

Thomas Hoffmann, Sabine Geyer, Jürgen Bittner, Robert Kögler und Mirko Schima

Online-Bestimmung der Siliergutdichte mit Radiometrie

Zum Lagern von Anwelkgras oder Maishäcksel im Fahrsilo muss das Pflanzenmaterial im Silo verdichtet werden. Bei einer zu geringen Verdichtung können hohe Silageverluste entstehen. Ziel der Untersuchungen war es, eine Messeinrichtung zu entwickeln, mit der beim Festfahren die aktuell vorhandene Siliergutdichte bestimmt werden kann. Das Messverfahren beruht auf der radiometrischen Dichtemessung mittels Gammastrahlen im Rückstreuverfahren. Für den Einsatz im Fahrsilo wird die Messeinrichtung in einem Messrad hinter dem Walzschlepper geführt. Zusammen mit Koordinaten eines Differential Global Positioning System (DGPS) können die Dichtewerte konkreten Positionen im Silo zugeordnet werden.

Schlüsselwörter

Silage, Verdichtung, Radiometrie, Fahrsilo

Keywords

Silage, compression, radiometry, bunker silos

Abstract

Hoffmann, Thomas; Geyer, Sabine; Bittner, Jürgen; Kögler, Robert and Schima, Mirko

Online-determination of silage density by radiometry

Landtechnik 68(4), pp. 256–258, 4 figures, 7 references

In order to store wilted grass or chopped maize in bunker silos the ensiled material must be compacted. High losses can occur if the compaction is too low. The aim of the project was to develop a measuring device to determine the density of the ensiled material during the compaction drives. The measuring method is based on the radiometric density determination by backscattered gamma-photons. For use in practice the developed measuring device is mounted in a measuring wheel behind the compaction vehicle. In conjunction with data from a Differential Global Positioning System (DGPS), the density values can be related to certain positions in the silo.

werden zum Bestimmen der Siliergutdichte Spezialbohrer oder Siloblocksneider eingesetzt. Die Siliergutdichte ergibt sich aus dem entnommenen Volumen und der zugehörigen Masse und wird erst nach der Lagerperiode bei der Entnahme des Gutes ermittelt. Der Landwirt hat bislang aber keine Möglichkeit, die Siliergutdichte während der Verdichtungsfahrt zu messen. Aktuelle Arbeiten haben das Ziel, mit einem Laser-Theodolit die Volumenzunahme von Siliergut bei der Befüllung von Fahrsilos zu messen [1]. Die mittlere Siliergutdichte kann für einen bestimmten Bereich berechnet werden, wenn die eingelagerten Massen bekannt sind.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, eine Messeinrichtung für die Online-Dichtemessung zu entwickeln, die während der Verdichtungsfahrt zum Einsatz kommt. Nach vorangegangenen Untersuchungen [2; 3; 4] wurde die radiometrische Dichtemessung mittels Gammastrahlen als Messprinzip gewählt.

Versuchsaufbau

Basis der Messeinrichtung ist ein Cäsium-Strahler Cs-137 (662 KeV) mit einer Aktivität von 37 MBq und ein Natriumjodid-Szintillationsdetektor. Die Messungen beruhen auf dem Rückstreuverfahren, bei dem Gamma-Photonen in das Siliergut eingestrahlt werden. Treffen die eingestrahlten Photonen auf Elektronen der Atome, so ändern sie ihre Bewegungsrichtung. Ein Teil der Photonen wird derart gestreut, dass sie reflektiert werden und auf dem Detektor auftreffen. Der Detektor zählt die auftreffenden Photonen und gibt die Anzahl als Impulsrate (1/s) an.

Im Technikum wurden zunächst die optimale Anordnung von Quelle und Detektor und die Eindringtiefe der Gammastrahlung in das Messgut ermittelt [5]. Darauf aufbauend wurde ein Messrad zur Aufnahme von Quelle und Detektor entwickelt, mit dem über das Silo gefahren werden kann (**Ab-**

■ Beim Einlagern von Anwelkgras oder Maishäcksel in Fahrsilos muss das Siliergut durch Festfahren ausreichend verdichtet werden, um Silageverluste zu vermeiden. Gegenwärtig

Abb. 1



Messrad mit Cäsium-Quelle und Detektor
 Fig. 1: Measuring wheel with Caesium source and detector
 (Foto: Geyer, ATB)

bildung 1). Die Konstruktion, bei der das Messrad über einen Dreipunkt-Heckanbau mit dem Schlepper verbunden wird, ist straßentauglich. Das Messrad hat einen Durchmesser von 1 m und eine Baubreite von 0,4 m. Die Mantelfläche des Messrads besteht aus 5 mm Aluminiumblech, damit beim Durchstrahlen möglichst wenige Gamma-Photonen absorbiert werden.

Die radiometrische Messeinrichtung wurde an den Walzschlepper angebaut und anhand natürlicher Rohstoffe mit bekannter Dichte kalibriert. Dieses Verfahren eignet sich, da sich organische Materialien in ihrer stöchiometrischen Zusammensetzung ähneln und damit auch ähnliche Massenschwächungskoeffizienten aufweisen [6; 7]. Die verwendeten Materialien waren Hanfschäben, Balsa-, Fichten- und Eichenholz sowie Hafer- und Roggenkörner. Bei jedem Material wurden 100 Einzelwerte aufgenommen, wobei ein Einzelwert die Impulsrate der rückgestreuten Photonen angibt.

Das Messrad wurde 2011 und 2012 insgesamt 8-mal auf Fahrtilos bei Maishäcksel und Anwelkgras getestet. Die Messfahrten wurden immer zusammen mit den Walzfahrzeugen der landwirtschaftlichen Betriebe durchgeführt.

Für die Messwerterfassung und -auswertung wurde eine spezielle Software entwickelt. In Verbindung mit Daten eines Differential Global Positioning System (DGPS) konnten die Dichtewerte konkreten Positionen im Silo zugeordnet werden.

Ergebnisse

Die Kalibrierung bei verschiedenen organischen Materialien und Wasser ergibt einen quadratischen Zusammenhang zwischen der vorgegebenen Gutdichte und der Impulsrate (Gleichung 1).

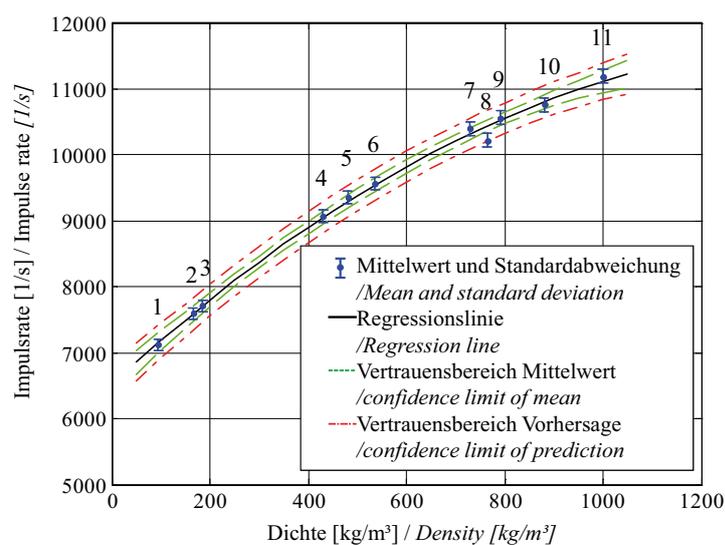
$$I = -0,002677 \cdot \rho^2 + 6,7956 \cdot \rho + 6193,1465 \quad (\text{Gl. 1})$$

$$r^2 = 0,99$$

mit I Impulsrate (s⁻¹)
 ρ Dichte (kg m⁻³)
 r² Bestimmtheitsmaß (-)

Die Kalibrierkurve zeigt mit zunehmender Dichte eine zunehmende Impulsrate, dies weist auf eine steigende Anzahl an rückgestreuten Gamma-Photonen hin (**Abbildung 2**). Der Grund hierfür ist, dass sich im Messgut dichteabhängig Streu- und Absorptionsvorgänge überlagern [3]. Im vorliegenden Messbereich überwiegt die auf der Compton-Streuung beruhende Rückstreuung. Mit zunehmender Materialdichte ist eine höhere Anzahl an Atomen im Gut vorhanden und damit

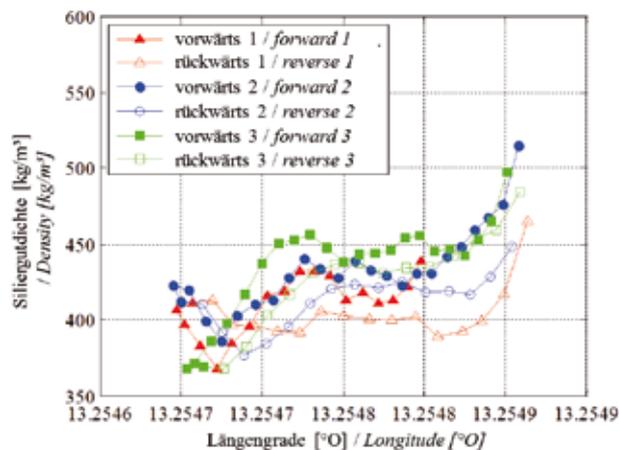
Abb. 2



Kalibrierkurve mit Vertrauensbereichen für die radiometrische Dichtemesseinrichtung: 1 Balsaholz, geringe Dichte, 2 Hanfschäben, 3 Balsaholz, hohe Dichte, 4 Fichte, naturell, 5 Hafer, aufgelockert, 6 Hafer, verfestigt, 7 Roggen, aufgelockert, 8 Eiche, 9 Roggen, verfestigt, 10 Fichte, gepresst, 11 Wasser

Fig. 2: Calibration curve with confidence areas for the radiometric density measuring device: 1 balsa, low density, 2 hemp shives, 3 balsa, high density, 4 spruce, natural, 5 oats, loosely poure, 6 oats, firmly tapped, 7 rye, loosely poured, 8 oak, 9 rye, firmly tapped, 10 spruce, compressed, 11 water

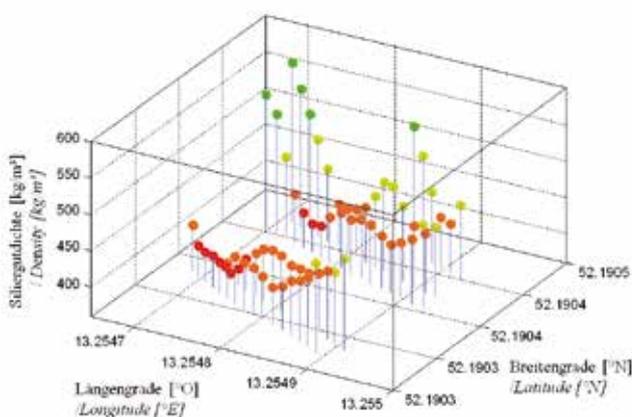
Abb. 3



Dichteverläufe bei drei aufeinanderfolgenden Vor- und Rückwärtsfahrten in einer Spur bei Anwelkgras

Fig. 3: Density curve for three consecutive forward and reverse trips in one track for wilted grass

Abb. 4



Darstellung der gemessenen Siliergutdichte in Abhängigkeit von den Längen- und Breitengraden in einem Fahrsilo mit Anwelkgras

Fig. 4: Measured silage density as a function of longitudes and latitudes on a bunker silo with wilted grass

auch eine höhere Anzahl an Elektronen, folglich werden mehr Gamma-Photonen zurückgestreut.

Bei Verdichtungsfahrten auf dem Fahrsilo ist ein Dichtezuwachs zu erkennen, wenn eine Fahrspur mehrmals hintereinander überfahren wird (**Abbildung 3**). Das Messsystem ist damit in der Lage, den Verdichtungseffekt bei wiederholten Überrollungen in einer Fahrspur zu ermitteln. Infolge der Rückdehnung des Gutes wird beim Rückwärtsfahren eine geringere Dichte gemessen als beim Vorwärtsfahren.

Durch eigene Vorversuche zur Eindringtiefe der Gammastrahlen ist bekannt, dass bei einem Gut mit hoher Dichte von 760 kg/m^3 bezogen auf die Frischmasse Dichteunterschiede in bis zu 10 cm Tiefe erfasst werden [5]. Für die Verdichtungsfahrten im Fahrsilo leitet sich daraus ab, dass die ermittelten

Dichtewerte der oberen Gutschicht zuzuordnen sind, die gerade verdichtet wird.

Unter Verwendung der Längen- und Breitengrade können die Verdichtungsfahrten räumlich dargestellt werden (**Abbildung 4**). Zur besseren Übersichtlichkeit wird nur die jeweils letzte Fahrt abgebildet. Die erreichten Dichten werden über eine farbliche Abstufung der Messpunkte bewertet: von Rot (für eine zu geringe Dichte) nach Grün (für ausreichend verdichtetes Siliergut). Grundsätzlich zeigt sich, dass die Dichtewerte in Abhängigkeit von der Position stark variieren.

Schlussfolgerungen

Durch die Anordnung von Quelle und Detektor in einem nachgeführten Messrad kann die Siliergutdichte beim Fahren online gemessen werden. In Verbindung mit Daten eines Differential Global Positioning System (DGPS) wird eine Zuordnung der Dichtewerte zu bestimmten Positionen im Silo erreicht. Somit sind die Voraussetzungen für eine Dichtekartierung der Silooberfläche gegeben.

Mit der Dichte-Positionszuordnung und einer geeigneten Software kann dem Fahrer des Walzfahrzeugs prinzipiell ein Hilfsmittel zur Steuerung seiner weiteren Fahrten zur Verfügung gestellt werden.

Literatur

- [1] Tölle, R.; Hahn, J. (2013): Verdichtung als Grundlage guter Silagequalität. In: Logistik rund um die Biogasanlage. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.), KTBL-Schrift 498, S. 74–83
- [2] Kuhn, E. (1976): Die Aussagefähigkeit radiometrischer Messungen zur Bestimmung der mittleren Gärfutterdichte in Horizontalsilos. Agrartechnik 26(11), S. 532–533
- [3] Gläser, M.; Kuhn, E. (1997): Forschungssonde für die Dichtemessung an landwirtschaftlichen Gütern. Agrartechnische Forschung 3(1), S. 44–51
- [4] Füll, C.; Schemel, H.; Köppen, D. (2008): Prinziplösungen für die Dichtemessung in Siliergütern. Landtechnik 63(2), S. 94–95
- [5] Geyer, S.; Hoffmann, T. (2012): Metrological prerequisites for determination of silage density compacted in a bunker silo using a radiometric method. CIGR ejournal 14(4), pp. 134–143
- [6] Gläser, M. (1992): Grundlagenuntersuchungen zur radiometrischen Bestimmung der Masse geförderter Güter, insbesondere in der landwirtschaftlichen Forschung und Praxis. Forschungsberichte VDI Reihe 14, Düsseldorf, VDI-Verlag GmbH
- [7] Macedo, A.; Vaz, C. M. P.; Pereira, J. C. D.; Naime, J. M.; Cruvinel, P. E.; Crestana, S. (2002): Wood density determination by X- and Gamma-ray Tomography. Holzforschung 56(5), S. 535–540

Autoren

Dr. Thomas Hoffmann ist Leiter und **Dr.-Ing. Sabine Geyer** ist Mitarbeiterin der Abteilung „Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung“ im Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (Wissenschaftlicher Direktor: **Prof. Dr. habil. Reiner Brunsch**), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, E-Mail: thoffmann@atb-potsdam.de

Dipl.-Ing. Jürgen Bittner ist Geschäftsführer der RGI-Industriemessgeräte GmbH, Beermis 15, 75323 Bad Wildbad

Dipl.-Ing. Robert Kögler ist Mitarbeiter der WTK Elektronik GmbH, Bischofswerdaer Str. 37f, 01844 Neustadt

Mirko Schima ist Geschäftsführer der FDM Zerspanungstechnik, Leipziger Straße 109a, 14929 Treuenbrietzen