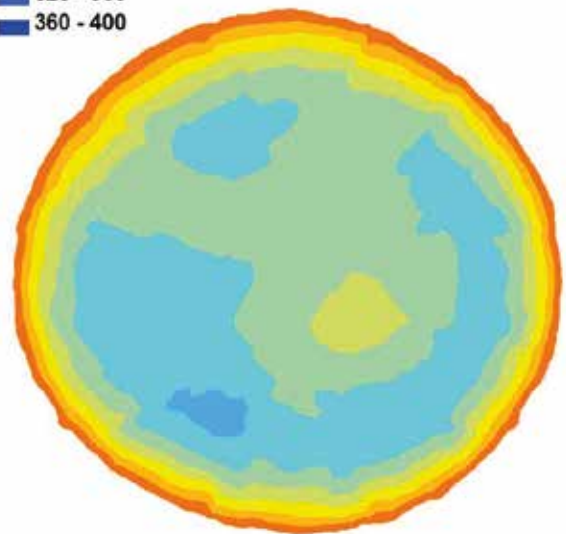
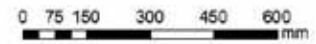
**Abbildung 5** zeigt ein Dichte-Diagramm eines Grassilage-Rundballens, der mit einer Konstant-Kammer-Rundballenpresse (Firma Claas, Typ Rollant 455) gepresst worden ist. Die Pressung ist zur verbesserten Verdichtung der Ballenmitte mit vollem Messersatz, mit vollem Druck (180 bar Öldruck) auf der Rückwand und mit vollem Druck (120 bar Öldruck) des MPS-Werkzeuges erfolgt. Beim MPS-Werkzeug (Maximum Pressure System der Firma Claas) handelt es sich um ein einschwenkbares Rollensegment. Die durchschnittliche Trockenmasse-Dichte dieses Ballens liegt bei  $206 \text{ kg m}^{-3}$  (**Abbildung 6**).

Die Dichteverteilung kann sowohl zweidimensional (**Abbildung 5**) als auch dreidimensional (**Abbildung 7**) dargestellt werden, um z. B. auch räumliche Effekte im Balleninneren abzubilden. **Abbildung 7** zeigt im direkten Vergleich den Einfluss der Messerzahl bzw. der theoretischen Schnittlänge auf das Verdichtungsergebnis: Langgut, das ohne Klinsen verarbeitet worden ist (Ballen 1), wird beim Pressen sehr schwach verdichtet und erzeugt einen extrem lockeren Ballenkern. Dieser Effekt vermindert sich mit kleiner werdenden Partikeln bzw. mit steigender Messerzahl. So ist bei Ballen 2 auf der **Abbildung 7** zu erkennen, dass die Ausdehnung des weichen Kerns wesentlich kleiner ist (gelbe Zone) und die Ballendichte insgesamt deutlich größer ist. Aus diesen Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass das Zusatzaggregat (hier das MPS der Firma Claas) der Konstant-Kammer-Rundballenpresse mit kürzerem Schnittgut offensichtlich eine bessere Verdichtungswirkung in der Ballenmitte erzeugt.

Kritisch sind niedrige Dichten bei trockenen Silagen, weil es unter diesen Bedingungen sehr schnell zur Nacherwärmung und den damit verbundenen Qualitätsveränderungen nach dem Öffnen der Folie kommen kann (**Abbildung 7**). Das Risiko der Nacherwärmung besteht bei einer Erwärmung um mindestens 5 Kelvin durch mikrobielle Umsetzung der Silage, wenn es nach dem Öffnen der Folie zu einer Sauerstoffzufuhr kommt. Deshalb ist eine lockere Lagerung besonders kritisch zu bewerten. Bei einem schlecht verdichteten Material dringt sehr

Abb. 5

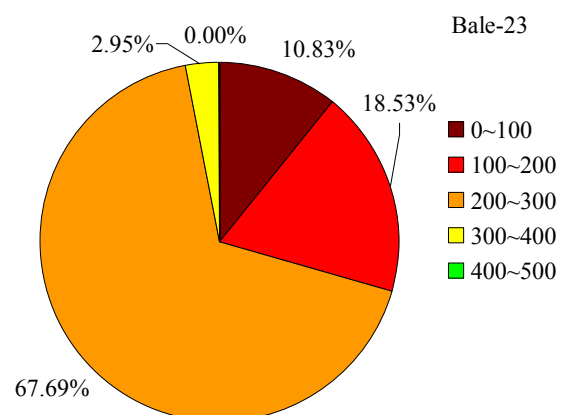
Trockenmasse-Dichte [ $\text{kg m}^{-3}$ ]  
Dry matter density [ $\text{kg m}^{-3}$ ]



Beispiel für die Verteilung der Trockenmasse-Dichte in einem Grassilage-Rundballen

Fig. 5: Example of the density distribution of grass silage in round bales

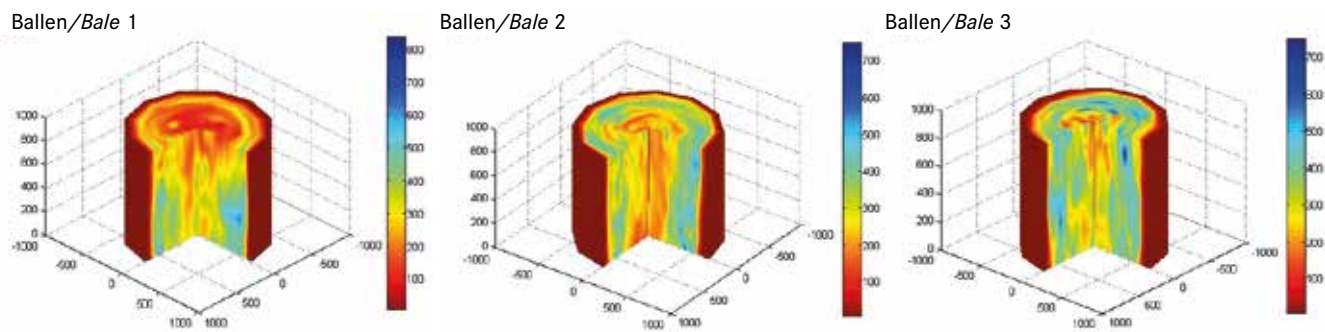
Abb. 6



Relative Verteilung der gemessenen Ballendichte [ $\text{kg m}^{-3}$ ] in fünf Dichteklassen

Fig. 6: Volumetric content [ $\text{kg m}^{-3}$ ] of five different density levels

Abb. 7



Einfluss der Messerzahl auf die Dichteverteilung bei dreidimensionaler Darstellung (Ballen 1: ohne Messer, Ballen 2: mit 12 Klingen, Ballen 3: mit 25 Klingen)

Fig. 7: Effect of the cutting intensity during the crop intake shown at a three-dimensional diagram (bale 1: without blades, bale 2: 12 blades, bale 3: 25 blades)

schnell Sauerstoff in die tieferen Schichten des Futterstocks ein und löst dort unverzüglich einen aeroben, mikrobiellen Abbau der Nährstoffe aus. Die Nacherwärmung spielt keine Rolle, wenn der Ballen als ganze Portion am Tag des Öffnens verfüttert wird. Allerdings kann es bei der Lagerung des geöffneten Ballens oder bei einer Beschädigung der Folie sehr schnell zu einer Erwärmung kommen, die mit Schimmelbildung einhergehen kann. Im schlimmsten Fall kann das Futter verderben und darf – auch aus futtermittelrechtlicher Sicht – nicht mehr verwendet werden, da die Tiere durch die sich bildenden Mykotoxine nachhaltig geschädigt werden können. Es handelt sich bei der Nacherwärmung also nicht nur primär um einen ökonomischen Schaden, sondern auch um ein beträchtliches Gesundheitsrisiko für die Tiere.

### Schlussfolgerungen

Der Silageballen-Dichteprüfstand hat seine Funktionsfähigkeit vielfach unter Beweis gestellt und bietet für die Bewertung und Fortentwicklung von Rundballenpressen eine gute Basis. Aus wissenschaftlicher Sicht ergeben sich neue Möglichkeiten, das Nacherwärmungsrisiko und die Einlagerung von Substraten mit schlechten Siliereigenschaften bei der Rundballen-Verfahrenstechnik zu überprüfen.

Der Prüfstand ist transportabel und somit für den Außeneinsatz geeignet. Lediglich ein Stromanschluss (400 Volt) ist notwendig. Die Genauigkeit der Untersuchungsergebnisse ist hoch und für die gestellten Anforderungen absolut zufriedenstellend; die Ergebnisse dienen

- der Konstruktionsoptimierung von Verdichtungswerkzeugen in Rundballenpressen,
- der Optimierung von Aufbereitungswerkzeugen, Erntebedingungen und Maschineneinstellungen und
- der Risiko-Abwägung für die Nacherwärmung von sensiblen Substraten.

### Literatur

- [1] Sun, Y.; Buescher, W.; Lin, J.; Schulze Lammers, P.; Ross, F.; Maack, C.; Cheng, Q.; Sun, W. (2010): An improved penetrometer technique for determining bale density. *Biosystem Engineering* 105(2), pp. 273–277
- [2] Gläser, M.; Jahnke, W.; Pütz, M.; Mumme, M. (2007): Zerstörungsfreie radiometrische Bestimmung des Dichteverlaufs an Rund- und Quaderballen. *Landtechnik* 62(3), S. 146–147
- [3] Buescher, W.; SUN, Y.; Schulze Lammers, P.; Ross, F.; Maack, C.; Lin, J.; Cheng, Q.; Sun, W. (2009): Verbesserte Dichtebestimmung von Silageballen mit Penetrometern. *Landtechnik* 64(3), S. 187–190
- [4] Meng, F.; Sun, Y.; Buescher, W.; Maack, C.; Cheng, Q.; Berg, A.; Lin, J.; Ross, F.; Zhang, H. (2012): An Extended Penetrometer System for The Map-Based Assessment of Bale Density. *Applied Engineering in Agriculture* 28(3), pp. 449–455
- [5] Sun, Y.; Meng, F.; Buescher, W.; Schulze Lammers, P.; Lin, J.; Ross, F.; Maack, C.; Cheng, Q. (2012): A study to identify and correct friction-induced error of penetration measurement for agricultural materials. *Measurement* 45(5), pp. 829–835
- [6] Sun, Y.; Cheng, Q.; Meng, F.; Buescher, W.; Maack, C.; Ross, F.; Lin, J. (2012): Image-based comparison between a c-ray scanner and a dual-sensor penetrometer technique for visual assessment of bale density distribution. *Computer and Electronic in Agriculture* 82, pp. 1–7
- [7] Schulze Lammers, P.; Sun, Y.; Meng, F.; Buescher, W. (2010): Cone penetration shaft friction – influence of different agricultural materials. *Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering, AgEng 2010, Clermont-Ferrand, France, 6.–8. September 2010, book of abstracts, p. 319*

### Autoren

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

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

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

**Qiang Cheng, Fanjia Meng** und **Huili Zhang** sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Forschungszentrum für Präzisionslandwirtschaft in Peking

### Danksagung

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