Anforderungen an die Logistik zur Sicherung hoher Silagequalitäten

Christian Fürll*, Hartmut Schemel, Christine Idler und Volkhard Scholz

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, Germany Received 4 June 2007; accepted 15 October 2007

Kurzfassung - Abstract

Die Silagequalität besitzt bei der Planung der logistischen Kette für die Silierung absolute Priorität. Das hat zur Folge, dass vor allem beim Einlagern in Horizontalsilos die erforderlichen Aufwendungen für das Erzeugen der notwendigen Siliergutdichte zu berücksichtigen sind. Dies kann bei der derzeitig vorhandenen leistungsfähigen Erntetechnik besonders bei geringen Silobreiten zu Problemen führen. Beim Befüllen von Hochsilos und bei der Silierung in Schläuchen sind die Abstimmungen in der Regel ohne große Schwierigkeiten möglich. Im Verfahren der Ballensilierung gibt es keine direkte Abhängigkeit zur Erntetechnik.

Schlüsselwörter: Silage, Logistik, Dichte, Qualität

Requirements on the logistics to secure high silage qualities

When planning the logistical chain for silage making, the silage quality has absolute priority. As a consequence, particularly during filling of horizontal silos, the necessary silage density must be obtained. With the present powerful harvest technology this can lead to problems, particularly in the case of small silo widths. Logistic coordination without major difficulties is possible when filling tower silos. This is also mostly the case for silage making in tubes. Silage making with large bales shows no direct dependence on the harvest technology used.

Keywords: Silage, logistics, density, quality

1 Einleitung

In den letzten Jahren hat sich innerhalb der logistischen Kette der Silageproduktion eine rasante Entwicklung hinsichtlich der Erntetechnik ergeben. Auch die Transporttechnik hat sich mit großvolumigen Fahrzeugen und höheren Transportgeschwindigkeiten weiterentwickelt. Probleme existieren gegenwärtig in den realisierbaren Masseströmen beim Einlagern und Verdichten des Siliergutes in Horizontalsilos. Eine Vergrößerung der Masseströme durch Verringern des Verdichtungsaufwandes ist an dieser Stelle der logistischen Kette nicht zulässig, weil dann die geforderten Dichten nicht mehr erreicht und die Erzeugung einer qualitätsgerechten Silage nicht gewährleistet werden kann. Weitere wichtige verfahrenstechnische Parameter für die Konservatqualität sind die Erntetechnik, das Silierverfahren, die Abdeckung und die Entnahme. Deshalb müssen innerhalb der logistischen Kette die Masseströme so aufeinander abgestimmt sein, dass eine optimale Futterqualität erzielt wird.

Qualitätsgerechtes Futter ist eine wichtige Voraussetzung für die Leistung und die Gesundheit der Tiere. Darüber hinaus ist es die beste Gewähr für gesunde Lebensmittel. Neben der Verwendung in der Tierfütterung gewinnen Silagen inzwischen immer mehr Be-

deutung als Rohstoff in der Biogaserzeugung und zukünftig eventuell auch in der Kraftstoffproduktion.

In dieser Arbeit werden verschiedene Verfahrensabschnitte zur Futterkonservierung unter dem Aspekt ihrer Auswirkungen auf die Silagequalität betrachtet. Dabei sollen der Zusammenhang zwischen Verdichtung und Silagequalität deutlich gemacht werden und neue methodische Ansätze zur Messung der Siliergutdichte bei der Einlagerung vorgestellt werden.

2 Grundzüge der Logistik

Logistik wird nach (Krampe 1991) als der gesteuerte Stofffluss aller Beschaffungs-, Produktions-, Absatzund Entsorgungsprozesse in und zwischen den Bereichen der Wirtschaft nach einer Zielfunktion, die möglichst einen hohen Produktivitätsbeitrag bei allen beteiligten Partnern sichert, definiert. Dies kann angewendet werden auf die logistische Optimierung in den
Bereichen: interne Logistik des Landwirtschaftsbetriebes, Bereitstellung von Agrarprodukten und Dienstleistungen, externe Logistik für Beschaffungs- und
Vermarktungsprozesse, Marketing und Verkauf sowie
Garantie- und Serviceleistungen. Logistische Systeme
sind Flusssysteme, die die Bereitstellung von Rohprodukten, die Produktion und den Verbrauch bzw. die

^{*} Corresponding author. Tel: ++49 (0) 331 5699 310; Fax: ++49 (0) 331 5699 849; E-mail: cfuerll@atb-potsdam.de

Entsorgung innerhalb eines Systems so miteinander verbinden, dass ein störungsfreier Stoff-, Energie- und Informationsfluss gewährleistet wird (Krampe & Lucke 1990). Diese Grundsätze sind auch für das System "Silageproduktion" von der Ernte über die Lagerung und Konservierung bis hin zum Verbrauch in den Tierhaltungsanlagen anzuwenden.

Am Beginn des Erarbeitens logistischer Lösungen steht immer das Formulieren eines angestrebten Zieles, das in eine Verfahrensidee einfließt. Das können in Tierhaltungsbetrieben neue Verfahrensideen für die Produktion von Fleisch, Milch oder gar Milchprodukten in definierter Qualität mit niedrigen Kosten sein. Der Qualität kommt hierbei, neben der Einhaltung umweltrelevanter Toleranzen, eine besonders große Bedeutung zu. Sie muss sowohl Forderungen physiologischer Art wie auch solche aus dem Verbraucherverhalten erfüllen.

Im nächsten Schritt müssen Markt-, Material- und Warenfluss-, Produktions- und Informationsflussdaten zusammengestellt und Zusammenhänge zwischen ihnen bestimmt werden.

Logistische Modelle müssen die Komplexität logistischer Lösungen erfassen. Für die Systemmodellierung eignen sich verschiedene in der Literatur beschriebene Modellierungskonzepte (Lehmann & Dumack 1980, Krampe & Lucke 1990, Hahn & Fürll 1995), beispielsweise Modelle der Operationsforschung.

Synergieeffekte ergeben sich, wenn innerhalb logistischer Ketten optimale Ergebnisse konsequent immer für das Gesamtsystem und nicht nur für einzelne Systemelemente angestrebt werden. Hierzu müssen die Teilsysteme abgestimmt und in Wechselwirkung miteinander gebracht werden. In der Praxis sind Kooperation und Integration wichtige Voraussetzungen für das Erzielen von Synergieeffekten (Krampe & Lucke 1990).

3 Logistische Kette "Silageproduktion"

3.1 Erntetechnik

Für die Ernte bzw. Bergung des Anwelkgutes kann der Landwirt zwischen der Ladewagen- oder Häckslerlinie entscheiden. Ladewagen benötigen geringere Investitionen und sind besonders bei geringen Feld-Silo-Entfernungen geeignet (Latsch et al. 2003, Cielejewski 2003, Berg et al. 2004). Die Fassungsvermögen betragen schon > 40 m³ (Anonymous 2004). Durch die große Anzahl der Messer werden theoretische Häcksellängen von 34 mm erreicht. Dies ist für das Verdichten im empfohlenen Trockensubstanzbereich ausreichend, so dass gegenüber dem Häckselgut des Feldhäckslers keine schlechteren Silagequalitäten erzielt werden. Mit Feldhäckslern sind theoretische Häcksellängen ab 4 mm möglich (Latsch et al. 2003).

Sie können über den Antrieb von Trommel und Einzug stufenlos verstellt werden. Durch die hohen Motorleistungen bis zu 1000 PS sind Durchsätze von > 70 t/h Anwelkgut und > 300 t/h Mais erreichbar (Tabelle 1). Dadurch werden hohe Anforderungen an das Management der gesamten Kette gestellt.

Tabelle 1: Frischmassedurchsatz von Exakt-Feldhäckslern, Gutart: Mais, Häcksellänge: 13 mm, TM-Gehalt: 29 %

Exakt-Feldhäcksler Motorleistung [PS]	Frischmasse- durchsatz [t/h]
500	200
600	250 ¹⁾
800	300 ¹⁾
1000	350

¹⁾ nach DLG-Test

3.2 Transporttechnik

In der Transporttechnik für Häckselgut gibt es in den letzten Jahren eine rasante Entwicklung (Hahn 2006). Vergrößert haben sich sowohl Ladevolumen wie auch Fahrgeschwindigkeit. So hat Krone einen Combi-Wagen der Baureihe ZX mit einem Ladevolumen von 43 m³ entwickelt, der als Selbstlade- und Dosierwagen und für den Häckseltransport eingesetzt werden kann. Auch der Quantum-Wagen von Claas hat ein Nutzvolumen von 40 m³. Pöttinger bietet sogar einen Großraumsilierwagen mit 80 m³ Ladevolumen an. Weitere Anbieter sind die Firmen HAWE, Fliegl, Krampe, Bergmann, Kaweco, Strautmann u.a. In den neuen Bundesländern Deutschlands hat der HW 80 mit Häckselaufbau und 20 m³ Ladevolumen und im Doppelzug 40 m³ noch eine weite Verbreitung. Die Transportgeschwindigkeiten haben sich auf 60 km/h bei Claas, 80 km/h bei Pöttinger und 105 km/h bei Mengele erhöht (Büser 2006).

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

3.3 Siliertechnik

Die derzeit angewendeten Siliertechniken sind: Silieren in Hochsilos, Horizontalsilos, in Folienschläuchen und in Ballen. Da die Konservierung in Horizontalsilos unterschiedlicher Bauarten ist sehr weit verbreitet und die Silierung in Folienschläuchen zunehmend an Bedeutung gewinnt, werden diese Verfahren besonders betrachtet.

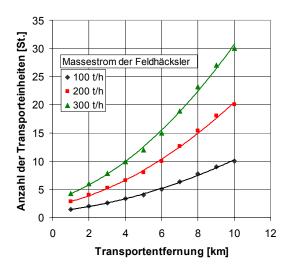


Abb. 1: Notwendige Anzahl der Transporteinheiten (40 m³) für Welkgut in Abhängigkeit von der Leistung der Feldhäcksler (TM=35 %)

3.3.1 Hochsilos

Gärfutterhochsilos werden aus Kunststoff oder aus Metall hergestellt. Sie sind vor allem mit mechanisierter Entnahmetechnik arbeitswirtschaftlich sehr vorteilhaft. Ein etappenweises Silieren ist möglich. Von Nachteil sind die relativ hohen Investitionen für die Silos und die Entnahmetechnik. Ladewagengut verursacht oftmals Störungen bei der Entnahme. Die Verfahrenskosten sind für die Hochsilokette je nach vorund nachgelagerter Technik um etwa 10 % bis 20 % höher als bei der Horizontalsilokette (Amman & Frick 2005). Die Silagequalität wird durch die Hermetisierung und durch die infolge der Eigenbelastung erzeugte Dichte gesichert. Das Befüllen erfolgt überwiegend mit Gebläsen. Sie können sehr leistungsfähig sein, so dass Masseströme von > 200 t/h bei Mais erreichbar sind. Dadurch ist bei der logistischen Abstimmung mit der Erntetechnik kaum mit Problemen zu rechnen.

3.3.2 Horizontalsilos

Horizontalsilos sind besonders für große Viehbestände geeignet. Sie sind in der Praxis in sehr unterschiedlichen Geometrien vorzufinden. Während in klein strukturierten Landwirtschaftsbetrieben Silobreiten bis etwa 10 m und Seitenwandhöhen bis zu 3 m dominieren, sind in den größeren Betrieben der neuen Bundesländer Deutschlands Silobreiten bis 24 m, Seitenwandhöhen bis 5 m und Silolängen bis 114 m vorzufinden (Fürll 1983).

Horizontalsilos liegen in den Investitionen etwa bei etwa 50 % gegenüber Hochsilos. Die Verfahrenskosten sind für die gesamte Kette von der Ernte bis zur Futterverteilung etwa in gleicher Höhe wie bei der Silierung in Hochsilos und in Folienschläuchen (Amman & Frick 2005, Jäkel 2006). Von Nachteil ist der relativ

hohe Bedarf an Traktoren und Arbeitszeit.

Von den verfahrenstechnischen Parametern hat die Siliergutdichte einen größeren Einfluss auf die Silagequalität als der äußere Luftabschluss. Für Grassilagen sind Dichten von 200-230 kg TM/m³ und für Mais 230-270 kg TM/m³ erforderlich (Fürll et al. 2006, Thaysen 2006). Physikalisch sinnvoller ist allerdings die Angabe der erforderlichen Oberflächendichten. Als Kriterium für die Höhe der Einlagerungsdichte der Originalsubstanz gilt, dass der Gasaustausch nicht größer sein darf als die Gasbildung im Siliergut. Dies bedeutet, dass für angewelktes Siliergut 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 von 400-500 kg OS/m³ nötig (Rettig 1972).

Geringere Dichten fördern die Entwicklung von Schimmelpilzen und Toxinen und mindern die Silagequalität (Fürll et al. 2005). Nach amerikanischen Untersuchungen wurde ein Zusammenhang zwischen Trockenmasseverlusten (TM-Verlust) und Trockenmassedichte (TM-Dichte) gefunden (Holmes 2006):

TM Verlust (%) =
$$29,1 - 0,058 \times TM$$
 Dichte (kg TM/m³) (1)

Durchgeführte Dichtemessungen an Praxissilos ergaben allerdings, dass die empfohlenen Dichtewerte in mehr als der Hälfte der Bestimmungen nicht erreicht wurden (Thaysen 2006, Kleinmans et al. 2005). Hauptursache ist der ungenügende Verdichtungsaufwand beim Einlagern, der je Tonne eingelagerte Originalsubstanz nötig ist. Die erreichbaren Dichten sind abhängig von der Trockenmasse, der Biegesteifigkeit, der Häcksellänge, dem Verdichtungsdruck, der Verdichtungshäufigkeit bzw. -zeit und der Silohöhe (Muck et al. 2004, Fürll et al. 2005, Holmes 2006).

Zum Erreichen der geforderten Mindestdichten muss sorgfältig mit Traktoren oder anderen geeigneten Fahrzeugen verdichtet werden. Für den Verdichtungsaufwand existiert eine Reihe von Empfehlungen. Nach Untersuchungen von Muck und Holmes (2000) kann die Trockenmasse-Dichte von Silage in Horizontalsilos nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$\rho = (136.6 + 0.042 \text{ P}) \times (0.818 + 0.0446 \text{ H})$$
 (2)

mit:

 ρ = mittlere Silo - Trockenmasse-Dichte [kg TM/m³]

H = Silagehöhe [m]

 $P = Packungsfaktor [kg (h \cdot g/t \cdot kg)^{1/2} cm^{-1}]$

Der Packungsfaktor P in Gleichung 2 wird nach Gleichung 3 berechnet:

$$P = (W/L) \cdot (T \cdot D)^{1/2}$$
(3)

mit:

W = mittleres Gewicht des Verdichtungstraktors [kg]

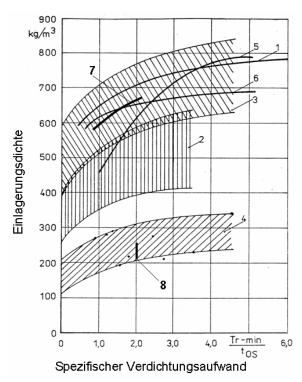
L = Anfangsschichthöhe [cm]

T = Verdichtungszeit [Traktoren h/t]

D = Trockenmassegehalt [g/kg]

Obwohl Gleichung 2 eine Reihe wichtiger Einflussgrößen enthält, werden einige, von anderen Autoren immer wieder genannte Größen, nicht berücksichtigt, z.B. die Häcksellänge, der Rohfasergehalt, das Blatt/Stängel-Verhältnis und der Fahrbahndruck unter den Traktorreifen. Darüber hinaus gilt die Gleichung 2 nur für Masseströme bis 60 t/h und Schichtdicken bis 15 cm (Hahn & Tölle 2005)

Für die praktische Anwendung kann in Auswertung umfangreicher, früherer (Freitag 1983, Edner 1985) und neuerer Untersuchungen (Schemel 2007) der Verdichtungsaufwand in Traktorminuten je Tonne Originalsubstanz (Tr.- min./t OS) angegeben werden (Abb. 2).



1: TM = 25 % (Zillig 1968)

2: TM = 27-60 % (Klug 1980)

3: TM = 18-25 % (Klug 1980)

4: TM = 66 % (Edner 1985)

5: TM = 16 % (Edner 1985)

6: TM = 26 % (Mais) (Edner 1985)

7. TM.= 37 % (Mais) (Schemel 2007) 8. TM = 45-65 % (Gras) (Schemel 2007)

Abb. 2: Einlagerungsdichte von Siliergut in der oberen Schicht in Abhängigkeit vom spezifischen Verdichtungsaufwand (Angaben 1-6 aus Edner 1985)

(Traktormasse: 5,6 t und 11,6 t, Fahrgeschwindigkeit: 4-6 km/h)

Danach sind für alle Gutarten und Trockenmassen etwa $> 1,0\,$ Tr.-min./t OS erforderlich. So sind beispielsweise bei einer Ernteleistung von 100 t OS/h mehr als 2 Verdichtungstraktoren vorzusehen. Dafür müssen wiederum entsprechende Silobreiten vorhanden sein (Tabelle 2). 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 radiometrische Messmethoden und Online-Messverfahren entwickelt worden (Schemel et al. 2006). Sie sind geeignet ein Dichtecontrolling während der Silierguteinlagerung vorzunehmen. Um dem Fahrer die Dichte zur gezielten Einflussnahme auf das Verdichtungsergebnis anzuzeigen, müssen die Daten online von der Siliergutoberfläche aus gemessen werden können. Kernstück eines solchen Online-Verfahrens ist ein geeigneter Dichtesensor. Dabei konzentrierten sich die Arbeiten auf das Mikrowellenprinzip. In den durchgeführten Untersuchungen wurden verschiedene Mikrowellenplanarsensoren und das Reflexionsverfahren für diese Anwendung modifiziert und erprobt. Ein ausgewählter Mikrowellenplanarsensor wurde in eine Online- Messeinrichtung eingebaut und im Silo erprobt. Der Dichtesensor wird in einem, durch eine Linearführung mit dem Traktor verbundenen Gleitschuh über die Siliergutoberfläche geführt (Abb. 3).



Abb. 3: Traktorgebundener Gleitschuh mit Dichtesensor für die Online-Dichtemessung während der Silierguteinlagerung

Das Messsignal wird auf einem Monitor in der Fahrerkabine über dem Fahrweg aufgezeichnet und gespeichert. Von den in der Fahrspur radiometrisch bestimmten Referenzwerten weichen die mit der Online-

Tabelle 2: Erforderlicher Verdichtungsaufwand und notwendige Verdichtungseinheiten
beim Einlagern in Horizontalsilos

Trockenmasse [%]	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Verdichtungsauf- wand [Trmin./t OS]	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	?	?	>5,0
Massestrom je Verdichtungseinheit [t/h]	60	60	40	40	40	40	?	?	<20
Verdichtungseinheiten [Stück]									
100 t/h	2	2	3	3	3	3	?	?	>5
200 t/h	4	4	5	5	5	5	?	?	>10
300 t/h	6	6	8	8	8	8	?	?	>15

Einrichtung aufgenommenen Dichten allerdings bis ca. 0,1 g/cm³ in beiden Richtungen ab. Ziel der weiteren Untersuchungen ist es, diesen Fehler zu minimieren. Dazu werden weitere geeignete Sensoren untersucht.

Die Futterentnahme und -verteilung ist technisch durch mehrere am Markt vorhandene Varianten gelöst. Die tägliche Entnahmemasse wird durch die Tieranzahl und die Futterration bestimmt. Der Siloguerschnitt muss so bemessen sein, dass eine bestimmte Mindestentnahmetiefe gesichert wird. Nach Untersuchungen am früheren Forschungszentrum für Mechanisierung Potsdam-Bornim (Freitag 1983) wird die Verderbgefährdung an der Anschnittfläche vor allem durch die Silagedichte beeinflusst. So sind bei Grassilage Entnahmetiefen von 0,10 m/d bis 0,25 m/d und bei Maissilage von 0,20 m/d bis 0,40 m/d erforderlich. Weil die Silagequalität, bzw. das Vermeiden von Verlusten, bei der gesamten Futterkonservierung eindeutig Priorität besitzen, muss die Silogeometrie nach dem vorhandenen Verbrauch, d.h. der täglichen Entnahme, bemessen werden. Daraus ergibt sich zwangsläufig die Silobreite, die wiederum Einfluss auf die einsetzbaren Verdichtungstraktoren und damit auf die möglichen Einlagerungsmasseströme ausübt (Abb. 4).

3.3.3 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 Annahmemulde 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 (Amman & Frick 2005, Jäkel 2006). Der Schlauchdurchmesser beträgt bis zu 3 m. Die Durchsätze liegen bei 40-60 t/h für Grassilage und 80-100 t/h für Mais (Jäkel 2006). Die Anzahl der gleichzeitig zu befüllenden Schläuche ergibt sich aus den Masseströmen der Erntetechnik und den möglichen Masseströmen beim Einlagern je Schlauch (Tabelle 3). In den Verfahrenskosten gibt es gegenüber der Ballensilierung keine und

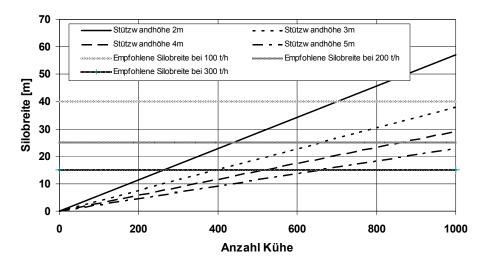


Abb. 4: Silobreite und Silohöhe in Abhängigkeit von der Zahl der Kühe und der Häckslerleistungen (einseitige Entnahme, tägl. Vorschub: 0,4 m)

gegenüber der Silierung in Horizontalsilos keine nennenswerten Vorteile (Amman & Frick 2005, Jäkel 2006). Vorteilhaft ist, dass für das Verdichten keine zusätzlichen Traktoren benötigt werden und der Arbeitszeitbedarf gering ist.

Tabelle 3: Gleichzeitig zu befüllende Schläuche in Abhängigkeit vom Massestrom der Feldhäcksler

Massestrom der Pressmaschine	Gras-Welkgut 40–60 t/h	Mais 80-100 t/h
Zahl der Schläuche		
bei Ernteleistung: 100 t/h	2	1
200 t/h	4	2
300 t/h	6	3

Nachteilig ist besonders bei großen Tierbeständen der hohe Platzbedarf und aus Gründen des Umweltschutzes der überdurchschnittliche Folienbedarf. Die Entnahmetechnik ist nicht optimal (Amman & Frick 2005).

Durch die relativ geringen Masseströme bei der Einlagerung ist das Silieren in Schläuchen nur für kleine und mittlere Tierbestände sowie bei Masseströmen bei der Ernte von < 100t/h für Gras und < 200t/h für Mais zu empfehlen.

3.3.4 Ballensilierung

Die Ballensilierung ist vor allem für kleine Tierbestände 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 Qualität. 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 (Han et al. 2004, Amman & Frick 2005, Fürll et al. 2005). Überwiegend werden sechs Folienlagen gefordert (Fürll et al. 2006, Hancock & Collins 2006). 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 20-30 t/h (Amman & Frick 2005).

Die logistische Kette ist von der Erntetechnik nur insofern abhängig, dass bei angewelktem Gras die auf Schwad liegende Masse zum optimalen Termin gepresst und mit Folie umwickelt werden muss. Als optimaler Termin gilt, wenn der erforderliche Trockenmassegehalt erreicht ist. Beim stationären Pressen und Wickeln von Mais unmittelbar nach der Ernte müssen auf die Masseströme der Häcksler abgestimmt die notwendige Anzahl Pressen bereitgestellt werden.

4 Schlussfolgerungen für die Planung

Bei der Planung der logistischen Kette muss der Silagequalität absolute Priorität eingeräumt werden. Dies bedeutet, dass vor allem der Dichte des Siliergutes beim Einlagern die größte Bedeutung zukommt. Die in der Praxis vorhandene leistungsfähige Erntetechnik "erzeugt" an der Quelle der logistischen Kette Masseströme von 100 t/h bis 300 t/h. Die Transporttechnik ist so leistungsfähig, dass diese Masseströme bewältigt werden. Bei der Planung ist lediglich darauf zu achten, dass keine Verlustzeiten entstehen. Für das Befüllen von Hochsilos steht ebenfalls eine leistungsfähige Technik zur Verfügung, die auf diese Masseströme abgestimmt werden kann. Für das Verdichten ist in Hochsilos kein zusätzlicher Aufwand erforderlich.

Die Geometrie von Horizontalsilos wird durch den erforderlichen Entnahmevorschub festgelegt, der wiederum von der Zahl der zu versorgenden Tiere abhängt. Hat man daraus die Silobreite bestimmt, ist als nächstes zu berücksichtigen, dass je eingesetztes Befüll- und Verdichtungsfahrzeug etwa 5 m Silobreite benötigt werden. Geht man ferner davon aus, dass bei den in der Praxis vorhandenen Fahrzeugen der erforderliche Verdichtungsaufwand > 1,0 Tr.-min. je t eingelagerte Originalsubstanz beträgt, können mit einem Fahrzeug je nach Trockenmassegehalt weniger als 60 t/h verdichtet werden. Bei einer Silobreite von 20 m können so vier Fahrzeuge eingesetzt werden, die weniger als 240 t/h OS verdichten würden.

Für das Abstimmen der Masseströme bei der Schlauchsilierung ist von der möglichen Kapazität der Annahme- und Verdichtungsmaschine auszugehen. Dies wird zur Folge haben, dass bei großen Masseströmen der Erntetechnik mehr als ein Schlauch gleichzeitig befüllt werden muss.

Bei der Ballensilierung besteht keine Notwendigkeit der Abstimmung zur Erntemaschine. Die Zahl der Pressen ist so zu bemessen, dass die auf einem Schlag auf Schwad liegende Siliergutmenge mit dem optimalen Trockenmassegehalt gepresst wird.

Literaturverzeichnis

Amman H., Frick R. (2005): Silierverfahren im Vergleich. FAT-Berichte Nr. 627, Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Schweiz.

Anonymous (2004): Ladewagen nach ihren Wünschen. www.gvs-grar.ch/agrarcenter/ac_lw.htm (Stand:16.07.04).

- Berg W., Prochnow A., Latsch R. (2004): Wie rechnet sich die Silagekette für den Lohnunternehmer und den Landwirt? In: VDI Berichte Nr. 1814, Landtechnik für Profis, 59-72.
- Büser C. (2006): Halmgutbergung. In: Harms H.-H. & Meier F. (eds.), Jahrbuch Agrartechnik 18, 134-141.
- Cielejewski H. (2003): Entwicklungstendenzen bei der Technik für die Futterernte. DLG-Pressemitteilung Nr. 35, 16. September.
- Edner H.-H. (1985): Die Verdichtung von Siliergut und die Lagerungsdichte von Grünfuttersilage. Humboldt-Universität zu Berlin. Dissertation, 125 pp.
- Freitag H. (1983): Beitrag zum Bemessen und Bewerten von Prozessen der Grünfuttersilierung. Humboldt-Universität zu Berlin, Dissertation, 130 pp.
- Fürll C. (1983): Lager, Kap. 6, In: Mührel K. (ed.), Transport, Umschlag und Lagerung in der Landwirtschaft, verlag Technik, Berlin.
- Fürll C., Schmerbauch H.-J., Kaiser E., Idler C. (2005): Einflüsse durch das Verdichten und den äußeren Luftabschluss auf die Qualität von Grassilagen Ergebnisse und Anforderungen. VDI-Berichte Nr. 1895, Tagung Landtechnik 2005, Hannover, 4.-5.11.2005, Tagungsband, p. 367-373.
- Fürll C., Schmerbauch K.-J., Kaiser E., Idler C. (2006): Einflüsse durch das Verdichten und den äußeren Luftabschluss auf die Qualität von Grassilagen Ergebnisse und Anforderungen. Agrartechnische Forschung 12 (2), 19-29.
- Hahn J., Fürll C. (1995): Logistik optimieren Bewertung logistischer Ketten für halmgutartige Biobrennstoffe. Landtechnik 503, 130-131.
- Hahn J., Tölle, R. (2005): Kalkulationsmodell für den Einlagerungsprozess in Horizontalsilos. Unveröffentlichtes Arbeitsmaterial des Instituts für Pflanzenbauwissenschaften, AG Agrartechnik der Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, 28.12. 2005 (unveröffentlicht).
- Hahn J. (2006): Logistik. In: Harms H.-H. & Meier F. (eds.), Jahrbuch Agrartechnik 18, 52-58.
- Han K.J., Collins M., Vanzant Dougerty, E.S. (2004): Bale density and moisture effects on alfalfa round bale silage. Crop science 44 (3), 914-919.
- Hancock D.W., Collins M. (2006): Forage preservation method influences alfalfa nutritive value and feeding characteristics. Crop science 46, 688-694.
- Holmes B.J. (2006): New Technologies for Bunker Silo Management in North Amerika. Proceedings of the 12th International Symposium "Forage Conservation, Brno, Czech Republic, April 3-5, 2006, p. 50-72.
- Jäkel K. (2006): Einsatz der Folienschlauchtechnologie. GKL-Frühjahrstagung, Sektion Bau und Technik "Siliererfolg auch bei großen Erntemassen", Institut für Landtechnik, Universität Bonn, Tagungsband, p. 7-8.
- Kleinmans J., Ruser B., Oetjen G., Thaysen J. (2005): Siloverdichtung einfach überprüfen Neue Methoden zur Bestimmung der Gutverdichtung in Flachsilos. Neue Landwirtschaft 9, 66-68.
- Krampe H., Lucke H.-J. (1990): Einführung in die Logistik. Hussverlag, München, 230 pp.
- Krampe H. (1991): Logistik Innovationsfaktor in der Marktwirtschaft. Hebezeuge und Fördermittel 31, 292-295.

- Latsch R., Prochnow, A., Berg W. (2003): Häcksler oder Ladewagen. Neue Landwirtschaft 12 (11), 54-57.
- Lehmann H.G., Dumack L. (1980): Bestimmung zweckmäßiger Lagerstandorte und -kapazitäten in landwirtschaftlichen Betrieben mit Hilfe von Materialflussanalyse und Transportoptimierung. Agrartechnik 308, 358-360.
- Muck R.E., Holmes B.J. (2000): Factors Affecting Bunker Silos Densities. Applied Engineering in Agriculture 16 (6) 613-619.
- Muck R.E., Savoie P. Holmes, B.J. (2004): Laboratory assessment of bunker silo density. Part I: Alfalfa and grass. Applied Engineering in Agriculture 20, 157-164, Part II: Whole plant corn. Applied Engineering in Agriculture 20, 165-171.
- Rettig H. (1972): Untersuchung des physikalischen Gasaustausches an Konservierungsbehältern. AdL der DDR, Dissertation, 102 pp.
- Schemel H., Fürll C., Gläser M., Tews M., Richter H. (2006): Density measurement on silage. Proceedings of the 12th International Symposium "Forage Conservation, Brno, Czech Republic, April 3-5, 2006, p 184-185.
- Schemel H. (2007): unveröffentlichte Daten, persönliche Mitteilung.
- Thaysen J. (2006): Dichte Controlling Bedeutung und Instrumente. GKL-Frühjahrstagung 2006, Sektion Bau und Technik "Siliererfolg auch bei großen Erntemassen", Institut für Landtechnik, Universität Bonn, Tagungsband p. 14-17.