

Entwicklungen bei Silofolien und Schutz vor Folienbeschädigung zur Verbesserung der Versiegelungsgüte von Fahrsilos und Rundballen

Progress of silage films and protection against foil-damage for improvement of sealing quality of bunkers, clamps and round bales

Reinhard Resch^{1*}

Zusammenfassung

In Österreich werden jährlich etwa 4,4 Millionen Tonnen an siliierter Futter-Trockenmasse durch die Installation von möglichst luftdichten Abdecksystemen vor aerobem Verderb geschützt. Für den Silageproduzenten stehen heute je nach Silierverfahren (Flachsilos, Silageballen etc.) verschiedene Möglichkeiten der Siloversiegelung zur Verfügung, wobei sich die einzelnen Abdeckverfahren in puncto Versiegelungsgüte sowie Arbeitsaufwand für Installation und Entfernung unterscheiden. In der guten landwirtschaftlichen Praxis haben heute Abdecksysteme auf Basis von co-extrudierten, mehrschichtigen Polyethylen-Folien (PE) die größte Anwenderschaft. Seit den 1990er-Jahren finden zunehmend Silofolien mit höherwertigeren Kunststoffen Verbreitung, weil diese eine deutlich geringere Luftdurchlässigkeit (oxygen barrier = OB) aufweisen. In vielen international durchgeführten Folienvergleichen konnte nachgewiesen werden, dass mehrschichtige OB-Folien mit Barrierschichten aus Polyamid (PA) oder Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer (EVOH, EVAL) insbesondere die TM-Verluste der oberflächennahen Silageschicht verringern konnten und auch die aerobe Stabilität der Silage deutlich verbessern. Der Trend bei der modernen Folienproduktion geht in Richtung mehrschichtig (Co-Extrusion mit mindestens 3 Lagen) und Verwendung von hochwertigen Komponenten, welche die Reiß- und Durchstoßfestigkeit sowie die UV-Stabilität verbessern. Mit bester Technik und optimalen Bestandteilen ist es möglich die gewünschten Folieneigenschaften auch bei viel geringerer Foliendicke (Flachsilofolie bis 45 µm, Ballenstretchfolie bis 17 µm) zu gewährleisten. Ein Gegentrend in der Praxis geht in Richtung Langlebigkeit und Mehrfachanwendung von dickeren Abdecksystemen wie Multifolie mit 500 µm Foliendicke oder einem filzartigen Polypropylen-Vlies (PP). Bei diesen Verfahren ist die Grundanschaffung zwar teurer, allerdings kann das System mehrere Jahre verwendet werden und belastet damit weniger die Stoffkreisläufe und die Umwelt.

Luftdicht versiegelte Silos können durch mechanische Schädigung (Vögel, Tiere, Menschen, Hagel, Ballenhandling etc.) des Abdeckungssystems undicht werden, wodurch Sauerstoff über Luft und Wasser in die Silage eindringen kann, um in der Folge Verderbprozesse zu

Summary

In Austria, approx. 4.4 Mio. tons DM of silage are protected every year against spoilage via airtight sealing. Concerning silage systems (bunker, clamp, bale etc.) many different sealing methods are available for farmers. These methods vary in terms of sealing quality and work input for installation and replacement. Today, sealing systems on the basis of co-extruded multilayer polyethylene films (PE) are most common. Since the 1990ies, silage films with high quality components are often used, because they include an oxygen barrier (OB) layer with less air permeability. Many international trials concluded that OB films with a barrier layer of polyamid (PA) or ethylen-vinylalcohol-copolymer (EVOH, EVAL) can reduce DM loss at the silage surface (up to approx. 30 to 50 cm depth) and improve aerobic stability of silage significantly. Industrial production of multilayer films (minimum 3 layers) via co-extrusion and application of high quality plastic components with best properties in tear strength, puncture resistance and UV stability is state of the art. Utilisation of best production technologies allows reduction of film thickness (down to 45 µm for bunker and clamp films; down to 17 µm for bale stretchfilms) without losing quality properties of thicker films. An alternative trend is the application of longlife sealing systems on basis of very thick multilayer PE films (500 µm) or felt-like polypropylene fleece (PP), because farmers can use this sealing material several times over five years or more. Those multiple-use systems have less negative effects to environment and to cycles of material. Airtight sealed silosystems could be damaged mechanically by birds, animals, human, hail, bale handling etc. However, damaged sealing systems are locally permeable and allows permeation of oxygen via air or water to silage. In consequence of oxygen influence, silage spoilage can start. Protection of silage systems against mechanical damage of birds/animals could be managed by additional installation of a protective grating or net. Round bale system (RBS) is more sensitive to film damage, therefore, it is important to handle bales with care and transport them from the field quickly after wrapping. Otherwise rooks (*Corvus corone*) often attack the bale surface and pick holes. Utilisation of transparent stretchfilm or painting of an eye-symbol (⊙) onto the wrapped

¹ HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft, Raumberg 38, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

* Ansprechpartner: Ing. Reinhard Resch, email: reinhard.resch@raumberg-gumpenstein.at



starten. Der Schutz des Silagelagers vor mechanischen Verletzungen durch Vögel, Tiere etc. kann durch die Installation von Schutzgitter/-netz deutlich verbessert werden. Die für Folienbeschädigung besonders anfälligen Silageballen bedürfen eines möglichst raschen und schonenden Abtransportes nach der Wickelung vom Feld zum Ballenlager, damit Vögel wie Aaskrähen (*Corvus corone*) keine schädigenden Attacken durchführen können. Die Verwendung von transparenten Folien oder das Aufmalen eines Augensymbols (⊙) verringert die Vogelangriffe. Die Silageballen sollten am Ballenlager einen gegenseitigen Abstand von 50 cm aufweisen, weil dadurch die Gefahr der Schädigung durch Mäuse und Ratten massiv reduziert werden kann und die Kontrolle auf Folienschäden bzw. die Folienreparatur mit Spezialklebebandern wesentlich erleichtert wird.

Schlagwörter: Siloabdeckung, Silofolie, Barrierefolie, Multifolie, Silovlies, Versiegelungsgüte, Sauerstoffdurchlässigkeit, Folienbeschädigung, Vogelschäden

film can reduce bird damage. Bales should be stored in a mutual distance of 50 cm, because such layouts decreased damage by mice, rats etc. Control of sealing film damage at regular intervals is an important procedure of quality management to reduce spoilage. Detected holes in the sealing film should be repaired as quickly as possible with repair adhesive tapes of high quality.

Keywords: sealing, silage film, barrier film, silage fleece, sealing performance, air permeability, foil damage, bird damage

1. Einleitung

In Österreich wurden im Jahr 2016 auf 444.950 ha mehrschnittigen Dauerwiesen und auf 94.550 ha Feldfutterbauflächen rund 3,12 Mio. t Grassilage-TM und auf 84.502 ha Silomaisflächen rund 1,32 Mio. t Maissilage-TM erzeugt (BMLFUW 2017, RESCH 2017a). Für den wirtschaftlichen Betriebserfolg eines Milch- oder Mastviehbetriebes mit Rindern oder kleinen Wiederkäuern ist eine gute Silagequalität Grundvoraussetzung. Die Produktion von Qualitätssilagen erfordert die Einhaltung von elementaren Silierregeln, die luftdichte Siloabdeckung zählt dabei zu den wesentlichsten Erfolgsfaktoren in der Silowirtschaft (RESCH et al. 2011).

Nach GROSS und RIEBE (1974) setzt ein günstiger Gärverlauf das Entfernen der Luft aus dem Futter unmittelbar bei und nach der Befüllung des Silos und ein Fernhalten der Luft während des Gärverlaufes voraus. Gärfutterbehälter müssen deshalb möglichst dicht sein. Diese Luft- und Wasserdichtheit sollte rasch und mit einfachen Mitteln erreicht werden können, um das Risiko der Schimmelbildung und Nacherwärmung zu vermindern (NUßBAUM 2002) und dadurch die aerobe Stabilität zu verbessern (WILKINSON und DAVIES 2012). Nach POSCHENRIEDER (1963) und (WILKINSON et al. 2003) ist dem Menschen die Silierung von Futterpflanzen wahrscheinlich seit prähistorischen Zeiten bekannt, allerdings gibt es aus dieser Zeit kaum technische Hinweise auf die Art und Weise wie Siloanlagen abgedeckt wurden. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde das Siliergut für die tierische Nutzung meist noch gar nicht abgedeckt, teilweise wurden Gewebesäcke oder spezielles Papier (Dachpappe, Teerpappe [tar paper] etc.) und darüber eine ca. 10-15 cm starke Erd- bzw. Stallmistschicht oder eine Schicht von minderwertigen Pflanzen aufgetragen (MOORE 1914, WESTOVER 1919), um den massiven Silageverderb an der Oberfläche zu reduzieren. Den Einfluss der Abdeckung auf die Silagequalität von Mais stellte BLATTMANN (1957) fest, indem er verschiedene Abdeckungssysteme verglich. Dabei stellte sich heraus, dass die besten Maissilagen mit den luftdichtesten Siloabdeckverfahren (Hochsilo mit Tauchdeckel) hergestellt werden konnten.

Im Verlauf des 20. Jahrhunderts veränderten sich in Österreich die Anteile der Silosysteme sehr stark (LIEBSCHER 1966, SCHECHTNER 1993). Bis in die 1960er-Jahre dominierten monolithische Hoch- und Tiefsilos, danach Hermetiksilos mit luftdichter Verschlussmöglichkeit (Tauchdeckel, Seeger-Verschluss). Flachsiloanlagen wie Fahrtilo, Traunsteinsilo oder Vorarlberger Siloplatte setzten sich in den 1980er-Jahren aufgrund der kostenmäßig günstigeren Bauweise und der arbeitswirtschaftlichen Vorteile insbesondere auf größeren Betrieben durch, allerdings erfordern Flachsilos für den Siliererfolg ein höheres Maß an Professionalität. Flachsilos werden üblicherweise mit Silofolien abgedeckt. Die Abdichtung an den Rändern ist für die Luftdichtheit entscheidend und kann mit gewichtigen Materialien (Kiessäcke, Sand, Reifen etc.) erreicht werden. Ein luftdichter Verschluss kann am Flachsilo auch mittels Seeger-Verschluss erzielt werden (GROSS 1968). Ende der 1980er-Jahre wurde das Silosystem der Pressballen in Österreich eingeführt, das sich insbesondere auf kleinstrukturierten Betrieben mit kleinen Feldstücken in Streulage rasch durchsetzte (BUCHGRABER und RESCH 1993). In Österreich wird heute etwa ein Drittel der Grassilagen als Rundballensilage konserviert. Luftdichtheit kann bei Pressballen nur durch mehrlagige Wickelung mit Stretchfolie erreicht werden (RESCH 2010).

Cellophan-Folien wurden 1948 in den USA erstmals im Agrarbereich zur Abdeckung von Gewächshäusern eingesetzt, danach verbreiteten sich Agrarfolien für verschiedene Anwendungen sehr schnell (SCARASCIA-MUGNOZZA et al. 2012). Mit dem Einsatz von Kunststoff-Folien wurden die Gärungsbedingungen in der Silowirtschaft schlagartig verbessert (ZIMMER 1961, SCHULZ 1967). In der Kunststofftechnik stehen verschiedene Basismaterialien wie z.B. Polyethylen (PE) bzw. Low-Density Polyethylene (LD-PE, LLD-PE), Polypropylen (PP), Polyvinylchlorid (PVC), Polyester, Polycarbonat (PC), Polyamid (PA) und Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer (EVOH, EVAL) für die Folienproduktion zur Verfügung. Für die Silageabdeckung werden seit Jahrzehnten vor allem PE-Folien (BROWN und KERR 1965) verwendet, obwohl eine gewisse Sau-

erstoffdurchlässigkeit in Kauf genommen werden muss (MCNALLY et al. 2005, O'KIELY und FORRISTAL 2003). PVC-Folien (LEBELT 1972, SPRAGUE und TAYLOR 1970) kamen früher ebenso zum Einsatz, sind heutzutage aber nicht mehr gebräuchlich.

Silofolien werden meistens mit Farbpigmenten versetzt, um die Resistenz der Folie gegenüber Sonnenlicht (Ultraviolett- und Wärmestrahlung) zu verbessern. Schwarze Silofolien werden mit Ruß eingefärbt, sie zeichnen sich durch hohe UV-Stabilität aus, allerdings erwärmt sich die Folien- und Silageoberfläche bei Sonneneinstrahlung bis in ca. 10 bis 15 cm Tiefe (FRICK 2000, SNELL et al. 2002, RÖTZER 2012). Weiße Folien reflektieren das Sonnenlicht am besten, die Silagerwärmung kann vermindert werden. Zwischen weiß und schwarz gibt es unzählige Farbtöne, welche meist landschaftsästhetische Anforderungen (Grüntöne) erfüllen sollen. Der Zusatz von Farbpigmenten erhöht die Materialkosten, was sich in höheren Produktkosten niederschlägt. Transparente Folien eignen sich lange nicht als Silofolien, weil sie keine UV-Stabilisatoren enthielten und so durch die Einwirkung des Sonnenlichts während der Lagerung durch die Polymer-Degradation zerfielen, seit ein paar Jahren gibt es auch UV-stabile transparente Stretchfolien. Mehrschichtfolien, die mit dem Verfahren der Co-Extrusion hergestellt werden, können zwei unterschiedliche Farben aufweisen, um die Vorteile der jeweiligen Farbe zu nutzen. So werden beispielsweise Silofolien mit schwarzer Unterseite und weißer Oberseite angeboten.

Bereits Anfang der 1990er-Jahre empfahl DAPONTE (1992) den Einsatz von co-extrudierten Barrierefolien zur Versiegelung von Silagen, allerdings hatte die Agrarfolienindustrie aufgrund der höheren Kosten der Komponenten kein Interesse daran. Erst mit dem Wechsel ins 21. Jahrhundert wurden für die Silowirtschaft vermehrt Materialien mit Sauerstoff-Barriereeigenschaften (OB = oxygen barrier) benützt, daher wird in diesem Beitrag die Bezeichnung OB-Silofolie für derartige Folien verwendet. Nach BORREANI et al. (2009) haben EVOH-Folien eine um mehr als 300-mal geringere Sauerstoffdurchlässigkeit als PA-Folien (ASTM 2013). Die moderne Extrusionstechnik ermöglicht im Herstellungsprozess über das Cast- oder Blasverfahren unterschiedliche verflüssigte Kunststoffmaterialien schichtweise übereinander zu legen (Co-Extrusion) und sehr dünn auszuformen. Auf diese Weise ist es bei Flachsfolien möglich bis zu sieben Lagen inklusive einer Barrierschicht in der Mitte mit nur 85 µm Folienstärke zu erzeugen. Bei gefärbten Stretchfolien hat sich das Blasverfahren durchgesetzt. Hier ist es heute üblich 5-lagig mit einer Folienstärke von 19 bis 25 µm auszuformen.

Dieser Beitrag stellt die aktuellen Entwicklungen von Siloabdeckverfahren für Flachsilo und Pressballen vor und bespricht darüber hinaus die Problemstellung von Folienbeschädigungen und Möglichkeiten wie diese reduziert werden können.

2. Material und Methoden

2.1 Arten von Silofolien/Abdecksystemen

Für die Abdeckung des Siliergutes werden von Herstellern unterschiedliche Arten von Silofolien und andersartigen Abdeckverfahren angeboten. Daraus ergeben sich für Land-

wirte mehrere Varianten, wie ein Silo luftdicht abgedeckt werden kann.

2.1.1 Rand-/Wandfolie

Bei massiven Fahrsiloanlagen bzw. Traunsteinsilos mit Betonwänden übt die Wandfolie mit Folienstärken von 100 bis 150 µm eine zweifache Schutzwirkung aus. Einerseits schützt die Wandfolie die Betonoberflächen des Silos vor den aggressiven Gärsäuren und andererseits kann die Abdichtung im Randbereich gegenüber Luft und Wasser wesentlich verbessert werden. Wandfolien sind von 2 bis 4 m Breite erhältlich. Diese Art der Silofolie wird vor der Silobefüllung an den Wänden mit einem Überstand von mindestens 50 cm vorinstalliert. Nach der Silobefüllung wird die überstehende Folie nach innen auf den Futterstock gelegt (NUßBAUM 2002).

2.1.2 Unterziehfolie

Die transparente PE-Folie mit 40 µm wird hauptsächlich in Flachsilo eingesetzt. Nach NUßBAUM (2002) passt sich die Unterziehfolie durch Adhäsion dem frischen Siliergut optimal an, deshalb wird diese Folie auch als „Saugfolie“ bezeichnet. Diese anpassende Eigenschaft lässt weniger Luft unter der Folie verbleiben, was sich günstig auf den Beginn der Gärung und auf das Eindringen von Luft nach Öffnung des Futterstocks auswirkt. Schwierig ist die Folieninstallation bei Wind, weil die Folie sehr leicht ist und sich dann nicht so einfach auflegen lässt. PE-Unterziehfolien werden bis 20 m Breite und einer Länge von 300 m angeboten.

2.1.3 Flachsfolien zum einmaligen Gebrauch

Die meist verbreitete Silofolienart in der Praxis ist die PE-Silofolie, die hauptsächlich in Folienstärken von 45 bis 200 µm hergestellt wird. Bei Silofolien mit weniger als 150 µm ist die Materialgüte hinsichtlich Belastbarkeit und Schutzwirkung zu beachten. Die PE-Silofolie wird im Sinne der guten landwirtschaftlichen Praxis über die Unterziehfolie gelegt. Die Silofolie ist ein Produkt, das in der Regel nach einer Nutzung ausgedient hat und entsorgt werden muss. PE-Silofolien sind bis 27 m Breite und 400 m Länge erhältlich. Heute werden Silofolien hauptsächlich mit dem Co-Extrusionsverfahren hergestellt, d.h. die Folien weisen mindestens zwei Verbundlagen mit unterschiedlicher Materialzusammensetzung auf. Wenn neben PE zusätzlich andere Kunststoffe (PA, EVOH etc.) als Layer in der Mitte eingesetzt werden ist das Recycling problematisch, weil die Basisstoffe nicht mehr getrennt werden können und bei der Wiederverwertung Nachteile gegenüber reinen Materialien auftreten.

Des Weiteren gibt es die Kombination von Unterzieh- und Silofolie auf einer Rolle (2in1). Beide Folien werden bei diesem System gefaltet, bevor sie auf die Rolle gewickelt werden. Beim Kombisystem wird entweder mit klassischen Folienelementen wie PE-Unterziehfolie 40 µm + PE-Silofolie 150 µm (RESCH und WILDLING 2017) oder mit der Kombination PA-Unterziehfolie 20 µm + PE-Silofolie 80 µm gearbeitet (RÖTZER 2012, NUßBAUM 2017). Die PA-Folie löst sich nach dem Auslegen durch Wasseraufnahme aus der Silage von der Silofolie (NUßBAUM 2013). Das Kombisystem bietet Vorteile: geringerer Material- und Arbeitsaufwand, leichtere Installation bei Wind und materialreine Sammlung für die Wiederverwertung.

Neue Entwicklungen: 7-lagige Co-Extrusionsfolie mit 85 µm Foliendicke (oben weiß, unten silber), welche eine mittig angeordnete Barrierschicht aus EVOH enthält; 3-lagige Co-Extrusionsfolie (oben orange, unten schwarz) mit 45 µm Foliendicke und einer PA-Barriere zwischen den äußeren PE-Layern; 3-lagige Co-Extrusionsfolie (beidseitig schwarz) mit 45 µm Foliendicke und einer EVOH-Barrierschicht zwischen den PE-Layern. Diese Abdecksysteme mit sehr geringer Foliendicke benötigen keine zusätzliche Unterziehfolie, allerdings ist die Aufbringung eines Schutzgitters zum Schutz vor mechanischen Beschädigungen empfehlenswert.

2.1.4 Flachsilo-Abdecksysteme zum mehrmaligen Gebrauch

Multifolie

Silagebetriebe, welche das Abdecksystem öfter als einmal nutzen möchten, können eine sogenannte Multifolie mit einer Foliendicke von ca. 500 µm verwenden. Diese PE-Folien sind wesentlich schwerer (ca. 475 g/m²) und lassen sich auch bei viel Wind gut über die Unterziehfolie legen, allerdings reichen die 6 m breiten Bahnen meist nicht aus, um den Silo komplett abzudecken. In diesem Fall müssen weitere Multifolienbahnen mit einer Überlappung von mindestens 30 cm aufgelegt werden. An den Überlappungsstellen ist es notwendig durchgängig zu beschweren, damit keine Luft bzw. Regenwasser eindringen können. Für Multifolien gibt es vom Hersteller eine fünfjährige Garantie und sie werden meist kostenlos zurückgenommen.

Gewebefolien

Diese enthalten, wie schon der Name sagt ein Gewebe (ähnlich den LKW-Planen) und sind schwerer als reine Kunststoff-Folien (~650 g/m²). Nach NUBBAUM (2002) sind derartige Folien entsprechend belastbar und erfordern kein zusätzliches Schutzgitter, außerdem liegen diese Folien flatterfrei und weisen eine lange Haltbarkeit auf. Nachteil sind die deutlich höheren Kosten für Gewebefolien.

Silofolien mit integrierten Wasserschläuchen

Ein Abdecksystem mit sehr schweren Folien (680 g/m²) wurde in den Niederlanden (Firma Bokano; FOLKEMA 2003) entwickelt. In der Folie sind Wasserschläuche eingenaht, die mit Salzwasser befüllt werden, um einerseits das Gewicht zu erhöhen und andererseits frostsicher zu sein (LATSCH und WYSS 2017).

Silovlies

Der französische Landwirt Gilbert Duhamel hat ein Abdecksystem entwickelt, das auf ein filzartiges Polypropylen-Vlies (PP) mit einer Stärke von 3,2 mm (6 m breite Bahnen) zurückgreift. In Deutschland hat der Landwirt Rainer Burkhardt das Vlies-System aufgegriffen und weiterentwickelt (DORSCH 2012, DLZ 2013). Die PP-Vliesbahnen werden über die PE-Unterziehfolie aufgerollt, wobei sich die PP-Bahnen ca. einen Meter überlappen sollen. Anschließend werden die Vliesbahnen mit einem 19 cm breiten Pilzkopf-Klettverschlussband verbunden. Dabei legt eine Person das Klettband auf, die zweite drückt es mit einem Besen an. Das robuste Vlies-Material (500 g/m²) hält Vögel und Tiere ab, sodass auf das Schutzgitter verzichtet werden

kann. Für die Abdichtung der Seitenränder können entweder Silosäcke verwendet werden oder es wird zusätzlich eine Zweimeter-Vliesbahn vor der Wandfolie an der Seitenwand gelegt und später über die ausgerollte Vliesbahn geschlagen und ebenfalls mit einem Klettband verbunden. Das hätte den Vorteil, dass Silosäcke nur mehr zur Abdichtung an den stirnseitigen Siloenden verwendet werden müssten. Mit diesem System werden zusätzlich nur mehr Wand- und Unterziehfolie benötigt und es lassen sich laut Burkhardt etwa 50 % der Arbeitszeit gegenüber einem Standardverfahren einsparen. Landwirte, welche das System bereits einsetzen, rechnen mit einer Einsatzdauer von 3 bis über 10 Jahren. Zum Vlies-System sind noch Fragen wie tatsächliche Lebensdauer und Probleme mit dem Klettverschlussystem bei Entstehung größerer Gärgashauben offen.

2.1.5 Stretchfolie für Pressballen

Die Herstellung der Luftdichtheit erfolgt bei runden oder quaderförmigen Pressballen über die mehrlagige Umwicklung (4 bis 6 Lagen; bei TM-Gehalten über 500 g/kg FM 8 Lagen) des Futterballens mit einer vorgedehnten Folie (MAACK und WYSS 2012), deswegen der Name Stretchfolie. Diese PE-Folien sind mit Foliendicken von 19 bis 25 µm wesentlich dünner als Silofolien. Aufgrund der Vorstreckung (50 bis 70 %) kann die Folie zwar deutlich besser an die Ballenoberfläche geschmiegt werden, allerdings erhöht sich durch die Dehnung die Sauerstoffdurchlässigkeit (Permeabilität) der Folie. Stretchfolien-Rollen werden mit 500 mm, hauptsächlich jedoch mit 750 mm Breite angeboten. Für die Ballenwicklung stehen verschiedene Wickeltechniken zur Verfügung. Gemeinsam haben die Wickelsysteme, dass eine Überlappung der Folienbahnen erfolgt. Der bei der Extrusion beigefügte Kleber (z.B. PIB-Kleber) verbessert den Folienverbund im Überlappungsbereich. Es gibt auch Folien, wo der Kleber erst vor dem Aufrollen auf eine Folienseite gesprüht wird. Die Klebekraft wird in ZentiNewton (cN bzw. 0,01 Newton; 1 Newton = 1 kg × m/s²) nach ISO EN 14932 gemessen (CEN 2006). Stretchfolien werden besonders an den Ballenkanten stark belastet, daher sind die qualitativen Anforderungen an die Folienkomponenten hoch. Bei der Herstellung von Stretchfolien hat sich das Blasverfahren mit mehreren Extrudern durchgesetzt, sodass mittlerweile 5-lagige Folien auf Basis PE Standard sind. Diese Folien weisen eine geringere Sauerstoffdurchlässigkeit und höhere Reißfestigkeit in Längs- und Querrichtung als Castfolien auf. Die beiden äußeren Schichten sind meist für Kleber, Farbe und UV-Schutz, die mittlere für die Gasdichtheit verantwortlich. Darüber hinaus werden auch schon OB-Stretchfolien mit Barriereigenschaften produziert. Die Qualität der Komponenten ist bei Stretchfolien entscheidender als die Foliendicke (RÖTZER 2014). Die Farbpalette reicht von weiß über verschiedene Grüntöne (verträglicher mit dem Landschaftsbild) bis schwarz. Transparente Stretchfolien stehen Praktikern erst seit wenigen Jahren zur Verfügung (RESCH 2014a). In Österreich wird hauptsächlich grüne und weiße Folie gewickelt (*Abbildung 1*), wobei kleinere Betriebe verhältnismäßig lieber die weiße Folie und größere Betriebe eher die grüne Folie verwenden (TRUMMER und WIESER 2017).

Der neueste Trend bei Rundballen besteht darin, dass für die Herstellung der Formstabilität der Pressballen nach dem Pressvorgang anstatt von Bindegarn oder der Netzbindung

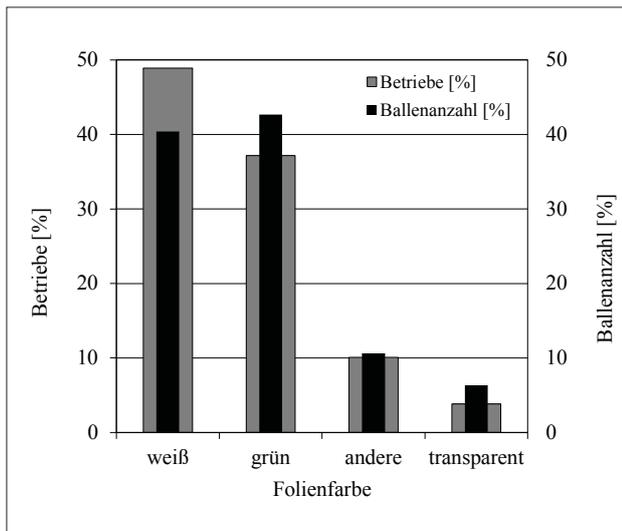


Abbildung 1: Anteil von transparenten und gefärbten Wickelfolien auf österreichischen Betrieben mit Rundballensystem (TRUMMER und WIESER 2017)

eine sogenannte „Mantelfolie“ für die Stabilität sorgt. Die Mantelfolie wird, wie der Name schon sagt, über die Mantelfläche des Pressballen-Zylinders und auch leicht über die Ballenkanten gewickelt. Die Mantelfolie bietet Vorteile hinsichtlich einfacherer Wiederverwertung und erleichtert zudem die Futterentnahme im Winter, weil das Bindnetz an feuchten Silageballen leicht festfriert.

2.1.6 Sonstige Siloabdecksysteme

Strangwickelverfahren

In diesem System werden Rund- oder Quaderballen stirnseitig aneinander gereiht und durch einen Strangwickler transportiert. Auf einem rotierenden Folienrollenhalter befindet sich die Wickelfolie, die nach Vorstreckung über den Ballen gezogen wird. Durch den stetigen Vorschub wird die Ballenoberfläche mit einer gewissen Überlappung luftdicht versiegelt. Mit diesem Verfahren können variabel lange Ballenstränge produziert und bis zu 50 % an Folie gespart werden (DLG 2012).

Folienschlauch

Mittels Schlauchpresse wird das Siliergut in einem Stahl-tunnel über Presswerkzeuge (Förderrotor, Verdichterschnecke) verdichtet und anschließend in einen geschlossenen PE-Siloschlauch mit einer Foliendicke über 200 μm und Foliendurchmessern zwischen 195 und 360 cm gepresst (MAACK und WYSS 2012). Dieses System gibt es nach BIRNKAMMER (1972) schon seit Anfang der 1970er-Jahre und es wird in der Praxis insbesondere für die Silierung von Rübenpressschnitzeln und später für Maissilage verwendet. Siloschläuche sind mindestens 3-lagig und bis zu einer Länge von 150 m verfügbar. Die luftdichte Versiegelung von Folienschläuchen wird nach der Befüllung mit einem speziellen Masterseal-System durchgeführt. Während der Befüllung wird der Schlauch um ca. 10-15 % gedehnt. Die mechanische Belastung der Folienschläuche ist besonders hoch, daher sind die qualitativen Anforderungen hinsichtlich Reißdehnung, Durchstoßfestigkeit und UV-Stabilität deutlich höher als bei einer Standard-Silofolie.

Folientunnel

Der Unterschied gegenüber dem Schlauchsilageverfahren ist, dass beim Folientunnel, auch als Verfahren „Silospeed“ bezeichnet, kein geschlossener Siloschlauch verwendet wird, sondern eine speziell ziehharmonikaartig gefaltete co-extrudierte Silofolie (3 Layer) mit 180 bis 200 μm Foliendicke (7 m Breite und 500 m Länge), die nur bis ca. 70 cm unter den ellipsenförmigen Futterstock geführt wird, d.h. das Futter hat teilweise Kontakt zum Untergrund. Für dieses System können Kosten gegenüber dem teureren Folienschlauchsystem gespart werden, aber dafür wäre der Einsatz einer Bodenfolie empfehlenswert. Sowohl für das Schlauch- als auch für das Tunnelilagesystem wäre ein zusätzlicher Schutz gegenüber Tiere und Vögel mittels Schutzgitter zu empfehlen.

Sprühdecke

Am Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im bayerischen Straubing arbeiten Forscher an einer gummiartigen Siloabdeckung, die über ein Sprühverfahren in einer Stärke von 0,7 bis 2,5 cm Dicke aufgetragen wird (DLZ 2011). Das aufgesprühte Material kann theoretisch später sogar verfüttert werden. Durch die Haftfunktion des Materials entsteht zur Silage und zur Silowand hin ein luftdichter Abschluss. Das neuartige Material wird durch Naturlatex (Milchsaft des Kautschukbaums) sehr elastisch und das ist in einem Silo auch unbedingt nötig, man denke nur an die Bildung von Gärgashauben. Weitere Bestandteile sind Pflanzenöl und Alginat von Braunalgen, welches als Gelier- und Verdickungsmittel gebraucht wird. Die aufgesprühte Silodecke ist biologisch abbaubar. Im Gärgasfermenter waren nach 15 Wochen 70 % der Silodecke abgebaut. Die Materialienaufbringung könnte mit einem Zwei- oder Mehrkomponenten-Spritzsystem, wie in der Bauwirtschaft, durchgeführt werden. Die aufgetragene Sprühschicht braucht je nach Anteil Reaktionsbeschleuniger oder -verzögerer ein paar Minuten bis Stunden für die Aushärtung. Prinzipiell könnte auf die Sprühschicht später ohne Problem eine neue Schicht Siliergut befüllt werden (Sandwichprinzip). Derzeit werden verschiedene Materialmischungen in Laborversuchen auf Wetterbeständigkeit (über 1 Jahr) Gasdichtheit und Säurebeständigkeit untersucht. Sollte das Sprühsystem künftig funktionieren, würde es keine Komponenten mehr geben, die entsorgt werden müssten.

2.2 Prüfung der Folienqualität

Kunststoff-Folien sollten für die Abdeckung von Flachsilos nach den Richtlinien der DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft) gewisse technische Mindestanforderungen erfüllen, um für den Einsatz in der Praxis qualifiziert zu sein. Zu diesen Anforderungen zählen: Geringe Abweichung in der Foliendicke, gleichmäßige Materialbeschaffenheit, Reißkraft von mindestens 25 N/cm (N = Newton), Reißdehnung von mindestens 400 %, Reißfestigkeit von mehr als 17 N/mm², Festigkeit nach Säurelagerung bzw. nach Alterung und eine Sauerstoffdurchlässigkeit von maximal 250 cm³/m² in 24 Stunden (DLG, www.dlg-test.de).

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten die Güte einer Silofolie zu bewerten: Das wäre zum einen eine Materialprüfung der Folie unter bestimmten Prüfbedingungen und -verfahren und zum anderen die Prüfung der Auswirkungen des Einsatzes der Folie auf das zu schützende Siliergut.

Im Fall der Materialprüfung gibt es für Hersteller/Verkäufer von Silofolien keine gesetzliche Verpflichtung zur Qualitätskontrolle von Folien. Die DLG bietet im Prüfzentrum Groß-Umstadt nach Auftragserteilung eine Materialprüfung, den sogenannten „DLG SignumTest“, für Silofolien und Stretchfolien an. Der DLG SignumTest bewertet neutral die wesentlichen Merkmale des Produktes von der Leistungsfähigkeit über die Haltbarkeit bis hin zur Arbeits- und Funktionssicherheit. Die Prüfgegenstände werden auf Prüfständen wie im Einsatzbetrieb geprüft. Prüfbedingungen und -verfahren werden von den jeweiligen unabhängigen Prüfungskommissionen in entsprechenden Prüfrahmen festgelegt. Die Prüfung schließt mit der Veröffentlichung eines Prüfberichtes und der Vergabe eines Prüfzeichens ab. Die Liste der DLG-Prüfberichte für Silofolien wird laufend aktualisiert (<http://www.dlg.org/ernteaufbereitung.html#Silofolien>). Eine Tabellenübersicht mit verschiedenen DLG-geprüften Silofolien hat NUßBAUM (2012) veröffentlicht. In Deutschland werden Silofolien in drei Qualitätsklassen angeboten: Standard, Qualität und DLG-geprüft.

2.3 Versuchstechnik zu Folienvergleichen

Um Effekte der Versiegelungsgüte bestimmter Foliensysteme bewerten zu können, ist es notwendig die Silagequalität, Trockenmasseverluste sowie die Keimzahlen von Hefen und Schimmelpilzen zum Zeitpunkt der Siloöffnung zu erfassen. Im Feldversuch an Praxisilos wird dazu der halbe Flachsilo mit einer Standardfolie (Kontrolle) und die andere Hälfte mit der Testfolie abgedeckt (BORREANI et al. 2007). Üblicherweise wirken Folieneffekte an der Silageoberfläche am stärksten, sodass eine Beprobung der obersten Silageschicht bis ca. 25-30 cm Tiefe sinnvoll erscheint (OROSZ et al. 2013). Eine Messung von Massenverlusten kann über die Beutelmethode durchgeführt werden, dazu werden mehrere Kunstnetzsäcke mit Siliergut befüllt, gewogen und während der Silobefüllung in der gewünschten Tiefe positioniert. Bei der Beprobung erfolgt die Rückwaage und Analyse der Silage (BORREANI et al. 2007).

Die aerobe Stabilität (ASTA) ist ein Maßstab für die Dauer der Haltbarkeit von Silagen (WILKINSON und DAVIES 2012) bzw. der Zeitraum bis der Silageverderb unter Luftstress einsetzt. Die Messung der aeroben Stabilität einer Silageprobe erfolgt unter ständiger Luftausgesetztheit bei einer konstanten Raumtemperatur von ca. 20 °C. Die Temperaturmessung der Silage erfolgt in guter zeitlicher Auflösung (Intervall von 30 Minuten), mindestens solange bis die Silagetemperatur der Probe die Marke von 2 °C über der Raumtemperatur erreicht. Ab diesem Zustand kann vom Beginn des Futterverderbs gesprochen werden bzw. das Futter ist bis zu diesem Zustand stabil und für Nutztiere verfütterbar.

2.4 Beschädigungen an Silofolien

2.4.1 Beobachtung von Vögeln und Tieren

Nach MCNAMARA et al. (2004) ist eine systematische Beobachtung der schädigenden Vögel bzw. Tiere erforderlich, um über deren Verhalten mögliche Strategien zum Schutz von Siloballen ableiten zu können. Die Beobachtung muss ein ungestörtes Agieren der Vögel/Tiere zulassen, d.h. der Beobachter braucht einen entsprechenden Abstand zum Silo

(Flachsilo oder Silageballen). Die tageszeitliche Aktivität der Vögel/Tiere wird am Morgen (nach Sonnenaufgang), um die Mittagszeit und vor dem Sonnenuntergang jeweils in Zweistundenintervallen beobachtet und bei Annäherung an die Siloballen (< 10 m Abstand) auf einer vorbereiteten Liste protokolliert. Die Anzahl an Individuen wird dabei festgehalten, ebenso ob die Vögel/Tiere Kontakt zu Ballen auf dem Boden oder auf dem Ballen hatten und ob die Vögel/Tiere die Folie aktiv schädigten. Im Exaktversuch können nach RESCH (2015) zwei Ballenvarianten getestet werden, um die Vögel/Tiere nicht zu überfordern bzw. um die Aussagekraft der Beobachtungen zu erhöhen. Idealerweise werden 2 × 2 Ballengruppen (2 bis 4 Ballen einer Variante) gebildet und linienförmig auf zwei unterschiedlichen Feldstellen (z.B. Feldmitte und Nähe zu einem Weg) mit einem gewissen Abstand (ca. 30 bis 50 m) voneinander entfernt platziert. Die Beobachtungsdauer beginnt unmittelbar nach der Wicklung der Ballen und endet 3 bis 4 Tage danach. Um beispielsweise den Effekt von zwei Folienfarben hinsichtlich Vogelschädigung zu untersuchen ist es notwendig mehrere Beobachtungsversuche mit den gleichen Folienvarianten in unterschiedlichen Regionen und verteilt über die ganze Erntesaison (Frühjahr bis Herbst) anzustellen.

2.4.2 Erfassung des Schadens an der Folie

Für die Erfassung der Folienbeschädigung durch Vögel und Tiere ist die Zählung der Löcher in der Folie notwendig (MCNAMARA et al. 2004). Darüber hinaus kann von den Löchern auch noch der Durchmesser erhoben werden, weil die Lochgröße einen Einfluss auf die eindringende Luftmenge hat. Die Art der Löcher erlaubt Rückschlüsse auf den Verursacher. Vögel machen einerseits Picklöcher, wo sie auch Grashalme rausziehen und andererseits verursachen Vögel Krallenschäden, wobei die Krallenschäden an der Ballenoberseite zu finden sind. Katzen und andere Tiere (Marder etc.) hinterlassen Löcher durch Krallen, die feinschraffiert bis länglich aufgekratzt erscheinen und sich vielfach nicht an der Ballenoberfläche befinden (TRUMMER und WIESER 2017). Darüber hinaus lassen Fußspuren Rückschlüsse auf Vogel-/Tierart zu.

Mechanische Verletzungen die durch das Handling von Silageballen entstehen, sind meist an größeren Löchern erkennbar. Allerdings kann die Folienbeschädigung auch durch eine zusätzliche Dehnung der Stretchfolie beim Einsatz von Ballenzangen hervorgerufen werden. In diesem Fall ist die Folienschädigung schwer von außen erkennbar.

2.5 Versuche der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

2.5.1 Flachsilofohlen

Zu Fragen der Abdeckung von Flachsilos wurden im Jahr 2017 zwei Versuche durchgeführt, um die Wirkung der 7-lagigen OB-Folie „Super7“ gegenüber dem Standardverfahren, einmal bei Grassilage und einmal bei Maissilage zu untersuchen (RESCH und WILDLING 2017). Im Grassilageversuch wurden drei nebeneinander liegende Fahrtilokammern mit dem gleichen Ausgangsmaterial des 1. Aufwuchses befüllt und anschließend mit unterschiedlichen Foliensystemen abgedeckt: 1 – Standardverfahren (Unterziehfolie + Silofolie), 2 – Kombisystem 2in1 (Kom-

bi2plus), 3 – OB-Folie (Super7). Bei Maissilage wurde nur eine Fahrsilokammer befüllt und jeweils eine Silohälfte mit dem Standardverfahren und die zweite Hälfte mit der OB-Silofolie (Super7) abgedeckt. In beiden Versuchen wurden Zeitmessungen bei der Folieninstallation durchgeführt. Vor der Siloöffnung wurde der Randbereich und die Silomitte jeweils auf 25 cm Tiefe beprobt und auf Weender Nährstoffe, Gärqualität (VDLUFA 1976) sowie Mikrobiologie (VDLUFA 2007) und sensorische Parameter (Geruch, Gefüge, Farbe) untersucht. Das beprobte Material wurde in einem Haltbarkeitstest sieben Tage lang auf aerobe Stabilität getestet.

2.5.2 Stretchfolien

Aufgrund der großen Verbreitung des Rundballensystems in Österreich sind Ergebnisse zu Stretchfolien und deren Qualität für die Silowirtschaft von Bedeutung, daher wurden Silierversuche mit folgenden Fragestellungen durchgeführt:

- Folienfarbe und Foliendicke (RESCH 2009)
- Klebekraft (RESCH 2011)
- OB-Folie und Anzahl Folienlagen (RESCH 2012)
- Transparente Stretchfolie (RESCH 2014a)

Die Versuche wurden jeweils auf Praxisbetrieben in der näheren Umgebung der HBLFA Raumberg-Gumpenstein angelegt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Entwicklung einer guten Silofoliengüte für die luftdichte Abdeckung von Silagen hängt mit diversen Faktoren zusammen:

- Typ und Eignung der verwendeten Materialgüte (z.B. PE) für die aktuelle Anwendung
- Konstante Foliendicke und homogene Verteilung der beigemengten Bestandteile
- Erforderliche Gebrauchsdauer entsprechend der geographischen Region (Lichtbeständigkeit/UV-Stabilität und Wärmestrahlung)
- Hohe Durchstoß- und Reißfestigkeit
- Kompatibilität von Farbpigmenten mit dem Lichtstabilisator und anderen Komponenten
- Schichtdesign und spezifische Dosierung jedes Layers mit Rezeptkomponenten (Farbe, funktionale Additive) im Fall von mehrlagigen Co-Extrusionsfolien

Die Anwendung von effektiven Silo-Abdecksystemen und der Schutz dieser Abdeckung vor Beschädigung sind für die Silowirtschaft entscheidende Management-Faktoren zur Sicherung der Silagequalität. In diesem Beitrag werden Abdeckverfahren bewertet, Gefahren von Beschädigungen aufgezeigt und Schutzmaßnahmen besprochen.

3.1 Folienabdecksysteme für Flachsilos

Der Aufbau der Flachsiloabdeckung sollte nach MAACK und WYSS (2012) unabhängig von der Art des eingesetzten Siloabdecksystems bei festen Siloanlagen über den seitlichen Rand gezogen werden. Damit wird der Sauerstoffeintrag über Luft und Regenwasser in die Silage verhindert. In der Praxis können bei Verwendung einer neuen Unter-

ziehfolie unterschiedliche neue oder gebrauchte Siloabdeckmaterialien zum Einsatz kommen (SPIEKERS et al. 2009).

3.1.1 Standardverfahren

In der guten landwirtschaftlichen Praxis hat sich heutzutage ein Versiegelungsverfahren für Flachsilos etabliert, das eine Kombination aus einzelnen Elementen (PE-Wandfolie / PE-Unterziehfolie / PE-Silofolie / Schutzgitter) vereint (RESCH et al. 2011, NUßBAUM 2017, LATSCH und WYSS 2017). Um die Problemzone des Silorandes im Wandbereich besser abdichten zu können wird vor Silobefüllung eine Wandfolie (Folienstärke etwa 120 µm) mit entsprechender Breite so angebracht, dass nach Beendigung der Befüllung die ca. 0,5 bis 1 m überstehende Wandfolie auf den Futterstock nach innen gelegt werden kann. Anschließend wird die dünne Unterziehfolie (Folienstärke ca. 40 µm) aufgezogen. Diese Folie saugt sich über die Adhäsionskraft förmlich an den umgelegten Wandfolienstreifen und die Futteroberfläche an und unterbricht somit sehr schnell den Luftzutritt an das Futter.

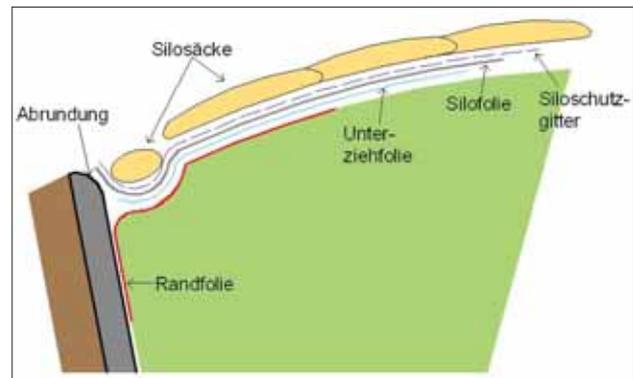


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Standardmethode zur luftdichten Flachsiloabdeckung mittels Wandfolie, Unterziehfolie, Silofolie und Schutzgitter (RESCH et al. 2011)

Für eine provisorische Siloabdeckung zwischen zwei Befüllungsintervallen wäre die dünne Unterziehfolie alleine durchaus praktisch. Vielfach zieht der Wind diese Folie allerdings derartig auf, dass es schnell zu Beschädigungen kommen kann. Diese Anfälligkeit der Unterziehfolie gegenüber Beschädigung erfordert die Kombination mit einer robusten Folie (gute Reißfestigkeit und Reißdehnung, geringe Sauerstoffdurchlässigkeit etc.), welche auf die Unterziehfolie gelegt wird. Nach der optimalen Installation (falten- und blasenfreie Auflage) der Folie werden die Ränder mit geeigneten Gegenständen (Kies- oder Sandsäcke), Erde oder anderen Materialien durchgehend beschwert, um die Silage gegenüber Luftzutritt abzudichten (Abbildung 2). Ein Schutzgitter aus Kunststoff sorgt schließlich für Schutz gegenüber schädigenden Tieren und Vögeln. In verschiedenen nachstehend zitierten Silierversuchen, in welchen Folienvergleiche angestellt wurden, kam dieses Standardverfahren als Referenz zum Einsatz, das heißt, dass die gute Leistung dieses Verfahrens sehr umfangreich dokumentiert wurde.

3.1.2 Kombisysteme (2in1)

An der HBLFA Raumberg-Gumpenstein wurde das Kombisystem „Kombi2plus“ (Unterziehfolie 35 µm + PE-Silofolie

115 µm) gegenüber einem Standardverfahren und einer OB-Silofolie (85 µm) an Grassilage getestet (RESCH und WILDLING 2017). Dabei stellte sich heraus, dass das Kombisystem hinsichtlich Silagequalität (Tabelle 1) und aerober Stabilität (Abbildung 3) gleichwertig abschnitt. Der Aufwand für die Folieninstallation brachte eine Zeitersparnis von 14 % gegenüber der separaten Auflage von Unterzieh- und Silofolie.

3.1.3 Sauerstoff-Barriersysteme

Der Einbau einer Barrierschicht in das mehrlagige Layerpaket über die Co-Extrusion ist in der Lage die Sauerstoffdurchlässigkeit auf unter 30 cm³/m² in 24 Stunden zu senken. In einer breit angelegten Meta-Analyse von WILKINSON und FENLON (2014), in welcher insgesamt 51 Folienvergleiche zwischen PE-Silofolie und OB-Silofolie bei Fahrsilos, Silohaufen und Siloballen einbezogen wurden, stellte sich heraus, dass es bei Silagen mit OB-Silofolie an

der Silageoberfläche (0 bis ca. 50 cm Tiefe) im Durchschnitt zu signifikant geringeren TM-Verlusten kam und dass die aerobe Stabilität der Silage deutlich verbessert werden konnte (Tabelle 2).

Ergebnisse der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (Tabelle 1, Abbildung 3) bestätigen die positiven Effekte der OB-Silofolie bei Grassilage insbesondere in Hinblick auf die verbesserte aerobe Stabilität, bei einem Maissilageversuch konnten keine praxisrelevanten Verbesserungen in der Silagequalität festgestellt werden. Bei der Installation der OB-Silofolie konnten 58 bis 68 % (nur Folie auflegen) bzw. 30 bis 33 % (inkl. Abdichtung mit Kiessäcken) an Arbeitszeit gegenüber dem Standardverfahren eingespart werden (RESCH und WILDLING 2017).

Seit Beginn des 21. Jahrhunderts wurde eine Vielzahl von Untersuchungen an OB-Silofolien durchgeführt und es zeichnet sich ein Trend ab, dass sich die deutlich verringerte Sauerstoffdurchlässigkeit dieser Folien zumindest qualitativ

Tabelle 1: Inhaltsstoffe, Gärqualität und mikrobiologischer Status von Grassilagen zum Zeitpunkt der Öffnung in Abhängigkeit des verwendeten Abdecksystems und der Probestelle (RESCH und WILDLING 2017)

Silofoliensystem Probestelle im Fahrsilo Parameter	Kürzel	Einheit	PE-Standardfolie		Kombisystem (2in1)		OB-Silofolie	
			Rand	Mitte	Rand	Mitte	Rand	Mitte
Trockenmasse	TM	g/kg FM	441	482	437	438	402	461
Rohprotein	XP	g/kg TM	129	127	129	128	127	133
nutzbares Rohprotein	nXP	g/kg TM	136	136	136	138	136	138
Ruminale N-Bilanz	RNB	g/kg TM	-1	-2	-1	-2	-1	-1
Rohfett	XL	g/kg TM	28	27	25	26	27	26
Rohfaser	XF	g/kg TM	253	251	252	236	253	244
Rohasche	XA	g/kg TM	71	67	67	68	69	70
Zucker	XZ	g/kg TM	163	167	161	158	139	153
OM-Verdaulichkeit	dOM	%	75,0	75,3	75,2	76,6	75,0	75,8
Metabolische Energie	ME	MJ/kg TM	10,63	10,70	10,68	10,88	10,65	10,76
Nettoenergie Laktation	NEL	MJ/kg TM	6,40	6,45	6,43	6,59	6,41	6,50
Milchsäure	Ms	g/kg TM	24,7	23,7	26,9	22,8	22,7	25,7
Essigsäure	Es	g/kg TM	6,0	6,8	5,3	5,8	3,9	5,8
Propionsäure	Ps	g/kg TM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
Buttersäure	Bs	g/kg TM	2,0	0,5	1,9	0,6	4,7	2,2
Gesamtsäure	Gs	g/kg TM	32,7	31,0	34,1	29,2	31,5	33,7
Ethanol	Eth	g/kg TM	7,0	5,8	6,9	7,4	3,6	4,7
Ammoniakanteil vom Gesamt-N	NH ₃ -GesN	% von Ges-N	2,6	2,7	3,3	3,3	3,3	2,8
pH-Wert	pH		4,3	4,4	4,2	4,2	4,6	4,6
Gärqualität nach DLG (1997)	DLG	Punkte	90	100	95	100	70	90
Geruch		Punkte	10	11	11	12	11	11
Gefüge		Punkte	4	4	4	4	4	4
Farbe		Punkte	1	1	1	1	1	1
Sinnenbewertung (1999)	ÖAG	Punkte	15	16	16	17	16	16
Verdichtung bis 25 cm Tiefe	Dichte	kg TM/m ³	127	132	113	138	99	134
Aerobe mesophile Bakterien	Bakterien	KBE/g FM	340.000	20.000	330.000	10.000	850.000	20.000
Hefen	Hefen	KBE/g FM	< 1.000	< 1.000	< 1.000	1.000	< 1.000	< 1.000
Schimmelpilze	Schimmel	KBE/g FM	< 1.000	< 1.000	< 1.000	< 1.000	< 1.000	< 1.000

Tabelle 2: Verluste, unverwertbare Silage und aerobe Stabilität von Silage der Oberflächenschicht, gelagert unter PE-Standardfolie oder OB-Silofolie (WILKINSON und FENLON 2014)

Silosystem	Parameter	Einheit	Anzahl	PE-Standardfolie		OB-Silofolie		P-Wert
				Mittelwert	Bereich	Mittelwert	Bereich	
Fahrsilo*	Verlust an TM oder OM	g/kg	41	195	-120 bis +700	114	-89 bis +380	< 0,001
Silohaufen*	Unverwertbare TM	g/kg TM	5	107	59 bis 201	30	1 bis 39	0,022
	Aerobe Stabilität	h	11	75	0** bis 184	135	48 bis 355	0,001
Ballensilage	Verlust an TM oder OM	g/kg	10	77	43 bis 123	46	23 bis 75	<0,001

* enthält überfahrbare Flachsilos und Laborsilos; ** Material schon beim Start der Bewertung instabil (verdorben)

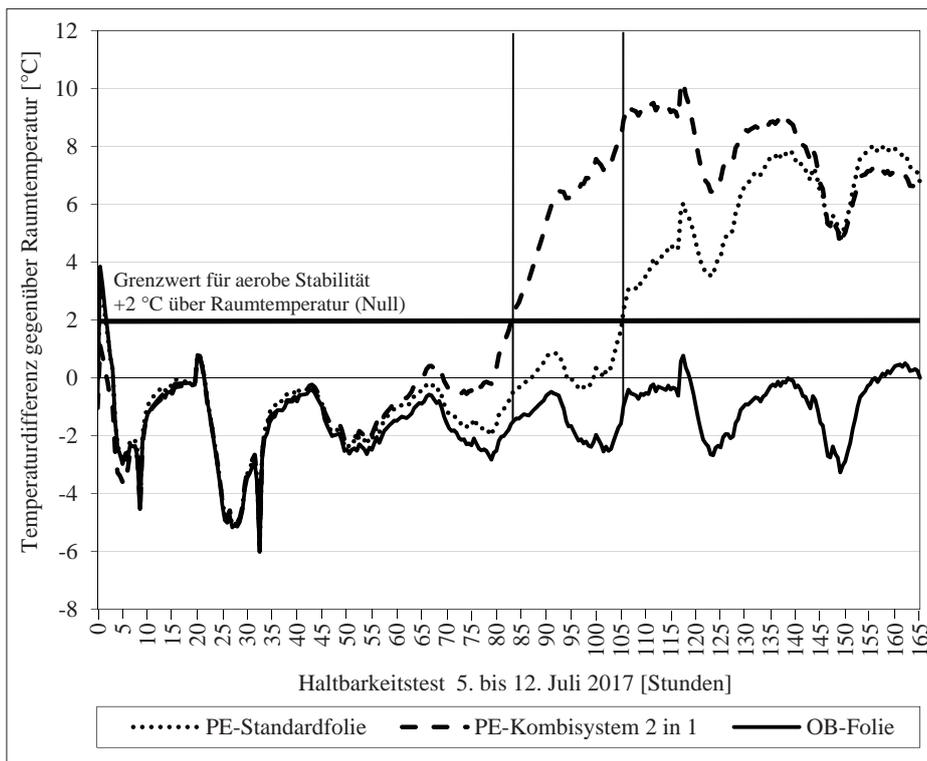


Abbildung 3: Temperaturverlauf von Grassilage (1. Aufwuchs) nach Siloöffnung in Abhängigkeit vom installierten Abdecksystem; Temperaturdifferenz gegenüber Lufttemperatur im Raum (RESCH und WILDING 2017)

positiv auf die oberste Silageschicht auswirkt. In Verbindung mit Zeitersparnis bei der Folieninstallation liegen Vorteile auf der Hand. Dem gegenüber stehen höhere Kosten und Probleme bei der Wiederverwertung der gemischten Kunststoffkomponenten.

3.1.4 Sonstige Flachsilos-Abdecksysteme

Silofolien mit 500 µm Foliendicke, sogenannte Multifolien, weisen nach DLG (2012) eine UV-Stabilität von 5 Jahren auf, d.h. diese Folien können mehrfach über Jahre hinweg benutzt werden. Laut DLG (2012) werden zwei Produkte mit bis zu 10 m Breite und bis 50 m Länge angeboten. Ergebnisse aus Folienvergleichen von Multifolien bzw. PP-Silovlies zu anderen Silofolien, insbesondere hinsichtlich deren Wirkung auf die Silagequalität, stehen zurzeit noch keine zur Verfügung.

Abgesehen von höheren Anschaffungskosten und höherem Foliengewicht, sind mehrfach verwendbare Abdecksysteme für die Praxis wirtschaftlich interessant. Außerdem belasten diese Systeme die Abfallwirtschaft oder das Recycling entsprechend geringer, d.h. die Umweltwirkung ist deutlich weniger negativ als bei Silofolien, die meist nur einmal verwendet werden können.

3.2 Versiegelung von Pressballen

Die möglichst luftdichte Versiegelung ist für die Gärfutterqualität von Pressballen ein entscheidender Faktor, weil im Verhältnis zu anderen Silosystemen bei der Ballensilage ein sehr großer Futteranteil an der Silageoberfläche liegt. Stretchfolie ist somit als Schutzfaktor gegenüber Verderb bei Ballensilage von zentraler Bedeutung, daher sind Verbesserungen hinsichtlich Folienfarbe und Folieneigenschaften für die Praxis sehr wichtig.

3.2.1 Folienfarbe

Die Farbe von Stretchfolien ist vielfach länderspezifisch geprägt. In Großbritannien und Irland wird nach O'KIELY et al. (2002) traditionell hauptsächlich schwarze Wickelfolie und in den nordischen Ländern (Schweden, Norwegen) fast ausschließlich weiße Stretchfolie verwendet.

Schweizer Untersuchungen (FRICK 2000, SNELL et al. 2002) zeigten, dass schwarze Folien hinsichtlich Silagetemperatur bis maximal 10 cm Tiefe höher lagen als weiße Folien, ansonsten traten keine absicherbaren qualitativen Differenzen bei der Silage auf (WEINBERG und ASHBELL 2003). Der Temperaturunterschied in der Silage war unter braunen und grünen Folien gegenüber schwarzer Folie gering, im Hochsommer betrug die Temperatur nach SPIEKERS et al. (2009) unter schwarzer Folie 60 °C und unter weißer Folie 45 °C. Die

Versuchsergebnisse der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (RESCH 2009) bestätigen auch, dass zwischen hellgrüner und schwarzer Folienfarbe keine Auswirkungen auf die Silagequalität auftraten.

Neuartig ist die Verwendung von transparenten Stretchfolien für Pressballen. Die Probleme aus früheren Zeiten mit der Polymer-Degradation konnten beseitigt werden, da die Folie auch nach einem Jahr Freilandlagerung keine Auflösungserscheinungen zeigte. Die Messung der Farbunterschiede der äußeren Silageschicht mittels NIR-Spektroskopie ergaben im sichtbaren Spektrum (400 bis 700 nm) keine Farbdifferenzen zwischen den Silagen mit gefärbter bzw. transparenter Folie. Die Analyse des β-Carotingehaltes ergab in den 3 Versuchen durchschnittlich 119 mg/kg TM bei PE-Folien und 114 mg/kg TM bei transparenter Stretchfolie, die Differenz war nicht signifikant. Insgesamt konnte nachgewiesen werden, dass die transparente Stretchfolie (Bezeichnung im Versuch: TF1 und TF2) keine Nachteile hinsichtlich Silagequalität gegenüber der hellgrünen PE-Standardfolie hervorrief (Tabelle 3). Kleine Beschädigungen sind an der transparenten Folie weniger gut erkennbar als bei gefärbten Folien, allerdings sieht man das Gärfutter von außen und kann sofort schimmelige Stellen erkennen. Für den Handel von Silageballen hätte eine transparente Stretchfolie durchaus den Vorteil, dass der Käufer einen besseren Einblick auf die Futterqualität haben kann.

3.2.2 Kleberanteil

Stretchfolien enthalten in der Regel einen bestimmten Kleberanteil in der äußeren Layerschicht, damit bei der Wicklung der luftdichte Folienverbund und somit die Versiegelungsgüte besser gewährleistet werden können.

In einem Versuch der HBLFA Raumberg-Gumpenstein wurden 6 Stretchfolien mit verschieden hoher Klebekraft von 0 bis über 300 cN bzw. einer Folie ohne Kleber an Grassilage getestet (RESCH 2011). Es stellte sich heraus, dass die Klebekraft unter den gegebenen Bedingungen keinen Einfluss auf alle geprüften Silageparameter ausübte. Die Cast-Folie ohne Kleber (Agriflex 750) – Haftfähigkeit nach Adhäsionsprinzip – schnitt gleich gut ab wie die Folie mit aufgesprühtem Kleber (Lakufol 750) bzw. die vier Blas-Folien mit einer Klebekraft zwischen 50 und 300 cN.

3.2.3 Barriere-Stretchfolie und Wickellagen

Vorgestreckte PE-Stretchfolien weisen ein höheres Maß an Luftdurchlässigkeit auf – teilweise $> 1.000 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ in 24 Stunden (MCNALLY et al. 2005, TSCHERNER et al. 2016) – als OB-Stretchfolien, die deutlich besser abschneiden – vielfach $< 50 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ in 24 Stunden (WILKINSON und FENLON 2014).

In insgesamt 5 Versuchen in der Nähe von Turin wurden PE- und OB-Stretchfolien mit jeweils unterschiedlicher Anzahl an Wickellagen verglichen (Tabelle 4). Dabei stellte sich heraus, dass sich sowohl das Foliensystem als auch die Anzahl der Wickellagen auf so manchen Gärparameter und auf die mikrobiologische Situation auswirkte (BORREANI und TABACCO 2008). Mit OB-Folie konnte bei 4-lagiger Wickelung die gleiche Silagequalität von Luzerne erreicht werden als bei 6-lagiger Wickelung mit der PE-Stretchfolie.

Die Ergebnisse der HBLFA Raumberg-Gumpenstein bestätigen, dass OB-Folie bei Grassilageballen mit gleicher Anzahl an Wickellagen die Silagequalität verbessert (RESCH 2012) und dass eine Reduktion auf 4 Wickellagen mit OB-Folien möglich wäre, um das gleiche Qualitätsniveau zu erreichen als eine PE-Folie mit 6 Wickellagen.

Eine amerikanische Untersuchung von COBLENTZ et al. (2017) konnte keine wertsteigernden Effekte durch den Einsatz einer OB-Stretchfolie gegenüber PE-Stretchfolie bestätigen, obwohl im Versuch nur 4 Wickellagen und eine lange Lagerungsdauer von 357 Tagen angewendet wurden. Die Rahmenbedingungen von Folien-Vergleichsversuchen spielen offensichtlich in der Ausprägung der Effekte eine Rolle, dennoch zeichnet sich bei Durchsicht von mehreren Untersuchungen ein positiver Effekt auf die Silage ab, wenn OB-Stretchfolien eingesetzt wurden.

3.2.4 Folienbindung

Untersuchungen von BISAGLIA et al. (2011) an 48 Rundballen (Faktor Futter: 1 – Ital. Raygras, 2 – Luzerne; Faktor Bindeverfahren: 1 – Netzbindung, 2 – Folienbindung; Faktor Wickellagen: 1 – 4 Lagen, 2 – 6 Lagen; Faktor Lagerposition: 1 – stirnseitig, 2 – wandseitig) zeigten, dass der Plastikverbrauch durch den Einsatz der Folienbindung erhöht wurde. Andererseits konnte durch die Folienbindung die Keimzahl an Schimmelpilzen an der Ballenoberfläche signifikant reduziert werden.

3.3 Beschädigungen von Silofolien

Mechanische Einwirkungen durch verschiedene Verursacher können Silofolien beschädigen, sodass Luft und Wasser an die Silageoberfläche gelangen können. In der Folge kommt es durch die Wirkung von Luftsauerstoff zu einem

durch Mikroorganismen verursachten Verderb der Silage (PAHLOW et al. 2003).

3.3.1 Schutzgitter/Schutzvliese für Flachsilo

PE- oder PVC-Schutzgewebe mit einem Flächengewicht von 300 bis 400 g/m^2 sollen die Silofolie vor mechanischen Einwirkungen (Vögel, Haustiere, Wildtiere, Hagel, spielende Kinder etc.) schützen und Flatter- sowie Pumpbewegungen der Folie verhindern (NUßBAUM 2002). Im Fall, dass Rabenvögel dennoch durch Schutzgitter und Silofolie durchpicken, besteht die Möglichkeit Altreifen als Distanz zwischen Silofolie und Schutzgitter einzubauen. Der Sicherheitsabstand wird dadurch erhöht und die Vögel können keinen Schaden mehr anrichten. Neben Gewebe und Gitter können auch UV-stabile PP-Vliese mit ca. 200 g/m^2 Flächengewicht zum Oberflächenschutz von Flachsilo und Rundballenlagern verwendet werden. Gegenüber Großtieren sollten Flachsilo mit einer Einzäunung geschützt werden.

3.3.2 Stretchfolienbeschädigung an Siloballen

Folienbeschädigungen betreffen, allgemein betrachtet, insbesondere Silageballen, daher hat nach GAILLARD und MAZOYER (1998) deren Schutz für die weltweite Silowirtschaft eine hohe Bedeutung.

Vogel-/Tierproblematik

In Ländern mit hohen Ballensilageanteilen spielt die Beschädigung der Folienoberfläche durch Vögel/Tiere eine bedeutende Rolle (O'KIELY et al. 2002). In Irland ergaben umfangreiche Beobachtungen von MCNAMARA et al. (2004), dass vorwiegend Krähen (*Corvus frugilegus*) und Dohlen (*Corvus monedula*) für die Schädigung an Ballen verantwortlich waren, danach waren Katzen die nächsthäufigsten Schädiger. Es konnte nachgewiesen werden, dass 53 bis 57 % der am Feld gelagerten Silorundballen durch Vögel beschädigt wurden. Die Häufigkeit und das Ausmaß der Schädigungen waren sehr unterschiedlich und reichten von keiner bis sehr starker Folienbeschädigung. Die Picklöcher hatten im Schnitt einen Durchmesser von weniger als 6 mm. Irländische Forscher stellten fest, dass die Aktivität der Krähen und Dohlen unmittelbar nach dem Wickeln und 13 bis 24 Stunden nach der Wickelung einen Höhepunkt erreichte. Die meiste Zeit verbrachten die Vögel damit, auf dem abgeernteten Feld zu schreiten oder zu stehen bzw. am Boden zu fressen. MCNAMARA et al. (2004) spielten mit dem Gedanken, dass die anfängliche Gasproduktion im Ballen zu Geräuschen an der gespannten Stretchfolie führt und dass dadurch die Neugier der Rabenvögel geweckt wird, um anschließend den Ballen näher zu inspizieren bzw. zu attackieren.

Aufgrund der massiven Schädigungsproblematik in Irland wurde auch versucht, die Vögel durch aufmalen von Linien oder Zeichen oder durch auflegen von Reifen von der Ballenschädigung abzuhalten (O'KIELY et al. 2002). In Australien wurde ein Versuch mit verschiedenen weiß aufgemalten Symbolen (X, O, Augensymbol \odot) an Rundballen mit schwarzer Wickelfolie durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, dass das Augensymbol eine deutlich abschreckende Wirkung auf Vögel hatte und damit die Anzahl der Löcher je Ballen signifikant reduziert werden konnte (MICKAN 2003).

Nach demselben Beobachtungsprinzip wie in Irland wurden in Österreich insgesamt sieben Versuche in zwei Regionen (Puch bei Palda in der Oststeiermark, Pichl bei Roßleithen in Oberösterreich) angelegt, um die Schädigung an Rundballen durch Vögel/Tiere erheben zu können (TRUMMER und WIESER 2017). Die Befragung der Landwirte zeigte, dass die schädigende Aktivität der Vögel sich hauptsächlich auf den Sommer und Herbst konzentrierte (Abbildung 4). Neben einer hellgrünen PE-Stretchfolie (25 µm) wurde eine transparente Stretchfolie (25 µm) auf deren Wirkung gegenüber Schädigung durch Vögel/Tiere getestet. In Österreich stellte sich bei den Beobachtungen heraus, dass die Aaskrähne (*Corvus corone*) hauptverantwortlich für die Beschädigungen war, gefolgt von Katzen. In Abbildung 5 ist erkennbar, dass im Durchschnitt die hellgrüne PE-Folie (Kontrolle) mehr Krallenschäden und Picklöcher aufwies als die transparente Stretchfolie.

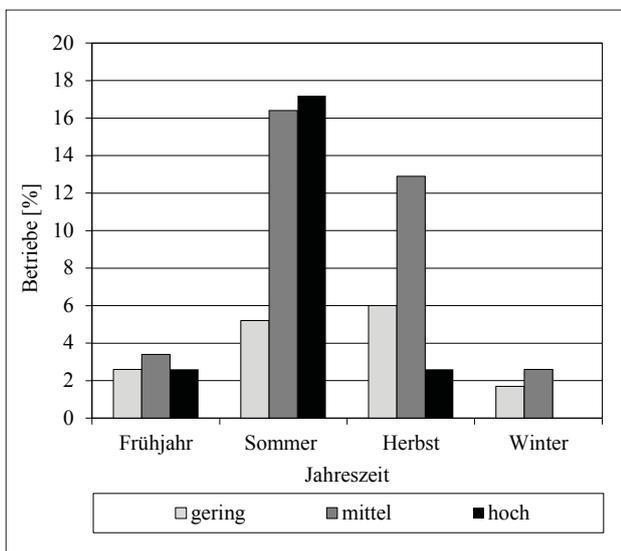


Abbildung 4: Auftreten und Ausmaß von Siloballenschädigungen durch Vögel nach Jahreszeit (TRUMMER und WIESER 2017)

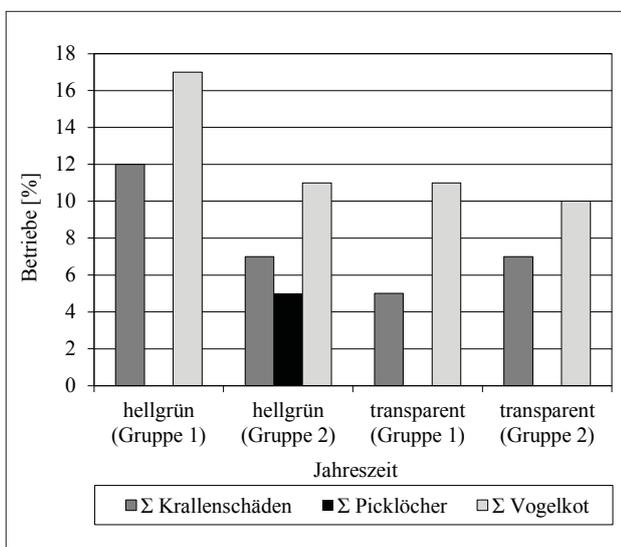


Abbildung 5: Schäden an Silorundballen nach 3-tägiger Feldlagerung; Versuch Puch bei Palda, 1. Aufwuchs 2016 (TRUMMER und WIESER 2017)

Die Auswertung der 7 Einzelversuche führte zu der Schlussfolgerung, dass die Farbe der Stretchfolie einen deutlichen Einfluss auf das Ausmaß der Lochschädigung an den Silobällen hatte. Die transparente Folie wurde von den Aaskrähen zwar nicht völlig verschont, aber die Schädigung hielt sich, trotz teils starker Krähenaktivität rund um die Ballen, in Grenzen. Das konnte in einem Beobachtungsversuch von RESCH (2015) bestätigt werden. Anders schaute es bei der hellgrünen Folie aus. Hier war ein gewisser Zusammenhang zwischen Krähenaktivität und Lochschädigung erkennbar (Abbildung 6), d.h. mit zunehmender Krähenaktivität nahm das Schadausmaß zu. Außerdem war die Beschädigung der hellgrünen Kontrollfolie im Durchschnitt deutlich höher als bei der transparenten Folie.

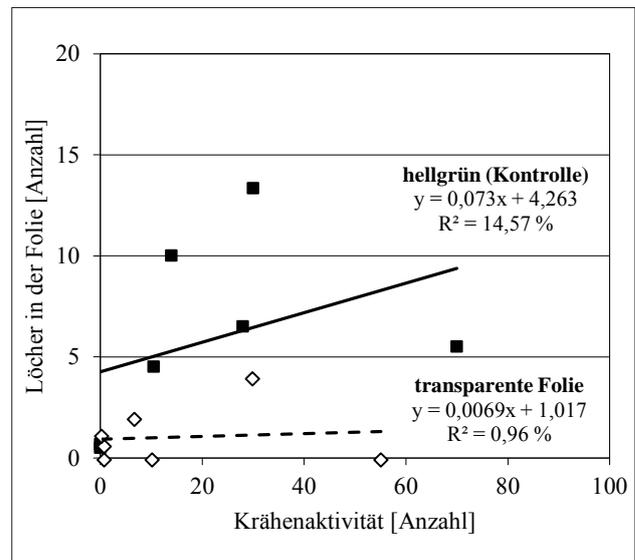


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen Krähenaktivität und Lochschädigung von Silobällen in Abhängigkeit der Stretchfolienfarbe; Daten: Praxisversuche Puch bei Palda und Pichl bei Roßleithen im Jahr 2016 (TRUMMER und WIESER 2017)

Weitere Folienbeschädiger, die nicht unterschätzt werden sollten, sind Ratten und Mäuse, welche sich insbesondere in dicht gestellten Ballenlagern sicher fühlen und Ballenfolien stellenweise massiv aufnagen. In Japan stellten KAWAMOTO et al. (2012) fest, dass die Folienbeschädigung durch Ratten signifikant verringert werden konnte, wenn der Abstand zwischen den stirnseitig aufgestellten Rundballen auf mindestens 50 cm vergrößert wurde. Diese Art der Lagerung benötigt zwar mehr Platz, allerdings wird dadurch das Folien-Controlling und die Reparatur von Schäden wesentlich erleichtert. Außerdem erleichtert der größere Ballenabstand bestimmten Beutegreifern (Katze, Marder etc.) die Jagd auf die schädigenden Nagetiere. In Österreich wird für die Ballenlagerung ein befestigter Untergrund empfohlen, weil den Mäusen dadurch die Anlage von Erdgängen in Ballennähe erschwert wird (RESCH 2017b).

Ballenhandling

In Schweden wurde in mehreren Praxisversuchen an 122 Pressballen der Einfluss des Ballenzangenhandlings nach unterschiedlich langen Feldliegezeiten untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass TM-Gehalt und Zeitpunkt des Handlings eine Wirkung auf die Ballenversiegelung

hatten (HÖRNDAHL et al. 2012). Bei Rundballen mit TM-Gehalten unterhalb von 400 g/kg FM wirkte sich das Zangenhandling innerhalb von 3 bis 24 Stunden nach der Wicklung negativ auf die Ballenversiegelung aus, dagegen war der Zeitpunkt des Handlings bei TM-Gehalten über 400 g/kg FM unerheblich. Abgesehen von diesen Ergebnissen ist ein rascher Abtransport der gewickelten Rundballen vom Feld zum Ballenlager empfehlenswert.

Unabhängig von der Technik des Ballenhandlings (Ballenzange, Ballengabel etc.) konnte festgestellt werden, dass die Art der Ballenlagerung einen Einfluss auf die Folienbeschädigung durch das Handling hatte (Abbildung 7). Nach Angaben von 116 Landwirten war das Risiko, dass Ballen verletzt wurden umso größer, je mehr Ballen das Lager aufwies. Größere Ballenlager waren offensichtlich auch für Katzen und Marder attraktiver, deswegen war dort die Schädigung durch diese Tiere stärker ausgeprägt.

Hinsichtlich Vorbeugung gegenüber einer Folienbeschädigung von Silageballen war der rasche Abtransport der Ballen vom Feld wohl die effektivste Methode, um Schäden zu reduzieren, das bestätigte die Fragebogenerhebung von TRUMMER und WIESER (2017). Ein wirklich effektives

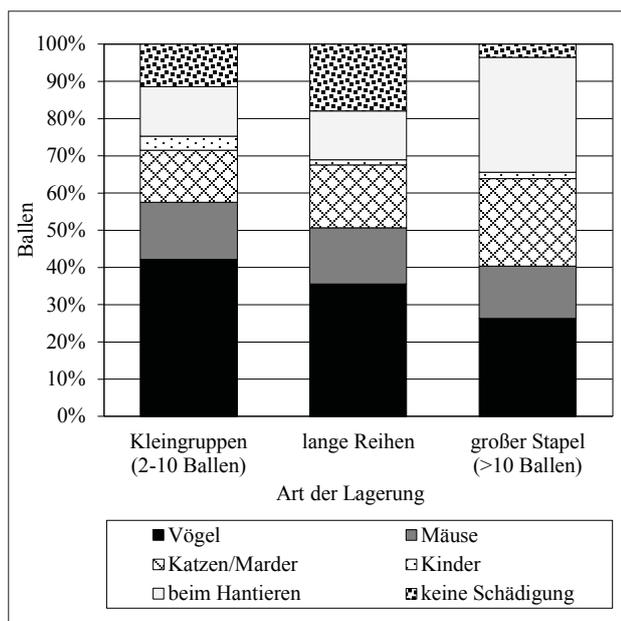


Abbildung 7: Art der Folienschädigung an Silorundballen im Zusammenhang mit der Art der Lagerung (TRUMMER und WIESER 2017)

Hilfsmittel wäre es die Siloballen mit einem Schutznetz zu überdecken. Dies verursacht jedoch höhere Kosten und kann ab einer gewissen Menge an Siloballen praktisch nicht gut ausgeführt werden. Außerdem friert das Schutznetz nach Schneefall an und lässt sich nur mit hohem Aufwand beschädigungsfrei entfernen.

Beim Schutz von Ballenlagern durch Schutzgitter/-netz hat sich gezeigt, dass die Wirkung besser war, wenn eine Distanz zwischen Ballenoberfläche und Schutzgitter/-netz gegeben war. Außerdem sollte das Schutzsystem nicht ganz bis zum Boden reichen, weil dadurch Beutegreifer wie Katzen und Marder zwischen den Ballen auf Mäusejagd gehen konnten. Im Winter kann das Schutzgitter/-netz am Ballenlager festfrieren und bei Schneelast und Kälte kann

das Schutzgitter/-netz auch leicht beschädigt werden, eine Entfernung vor dem Schneefall wäre zu überlegen.

3.4 Visuelle Folienkontrolle

Beim Kauf eines Siloabdecksystems sollte nach NUBBAUM (2002) darauf geachtet werden, dass die Verpackung unbeschädigt ist, ansonsten könnte der Inhalt (Folienrolle) ebenfalls beschädigt sein. Bei der Lagerung von ungeschützten Folienrollen wäre eine liegende Position besser, weil die Silofolie an den Rollenden gefaltet ist und sich bei aufgestellter Lage bzw. bei unvorsichtiger Hantierung leicht Schürfverletzungen an den Faltstößen ergeben könnten. Die letzte Möglichkeit der Schadenskontrolle bei Silofolien ist direkt beim Auflegen der Folie am Silo. Auffallende Materialunregelmäßigkeiten in Längsrichtung sind gute Hinweise, dass bei der Produktion der Silofolie die Komponentenverteilung möglicherweise heterogen war. Derartige Inhomogenitäten deuten auf Materialschwachstellen hin, die sich später negativ auswirken können. Sollten qualitative Mängel bis zur Installation auffallen, ist eine fotografische Dokumentation und Reklamation beim Händler/Produzenten umgehend durchzuführen. Auf der Originalverpackung befindet sich eine Chargennummer des Folienproduzenten, welche bei der Reklamation ebenfalls angeführt werden sollte. Die Folienproduzenten verfügen heute über ein entsprechendes Qualitätsmanagement, daher führen gut dokumentierte Reklamationen vielfach zu einem besseren Fehlverständnis und in der Folge zu einem qualitativen Fortschritt in der Produktherstellung und Logistik.

Generell sollte der Lagerraum für Silagen keine scharfkantigen Elemente, wie z.B. gratige Ränder von Betonwänden oder grob gebrochene Schotterrollierung als Untergrund, aufweisen, weil diese Elemente eine Gefahr für die Verletzung von Silofolien darstellen. Wenn derartige Elemente vorhanden sind, könnte die Auflage von einem filzartigen, weichen PP-Vlies die Verletzungsgefahr bei Silofolien deutlich verringern.

3.5 Silocontrolling bis zur Siloöffnung

Eine Kontrolle der Folienoberfläche auf Beschädigungen sollte nach der Versiegelung der Silooberfläche regelmäßig erfolgen, weil ansonsten Sauerstoff über Luft und Wasser in den Futterstock eindringen kann (RESCH et al. 2011). Die Folge ist ein Futterverderb durch Schimmelpilze und Fäulnisbakterien und eine Nacherwärmung durch Hefepilze. Die beschädigten Folienstellen sind optimalerweise mit einem Spezialklebeband mit entsprechend guter Klebekraft luftdicht zu verschließen. Die Verwendung von minderwertigen Klebebändern bringt keinen Erfolg!

3.6 Schlussfolgerungen

Für die luftdichte Versiegelung von silierten Futterpflanzen stehen dem Landwirt heute verschiedene Abdecksysteme für Flachsilos, Pressballen etc. zur Verfügung. Bei Abdeckungssystemen (Folien, Vliese etc.) entscheidet die Qualität der bei der Herstellung eingesetzten Komponenten und Verfahren über die Güte des Systems. Das Co-Extrusionsverfahren zeigt in Kombination mit hochwertigen Kunststoffen, dass es möglich ist Folien dünner und dennoch luftdichter und belastungsfähig auszuformen. Qualitätsfolien haben allerdings auch einen höheren Preis. Die luftdichte Installation eines guten Abdeckungssystems erfordert ein professionel-

les Management durch den Landwirt. Bei Pressballen ist dem schonenden Handling besondere Aufmerksamkeit zu widmen, um Folienbeschädigung durch mechanische Verletzung zu verhindern. Transparente Stretchfolien brachten eine Reduktion von Vogelschäden an den Siloballen. Ein Siloabdecksystem sollte gegenüber Vögeln/Tieren zusätzlich durch die Installation von Schutzgitter/-netz geschützt werden.

4. Literatur

- ASTM (American society for testing materials), 2013: ASTM D3985-05(2010)e1 – Standard test method for oxygen gas transmission rate through plastic film and sheeting using a coulometric sensor. ASTM International. Available at: <http://www.astm.org/Standards/D3985.htm> (23.01.2018).
- BIRNKAMMER, 1972: Silopresse und Folienschlauchsilo. *Mitteilg. der DLG*, 25, 15.06.1972
- BISAGLIA, C., E. TABACCO und G. BORREANI, 2011: The use of plastic film instead of netting when tying round bales for wrapped baled silage. *Biosystems engineering* 108, 1-8.
- BLATTMANN, W., 1957: Die Qualität des Mais-Gärfutters. *Arb. DLG* 47, 64-72.
- BMLFUW, 2017: Grüner Bericht 2017 – Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 268 S.
- BORREANI, G., E. TABACCO und L. CAVALLARIN, 2007: A new oxygen barrier film reduces aerobic deterioration in farm-scale corn silage. *J. Dairy. Sci.* 90, 4701-4706.
- BORREANI, G. und E. TABACCO, 2008: New oxygen barrier stretch film enhances quality of alfalfa wrapped silage. *Agronomy journal* 100, 942-948.
- BORREANI, G., A. REVELLO CHION und E. TABACCO, 2009: Enhancing oxygen impermeability of stretch film for wrapped silage with the use of new polymers. In Broderick et al. (Eds.): *Proceedings. 15th International Silage Conference*, Madison, Wisconsin, 97-98.
- BROWN, W.O. und J.A.M. KERR, 1965: Losses in the conservation of heavily-wilted herbage sealed in polythene film in lined trench silos. *Grass and Forage Science* 20, 227-232.
- BUCHGRABER, K. und R. RESCH, 1993: Der Einfluss der Produktion von Grassilagen auf die Futterqualität und Gärbiologie sowie die Auswirkungen auf die Verfütterung und Milchqualität in der Praxis – Silageprojekt „Steirisches Ennstal“: BAL Veröffentlichungen, Heft 20, BAL Gumpenstein, Irnding, 9-32.
- CEN, 2006: European Standard EN 14932, Plastics – Stretch thermoplastic films for wrapping bales – Requirements and test methods. CEN (European Committee for Standardization)
- COBLENTZ, W.K., R.K. OGDEN, M.S. AKINS und E.A. CHOW, 2017: Nutritive value and fermentation characteristics of alfalfa-mixed grass forage wrapped with minimal stretch film layers and stored for different lengths of time. *J. Dairy. Sci.* 100, 5293-5304.
- DAPONTE, T., 1992: Coextruded films in silage. *Plasticulture*, 96, 35-44.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft), 2012: *Praxishandbuch Futter- und Substratkonservierung*. 8. vollständig überarbeitete Auflage, DLG Verlag, Frankfurt am Main, 416 S.
- DLZ, 2013: Ritsch, ratsch zugedeckt. *dlz primus rind*, März 2013, 26-27.
- DORSCH, K., 2012: Roll-Vlies statt Folie. *top agrar* 5, 2012, 20-21.
- FOLKEMA, G., 2003: U.S. Patent Application No. 10/378, 619.
- FRICK, R., 2000: Ballensilage mit farbigen PE-Stretchfolien. *AGRAR-Forschung* 7, 158-163.
- GAILLARD, F. und J. MAZOYER, 1998: Protection of wrapped round bales. *Fourrages* 155, 345-347.
- GROSS, F., 1968: Ergebnisse von Silierungsversuchen in Flach- und Hochsilos mit luftdichten Folienverschlüssen. *Bayer. Landwirtschaft. Jb.* 45, 3, 335-349.
- GROSS, F. und K. RIEBE, 1974: *Gärfutter – Betriebswirtschaft, Erzeugung, Verfütterung*, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 283 S.
- HÖRNDL, T., R. SPÖRNDLY, R. NYLUND und P.-A. ALGERBO, 2012: Handling round bale silage after wrapping – Power and Machinery. *International Conference of Agricultural Engineering-CIGR-AgEng 2012: agriculture and engineering for a healthier life*, Valencia (Spain), CIGR-EurAgEng, 8-12 July 2012.
- KAWAMOTO, H., H. SEKIYA, A. OSHIBE, T. KOMATSU, N. FUKUJYU und T. SHIMADA, 2012: Rat damage control to round-baled silage by modifying storage layout. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ* 46, 35-40.
- LATSCH, R. und U. WYSS, 2017: *Grassilagebereitung im Flachsilo*. *Agroscope Transfer, Technik Nr. 179/2017*, 8 S.
- LEBELT, R., 1972: Die Bewirtschaftung von Hochsilos. *Deutsche Agrartechnik* 22, 174-175.
- LIEBSCHER, K., 1966: Entwicklung, Stand und Tendenzen der Silowirtschaft in Österreich. *Förderungsdienst* 14, 112-117.
- MAACK, C. und U. WYSS, 2012: *Silagelagerung*. Kapitel 5, 97-133: *Praxishandbuch Futter- und Substratkonservierung*. DLG-Verlag, 8. vollständig überarbeitete Auflage, Frankfurt, 416 S.
- MCNALLY, G.M., C. LAFFIN, P.D. FORRISTAL, P. O'KIELY und C.M. SMALL, 2005: The effect of extrusion conditions and material properties on the gas permeation properties of LDPE/LLDPE silage wrap films. *Journal of Plastic Film & Sheeting* 21, 27-38.
- MCNAMARA, K., P. O'KIELY, J. WHELAN, P.D. FORRISTAL, J.J. LENEHAN und J.P. HANRAHAN, 2004: An investigation into the pattern of bird damage to the plastic stretch film on baled silage in Ireland. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*, Royal Irish Academy, 95-105.
- MICKAN, F., 2003: Can Irish ideas reduce bird damage to wrapped bale silage?: http://www.wrapper.hayday.biz/wp-content/uploads/2012/08/Can_Irish_ideas_reuce_bird_damage_to_wrapped_bal_silage170504.pdf (18.01.2018)
- MOORE, H.I., 1914: *Silos and silage*, A Farmer And Stock-Breeder Book, London, 139 S.
- NUBBAUM, H., 2002: Die luftdichte Abdeckung von Silagen: Futterkonservierung – Siliermittel, Dosiergeräte, Silofolien. 6. Auflage 2002, Arbeitsgemeinschaft der nordwestdeutschen Landwirtschaftskammern: Schleswig-Holstein, Weser-Ems, Westfalen-Lippe und Rheinland, Oldenburg, 61-68.
- NUBBAUM, H., 2012: Da bleibt die Luft weg. *dlz primus rind*, April 2012, 29-31.
- NUBBAUM, H., 2013: Zwei in eins. *dlz primus rind*, April 2013, 37-39.
- NUBBAUM, H., 2017: Neue Trends bei Silofolien. *top agrar Österreich* 6, 2017, 38-39.
- O'KIELY, P. und P.D. FORRISTAL, 2003: An alternative plastic film for sealing ensiled forage. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 47, 1011-1016.
- O'KIELY, P., D.P. FORRISTAL, K. BRADY, K. MCNAMARA, J.J. LENEHAN, H. FULLER und J. WHELAN, 2002: Improved Technologies For Baled Silage. *Beef Production Series No. 50, Project Report Nr. 4621*, Grange and Oak Park Research Centres, Dunsany, 86 S.

- OROSZ, S., J.M. WILKINSON, S. WIGLEY, Z. BÍRÓ und J. GALLÓ, 2013: Microbial status, aerobic stability and fermentation of maize silage sealed with an oxygen barrier film or standard polyethylene film. *Agricultural and Food Science* 22, 182-188.
- PAHLOW, G., R.E. MUCK, F. DRIEHUIS, S. ELFERINK und S.F. SPOELSTRA, 2003: Microbiology of ensiling: Silage Science and Technology. *Agronomy* 42, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 31-94.
- POSCHENRIEDER, H., 1963: Über die Geschichte, Entwicklungen und den derzeitigen Stand der Biologie des Einsäuerns von Futtermitteln. *Bayer. Landwirtsch. Jb.* 40, 426-444.
- RESCH, R., 2009: Einfluss von unterschiedlichen Stretchfolien auf die Futter- und Gärqualität von Grassilage-Rundballen, Versuchsbericht zum Stretchfolienvergleich, LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irndning, 13 S.
- RESCH, R., 2010: Qualitätsbewertung von österreichischen Grassilagen und Silomais aus Praxisbetrieben, Abschlussbericht der wissenschaftlichen Tätigkeit „Silagequalität“, Nr. 3561 (DaFNE 100535), LFZ Raumberg-Gumpenstein, 87 S.
- RESCH, R., 2011: Einfluss von unterschiedlicher Güte der Ballenversiegelung auf die Futter- und Gärqualität von Grassilage-Rundballen, Abschlussbericht Forschungsprojekt „Versiegelungsgüte“ Nr. 3584 (DaFNE 100684), LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irndning, 16 S.
- RESCH, R., 2012: Einfluss neuer Stretchfolientechnologien und Anzahl der Wickellagen auf Gärungsverluste, Gärfutterqualität und aerobe Stabilität von Grassilage in Rundballen, Abschlussbericht Forschungsprojekt „Stretchfolie III“ Nr. 3611 (DaFNE 100880), LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irndning, 22 S.
- RESCH, R., 2014a: Einfluss von transparenten Stretchfolien auf Silagequalität, aerobe Stabilität und Gärungsverluste von Grassilage in Rundballen. ALVA-Jahrestagung 2014 zum Thema „Angewandte Forschung – gibt es neue Wege?“, LFZ Franzisco-Josephinum, Wieselburg-Land, Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen (ALVA), 19.-20. Mai 2014, 159-161.
- RESCH, R., 2014b: Einfluss von transparenten Stretchfolien auf Silagequalität, aerobe Stabilität und Gärungsverluste von Grassilage in Rundballen, Abschlussbericht des Forschungsprojektes „Stretchfolie IV“ Nr. 3620 (DaFNE 100953), HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irndning, 23 S.
- RESCH, R., 2015: Einfluss von transparenter Silostretchfolie auf die Folienschädigung durch Vögel. Versuchsbericht, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irndning, 11 S.
- RESCH, R., 2017a: Futter-, Energie- und Rohproteinerträge für Grünland in Österreich 2016 – Faustzahlen für Wirtschafts- und Extensivgrünland, Feldfutterbau, Silomais und Futterrüben: Grüner Bericht 2017 – Bericht über die Situation der Österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2016. 58. Auflage, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 263.
- RESCH, R., 2017b: Mäuse fressen Ballen. *Landwirt* 22, 25.
- RESCH, R. und J. WILDLING, 2017: Auswirkung verschiedener Folien-Abdecksysteme auf Gärungseigenschaften, Futterhygiene und aerobe Stabilität von Gras- und Maissilage im Fahrsilo. Versuchsbericht, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irndning-Donnersbachtal, 17 S.
- RESCH, R., A. ADLER, P. FRANK, A. PÖLLINGER, G. PERATONER, F. TIEFENTHALLER, C. MEUSBURGER, G. WIEDNER und K. BUCHGRABER, 2011: Top-Grassilage durch optimale Milchsäuregärung. *Der fortschrittliche Landwirt*, ÖAG-Sonderbeilage 7/2011, 11.
- RÖTZER, J., 2012: Professionelle Silageabdeckung. *Profi News* 1-2/2012, 54-55.
- RÖTZER, J., 2012: Die „richtige“ Farbe für Silofolien?. *Profi News* 1-2/2012, 58-59.
- RÖTZER, J., 2014: Unterschiede bei Stretchfolien. *Profi News*, 1-2/2014, 48-49.
- SCARASCIA-MUGNOZZA, G., C. SICA und G. RUSSO, 2012: Plastic materials in European agriculture: actual use and perspectives. *Journal of Agricultural Engineering* 42, 15-28.
- SCHECHTNER, G., 1993: Silowirtschaft im Wandel der Zeit. *Österreichweite Silagetagung*, LFS Grabnerhof, BAL Gumpenstein, 13.-14.01.1993, 1-11.
- SCHULZ, H., 1967: Folien und Folienverschlüsse in der Silowirtschaft. *Mitt. DLG* 23 und 24, 1967.
- SNELL, H.G.J., C. OBERNDORFER, W. LÜCKE und H.F.A. VAN DEN WEGHE, 2002: Effects of the colour and thickness of polyethylene film on ensiling conditions and silage quality of chopped maize, as investigated under ambient conditions and in mini-silos. *Grass and Forage Science* 57, 342-350.
- SPIEKERS, H., H. NUBBAUM und V. POTTHAST, 2009: Erfolgreiche Milchviehfütterung, 5. erweiterte und aktualisierte Auflage mit Futtermittelkonservierung, DLG Verlag, Frankfurt am Main, 576 S.
- SPRAGUE, M.A. und B.B. TAYLOR, 1970: Forage composition and losses from orchardgrass silage as affected by maturity and nitrogen fertilization. *Agronomy journal* 62, 749-753.
- TRUMMER, F. und S. WIESER, 2017: Siloballenbeschädigung in der Praxis und Prüfung einer transparenten Stretchfolie hinsichtlich ihrer Reduktion von Vogelschäden an Rundballen. *Diplommatura*, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 90 S.
- TSCHERNER, M., R. RESCH, M. SCHWEIGER und S. KÖSTLER, 2016: Permanent oxygen monitoring in the fermentation atmosphere of grass silage using optochemical sensing technology. *Sensing in Food and Agriculture*, Cambridge UK, 29.-30. November 2016.
- VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten), 1976: Methodenbuch Band III – Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, inkl. Ergänzungsblätter 1983, 1988, 1993, 1997. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten), 2007: Methode 28.1.2 Futtermitteluntersuchung - Bestimmung der Keimgehalte an aeroben, mesophilen Bakterien, Schimmel- und Schwärzepilzen und Hefen. *Methodenbuch III*, 7. Ergänzung 2007. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- WEINBERG, Z.G. und G. ASHBELL, 2003: Engineering aspects of ensiling. *Biochemical Engineering Journal* 13, 181-188.
- WESTOVER, E., 1919: Making silage. *Extension Bulletin* 321, June 1919, Oregon Agricultural College, Extension Service, Corvallis Oregon, 12 S.
- WILKINSON, J.M. und D.R. DAVIES, 2012: The aerobic stability of silage: key findings and recent developments. *Grass and Forage Science* 68, 1-19.
- WILKINSON, J.M. und J.S. FENLON, 2014: A meta-analysis comparing standard polyethylene and oxygen barrier film in terms of losses during storage and aerobic stability of silage. *Grass and Forage Science* 69, 385-392.
- WILKINSON, J.M., K.K. BOLSEN und C.J. LIN, 2003: History of silage: Silage Science and Technology. *Agronomy* 42, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 1-30.
- ZIMMER, E., 1961: Kunststoff-Folien in der Silowirtschaft. *Landwirtsch. Wbl. Westf.-Lippe* 35/36, Ausg. A.