

Christian Fürll, Hartmut Schemel, Thomas Hoffmann

Logistik der Silageeinlagerung bei hohen Masseströmen

Neben den stofflichen Eigenschaften der Siliergüter haben verfahrenstechnische Parameter bei Ernte und Einlagerung einen großen Einfluss auf die Qualität und die Verluste der Silage. Der vom Feld kommende Massestrom muss beim Einlagern in Horizontalsilos am Silo unverzüglich abgenommen, im Silo verteilt, ausreichend verdichtet und danach so zugedeckt werden, dass kaum noch ein Gasaustausch erfolgt. Die Entwicklung der Erntetechnik hat in den letzten Jahren dazu geführt, dass bei den vorhandenen Silos hohe Masseströme kaum noch abgenommen und vor allem ausreichend verdichtet werden können. Da aus naturwissenschaftlichen Gründen die erforderliche Dichte durch das Festverfahren mit Traktoren nur durch eine Mindestverdichtungszeit zu erreichen ist, muss in Abhängigkeit vom Massestrom eine entsprechend große Zahl von Verdichtungseinheiten eingesetzt werden. Dazu muss das jeweilige Silo aber auch über eine entsprechende Silobreite verfügen.

Schlüsselwörter

Logistik, Silagelagerung, Silagesilos

Keywords

Logistic, silage storage, silage silos

Abstract

Fürll, Christian; Schemel, Hartmut and Hoffmann, Thomas

Logistics of the silage storage at high mass flows

Landtechnik 64 (2009), no. 3, pp. 168 - 171,
2 figures, 1 table, 12 references

The material properties of the raw material and the process parameters during harvesting and filling of the bunker silo have a great influence over the quality and the losses of the silage material. The mass flow from the field has to be filled in the silo, compressed and covered in such a way that the gas exchange will be very low. The harvest technology developed during recent years does not allow to process high mass flow and to compress the material sufficiently. From a physical point of view a required density of the ensiled material can only be realised by wheel tractors for an adequate compression time. Therefore, a high number of tractors would be necessary depending on the mass flow. In addition, the silo must have an appropriate width.

Die Silagequalität ist eine wichtige Voraussetzung für die Leistung und die Gesundheit der Tiere. Hochwertige Silagen sind des weiteren die beste Gewähr für die Produktion gesunder Lebensmittel. Ökonomische Auswirkungen haben Trockenmasseverluste, die bei unsachgemäßer Silagebereitung auftreten. Neben der Verwendung in der Tierfütterung gewinnen Silagen inzwischen immer mehr Bedeutung als Rohstoff in der Biogaserzeugung und zukünftig eventuell auch in der Kraftstoffproduktion. Die Qualität der Silagen wird sowohl durch das Erntegut als auch durch verfahrenstechnische Parameter beeinflusst. Wichtige verfahrenstechnische Parameter für die Silagequalität sind die Erntetechnik, das Einlagern und Verdichten, das Silierverfahren, die Zudeckung und die Entnahme. Eine besondere Rolle spielen die Masseströme bei der Ernte, beim Einlagern und Entnehmen. Sie müssen innerhalb der logistischen Kette so aufeinander abgestimmt sein, dass eine optimale Silagequalität erzielt wird.

Grundsätze der Logistik

Um Qualitätssilagen zu erzeugen, müssen die Prozesse Ernte, Transport, Einlagern und Verdichten logistisch abgestimmt werden. Ernte und Bergen des Siliergutes erfolgen mit Ladewagen oder Häckslern. Ladewagen benötigen geringere Investitionen und sind besonders bei geringen Feld-Silo-Entfernungen geeignet. Die Fassungsvermögen betragen inzwischen $>40\text{ m}^3$. Durch die große Anzahl der Messer werden theoretische Häcksellängen von bis zu 34 mm erreicht. Dies ist für das Verdichten im empfohlenen Trockensubstanzbereich ausreichend, so dass gegenüber dem Häckselgut des Feldhäckslers keine schlechteren Silagequalitäten erzielt werden [1]. Mit Feldhäckslern

sind theoretische Häcksellängen ab 4 mm möglich. Durch die hohen Motorleistungen von mehr als 500 kW sind Durchsätze von >70 t/h Anwelkgut und >200 t/h Mais erreichbar. Dadurch werden hohe Anforderungen an das logistische Management der gesamten Kette gestellt.

In der Transporttechnik für Häckselgut hat sich das Ladevolumen vergrößert und gleichzeitig die Fahrgeschwindigkeit erhöht [2]. So wurden von mehreren Herstellern spezielle Selbstlade- und Dosierwagen für den Häckseltransport mit Ladevolumen von >43 m³ oder Großraumsilierwagen mit 80 m³ Ladevolumen entwickelt. Die Transportgeschwindigkeiten haben sich auf 60 - 80 km/h erhöht.

In der logistischen Kette resultiert die Anzahl der notwendigen Transporteinheiten aus der Transportentfernung und den Masseströmen der Feldhäcksler (**Abbildung 1**). Bei einer Transportentfernung von 10 km sind so beispielsweise je nach Häckslerleistung 10 bis 30 Transporteinheiten mit einem Ladevolumen von 40 m³ erforderlich.

Für viele Praxisbetriebe ist es derzeit eine Herausforderung, den meist sehr hohen Massestrom, der von der Erntemaschine kommt, in Horizontalsilos einzulagern und ausreichend zu verdichten. Hier ist unbedingt darauf zu achten, dass eine notwendige Anzahl von Verdichtungseinheiten zur Verfügung steht, für die wiederum eine entsprechende Silobreite vorhanden sein muss (**Tabelle 1**).

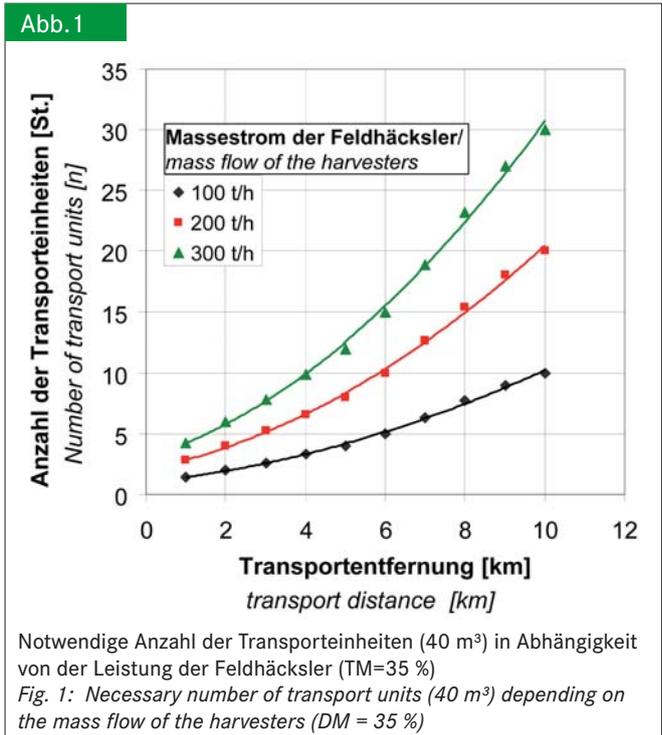
Einlagern und Verdichten in Horizontalsilos

Die Dichte des Siliergutes hat beim Einlagern einen ganz wesentlichen Einfluss auf den Siliererfolg. In experimentellen Untersuchungen [3,4] wurde der Gasaustausch untersucht und der Exponent der Geschwindigkeit des Gasaustausches α sowie der Exponent der Gasbildung im Gut α_{bio} in Abhängigkeit von der Einlagerungsdichte der Originalsubstanz (OS) bestimmt. Als Kriterium für die Höhe der Einlagerungsdichte der Originalsubstanz gilt, dass der Gasaustausch nicht größer sein darf als die Gasbildung im Siliergut, das heißt dass $\alpha < \alpha_{bio}$ ist. Dies bedeutet, dass für angewelktes Siliergut

Tab. 1

Erforderlicher Verdichtungsanfang und notwendige Verdichtungseinheiten beim Einlagern von Siliergut in Horizontalsilos
 Table 1: Required compaction effort and necessary compaction units when storing silage material in horizontal silos

Trockenmasse [%] dry matter [%]	20	25	30	35	40	45
Verdichtungsanfang [Tr-min./t OS] compaction effort [Tr-min./t OS]	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5
Massestrom je Verdichtungseinheit [t/h] mass flow/compaction unit [t/h]	60	60	40	40	40	40
Verdichtungseinheiten [St.] compaction units [n]						
100 t/h	2	2	3	3	3	3
200 t/h	4	4	5	5	5	5
300 t/h	6	6	8	8	8	8



bei freier Siliergutoberfläche ohne Zudeckung eine Dichte >750 kg OS/m³ vorhanden sein müsste. Da dies in der Praxis nicht zu erreichen ist, wird der äußere Luftabschluss durch Zudecken mit Folie hergestellt. Bei ganzflächig beschwerter Folie ist nur noch eine Einlagerungsdichte an der Oberfläche von 400 bis 500 kg OS/m³ nötig.

Die Lagerungsdichten hängen vor allem von den wirkenden statischen Drücken sowie von den physikalischen Eigenschaften des Siliergutes ab. Dazu gehören der Trockenmassegehalt (TM), die Biegesteifigkeit der Blätter und Stängel, die Häcksellänge sowie die Belastungszeit, das heißt die Lagerdauer. Für statische Belastungen kann die Lagerungsdichte durch eine Verdichtungsfunktion ausgedrückt werden [5].

Die Gesetzmäßigkeiten zum Verdichten durch Traktoren wurden unter anderem von Herold [6] untersucht. Aus Retardationsversuchen mit mähfrischem Wiesengras mit einer Häcksellänge von 40 mm bei einem Trockenmassegehalt TM = 16% ergibt sich für die bleibende Deformation in Abhängigkeit vom Vertikaldruck und der Haltezeit des Vertikaldruckes ein Zusammenhang, bei dem die Höhe des Vertikaldruckes den größten Einfluss auf die bleibende Verdichtung hat. Für die praktische Anwendung kann in Auswertung umfangreicher Untersuchungen [7, 8] nach neuesten Untersuchungen am ATB [9] der Verdichtungsanfang in Traktorenminuten je Tonne (t) Originalsubstanz (Tr-min./t OS) angegeben werden.

Danach sind für alle Gutarten und Trockenmassen etwa >1,0 bis 1,5 Tr-min./t OS erforderlich. So sind beispielsweise bei einer Ernteleistung von 100 t OS/h mehr als 2 Verdichtungs-traktoren vorzusehen. Dafür müssen wiederum entsprechende Silobreiten vorhanden sein (**Tabelle 1**). Für Trockenmassen über 50 % werden die erforderlichen Oberflächendichten nicht mehr erreicht.

Dichtebestimmungen erfolgen nahezu ausschließlich mit Hilfe des Wägens größerer Volumenelemente bei der Entnahme oder von Bohrkernen. Daneben sind radioaktive Meßmethoden und Online-Messverfahren entwickelt worden [10]. Sie sind geeignet, eine Kontrolle der Dichte während der Silierguteinlagerung vorzunehmen.

Entnahme aus Horizontalsilos

Die tägliche Entnahmemasse wird durch die Tieranzahl und die Futterration bestimmt. Der Siloquerschnitt muss so bemessen sein, dass eine bestimmte tägliche Mindestentnahmetiefe gesichert wird. Aus Untersuchungen [7] ist bekannt, dass die Verderbgefährdung an der Anschnittfläche vor allem durch die Silagedichte beeinflusst wird. So sind bei Grassilage Entnahmetiefen von 0,10 m/d - 0,25 m/d und bei Maissilage von 0,20 m/d bis 0,40 m/d erforderlich. Weil die Silagequalität und das Vermeiden von Verlusten, bei der gesamten Futterkonservierung eindeutig Priorität besitzen, muss die Silogeometrie nach dem vorhandenen Verbrauch, das heißt der täglichen Entnahme, bemessen werden. Daraus ergibt sich zwangsläufig die Silobreite, die wiederum Einfluss auf die einsetzbaren Verdichtungsstraktoren und damit auf die möglichen Einlagerungsmasseströme ausübt (Abbildung 2).

Schlauchsilierung

Die Schlauchsilierung hat in den letzten Jahren eine bemerkenswerte Verbreitung gefunden. Gründe sind in erster Linie die geringen Investitionen und die hohe Flexibilität. Das Einpressen des Siliergutes in den Folienschlauch geschieht mit Hilfe eines Pressrotors, der sich das Gut aus einer Annahemulde entnimmt. Der Schlauch befindet sich zwischen einer Rückhalteeinrichtung und dem Traktor, die über Seile miteinander verbunden sind. Der Pressdruck kann auf diese Weise über die Bremse des Traktors reguliert werden [11, 12]. Der Schlauchdurchmesser beträgt bis zu 3 m. Die Durchsätze liegen dabei bei 40-60 t/h für Grassilage und 80-100 t/h für Mais [12]. In den Verfahrenskosten gibt es gegenüber der Ballensilierung keine und gegenüber der Silierung in Horizontalsilos keine nennenswerten Vorteile [11, 12]. Vorteilhaft ist, dass für das Verdichten keine zusätzlichen Traktoren benötigt werden und der Arbeitszeitbedarf gering ist. Nachteilig ist besonders bei großen Tierbeständen der hohe Platzbedarf und aus Gründen des Umweltschutzes der überdurchschnittliche Folienbedarf. Die Entnahmetechnik ist nicht optimal [11].

Ballensilierung

Die Ballensilierung ist vor allem für kleine Verbrauchsmasseströme von Bedeutung. Die Vorteile liegen in der hohen Flexibilität und

in der einfachen Handhabung. Von Nachteil sind der hohe Folienbedarf und die Verletzungsgefahr der Folie. Schon geringe Beschädigungen beeinträchtigen die Silagequalität. Bei der Herstellung, die überwiegend mit Press-Wickel-Kombinationen vorgenommen wird, muss auf die für die Silierung geforderte Dichte geachtet werden. Die Ballendichte hat für die Silagequalität eine größere Bedeutung als der äußere Luftabschluss durch Folienumwicklungen oder der Trockensubstanzgehalt [11, 5]. Überwiegend werden 6 Folienlagen gefordert [5]. In der Schweiz wurde auf der Basis einer stationär betriebenen Press-Wickel-Kombination eine Maschinenlösung entwickelt, die die Silierung von Maishäcksel in Ballen ermöglicht. Der Durchsatz beträgt 20 bis 30 t/h [11].

Schlussfolgerungen

Neben einigen Inhaltsstoffen der Siliergüter haben die verfahrenstechnischen Parameter für das Einlagern, Verdichten, Zudecken und die Entnahme den größten Einfluss auf die Verluste und die Silagequalität. Vor allem muss beim Einlagern auf ausreichendes Verdichten geachtet werden. Dies bedeutet, dass bei der Planung der gesamten logistischen Kette die Kapazitäten so aufeinander abzustimmen sind, dass mit einer ausreichenden Anzahl von Verdichtungseinheiten der vom Feld kommende Erntemassestrom bis zu den erforderlichen Lagerdichten im Silo verdichtet werden kann.

Literatur

- [1] Latsch, R., Prochnow A., Berg, W.: Häcksler oder Ladewagen. Neue Landwirtschaft 12 (2003) H. 11, S. 54-57
- [2] Hahn, J.: Logistik in: Jahrbuch Agrartechnik, 18 (2006) Herausg.: Harms, H.-H. und F. Meier S. 52-58,
- [3] Rettig, H.: Untersuchung des physikalischen Gasaustausches an Konservierungsbehältern. Dissertation, AdL der DDR, 1972
- [4] Weise, G.; Rettig, H.; Suckow, G.: Untersuchungen zur Quantifizierung des

Abb. 2



Silobreite und Silohöhe in Abhängigkeit von der Zahl der Kühe und der Häckslerleistungen (einseitige Entnahme, tägl. Vorschub: 0,4 m)

Fig. 2: Width and height of the silos as a function of the number of cows and mass flow of the harvesters (unilateral discharge, daily feed rate: 0.4 m)

- Luftinflusses bei der Silierung. Arch. Tierernährung 25 (1975) H. 1, S. 69-82
- [5] Füll, Ch., Schmerbauch, K.-J., Kaiser, E., Idler, Ch. : Einflüsse durch das Verdichten und den äußeren Luftabschluss auf die Qualität von Grünsilagen – Ergebnisse und Anforderungen. Agrartechnische Forschung 12 (2006) H. 2, S. 19-29
- [6] Herold, B.: Rheologische Untersuchungen an Grashäcksel. Agrartechnik 20 (1970) H. 10, S. 475-476
- [7] Freitag, H.: Beitrag zum Bemessen und Bewerten von Prozessen der Grünfuttersilierung. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin 1983
- [8] Edner, H.-H.: Die Verdichtung von Siliergut und die Lagerungsdichte von Grünfuttersilage. Humboldt-Universität zu Berlin, Dissertation 1985
- [9] Füll, Ch., Idler, Ch. Schemel, H.: „Bereitstellung qualitätsgerechter Silage sowie Ermittlung der energetischen und ökonomischen Kenngrößen zur Bewertung und Optimierung des Gesamtverfahrens“, Teilbericht im Verbundvorhaben: „Entwicklung, Erprobung und Demonstration neuer Logistikkonzepte für Biobrennstoffe“, Potsdam-Bornim, 2008
- [10] Schemel, H., Füll, Ch., Gläser, M., Tews, M., Richter, H.: Density measurement on silage. Proceedings of the 12th International Symposium „Forage Conservation“, Brno, Czech Republic, 3.-5. April 2006, S. 184-185
- [11] Amman, H., Frick, R.: Silierverfahren im Vergleich. FAT-Berichte Nr. 627, Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Schweiz, 2005
- [12] Jäkel, K.: Einsatz der Folienschlauchtechnologie. GKL-Frühjahrstagung, Sektion Bau und Technik „Siliererfolg auch bei großen Erntemassen“, Institut für Landtechnik, Universität Bonn, 2006, Tagungsband, S. 7-8

Autoren

Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Füll leitete bis 2008 die Abteilung „Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung“ im Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim und ist zur Zeit Gastwissenschaftler in dieser Abteilung. E-Mail: cfuerrll@atb-potsdam.de

Dr. rer. agr. Thomas Hoffmann ist seit 2008 Leiter der Abteilung „Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung“ im Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim. E-Mail: THoffmann@atb-potsdam.de

Dr.-Ing. Hartmut Schemel ist Wissenschaftler in der Abteilung „Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung“ im Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim. E-Mail: hschemel@atb-potsdam.de