

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

# Lagerungsdichte von Silageballen bei unterschiedlichen Presseneinstellungen und Siliergutfeuchten

Der am Institut für Landtechnik der Universität Bonn in Kooperation mit den Kollegen von der China Agriculture University entwickelte Prüfstand wurde bei einem Feldversuch in Metz (Frankreich) zur Dichtemessung an 25 Silageballen verschiedener Varianten eingesetzt. Die Ergebnisse zeigen zum einen Effekte der verwendeten Presstechnik und deren Einstellung, aber auch den erheblichen Einfluss der Silierguteigenschaften. Zur Visualisierung werden die Ergebnisse in Dichtefeldkarten und in Diagrammen zur Beschreibung der Volumenanteile dargestellt.

## Schlüsselwörter

Ballendichte, Penetrometer, Prüfstand, Rundballenpresse, Siliergut

## Keywords

Bale density, penetrometer, testbench, round bale, Silage crop

## Abstract

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

Measuring bale density using a penetrometer test bench at different pressing variants and crop DM

Landtechnik 68(2), 2013, pp. 103–107, 5 figures, 8 references

The density test bench which had been developed in cooperation with the colleagues of the China Agriculture University was used in a field test to measure the density of 25 round bales pressed with different variants of compaction. The results show on the one hand effects of the different press technique and on the other hand the important influence of the silage crop which has to be compacted. To visualise the results the data are used to generate density maps and diagrams which show the volume fractions of different density classes.

Die differenzierte Untersuchung der Lagerungsdichte von Rundballen mit einem halbautomatisch arbeitenden Prüfstand hat sich als praxistaugliche Methode bewährt. Die Auswertung und Darstellung der Messdaten in zwei- und dreidimensionalen Farbkarten ermöglicht einen direkten Einblick in die Dichteverteilung der Rundballen. Auf diese Weise können Effekte der Maschineneinstellung sowie unterschiedliche Eigenschaften des Pressgutes in Versuchsreihen untersucht, dargestellt und bewertet werden. Im Folgenden werden die Effekte verschiedener Einstellungen an einer Festkammerpresse mit zusätzlichem Verdichtungswerkzeug dargestellt.

## Material und Methoden

Für die Untersuchung der Wirkung von Zerkleinerungsgrad und Pressdruckeinstellung wurden im Jahr 2012 im 1. Schnitt 25 Rundballen auf einer Versuchsfläche in Metz (Frankreich) gepresst. Es wurde eine Festkammerpresse vom Typ Claas Rollant 455 und eine vom Typ Rollant 374 verwendet. Schon bei der Futterwerbung wurde darauf geachtet möglichst gleichmäßige Schwaden zu erzeugen, um beim anschließenden Aufnehmen durch die Presse einen gleichmäßigen Gutstrom und somit auch eine gleichmäßige Lagenstärke in der Presskammer zu gewährleisten. Die Lagenstärke beeinflusst bei jeder Rundballenpresse das Verdichtungsergebnis, da die Presswirkung mit zunehmender Lagenstärke abnimmt. Um ein realistisches Ergebnis bezüglich der Verdichtungsleistung der Presse zu erhalten, ist es wichtig, die Presse durch angepasste Fahrgeschwindigkeit auszulasten, aber nicht zu überlasten. Bei zu geringer Antriebsleistung des Schleppers kann sonst die mögliche Pressleistung der Ballenpresse nicht ausgenutzt werden. Dies konnte aber in dem durchgeführten Versuch ausgeschlossen werden. Die Ballen wurden alle im 1. Schnitt hergestellt – mit vorherigem Anwelken des Erntegutes auf einen TM-Gehalt

Abb. 1



Silageballen auf dem Dichteprüfstand mit Kennzeichnung der Messreihen

Fig. 1: Silage Bale at the density test bench and position of the measuring points (Foto: Maack)

um 40 % bzw. auf einen TM-Gehalt über 50 %. Anschließend wurden die Ballen direkt mit 4 Lagen Stretchfolie (dunkelgrün) gewickelt und mit eindeutigen Bezeichnungen für die Versuchsvariante markiert.

Die Dichteuntersuchung wurde erst nach Abschluss der Gärung in der Zeit vom 3. bis 7. September durchgeführt. Die Beprobung wurde direkt am Lagerort der Ballen mit dem Penetrometer-Dichteprüfstand durchgeführt, sodass keine Veränderungen der Ballendichte durch einen langen Transport zu erwarten waren. Die elektromechanische Funktionsweise des Prüfstandes wurde bereits beschrieben [1–7], im Fokus dieses Artikels steht das Messschema für die durchgeführte Dichtemessung.

Zunächst werden die Drehwinkel, an denen die Messreihen nacheinander erfolgen, mit einer Schablone am Ballen markiert und dann während der Messung manuell über die elektrische Drehung des Ballens angefahren. Diese Drehung des Ballens könnte über die Software ebenfalls automatisiert werden, aufgrund der nicht vermeidbaren Abweichungen in der Ballenform könnten die angestrebten Drehwinkel jedoch nicht genau eingehalten werden. Die Messung erfolgt in 12 Messreihen, die wie auf einem Ziffernblatt mit einer Winkeldifferenz von 30° auf dem Ballenumfang angeordnet sind (**Abbildung 1**).

Bei 7 Einstichen pro Messung und 12 Messreihen ergeben sich insgesamt 84 Einstiche pro Ballen. Bei einer Tiefenauflösung von 10 mm und einer Einstichtiefe von 650 mm setzt sich das Dichteprofil eines Ballens aus über 5 400 Einzelmesswerten

zusammen. Eine zweidimensionale Darstellung der Messwerte erfolgt mit der Software Labview direkt während der Messung auf dem Messrechner. Dies stellt eine gute Kontrolle der Messung dar, sodass bei ungewöhnlichen Messwerten auch direkt nach der Ursache gesucht werden kann. Die Datenverarbeitung zu den nachfolgend dargestellten Dichteprofilen der verschiedenen Versuchsvarianten erfolgt offline unter Verwendung der Software ArcView. Durch die geometrische Anordnung der Einstiche vom Mantel in den Kern repräsentieren die einzelnen Messwerte verschiedene Volumenanteile des Ballens. Das Messschema mit 12 Einstichreihen im Abstand von 30° hat sich im Vergleich zu anderen Einstichmustern mit mehr oder weniger Messwerten als vorteilhaft erwiesen, da die Auflösung für eine detaillierte Darstellung des Ballenvolumens ausreicht. Ein Rundballen ist zwar theoretisch durch den Pressprozess radial-symmetrisch aufgebaut, jedoch zeigen sich bei den Messungen häufig auch Differenzen bei unterschiedlichen Drehwinkeln.

### Ergebnisse

Die untersuchten Ballen zeigen einen deutlichen Dichteunterschied in Abhängigkeit von der Maschineneinstellung und des TM-Gehaltes des Siliergutes. Sowohl die Einstellung des Drucks an der Heckklappe als auch der Einsatz des Maximum Pressure Systems (MPS) zeigen eine deutliche Auswirkung auf die durchschnittliche Ballendichte. Die absolut erzielten Dichtewerte sind mit anderen Versuchen nur bedingt zu vergleichen, da das Siliergut am jeweiligen Standort einen wesentlichen Einfluss auf die zu erzielende Dichte hat.

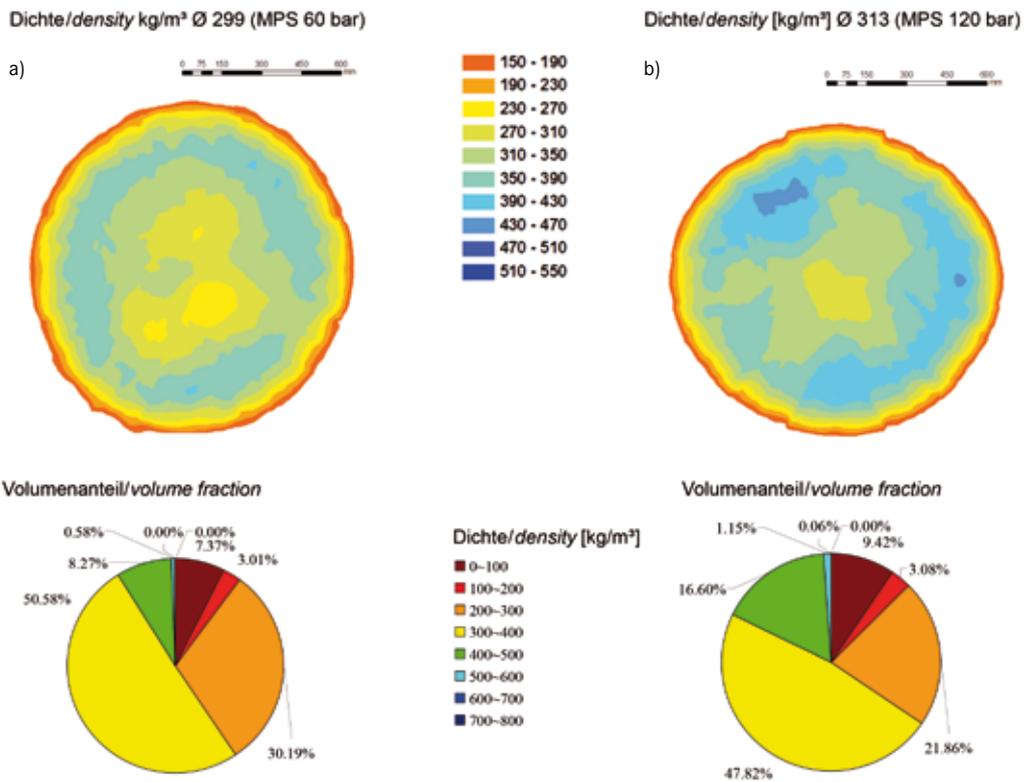
In **Abbildung 2** werden zwei Ballen mit einem TM-Gehalt von ca. 55 % und einer unterschiedlichen Druckeinstellung des MPS verglichen. Im Fall der höheren Druckeinstellung (120 bar) wird eine um ca. 5 % höhere Gesamtdichte im Ballen erzielt.

Die Darstellung der Verteilung über den Ballenquerschnitt zeigt einen kleineren Anteil des Ballenkerns (**Abbildung 2, b**), in dem eine wesentlich verringerte Dichte vorliegt. Die Aufteilung nach Dichteklassen im Kreisdiagramm zeigt eine Verschiebung von Volumenanteilen der Klasse 200–300 zu 300–400 kg/m<sup>3</sup> sowie weiter von 300–400 zu 400–500 kg/m<sup>3</sup>. Die relativ niedrige Dichte im Ballenzentrum ändert sich hingegen wenig.

In **Abbildung 3** ist der gleiche Versuch mit Siliergut der TM um 40 % dargestellt. Die durchschnittlichen Frischmassedichten sind, wie zu erwarten, insgesamt mit Werten von 405 bis 470 kg/m<sup>3</sup> um ca. 30 % höher. Auch beim feuchteren Siliergut ist ein deutlicher Effekt durch die Voreinstellung der Verdichtungswerkzeuge festzustellen. Die durchschnittliche Differenz der Ballendichte ist mit ca. 35 kg/m<sup>3</sup> und 8 % sogar etwas größer als beim Siliergut mit höherer TM.

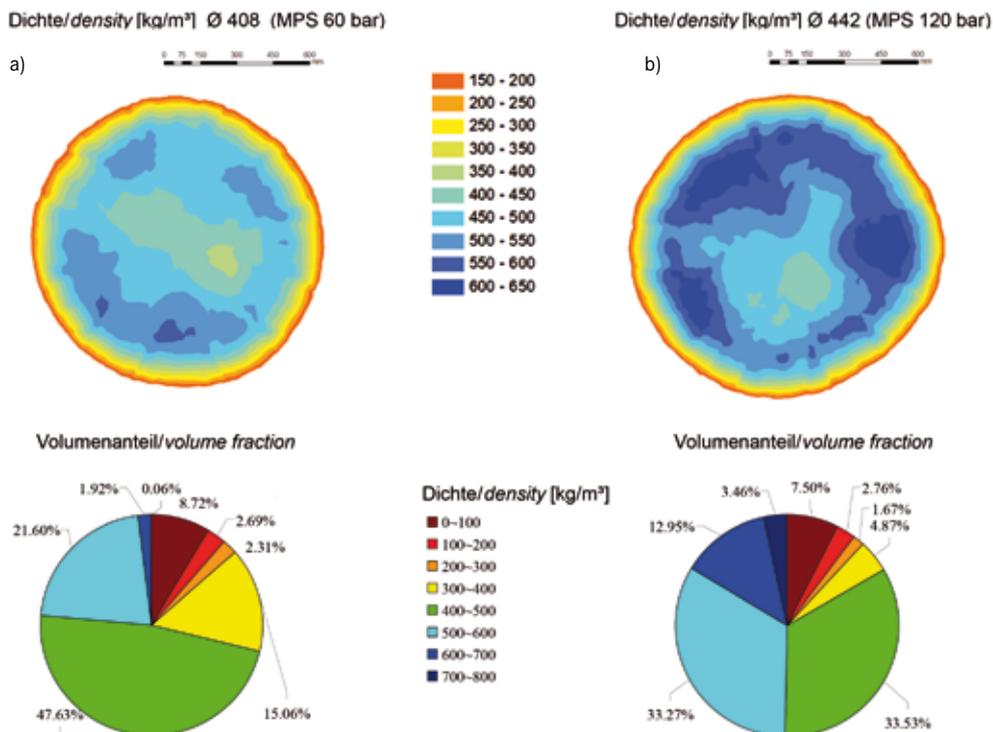
Die Ergebnisse in **Abbildung 2** und **Abbildung 3** bestätigen insgesamt, dass beim Festkammerverfahren im Kern zwar geringere Dichten erzielt werden, zusätzliche Verdichtungswerkzeuge, wie das MPS, diesen Effekt aber verringern können. Es wird auch deutlich, dass die Verdichtungswirkung zum Ballenkern hin bei Anwelkgut mit moderaten TM-Gehalten unter 45 % besser ist als bei stark angewelktem Material.

Abb. 2



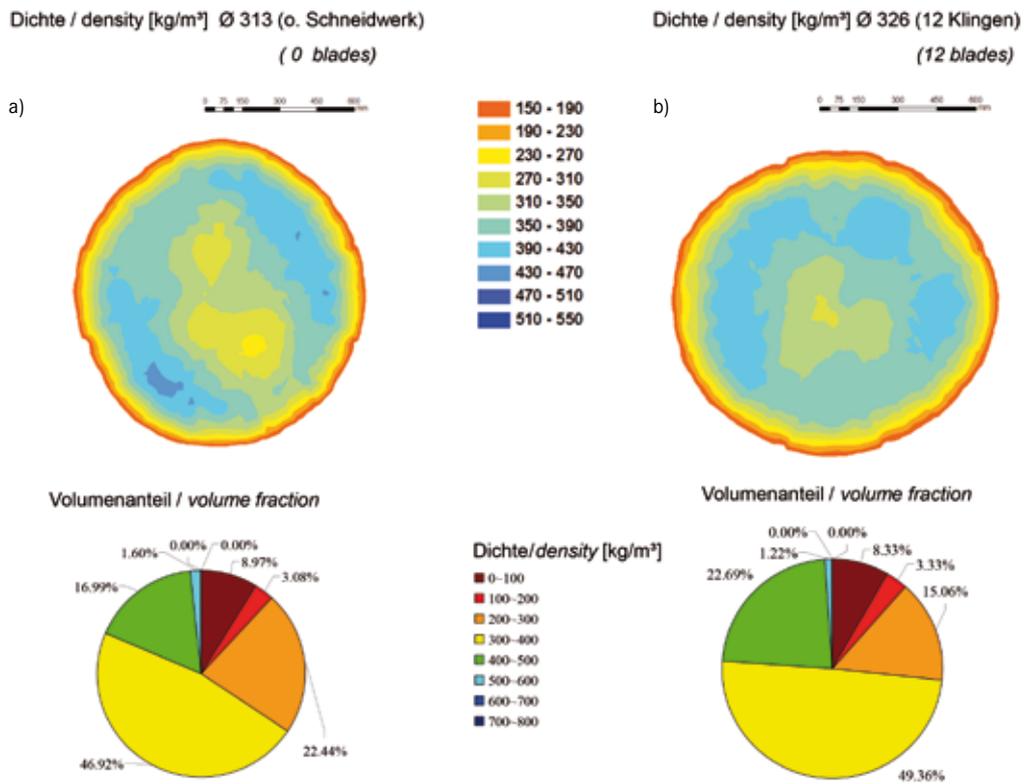
Dichteverteilung im Ballenquerschnitt und Volumenanteile der Dichteklassen a) bei minimaler (60 bar) und b) maximaler Druckeinstellung (120 bar) des MPS, Siliergut 50-55% TM  
 Fig. 2: Density distribution of the bale profile and volume fractions of the different density classes in case of pressing with a) maximal and b) minimal pressure adjustment of the MPS, Silage crop 50-55% DM

Abb. 3



Dichteverteilung im Ballenquerschnitt und Volumenanteile der Dichteklassen a) bei minimaler (60 bar) und b) maximaler Druckeinstellung (120 bar) des MPS, Siliergut 35-45% TM  
 Fig. 3: Density distribution of the bale profile and volume fractions of the different density classes in case of pressing with a) maximal and b) minimal pressure adjustment of the MPS, Silage crop 35-45% DM

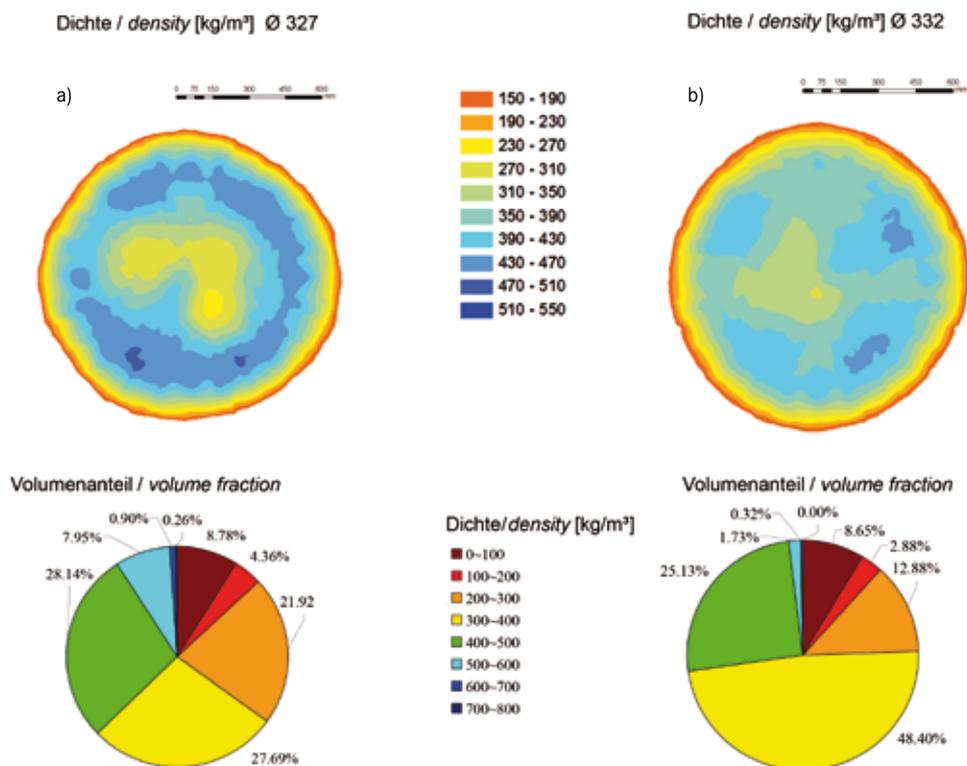
Abb. 4



Dichteverteilung im Ballenquerschnitt und Volumenanteile der Dichteklassen a) ohne Schneidwerk und b) mit Einsatz von 12 Klingen, Siliergut 50-55 % TM

Fig. 4: Density distribution of the bale profile and volume fractions of the different density classes in case of pressing a) with 12 blades and b) without blades, Silage crop 50-55 % DM

Abb. 5



Dichteverteilung im Ballenquerschnitt und Volumenanteile der Dichteklassen bei verschiedenen Pressen a) Rollant 374 und b) Rollant 455, Siliergut 45-55 % TM

Fig. 5: Density distribution of the bale profile and volume fractions of the different density classes in case of two different baler types a) Rollant 374 and b) Rollant 455, Silage crop 45-55 % DM

In **Abbildung 4** ist die Ballendichte bei unterschiedlicher Zerkleinerungsintensität durch das in der Presse eingebaute Schneidwerk dargestellt. Theoretisch verringert die Zerkleinerung der Halme deren Rückstellkräfte während der Verdichtung in der Presskammer. Die Versuchsballen ohne Vorzerkleinerung zeigten eine geringfügig niedrigere Dichte. In anderen Untersuchungen wurden größere Effekte durch die Zerkleinerung mit Schneideinrichtungen beobachtet [8]. Im Versuch wurden nur zwei Ballen ganz ohne Einsatz der Schneideinrichtung gepresst, sodass das Versuchsergebnis nicht ausreichend abgesichert ist.

Die im Vergleich eingesetzte Festkammerpresse vom Typ Claas Rollant 374 ist nicht mit dem zusätzlichen Verdichtungswerkzeug MPS ausgestattet und verfügt nur über eine manuelle Druckeinstellung der Hydraulik an der Heckklappe.

In **Abbildung 5** werden zwei Ballen aus den verschiedenen Pressen verglichen. Die Pressen wurden beide auf maximalen Druck eingestellt. Es sind jedoch unterschiedliche Schneideinrichtungen verbaut, d. h. die Ballen wurden beim Typ 374 mit 16 und beim Typ 455 mit 12 Klingen im Einsatz gepresst.

Die Durchschnittsdichte der Ballen aus den verschiedenen Pressen unterscheidet sich nur sehr wenig. Der Ballen der Rollant 374 weist jedoch vor allem im äußeren Teil hohe Dichten auf, wohingegen der Ballenkern gegenüber dem Ballen der Rollant 455 etwas weicher ist. Die Verteilung zeigt, dass die Verdichtungswerkzeuge eine höhere Kernverdichtung bewirken (**Abbildung 5, b**). Zu beachten ist auch, dass der Ballen mit der Rollant 455 mit höherer Fahrgeschwindigkeit gepresst wurde, was auch die etwas niedrigere Dichte im Ballenmantel erklärt, wo beide Pressen sehr ähnlich arbeiten.

## Schlussfolgerungen

Die differenzierte Messung mit einem Penetrometer-Prüfstand stellt eine funktionierende Methode zur Ermittlung der Ballendichte dar. Unterschiedliche Verteilungen im Ballen, die durch eine reine Bestimmung der Durchschnittsdichte nicht bewertet werden können, werden deutlich abgebildet. Der Prüfstand ist sicher weniger als Prüfmethode zur Bewertung der Arbeitsqualität in der landwirtschaftlichen Praxis geeignet als zur Gewinnung von Erkenntnissen für die Weiterentwicklung der Presssysteme. Der Vergleich der verschiedenen Einstellungen des MPS sowie der Presse ohne MPS zeigen, dass solche zusätzlichen Techniken bei Festkammerpressen den prinzipbedingten Nachteil des weicheren Ballenkerns zwar nicht ganz ausgleichen, aber doch erheblich verringern können.

## Literatur

- [1] 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, pp. 829–835
- [2] 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, pp. 449–455

- [3] 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
- [4] 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, pp. 273–277
- [5] 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*, S. 318
- [6] 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
- [7] Buescher, W.; Maack, C.; Sun, Y.; Lin, J.; Cheng, Q.; Meng, F.; Zhang, H. (2013): Dichteuntersuchungen von Rundballen-Silage mit einem Penetrometer-Prüfstand. *Landtechnik* 68(1), S. 26–29
- [8] DLG (2011): *Praxishandbuch Futterkonservierung 2011 – Futter- und Substratkonservierung*. Frankfurt am Main, DLG-Verlags-GmbH, 8. Auflage, S. 125

## Autoren

**Prof. Dr. Wolfgang Buescher** ist Leiter der Abteilung „Verfahrenstechnik der Tierischen Erzeugung“ und **Dr. Christian Maack** ist wissenschaftlicher 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.