

Einfluss von Feuchte und Siliermittelmenge auf die Gärqualität von Feuchtgetreide im Folienschlauchverfahren

Momme Matthiesen*, Andrea Wagner und Wolfgang Büscher

Universität Bonn, Institut für Landtechnik, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn, Germany

Kurzfassung - Abstract

Ein aus den 70er Jahren bereits bekanntes Verfahren zur Einlagerung von Futtermitteln mittels Schlauchpresse ist weiter entwickelt worden und wird seit 2005 auch zur Einlagerung von Feuchtgetreide in der Praxis eingesetzt. Dabei wird erntefrisches Getreide mit hohen Feuchtegehalten in einem Arbeitsgang gemahlen, optional mit Siliermittel besprüht und in einen Folienschlauch gepresst. In Labor- und Praxisversuchen mit derartig aufbereitetem Weizen wurde zunächst der Einfluss von unterschiedlichen Feuchtegehalten und Siliermittelmengen auf die Gärqualität und die aerobe Stabilität des Futters untersucht. Dabei ist erntefrischer Weizen mit einem Feuchtegehalt von 18 % (Low-Moisture-Variante, LM) und nach Anfeuchtung mit 30 % (High-Moisture-Variante, HM) in zwei Folienschläuche und parallel in dreifacher Wiederholung in Siliergläser eingelagert worden. Neben den unbehandelten Kontrollvarianten wurden in den Gläsern drei Behandlungsstufen (2, 4, 6 l/t FM) und in den Schläuchen zwei Varianten (4 und 8 l/t FM bei 18 % Feuchte bzw. 2 und 4 l/t FM bei 30 % Feuchte) mit einem Siliermittel angesetzt, das Natriumbenzoat, Propionsäure und Natriumpropionat enthält. Nach einer Lagerdauer von 50 Tagen (Folienschläuche) bzw. 90 Tage (Siliergläser) konnten keine Trockenmasseverluste festgestellt werden. Die Analyse der Gärqualität ergab, dass in den LM-Varianten zwar keine Silierung mit Milchsäurebildung stattfand, die anaerobe Lagerung jedoch trotzdem stabil war. In den HM-Varianten konnte eine schnelle und qualitativ hochwertige Silierung nachgewiesen werden. Mit zunehmender Siliermittelmenge in den Varianten nahmen in beiden Feuchteklassen die geringen Ethanolgehalte weiter ab. Die Laboruntersuchungen der aeroben Stabilität zeigten, dass bereits eine Siliermittelmenge von 2 l/t FM ausreicht, um einen mikrobiellen Verderb zu unterdrücken. Bei sehr feuchtem Getreide ist dieses Ziel auch ohne Siliermittelsatz erreichbar, da neben den gebildeten antimykotisch wirkenden organischen Säuren auch eine bessere Verdichtung des Getreides möglich ist.

Schlüsselwörter: Feuchtgetreide, Folienschlauch, Gärqualität, aerobe Stabilität, Konservierungsmittel

Moist grain preservation in silo bags – investigations into fermentation quality and aerobic stability

The preservation of forage with bagging machines first gained wider attention in the 1970s. Following further development, the technique has been used in moist grain preservation since 2005. Fresh grain with a high moisture content is crimped, sprayed with a silage additive if necessary, and pressed into a silo bag in one single operation. Laboratory and practical tests with wheat were carried out to analyse the influence of different moisture contents and silage additive application rates on fermentation quality and aerobic stability. Fresh wheat with a moisture content of 18 % (LM) and 30 % after moistening (HM) was ensiled in two silage bags and, in three parallel repetitions, in silage jars. In addition to the untreated control variants, variants treated with a silage additive containing sodium benzoate, propionic acid and sodium propionate were prepared. Material with three different application rates (2, 4, 6 l/t FM) was conserved in the silage jars, and two additional variants (4 and 8 l/t FM at 18 % moisture content and 2 and 4 l/t FM at 30 % moisture content) were prepared in the two silo bags. After 50 days (silage bags) and 90 days (silage jars) respectively, there was no evidence of dry mass losses. Analyses of fermentation quality showed that there had not been any lactic acid fermentation in the LM variants, but the anaerobic stability of these variants was high anyway. In the HM variants, rapid fermentation had produced high-quality silage. In both moisture classes, the low ethanol contents decreased further as the application rates of the silage additive increased. The laboratory tests for aerobic stability showed that a silage additive application rate as low as 2 l/t FM adequately prevents microbial deterioration. In the case of very moist grain the same result can be achieved without silage additives thanks to the antimycotic properties of the organic acids produced in the fermentation process, and because of the higher degree of compression possible with very moist grain.

Keywords: Moist grain, silage bag, fermentation quality, aerobic stability, silage additive

1 Einleitung

Steigende Energiekosten bei gleichzeitig niedrigen Erzeugerpreisen lassen die Verwendung von wirtschaftseigenem Getreide wieder interessanter werden. In Deutschland wird regelmäßig 50 bis 85 % des Getreides in nicht lagerfähigem Zustand mit Feuchten über

14 % gedroschen (Schröder et al. 1998). In der Praxis wird überwiegend das Verfahren der Warmlufttrocknung bis zu einem lagerstabilen Feuchtegehalt des Getreides von weniger als 14 % eingesetzt (Eckl 2005). Die stetig steigenden Betriebskosten stellen dieses Verfahren jedoch bei höheren Feuchtegehalten des

* Corresponding author. Tel: ++49 (0) 228 73 2598; Fax: ++49 (0) 228 73 2596; E-mail: M.Matthiesen@uni-bonn.de

Erntematerials in Frage. Eine Einlagerung von Futtergetreide mit einem Feuchtegehalt $>14\%$ birgt ein hohes Risiko für mikrobiellen Verderb und erfordert daher bei unverdichteter Lagerung einen hohen Aufwand an Konservierungszusätzen, um einen mikrobiellen Verderb zu verhindern. Fürll et al. (1997) empfehlen daher eine gasdichte Lagerung als kostengünstige Alternative, wobei dies bisher hauptsächlich durch Einlagerung und Verdichtung im Fahrsilo geschieht.

Die Einlagerung von gemahlenem Futtergetreide in Folienschläuchen mit einer Schlauchpresse mit integrierter Walzenmühle (Crimper-Bagger) stellt eine technische Alternative zu konventionellen Verfahren dar, bei der erntefrisches Getreide mit Feuchtegehalten bis über 30% in einem Arbeitsgang gemahlen, mit Siliermittel behandelt und eingelagert werden kann. Ziel der Forschungsarbeiten, die im Rahmen eines Promotionsprojektes durchgeführt werden, ist die Bewertung des Folienschlauchverfahrens für die Lagerung von Futtergetreide. Neben der Betrachtung von funktionalen Aspekten wie Zerkleinerungsgrad und Verdichtbarkeit von Getreide, stehen Untersuchungen zu verschiedenen Qualitätsparametern des Futters im Vordergrund. Durch Labor- und Praxisversuche mit Weizen soll zunächst der Einfluss von unterschiedlichen Feuchtegehalten und Siliermittelmengen auf die Gärqualität und aerobe Stabilität des Futters ermittelt werden. Neben Untersuchungen an Folienschläuchen werden auch standardisierte Versuche in Kleinsilos (DLG 2000, Pahlow et al. 2004) durchgeführt, um vergleichende Aussagen zur aeroben Stabilität aller Varianten zu erhalten.

2 Allgemeiner Forschungsstand

Schlauchpressen werden für verschiedene Futtermittel in unterschiedlichen Ausführungen angeboten. Das zu konservierende Futter wird mit einem Rotor oder einer Förderschnecke durch einen Tunnel in einen Folienschlauch gepresst und luftdicht gelagert.

Bereits in den 70er Jahren begannen Versuche mit Schlauchpressen zur Einlagerung von Grobfuttermitteln (BAG 2003). Nach anfänglichen Schwierigkeiten bieten die technologischen Weiterentwicklungen heute die Möglichkeit, auch gemahlene Feuchtgetreide mit diesem Verfahren einzulagern. Nach Buchanan-Smith et al. (2003) begann das Interesse an der Einlagerung von Feuchtgetreide bereits in den frühen 60er Jahren aufgrund von steigenden Energiekosten und dem Aufkommen geeigneter Lagerungsverfahren, die jedoch zum Teil hohe Investitionskosten und Lagerverluste verursachten. Nach Jungbluth (1989) ist bei der Einlagerung von geschrotetem Getreide in nicht gasdichte Silosysteme eine Feuchte von 18% anzustreben. Bei höheren Feuchtegehalten ist Propionsäure zuzusetzen. Für die Einlagerung von geschrotetem Feuchtgetreide

mit einer Verdichtung von weniger als 1.000 kg/m^3 wird das Risiko des Futterverderbs durch eine Applikation von durchschnittlich sechs Liter Propionsäure je Tonne Frischmasse ausreichend reduziert (Matthias 2002). Eine Lagerung von Futtergetreide unter Sauerstoffabschluss mit Feuchten bis zu 20% , das für eine Silierung noch zu trocken ist, erscheint wegen der geringen Kosten und geringen lagerbedingten Verluste attraktiv zu sein (Schröder et al. 1998).

Buchanan-Smith et al. (2003) fordern für die Ernte von Feuchtgetreide einen Wassergehalt zwischen 25% und 30% . Darunter liegende Werte führen zu keiner ausreichenden Silierung, darüber liegende können den Futterwert herabsetzen. Weiterhin wird dort ein linear positives Verhältnis von Feuchtegehalt und Milchsäurebildung im Bereich von 22% bis 36% Feuchte aufgezeigt. Der Fermentationsverlauf wird durch eine schnelle Milchsäurebildung mit relativ geringen Gehalten von etwa 2% und Essigsäuregehalten von 1% beschrieben, so dass tendenziell von einer heterofermentativen Gärung auszugehen ist. Andere Gärssäuren können nicht nachgewiesen werden. Durch das Vorkommen von Hefen sind Ethanolgehalte von etwa $0,5\%$ bis $3,5\%$ der Trockenmasse zu erwarten.

Niedrige Konzentrationen an antimykotisch wirkenden Gärssäuren wie Essig-, Propion- und Buttersäure können bei Silagen trotz niedriger pH-Werte unter aeroben Bedingungen zu einem durch Hefen und Schimmelpilze verursachten Verderb führen. Schimmelpilze verursachen neben dem Verlust an Nährstoffen und Energie des Futters durch toxische Stoffwechselprodukte auch eine Gesundheitsgefährdung der Tiere (Auerbach et al. 2000). In der Literatur sind für den natürlichen Keimbesatz auf Futterpflanzen vor der Silierung für Hefen Gehalte von 10^3 bis 10^5 kolonienbildenden Einheiten je Gramm Frischmasse (KBE/ g FM) und Schimmelpilze Werte zwischen 10^3 bis 10^4 KBE/ g FM angegeben. Die jeweiligen hohen Werte sind dabei als Richtwerte einzustufen, die im Futter nicht überschritten werden sollten.

Aerobe Stabilität ist ein Indikator für mikrobielles Wachstum, das durch wärmebildende Veratmungsprozesse gekennzeichnet ist (Honig 1990). Entsprechend der Angaben der DLG (2000) und nach Pahlow et al. (2004) ist aerobe Stabilität definiert als der Zeitraum, gemessen in Tagen, bis die Temperatur des Siliergutes die Umgebungstemperatur dauerhaft um mindestens 3 K überschreitet. Adesogan (2003) definiert den Beginn des Verderbs von gemahlenem Getreide schon bei einer Überschreitung der Umgebungstemperatur um 1 K . Nach Thaysen (2004) sollte die aerobe Stabilität für Silagen mindestens fünf Tage betragen.

Adesogan (2003) hat nachgewiesen, dass sowohl der Einsatz von heterofermentativen Bakterienstämmen, als auch eines chemischen Siliermittels auf Basis von

Ammoniumformiat, Propionsäure und einem geringen Anteil von Benzoesäure keinen hemmenden Einfluss auf die Entwicklung von Hefen und Schimmelpilzen in gemahlenem Weizen mit einem Feuchtegehalt von etwa 44 % haben. Die aerobe Stabilität betrug unabhängig von der Behandlung etwa 3,5 Tage. Das chemische Siliermittel konnte jedoch den einsetzenden Verderb danach am längsten hinauszögern. Auerbach (1996) weist auf die gute antimykotische Wirkung von benzoessäurehaltigen Siliermitteln hin.

Für den Konservierungsverlauf ist bei Getreide kein hoher Vermahlungsgrad erforderlich (Jungbluth 1989). Der Zerkleinerungsgrad von Getreidekörnern kann in einer Walzenmühle durch die Oberflächenbeschaffenheit der Walzen, deren Umdrehungsgeschwindigkeit und den Mahlpalt beeinflusst werden (Hoffmann 1998). Der Aufbereitungsgrad von Getreide durch den Crimper Bagger mit Feuchtegehalten von etwa 28 % wird bei Bellus (2004) für den Einsatz in der Rinderfütterung als ausreichend charakterisiert, da bei den beschriebenen Einstellungen der Walzenmühle keine ganzen Körner zu ermitteln sind. Auch Schröder et al. (1998) weisen darauf hin, dass eine über das Quetschen hinausgehende Zerkleinerung von Feuchtgetreide für die Verwendung in der Rinderfütterung aus ernährungsphysiologischen Aspekten nicht notwendig ist. Nach Buchanan-Smith et al. (2003) steigt bei zunehmendem Feuchtegehalt der Futterwert von Getreide beim Einsatz in der Rinderfütterung, wobei dieser Effekt bei Feuchtegehalten > 30 % bedingt durch geringere TM-Aufnahmen auch umgekehrt werden kann.

3 Methoden

3.1 Vorgehensweise

Die für die folgenden Versuche eingesetzte Maschine stellt eine technische Einheit aus Walzenmühle und Schlauchpresse dar und wird als „Crimper-Bagger“ bezeichnet. Die Maschine vom Typ Murska 1400 S 2x2 (Abb. 1) wird von Bellus (2004) hinsichtlich verfahrenstechnischer Aspekte detailliert beschrieben. Sie verfügt über einen Doppelwalzenstuhl mit zwei Walzenmühlen, die eine Punktrillenstruktur an der Oberfläche haben. Bei einem Zapfwellenantrieb von 540 Umdrehungen pro Minute führt die 2,7 % höhere Umdrehungsgeschwindigkeit der äußeren gegenüber den inneren Walzen zum Mahlen des Getreides und zu einer Stabilisierung der Maschine.

Durch die Walzenmühlen fallen die Körner aus dem darüber gelagerten Aufnahmebehälter auf die Förderschnecke, die dann das gemahlene Getreide in den Tunnel mit dem umgebenden Folienschlauch presst. Der Pressdruck wird über den Bremsdruck an der Achse der Schlauchpresse gesteuert. Das gemahlene Getreide kann nach der Aufbereitung durch die Walzen optional mit Siliermittel besprüht werden.

Die Einstellung des Zerkleinerungsgrades muss bei jedem Erntegut in Abhängigkeit von Korngröße und Feuchtegehalt neu eingestellt werden. Sie wurde mit einem Mahlpalt in der Walzenmühle von 3 mm so gewählt, dass nach dem Quetschvorgang keine Körner mit unbeschädigter Samenschale vorhanden waren. Nach Bellus (2004) liegt der mittlere Durchsatz von Weizen mit einem Feuchtegehalt von 28 % bei etwa 19 t/h.

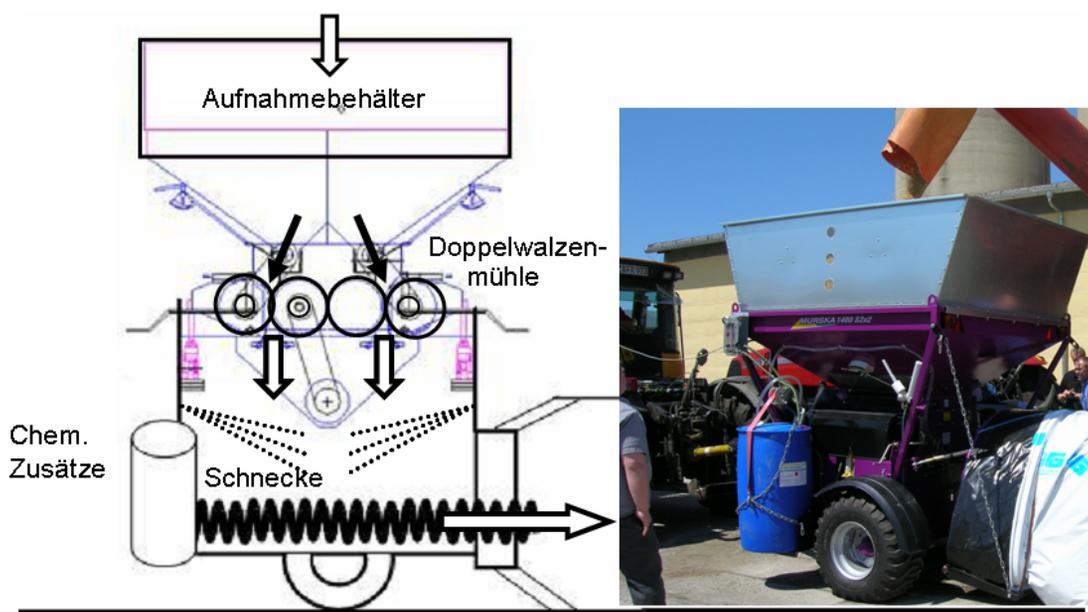


Abb. 1: Skizze einer Schlauchpresse mit integrierter Walzenmühle (Crimper Bagger)

Für den verfahrenstechnischen Vergleich des Folienschlauchverfahrens bei zwei Feuchteebenen sollte Weizen mit 20 % und 30 % Feuchte verwendet werden. Eine Ernte von Getreide mit Feuchtegehalten über 20 % war bei Versuchsbeginn aufgrund des fortgeschrittenen Reifegrades nicht mehr möglich. Daher wurde eine Anfeuchtung der Weizenkörner für die Varianten mit hohem Feuchtegehalt notwendig. Auf der Forschungsstation Frankenforst der Universität Bonn wurde Ende Juli 2005 an aufeinander folgenden Tagen Weizen der Sorte „Drifter“ von einem 7 ha großen Schlag mit einem Feuchtegehalt von etwa 20 % gedroschen. Die Hälfte des Erntegutes wurde in einem Vertikalfuttermischwagen angefeuchtet. Anschließend wurde jeweils ein Folienschlauch mit Weizen niedrigen Feuchtegehaltes von 18 % (low moisture, LM) und mit dem auf 30 % Feuchte angefeuchteten Weizen (high moisture, HM) angelegt.

Für die Anfeuchtung des Weizens wurden Chargen von etwa 4 t mit einem Förderband in einen Vertikalfuttermischwagen übergeladen. Die Ermittlung der aktuellen Feuchte erfolgte mit einem Schnelltester, um die für eine Zielfeuchte von 30 % zu ergänzende Wassermenge zu ermitteln. Die Applikation des Wassers wurde mittels integrierter Wiegeeinrichtung des Mischwagens kontrolliert. Nach einer Misch- und Einwirkungszeit von zehn Minuten, wurde das angefeuchtete Getreide mittels Förderband in den Aufnahmebehälter des Crimper-Baggers verladen.

Zur Untersuchung der Effizienz chemischer Zusätze in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt des Getreides wurde ein Siliermittel der Wirkungsrichtung 2 zur Verbesserung der aeroben Stabilität eingesetzt (KOFA®-Grain-pH 5, Addcon). Dieses beinhaltet Natriumbenzoat, Propionsäure und Natriumpropionat.

Zur Analyse des Erntematerials hinsichtlich Trockensubstanz, Roh Nährstoffen, Pufferkapazität und Keimgehalten wurden vor der Überladung des Erntematerials in den Crimper-Bagger mehrere Stichproben gezogen. Die Analysen für die Keimgehalte erfolgten unverzüglich, die weiteren Untersuchungen nach Einlagerung bei -18 °C nach Standardmethoden (VDLUFA 1993).

Die beiden Folienschläuche hatten jeweils eine Länge von 15 m, waren etwa 1,6 m hoch, sowie 2 m breit und enthielten eine Gesamtmasse von 18-20 t. Dabei entsprachen jeweils fünf Meter einer Applikationsstufe. Die ersten fünf Meter des Schlauches wurden als Kontrolle ohne Siliermittel gelegt. Im zweiten und dritten Abschnitt des HM-Schlauches wurde eine Zudosierung von zwei bzw. vier Liter Siliermittel je Tonne Frischmasse vorgenommen. Die Siliermittelmengen der LM-Varianten im zweiten Schlauch wurden auf 4 und 8 l/t FM verdoppelt, da aufgrund der geringeren Feuchtegehalte schlechtere Fermentations-

und Lagerungsbedingungen gegenüber den HM-Varianten zu erwarten waren.

Zur Ermittlung der Gärqualität, der Gärverluste sowie des Temperaturverlaufs innerhalb der Schläuche während einer Lagerdauer von 50 Tagen wurden Bilanznetze mit Temperaturloggern nach einer modifizierten „buried bag-Methode“ eingelegt (Weber 2005). Dazu wurden jeweils zwei Netze in drei Wiederholungen pro Behandlungsstufe in einem Längsabstand von je einem Meter über zwei Klappen im Tunnel, die speziell für die Maschine im Kern- und Randbereich eingebaut waren, positioniert. Die Temperaturoaufzeichnung erfolgte in einem Intervall von zwei Stunden. Zur Entnahme des Materials für die Befüllung der Bilanznetze mit etwa zwei Kilogramm Siliergut und je einem Datenlogger und zum Einlegen wurde die Maschine kurzzeitig gestoppt.

Nach einer Lagerdauer von 50 Tagen fand eine Öffnung der Schläuche und die Entnahme aller Bilanznetze statt. Nach einer Rückwaage wurden von jedem Beutelinhalt Proben gezogen und für die spätere Analyse der Gärqualitätsparameter eingefroren. Zur Analyse der Keimgehalte wurde aus den drei Kern- und Randproben jeder Variante eine Mischprobe zusammengestellt. Für die Untersuchung der aeroben Stabilität des im Folienschlauch gelagerten Weizens wurden aus jedem Beutelinhalt Proben entnommen und analog zu den Laborversuchen im Klimaschrank eingelagert.

3.2 Laborversuche

Um in standardisierter Form die Varianten im Labor zu untersuchen, wurden nach Vorgabe der DLG (2000) Versuchsreihen in Kleinsilos (1,5 l Glas) mit dem Material aus den Schläuchen zum Zeitpunkt der Einlagerung angelegt. Dadurch sollte parallel zu den Praxisversuchen die Gärqualität und aerobe Stabilität, sowie die pH-Wert-Absenkung ermittelt werden. Zusätzlich zu den im Schlauch vorhandenen Dosierungsstufen wurden im Labor die Siliermittelmengen um weitere Varianten ergänzt, um eine schärfere Eingrenzung der Siliermittelwirkung zu ermöglichen.

Je Feuchtigkeitsstufe wurden vier Behandlungsstufen mit 0, 2, 4 und 6 l/t FM angesetzt. Parallel zum Praxisversuch mit der Schlauchpresse wurde das Material aus den entsprechenden Abschnitten beim Einlegen der Bilanznetze entnommen. Um die zusätzlichen Applikationsstufen anlegen zu können, wurde unbehandeltes, gemahlene Getreide aus dem jeweiligen Folienschlauch entnommen. Die Siliermittelapplikation erfolgte mittels Kompressor und Zerstäuber in einem Betonmischer bei zehnminütiger Durchmischung.

Es wurden drei Versuchsreihen in handelsüblichen 1,5 l Glasgefäßen mit je drei Wiederholungen für die Untersuchungsziele pH-Wert-Absenkung nach drei

Tagen, Gärqualität nach 90 Tagen und aerobe Stabilität nach 49 Tagen mit Luftstress an Tag 28 und 42 angesetzt. Die Vorgehensweise entsprach dabei dem DLG-Prüfschema (DLG 2000). In den Versuchreihen für pH-Wert und Gärqualität wurden die Gläser mit 1.200 g (LM) bzw. 1.350 g (HM) Weizen zu etwa 90 % gefüllt und das Getreide manuell auf umgerechnet etwa 800 (LM) bzw. 900 kg FM/m³ (HM) verdichtet. Die Lagerungsdichte für die Reihe „aerobe Stabilität“ entsprach 460 kg FM/m³ bei den LM-Varianten bzw. 530 kg FM/m³ bei den HM-Varianten. Alle Gläser wurden luftdicht verschlossen und bei 25 °C im Klimaschrank eingelagert. Zusätzlich zu dieser standardisierten Methode wurde auch das Material aus den Siliergläsern mit dem Untersuchungsziel Gärqualität nach 90 Tagen Lagerdauer und das Material aus den Bilanznetzen der Folienschläuche nach 50 Tagen Lagerung aerob im Klimaschrank gelagert und die Temperatur aufgezeichnet. In Anlehnung an Empfehlungen von der DLG (2000), Pahlow et al. (2004) sowie Adesogan (2003) wurde die kritische Temperatur für den Beginn des aeroben Verderbs mit einer Überschreitung der Umgebungstemperatur um 2 K definiert.

Die Ermittlung der Partikelgrößenverteilung erfolgte mit einem Siebturm mit Rundlöchern in folgenden neun Stufen:

- ≤ 2 mm
- 2,0 - 2,5 mm
- 2,5 - 3,0 mm
- 3,0 - 3,5 mm
- 3,5 - 4,0 mm
- 4,0 - 4,5 mm
- 4,5 - 5,0 mm
- 5,0 - 6,0 mm
- ≥ 6 mm.

Es wurde in vierfacher Wiederholung 200 g frisches Material aus dem Folienschlauch entnommen und mit einer Laufzeit von 3 Minuten gesiebt. Eine Rückwaage der Einzelfractionen ermöglichte die Berechnung der Massenanteile.

Um die Verdichtbarkeit von gemahlenem Weizen zu untersuchen, wurden im Labor Versuche mit einer Materialprüfmaschine durchgeführt (Abb. 2). Die Vorgehensweise entspricht dabei der von Wagner et al. (2004) beschriebenen Methode der Verdichtbarkeitsprüfung von Maissilage. Es wurden Proben des frisch gemahlene Getreides mit konstanter Einwaage (LM: 1.975 g; HM: 1.650 g) und konstantem Volumen (550 cm³) in sechsfacher Wiederholung auf Verdichtbarkeit analysiert. Die Kraft zur Verdichtung des Materials wird über einen Kraftaufnehmer kontinuierlich gemessen und über den Weg aufgezeichnet.



Abb. 2: Materialprüfmaschine zur Prüfung der Verdichtbarkeit von gequetschtem Feuchtgetreide

4 Ergebnisse

4.1 Beschreibung des Ausgangsmaterials

Die Abreife des Getreides erfolgte im Sommer 2005 aufgrund der günstigen Witterung sehr zügig. Aus Tabelle 1 geht hervor, dass der Feuchtegehalt der untersuchten Proben mit gut 13 % bzw. 18 % sehr gering ist. Ursache sind Probenahmeort und Zeitpunkt, da die Probenahme bei sehr warmer Witterung erfolgte.

Tabelle 1: Mittelwerte und Standardabweichungen (kursiv) physikalischer, chemischer und mikrobiologischer Parameter von erntefrischem Weizen unterschiedlicher Feuchten

Parameter	Ausgangsmaterial für	
	LM-Variante	HM-Variante
TS [g/kg]	866,5 <i>0,7</i>	818,5 <i>26,2</i>
Rohasche [g/kg]	18,4 <i>0,1</i>	17 <i>1,1</i>
Rohprotein [g/kg]	137,5 <i>2,1</i>	140 <i>0</i>
Rohfaser [g/kg]	29,5 <i>1,6</i>	29,9 <i>2,1</i>
Rohfett [g/kg]	20,1 <i>0,1</i>	19,3 <i>0,4</i>
Zucker* [g/kg]	18,2 <i>0</i>	16,2 <i>0,6</i>
Pufferkapazität [g Milchsäure/kg TS]	19 <i>0</i>	17 <i>0</i>
Hefen [lg KBE/g FM]	4,7 <i>0,4</i>	4,8 <i>0,6</i>
Schimmelpilze [lg KBE/g FM]	3,5 <i>0,9</i>	4,1 <i>0,5</i>

* Gesamtzucker als Saccharose nach VDLUFA

Tabelle 2: Mittelwerte und Standardabweichungen (kursiv) von Weizen nach dreitägiger Lagerung im Silierglas unter verschiedenen Silierbedingungen

Feuchte [%]	18				30			
	Siliermittel [l/t FM]							
	0	2	4	6	0	2	4	6
Feuchtegehalt [%]	19,7	17,0	16,2	19,5	29,2	29,0	29,2	28,9
TS [g/kg]	803,0 <i>0,1</i>	830,0 <i>0,1</i>	838,0 <i>0,0</i>	805,0 <i>0,1</i>	708,0 <i>0,1</i>	710,0 <i>0,1</i>	708,0 <i>0,1</i>	711,0 <i>0,2</i>
pH-Wert	6,5 <i>0,1</i>	6,2 <i>0,1</i>	6,0 <i>0,0</i>	6,1 <i>0,1</i>	5,2 <i>0,1</i>	5,4 <i>0,1</i>	5,2 <i>0,1</i>	5,0 <i>0,2</i>

Die Rohnährstoffgehalte weisen für Weizen typische Werte auf und auch die Zuckergehalte sowie die Pufferkapazität fallen mit Gehalten zwischen 16 und 18 g/kg TS erwartungsgemäß niedrig aus. Die Gehalte an Hefen liegen im Ausgangsmaterial für die LM-Varianten mit 10^4 KBE/g FM unter dem kritischen Richtwert von 10^5 KBE/g FM. Beim Weizen der HM-Varianten wird dieser Richtwert überschritten, wobei auf die starken Schwankungen der Einzelergebnisse hinzuweisen ist. Die Schimmelpilzgehalte weisen ähnliche Ergebnisse auf, wobei der kritische Richtwert von 10^4 KBE/g im Mittel nur bei dem HM-Material überschritten wird und wiederum eine hohe Standardabweichung erkennbar ist.

4.2 pH-Werte und Gärprodukte

Tabelle 2 zeigt die pH-Werte vom Weizen im Silierglas in Abhängigkeit von Feuchtegehalt und Siliermittelmenge nach einer Lagerdauer von 3 Tagen

bei 25 °C. Die ermittelten Feuchtegehalte der LM-Varianten liegen zwischen 16 % und 20 %, was auf die Schwierigkeit hindeutet, Getreide zu ernten, das einen einheitlichen Feuchtegehalt im Tagesverlauf aufweist. Die Feuchtegehalte der HM-Varianten zeigen dagegen einheitliche Werte von etwa 29 %, was auf die Tauglichkeit der Methode zur Anfeuchtung hindeutet. Die pH-Werte der LM-Varianten fallen von der Kontrolle ausgehend nur geringfügig auf pH 6,0 ab, was auf den Einsatz des Siliermittels zurück zu führen ist. Die HM-Varianten weisen dagegen nach dieser kurzen Einlagerungsdauer einen deutlichen Abfall des pH-Wertes auf etwa 5,2 auf, wobei ein erhöhter Siliermittelaufwand keinen eindeutig höheren Effekt erzielt.

Die Ergebnisse der Gärqualitätsanalyse (Tabelle 3) zeigen eindeutig, dass im Weizen mit einem durchschnittlichen Feuchtegehalt von 18 % keine Silierung stattgefunden hat. Eine geringe Absenkung des pH-

Tabelle 3: Mittelwerte und Standardabweichungen (kursiv) des pH-Wertes und der Gärproduktgehalte in Weizen nach 90-tägiger Lagerung im Silierglas und nach 50-tägiger Lagerung im Folienschlauch unter verschiedenen Silierbedingungen

Feuchte [%]	SILIERGLAS						FOLIENSCHLAUCH							
	18			30			18			30				
Siliermittel [l/t FM]	0	4	8	0	2	4	0	2	4	6	0	2	4	6
TS [g/kg]	800,2 <i>3,7</i>	819,3 <i>5,7</i>	826,0 <i>5,9</i>	700,0 <i>11,1</i>	697,2 <i>11,8</i>	695,5 <i>4,8</i>	798,0 <i>1,7</i>	824,7 <i>1,0</i>	832,0 <i>1,2</i>	800,7 <i>4,0</i>	700,0 <i>2,0</i>	702,0 <i>0,6</i>	699,3 <i>1,0</i>	704,3 <i>0,6</i>
pH-Wert	6,5 <i>0,1</i>	6,0 <i>0,1</i>	5,6 <i>0,2</i>	4,2 <i>0,1</i>	4,2 <i>0,0</i>	4,1 <i>0,0</i>	6,4 <i>0,2</i>	6,2 <i>0,1</i>	6 <i>0,1</i>	6,1 <i>0,1</i>	4,2 <i>0,0</i>	4,2 <i>0,1</i>	4,2 <i>0,0</i>	4,1 <i>0,0</i>
Milchsäure [g/kg TS]	0,0 <i>0,0</i>	0,0 <i>0,0</i>	0,0 <i>0,0</i>	16,8 <i>4,1</i>	10,1 <i>2,3</i>	13,2 <i>1,7</i>	0,0 <i>0,0</i>	0,0 <i>0,0</i>	0,0 <i>0,0</i>	0,0 <i>0,0</i>	16,4 <i>2,0</i>	13,7 <i>1,0</i>	14,5 <i>2,0</i>	17,1 <i>1,0</i>
Essigsäure [g/kg TS]	0,0 <i>0,0</i>	0,0 <i>0,0</i>	0,0 <i>0,0</i>	6,1 <i>2,0</i>	4,6 <i>1,5</i>	4,2 <i>1,0</i>	0,1 <i>0,0</i>	0,5 <i>0,7</i>	0,1 <i>0,0</i>	0,1 <i>0,0</i>	4,4 <i>0,5</i>	7,3 <i>0,6</i>	5,5 <i>0,8</i>	2,4 <i>1,1</i>
Propionsäure [g/kg TS]	0,9 <i>0,1</i>	2,3 <i>0,5</i>	4,6 <i>1,1</i>	1,1 <i>0,4</i>	1,4 <i>0,3</i>	2,5 <i>0,5</i>	0,0 <i>0,0</i>	2,1 <i>0,0</i>	4,6 <i>1,0</i>	3,1 <i>0,0</i>	0,2 <i>0,0</i>	0,9 <i>0,0</i>	1,8 <i>0,0</i>	2,8 <i>0,0</i>
Buttersäure [g/kg TS]	0,0 <i>0,0</i>	0,0 <i>0,0</i>	0,0 <i>0,0</i>	0,0 <i>0,0</i>	0,0 <i>0,0</i>	0,0 <i>0,0</i>	0,0 <i>0,0</i>	0,0 <i>0,0</i>	0,0 <i>0,0</i>	0,0 <i>0,0</i>	0,0 <i>0,0</i>	0,0 <i>0,0</i>	0,0 <i>0,0</i>	0,0 <i>0,0</i>
NH ₄ -N [g/kg TS]	68,3 <i>8,1</i>	61,0 <i>0,9</i>	64,6 <i>6,5</i>	532,1 <i>88,7</i>	537,0 <i>51,1</i>	548,1 <i>64,7</i>	68 <i>8,7</i>	61 <i>0,0</i>	60 <i>0,1</i>	62,4 <i>0,0</i>	875,7 <i>30,8</i>	897,4 <i>49,2</i>	807,9 <i>18,2</i>	576,0 <i>15,0</i>
Ethanol [g/kg TS]	1,1 <i>0,5</i>	0,2 <i>0,1</i>	0,1 <i>0,1</i>	2,8 <i>0,5</i>	1,7 <i>0,3</i>	1,5 <i>0,3</i>	0,7 <i>0,0</i>	0,1 <i>0,0</i>	0,2 <i>0,0</i>	0,9 <i>0,0</i>	2,8 <i>1,0</i>	2,9 <i>0,0</i>	2,2 <i>0,0</i>	0,7 <i>0,0</i>

Tabelle 4: Mittelwerte und Standardabweichungen (kursiv) der Keimgehalte in Weizen nach 49-tägiger Lagerung im Silierglas und Luftstress an Tag 28 und 42 unter verschiedenen Silierbedingungen

Feuchte [%]	18				30			
	0	2	4	6	0	2	4	6
Siliermittel [l/t FM]								
TS [g/kg]	803,0 <i>0,1</i>	830,0 <i>0,1</i>	838,0 <i>0,0</i>	805,0 <i>0,1</i>	708,0 <i>0,1</i>	710,0 <i>0,1</i>	708,0 <i>0,1</i>	711,0 <i>0,2</i>
Hefen [lg KBE/g FM]	6,7 <i>1,0</i>	2,7 <i>0,2</i>	2,7 <i>1,2</i>	5,5 <i>0,1</i>	6,1 <i>0,2</i>	4,5 <i>0,0</i>	4,2 <i>0,0</i>	4,4 <i>0,5</i>
Schimmelpilze [lg KBE/g FM]	3,0 <i>0,3</i>	2,8 <i>0,2</i>	2,7 <i>0,0</i>	3,0 <i>0,2</i>	3,5 <i>1,2</i>	2,8 <i>0,2</i>	2,7 <i>0,0</i>	2,7 <i>0,0</i>

Wertes ist lediglich durch eine zunehmende Siliermittelmenge zu erreichen. Abweichende Werte der LM-6-Liter-Variante deuten auf eine Fehlapplikation des Siliermittels hin. Bei einem Feuchtegehalt von 30 % findet eine Silierung mit geringfügiger Milch- und Essigsäurebildung statt, die ausreicht um einen pH-Wert von 4,2 zu erreichen. Sehr geringe NH₄-N-Gehalte deuten auf einen schnellen Abschluss der Fermentationsprozesse hin. Fehlende Buttersäure und sehr geringe Ethanolgehalte, die durch zunehmende Siliermittelmengen noch weiter reduziert werden können, unterstreichen die anaerobe Stabilität des Silierprozesses. Auch die Auswertung des Temperaturverlaufes während der Lagerung weist auf stabile anaerobe Lagerungsbedingungen in beiden Folienschläuchen hin. Ein stetiger Rückgang der Temperatur von 35 °C bei der Einlagerung auf einen Wert von etwa 25 °C nach drei Wochen, der bis zur Öffnung stabil blieb, bestätigt dies.

4.3 Aerobe Stabilität des Futters

Die in Tabelle 4 dargestellten Keimgehalte zeigen die Belastung der Varianten nach 49 Tagen Lagerdauer im Glas bei 24-stündigem Luftstress am Tag 28 und 42. Hieraus geht hervor, dass die unbehandelten Kontrollen sowohl bei Hefen als auch bei Schimmelpilzen kritische Werte von 10⁶ KBE/g FM bzw. 10⁴ KBE/g FM erreichen, während der Siliermitteleinsatz insbesondere bei den Hefen zu einer deutlich abgeschwächten Entwicklung führt und die hohen Werte des Ausgangsmaterials nicht erreicht werden. Der relativ hohe Gehalt an Keimen in der LM-6-Liter Variante ist vermutlich auf eine fehlerhafte Applikation zurück zu führen. Dies wird zurzeit im Labor überprüft. Insgesamt unterliegen die Keimgehalte bedingt durch die methodische und analytische Vorgehensweise sehr starken Schwankungen. Die Entwicklung der Keimgehalte unter durchgängig anaeroben Verhältnissen im Folienschlauch (Tabelle 5) weist, abgesehen von der unbehandelten LM-Variante, keine Richtwert überschreitenden Werte auf. Hervorzuheben ist, dass im

Gegensatz zu den im Labor ermittelten Keimgehalten insbesondere die unbehandelte HM-Variante kaum nachweisbare Gehalte enthält.

Die im Labor ermittelte aerobe Stabilität von im Glas und im Folienschlauch gelagerten Weizen zeigt unabhängig vom Feuchtegehalt beim Einsatz von zwei Liter Siliermittel bereits hohe Werte auf, die mit zunehmender Siliermittelmenge nicht eindeutig weiter verbessert werden können (Tabelle 6). Es fällt auf, dass beim anaerob gelagerten Weizen mit hohem Feuchtegehalt (HM) unabhängig vom Siliermittelzusatz sowohl aus dem Silierglas als auch aus dem Folienschlauch keine Temperaturerhöhung über die Messdauer zu ermitteln ist.

Tabelle 5: Keimgehalte in Weizen nach 50-tägiger anaerober Lagerung im Folienschlauch in Kern- und Randzonen des Folienschlauchs unter verschiedenen Silierbedingungen

Feuchte [%]	Siliermittel [l/t FM]	18			30		
		0	4	8	0	2	4
Hefen [lg KBE/g FM]	Kern	6,2	3,8	3,4	2,7	2,7	3,9
	Rand	7,3	4,1	3,3	2,7	2,7	4,5
Schimmelpilze [lg KBE/g FM]	Kern	6,3	3,0	2,7	2,7	3,0	3,2
	Rand	3,9	3,2	2,7	2,7	2,7	2,7

Messungen des Temperaturverlaufs am geöffneten Folienschlauch mit unbehandeltem Weizen bestätigen die Laborergebnisse, indem über 14 Tage keine Temperaturerhöhung in der HM-Variante festgestellt werden konnte. Weizen der LM-Variante ohne Siliermittelzusatz hat dagegen eine geringe aerobe Stabilität von nur drei Tagen aufgezeigt. Die scheinbare Stabilität aller LM-Varianten im Silierglas mit Luftstress kann durch unvermeidbare Trocknungsabläufe im Silierglas erklärt werden. Während des Testes ist mit Wasserverlust zu rechnen, der zu lagerstabilen Feuchtegehalten führt.

Tabelle 6: Mittlere aerobe Stabilität in Tagen (Standardabweichungen kursiv) von Weizen im Silierglas und im Folienschlauch unter verschiedenen Silierbedingungen

Feuchte [%]	18				30				
Siliermittel [l/t FM]	0	2	4	6	8	0	2	4	6
Silierglas									
49-tägige Lagerung									
(Luftstress)	14	14	14	14		1	11	14	14
	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>		<i>1</i>	<i>5</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
90-tägige Lagerung									
(anaerob)	9	20	22	25		25	25	25	25
	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>0</i>		<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
Folienschlauch									
50-tägige Lagerung									
(Kernzone)	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	<i>0</i>								
50-tägige Lagerung									
(Randzone)	2	13	13	13	13	13	9		
	<i>3</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>2</i>		

4.4 Trockenmasseverluste, Partikelgrößen und Verdichtbarkeit

Ein eindeutiger Verlust an Trockenmasse des eingelagerten Feuchtgetreides konnte sowohl unter Labor- als auch unter Praxisbedingungen nicht nachgewiesen werden. Die Differenzen in der Wägung vor und nach Einlagerung fielen geringer aus als der von Weißbach (1998) geschätzte Probenahmefehler von etwa 2 %.

Die Verteilung der Partikelgrößen des Erntematerials und des gemahlene Weizens (Abb. 3) zeigt auf, dass etwa 90 % der geernteten Körner in die Größenklasse 3-4 mm fielen. Der eingestellte Zerkleinerungsgrad der Walzenmühle führte zu einer breiteren Verteilung der Einzelfraktionen auf die neun Siebgrößenklassen zwischen 0 und ≥ 6 mm, wobei nach dem Mahlvorgang die Massenanteile in der Größenklasse ≤ 3 mm bei etwa 30 % (HM) bis 40 % (LM) lagen.

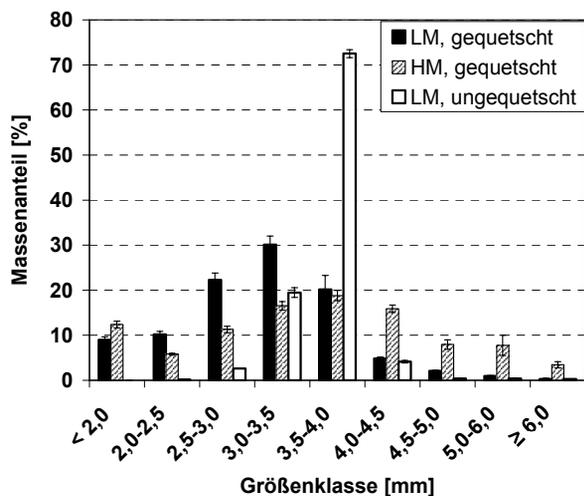


Abb. 3: Verteilung der Partikelgrößen von gemahlenem Weizen mit Feuchtegehalten von 18 % (LM-Variante) und 30 % (HM-Variante)

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Verdichtbarkeit gehen aus dem Druck-Dichte Diagramm (Abb. 4) hervor. Deutlich wird, dass gemahlener Weizen der LM-Variante eindeutig schlechter verdichtet wird als die angefeuchtete Variante. Es werden bei einem Druck von 0,38 MPa Werte von 800 kg TM/m³ (LM) bzw. 950 kg TM/m³ (HM) erreicht. Auf die höhere Elastizität des feuchten Materials ist hinzuweisen.

Zur Bestimmung der Dichte im Folienschlauch erwiesen sich die Bohrstockmethode und das Herausschneiden eines Blockes mit einem Siloblocksneider als ungeeignet.

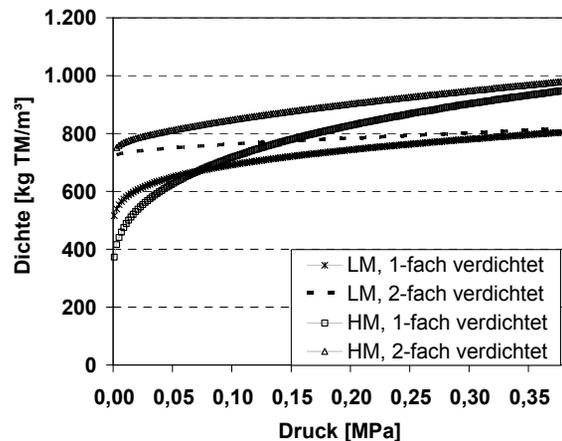


Abb. 4: Einfluss des Feuchtegehaltes auf die Verdichtbarkeit von gemahlenem Weizen

5 Diskussion

Die Inhaltsstoffe von Weizen bieten trotz geringer Zuckergehalte von weniger als 20 g/kg TS günstige Voraussetzungen für eine Silierung. Die geringe Pufferkapazität ist mit Werten von knapp 20 g Milchsäure/kg TS etwa halb so hoch wie bei Mais- und Grassilagen (Kalzendorf 2002). Daher kann bei einem Feuchtegehalt von etwa 30 % ein schneller Fermentationsprozess einsetzen wie es bei Buchanan-Smith et al. (2003) beschrieben wird. Fehlende Gehalte an Buttersäure, sowie sehr geringe Ethanolgehalte bestätigen die stabilen anaeroben Lagerungsbedingungen (Tabelle 5 und 6). Bei einem Feuchtegehalt von weniger als 20 % findet keine Silierung statt. Trotzdem kann das Getreide im verschlossenen Folienschlauch stabil gelagert werden. Das Entstehen einer CO₂-Atmosphäre im verschlossenen Folienschlauch hat einen konservierenden Effekt (Jungbluth 1989). Bei Luftzufuhr nach Öffnung der Folienschläuche findet in Abhängigkeit vom Porenvolumen ein Gasaustausch von Kohlendioxid in der Silage und dem Luftsauerstoff statt. Füll et al. (2006) beschreiben den großen Einfluss des Porenvolumens auf die Gärqualität und die aerobe Stabilität bei Rundballengrassilagen. Durch eine Verminderung des Porenvolumens kann der Gasaustausch

von Kohlendioxid in der Silage und dem Luftsauerstoff deutlich reduziert werden. Dies führt zu einer verbesserten Gärqualität und einer erhöhten aeroben Stabilität. Einem Ansteigen des Porenvolumens durch eine Zunahme des Trockenmassegehaltes kann nur durch die Siliertechnik oder höhere Verdichtungsdrücke sowie längerer Verdichtungsdauer entgegengewirkt werden. Die ermittelten Unterschiede in der aeroben Stabilität von Feuchtgetreide im Folienschlauch können als Folge unterschiedlicher Porenvolumina interpretiert werden.

Im Silierglas ist nachgewiesen worden, dass bereits eine Menge von 2 l/t FM des eingesetzten Siliermittels das Keimwachstum soweit reduzieren kann, dass die aerobe Stabilität über einen Zeitraum von mehr als einer Woche sichergestellt werden kann. Der Nachweis unter praktischen Bedingungen im Folienschlauch soll durch weitere Untersuchungen erbracht werden.

Die Untersuchung der Dichte im Folienschlauch ist bisher nicht möglich gewesen, da es bei einem geringen Feuchtegehalt des eingelagerten Getreides direkt nach der Öffnung zu einer Verrieselung kommt. Konventionelle Methoden zur Bestimmung der Verdichtung in Silagen wie die Bohrstockmethode oder die Bestimmung einer mittleren Dichte durch Entnahme eines definierten Blocks haben sich als nicht geeignet erwiesen. Der Einsatz alternativer Untersuchungsmethoden wird zurzeit noch geprüft.

Im Labor hat eine standardisierte Verdichtung von gemahlenem Getreide in einem Zylinder mit einem Stempel in einer Materialprüfmaschine gezeigt, dass mit maximalem Verdichtungsdruck von 0,38 MPa bei der LM-Variante Werte von 800 kg TM/m³ erreicht werden können. Zum Vergleich ist darauf hinzuweisen, dass dies dem Schüttgewicht ganzer Weizenkörner entspricht. Bei der HM-Variante sind mit 950 kg TM/m³ deutlich höhere Werte zu erzielen. Die intensivere Verminderung des Porenvolumens bei der HM-Variante erklärt die höhere aerobe Stabilität im Folienschlauch.

Bei der für den Zerkleinerungsgrad gewählten Maschineneinstellung kann eine Verschiebung der Partikelgrößenverteilung zugunsten der Größenklasse ≤ 3 mm ermittelt werden, in die Massenanteile von mehr als 30 % (HM) bzw. 40 % LM einzuordnen sind. Der tatsächliche Anteil der HM-Variante in dieser Größenklasse liegt voraussichtlich höher, da durch den Feuchtegehalt eine Verklebung der Partikel erfolgt, die auch durch eine Vortrocknung des Siebmaterials nicht zu verhindern ist. Bellus (2004) ermittelte für Weizen vergleichbarer Korngröße mit einer Feuchte von 28 % einen Massenanteil von 93 % in der Partikelgrößenklasse > 2 mm. Die in der vorliegenden Untersuchung ermittelten Werte von 88 % (HM) bzw. 91 % (LM) sind vergleichbar. Eine qualitative Beur-

teilung des Aufbereitungsgrades durch die Walzenmühlen des Crimper-Baggers ist allein durch eine Siebfractionierung nicht zu treffen. Ein hoher Vermahlungsgrad ist zwar nach Jungbluth (1989) für den Konservierungsverlauf nicht notwendig. Eine Ermittlung der Ganzkornanteile erscheint allerdings sinnvoll, um die von Schröder et al. (1998) beschriebene, aus ernährungsphysiologischen Aspekten der Rinderfütterung ausreichende Quetschung mit den bei Füll et al. (1997) geforderten Ganzkornanteilen von weniger als 1 % nachweisen zu können.

6 Fazit

Das Folienschlauchverfahren stellt eine geeignete technische Alternative zu konventionellen Lagerungsmethoden für Futtergetreide dar. Erste Versuchsergebnisse weisen darauf hin, dass unabhängig vom Feuchtegehalt auch ohne einen Siliermittelzusatz eine stabile anaerobe Lagerung von Weizen im Folienschlauch zu erzielen ist. Durch die luftdichte Lagerung im verschlossenen Folienschlauch stellt sich eine CO₂-Atmosphäre ein, die eine Entwicklung von Mikroorganismen unterbindet. Bei Luftzutritt ist die aerobe Stabilität des unbehandelten Getreides mit einem Feuchtegehalt von 18 % jedoch sehr gering. Neben der fehlenden Fermentation ist dies durch die mangelnde Verdichtbarkeit zu begründen. Mit einem Siliermittelaufwand von 2 l/t FM ist unter den Versuchsbedingungen die aerobe Stabilität zunächst auf Laborebene gewährleistet worden.

Eine Silierung kann nur bei einem Feuchtegehalt von etwa 30 % nachgewiesen werden. Die ersten Ergebnisse deuten darauf hin, dass neben einer deutlich höheren Verdichtbarkeit des feuchten Getreides auch ohne Siliermittelzusatz eine ausreichende Stabilität bei Luftzutritt erreicht werden kann. Weitere Untersuchungen zur Verdichtung im Folienschlauch sollen auf Labor- und Praxisebene Aufschluss über Möglichkeiten und Grenzen der Feuchtgetreidekonservierung geben.

Literaturverzeichnis

- Adesogan A.T. (2003): Effect of *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus fermentum*, *Leuconostoc mesenteroides* inoculants, or a Chemical Additive on the Fermentation, Aerobic Stability, and Nutritive Value of Crimped Wheat Grains. J. Dairy Sci. 86, 1789-1796.
- Auerbach H. (1996): Verfahrensgrundlagen zur Senkung des Risikos eines Befalls von Silagen mit *Penicillium roqueforti* und einer Kontamination mit Mykotoxinen dieses Schimmelpilzes. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 168, Universität Hohenheim, Dissertation, 167 pp.
- Auerbach H., Oldenburg E., Pahlow G. (2000): Prevention of *Penicillium roqueforti* – associated aerobic deterioration of maize silage by various additives. Proceedings of

22. Mykotoxin – Workshop, Bonn, Germany, 5-7 June 2000, p. 146-149.
- BAG (2003): „Haben Sie noch Fragen zur Schlauchsilierung?“ BAG Budissa Agroservice GmbH, Malschwitz.
- Bellus Z. (2004): Agricultural Machinery Test – Murska 1400 S 2x2 Corn Crushing Roller-Mill, Ministry of Agriculture and Rural Development, Gödöllő, Hungary.
- Buchanan-Smith J., Smith T.K., Morris J.R. (2003): High-Moisture Grain and Grain By-Products. In: Buxton R., Muck R. E., Harrison J.H. (eds.), *Silage Science and Technology*, ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin, USA, p. 825-854.
- DLG (2000): DLG-Richtlinien für die Prüfung von Siliermitteln auf DLG-Gütezeichen-Fähigkeit, DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Eckl J. (2005): Getreide günstig konservieren, DLZ-Agrarmagazin 6/2005, 60-65.
- Fürll C., Idler C., Hoffmann T. (1997): Untersuchungen zu Verfahren der Konservierung von erntefeuchtem, grobgeschrotetem Getreide. *Agrartechnische Forschung* 3 (1-3), 66-75.
- 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.
- Hoffmann T. (1998): Gestaltung von Technik und Verfahren für die Ernte und Konservierung von Getreide auf der Grundlage witterungsbedingter Kornfeuchten. VDI-MEG 339, Humboldt-Universität zu Berlin, Dissertation, p. 96-113.
- Honig H. (1990): Evaluation of aerobic stability. *Grass and Forage Reports* 3, p. 76-82.
- Jungbluth T. (1989): Beurteilung von Verfahren der Feuchtgetreidekonservierung. Universität Hohenheim, Habilitationsschrift.
- Kalzendorf C. (2002): Grundlagen der Silierung. Futterkonservierung - Siliermittel, Dosiergeräte, Silofolien. Arbeitsgemeinschaft der nordwestdeutschen Landwirtschaftskammern. p. 7.
- Matthias J. (2002): Feuchtgetreidekonservierung. Futterkonservierung - Siliermittel, Dosiergeräte, Silofolien. Arbeitsgemeinschaft der nordwestdeutschen Landwirtschaftskammern. p. 25-31.
- Pahlow G., Honig H., Martens S. (2004): Simple laboratory scale techniques for monitoring and controlling the lactic acid fermentation and shelf life of feeds and foods. Food safety under extreme conditions - A conference on small-scale producing units of traditional fermented foods, Jaén (Spain), September 6-8, 2004.
- Schröder A., Südekum K.-H., Fürll C., Idler C. (1998): Qualität und Futterwert für Wiederkäuer von luftdicht gelagertem Feuchtgetreide. 110. VDLUFA-Kongreß, Gießen, Kurzfassungen der Vorträge 1998, p. 72.
- Thaysen J. (2004): Die Produktion von qualitativ hochwertigen Grassilagen. *Übers. Tierernähr.* 32, p. 57-102.
- VDLUFA (1993): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, Methodenbuch Band III, 28.1.1. bis 28.1.4.
- Wagner A., Leurs K., Büscher W. (2004): Einfluss der Hacksellänge auf Verdichtbarkeit, Silierung und Nacherwärmung von Silomais. *Agrartechnische Forschung* 10 (4-6), 54-61.
- Weber U. (2005): Untersuchung zur Silierung von Zuckerrübenpressschnitzeln in Folienschläuchen. Humboldt-Universität zu Berlin, Dissertation, p. 25-27.
- Weißbach F. (1998): Über die Bestimmung der Gärverluste in Silierversuchen unter Laborbedingungen. Kongreßband zum 110. VDLUFA-Kongreß, Gießen, 1998, p. 461-464.