

Manfred Gläser und Wolfgang Jahnke, Potsdam, Marco Pütz, Alpen, und Matthias Mumme, Groß-Umstadt

# Zerstörungsfreie radiometrische Bestimmung des Dichteverlaufs an Rund- und Quaderballen

*Die Leistung einer Rund- oder Quaderballenpresse wird neben anderen Parametern vor allem durch die Dichteverteilung im Ballen definiert. Bislang konnte gerade dieser Parameter nicht zerstörungsfrei ermittelt werden. Daher wurde eine zur radiometrischen Dichtermittlung über dem Querschnitt von Kompaktrollen-Scheiben [1] angewendete Methode auch an konventionellen Rund- und Quaderballen im Rahmen eines Vergleichstests mit sechs Rundballenpressen erfolgreich erprobt [2].*

Dr. rer. nat. habil. Manfred Gläser war bis 1992 Mitarbeiter am ATB in Potsdam-Bornim.  
Dipl.-Ing. agr. (FH) Marco Pütz war bis zum 31.12.2005 als Projektleiter im DLG-Testzentrum in Groß-Umstadt beschäftigt und ist seitdem Mitarbeiter im Marketing der Fa. Lemken, Alpen.  
Dipl.-Ing. Wolfgang Jahnke war bis zum 31.12. 2004 als Messingenieur im Testzentrum der DLG, Außenstelle Potsdam-Bornim, beschäftigt und arbeitet seitdem bei der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung Berlin (BAM).  
Dipl.-Ing. agr. (FH) Matthias Mumme ist Projektleiter für Technik in der Grünfütterernte, Bodenbearbeitung und Saat im DLG-Testzentrum Technik & Betriebsmittel, Max-Eyth-Weg 1, 64823 Groß-Umstadt; e-mail: [M.Mumme@dlg.org](mailto:M.Mumme@dlg.org)

## Schlüsselwörter

Quaderballen, Rundballen, radiometrische Dichtemessung

## Keywords

Square bale, round bale, radiometric density determination

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 07304 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

Die mittlere Dichte von Rund- und Quaderballen liegt bei Stroh und Heu aufgrund des hohen Anteils an Trockensubstanz zwischen 100 und 200 kg/m<sup>3</sup> Feuchtmasse, während sie bei Anwelksilage Werte bis 600 kg/m<sup>3</sup> erreicht. Neuentwicklungen der Pressenhersteller lassen zukünftig im Stroh zum Teil deutlich höhere Werte erwarten, um die maximale Zuladung von Transporteinheiten zu erreichen. Für Anwelksilage ist mit keinem weiteren Anstieg der Pressdichte zu rechnen, da dies den Umgang mit Silageballen erschweren würde.

In Voruntersuchungen wurden Quaderballen in drei Ebenen über der Höhe und in Abständen von etwa 20 cm in Längsrichtung abgetastet. Rundballen wurden in axialer Richtung ebenfalls in mehreren Ebenen durchstrahlt. Die Schichtdicke lag zwischen 70 und 120 cm. Zukünftig sollen Rundballen auch radial gemessen werden, so dass hier gemäß den aktuellen Maßen Schichtdicken bis zu 200 cm auftreten können.

## Vorbetrachtungen

Die radiometrische Dichtebestimmung ist ein in der Industrie häufig eingesetztes Verfahren zur Produktions- und Qualitätskontrolle. In Abhängigkeit von Material und Schichtdicke werden jedoch unterschiedliche Strahlenarten- und Energien verwendet, um die optimale Messempfindlichkeit zu erreichen.

Aufgrund der nahezu konstanten stöchiometrischen Zusammensetzung ist der Materialeinfluss pflanzlicher Stoffe auf die Strahlenschwächung zu vernachlässigen [2, S. 107-110], so dass für die in Frage kommenden Gutarten der gleiche Schwächungskoeffizient gilt.

Die Strahlenschwächung erfolgt exponentiell und lässt sich wie folgt berechnen:

$$I = I_0 \exp. (-\mu/\rho \cdot d)$$

Hierin bedeuten:

I: Impulsrate mit schwächendem Material

I<sub>0</sub>: Impulsrate ohne schwächendes Material

$\mu/\rho$ : Massenschwächungskoeffizient

d: Flächenbezogene Masse (= Dichte • Schichtdicke)

Extremwertbetrachtungen ergeben, dass für  $\mu/\rho \cdot d = 1$  eine maximale Messempfindlichkeit erreicht wird. Mit der vorgegebenen mittleren flächenbezogenen Masse d der Quaderballen in Durchstrahlungsrichtung:

$$150 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,7 \text{ m} = 105 \text{ kg/m}^2$$

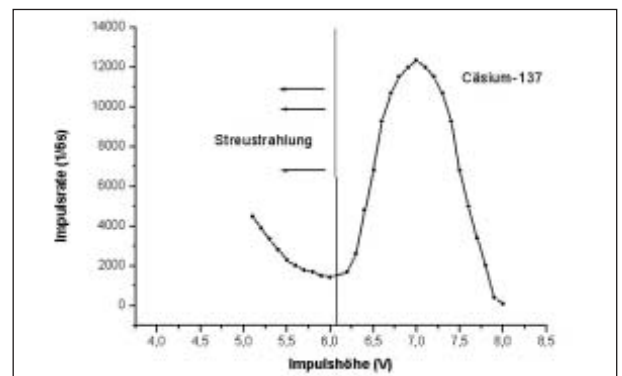
ergibt sich danach zum Erreichen einer maximalen Messempfindlichkeit, also den Bereich, in dem die Strahlenschwächung am empfindlichsten auf eine Veränderung der Dichte reagiert, ein Massenschwächungskoeffizient von etwa 0,0095 m<sup>2</sup>/kg.

Vergleicht man die für radiometrische Dichtemessungen geeigneten Nuklide, so liegt Cäsium<sup>137</sup> mit seinen Massenschwächungskoeffizienten für pflanzliche Stoffe in unmittelbarer Nähe dieses Wertes. Für Stroh und Heu beträgt der experimentell ermittelte Massenschwächungskoeffizient:  $\mu/\rho = 0,00815 \text{ m}^2/\text{kg}$  [2, S. 110].

Damit kommt für die Dichtemessung an den vorgegebenen Pressballen das gammaaktive Radionuklid Cäsium<sup>137</sup> in umschlossener Form in Frage. Die Gammastrahlung dieser Quelle hat eine Energie von 662 keV und eine Aktivität von  $2,8 \cdot 10^8 \text{ Bq}$ . Diese Abschätzung wird von der Fa. Berthold-Technologies, Bad Wildbad, in einem Lieferumfang bestätigt [3]. Für deutlich höhere flächenbezogene Massen sinkt die

Bild 1: Gammaenergiespektrum von Cäsium<sup>137</sup> mit Diskriminatorspannung bei ~ 6 V

Fig. 1: Gamma energy spectrum of Caesium<sup>137</sup> with discriminatory voltage of ~ 6 V



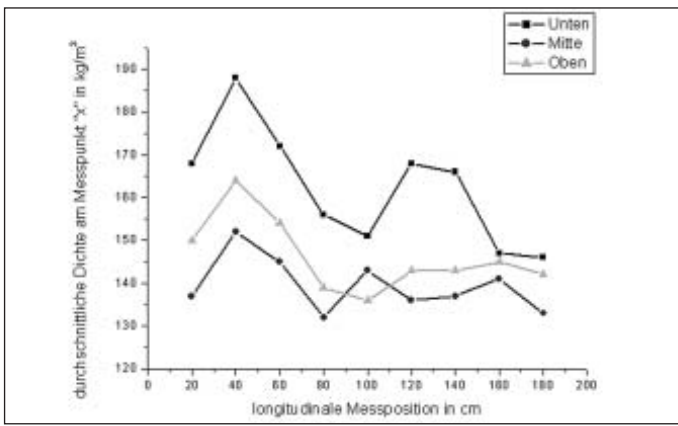


Bild 2: Dichteverteilung in drei Ebenen in einem Strohquaderballen

Fig. 2: Density allocation in three levels of a straw square bale

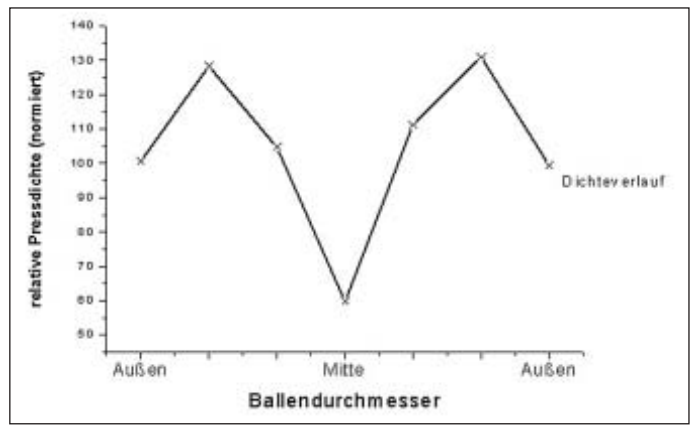


Bild 3: Beispiel für einen typischen axialen Pressdichteverlauf in einem Festkammer-Rundballen (Stroh)

Fig. 3: Typical axial density allocation for a constant-room round bale (straw)

Mesempfindlichkeit, so dass mit längeren Messzeiten zu rechnen ist. Eine Steigerung der Mesempfindlichkeit wäre in diesen Bereichen durch den Einsatz höherenergetischer Strahlung anderer Nuklide möglich.

### Kalibrierung

Der oben angegebene Massenschwächungskoeffizient ist nur für die direkt von der Quelle in den Detektor gelangende Strahlung gültig. Einfallende, in der Umgebung (auch im schwächenden Medium) gestreute Strahlung verfälscht diese Gesetzmäßigkeit. Zur Eliminierung der Streustrahlung werden die gegenüber den Impulsen der Direktstrahlung niedrigeren Impulse der niederenergetischen Streustrahlung durch eine Diskriminatorschwelle elektronisch unterdrückt (Bild 1).

Da in der Berechnung als Unbekannte lediglich die flächenbezogene Masse  $d$  auftritt und es möglich ist, die Streustrahlung elektronisch zu eliminieren, kann über das Verhältnis der Impulsraten und unter Einbeziehung der durchstrahlenden Schichtdicke die (mittlere) Dichte in jeweils durchstrahlten Bereich ermittelt werden. Zur Kontrolle wird für jede Schichtdicke zusätzlich durch Messung von zwei Kalibrierrohren mit bekannter mittlerer Dichte eine Kalibrierkurve erstellt.

### Auswertung der Versuche

Unter Verwendung des Massenschwächungskoeffizienten  $\mu/\rho$  für pflanzliche Stoffe, speziell für Stroh und Heu, der zu durchstrahlenden Schichtdicke  $d$ , sowie nach Abzug der Nulleffekt-Impulsraten ( $I_{00} = 43/6s$ ) von den Impulsraten je Position ergibt sich aus dem Schwächungsgesetz fol-

gende Zahlenwertbeziehung für die Berechnung der Dichten je Position:

$$\rho = \frac{\ln(I_0 - I_{00}) - \ln(I - I_{00})}{0,00571} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Die errechneten Dichten sind dann in einer Schnittdarstellung an den jeweiligen Positionen eingetragen worden (Bild 2 und 3). Es zeigt sich, dass die Dichteverteilung in Pressrichtung Gradienten aufweist.

Eine Bestätigung für die hohe Genauigkeit der Messungen liefert der Vergleich der wägetechnisch und radiometrisch bestimmten mittleren Dichten (Tab. 1).

Die geringe Differenz zwischen den radiometrisch und wägetechnisch ermittelten absoluten Dichten lässt vermuten, dass die ermittelten Einzeldichten über die Quaderlänge den tatsächlichen Dichten entsprechen.

### Praxisversuche

Bei Rundballenpressen mit variabler Presskammer wurde diese Methode zur zerstörungsfreien Dichtebestimmung erstmalig im Rahmen eines Vergleichstests im Feldversuch eingesetzt [4]. Bekanntlich kann der innere Aufbau solcher Ballen abhängig von Presstechnik- und Einstellung sehr unterschiedlich sein. Mit dem neuen Messverfahren der DLG ist es nun möglich, einen Ballen Schicht für Schicht zu durchstrahlen und den Dichteverlauf von der Ballenmitte nach außen zu bestimmen.

Es zeigt sich, dass die Dichte in allen Fällen vom Ballenkern nach außen hin zunächst zunimmt und nach einem Maximum in der Radiusmitte nach außen hin wieder abfällt (Bild 3). Die ermittelten Werte lassen einen guten Vergleich der unterschiedlichen Rundballenpressen im Hinblick auf den Dichteverlauf zu.

Tab. 1: Wägetechnisch und radiometrisch bestimmte mittlere Ballendichten

Gutart	Wägetechnisch bestimmte mittlere Dichte kg/m³ TS	Radiometrisch bestimmte Dichte kg/m³ TS
Quaderballen Heu	164,8	159
Quaderballen Stroh	115,4	116,8

Table 1: Average bale densities determined by weighing and radiometrically measured

### Schlussbemerkung und Ausblick

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass das radiometrische Dichtemessverfahren für die Messung an Rund- und Quaderballen geeignet ist und die notwendige Empfindlichkeit aufweist. Dies zeigt auch der Vergleich zwischen wägetechnisch und radiometrisch bestimmter mittlerer Ballendichte.

Die Feldversuche haben die Eignung der Methode belegt. Eine weitere Rationalisierung des Messvorgangs wird durch einen von der DLG in diesem Jahr entwickelten mobilen Dichtepfprüfstand erreicht, welcher es ermöglicht, den Ballen durch Drehen oder Kippen auch in einer zweiten Dimension zu durchstrahlen. Dabei soll der Messvorgang weitestgehend automatisiert werden, so dass die Vorrichtung abhängig von den Ballenmaßen selbständig vorgegebene Messpunkte abfährt und die ermittelten Werte speichert. Darüber hinaus wird durch die Einbindung bildgebender Software eine umfassende grafische Darstellung möglich.

Die Autoren danken dem Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim für die Bereitstellung des Zubehörs für die experimentellen Voruntersuchungen, dem Isotopenlabor des Instituts für Landtechnik der Universität München für die Überlassung von Strahlenquelle und Messtechnik sowie Herrn Marquart vom Radiometrie-Service Bitterfeld für die messtechnische Beratung.

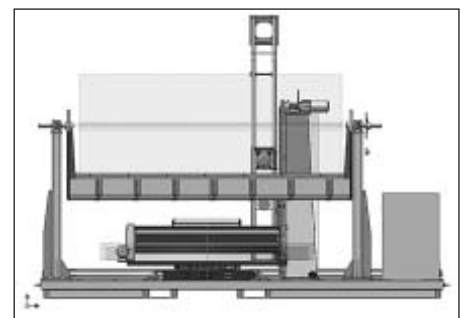


Bild 4: Mobiler Dichtepfprüfstand der DLG für zweiseitige Durchstrahlung von Rund- und Quaderballen

Fig. 4: Mobile density test stand of the DLG for bilateral irradiation of round and square bales