

Eignung von Wickelfolien für die Ballensilage

Geringe Unterschiede in der Stretchfolienqualität; breite Auswahl an Foliensfarben

Rainer Frick, Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8356 Ettenhausen

Ein Vergleichsversuch mit 15 Wickelfolien hatte zum Ziel, deren Eignung für die Silagekonservierung in Ballen abzuklären. Untersucht wurden die Foliensqualität (mechanische und physikalische Eigenschaften, Alterungsbeständigkeit), die Folienerwärmung, die Gärqualität und die Landschaftsverträglichkeit verschiedener Foliensfarben für die Ballenlagerung im Freien.

Sämtliche untersuchten Stretchfolien erfüllen die gemäss Prüfnorm geltenden Anforderungen in Bezug auf die wichtigsten mechanischen und physikalischen Eigenschaften (Spannung, Reissfestigkeit und -dehnung, Durchdrückkraft, Klebkraft und Gasdurchlässigkeit). Die Alterungsbeständigkeit ist mit Ausnahme der hellgrünen Stretchfolien sehr gut. Schwarze und dunkelfarbige Wickelfolien erwärmen sich an der Sonne

deutlich stärker als weisse und hellgrüne Folien, was deren Gasdurchlässigkeit vorübergehend erhöht. Allerdings scheint dieser Nachteil auf die Gärqualität keinen Einfluss zu haben. Wie eine Umfrage bestätigt, schneiden dunkelfarbige Stretchfolien hinsichtlich der Schonung des Landschaftsbildes im Vergleich zu weissen Folien deutlich besser ab. Für die Lagerung von Silageballen im Freien sollten deshalb vermehrt dunkel gefärbte Stretchfolien verwendet werden. Von der Qualität her sind diese mit den weissen Wickelfolien als gleichwertig einzustufen. Die hierzulande kaum mehr eingesetzten schwarzen Stretchfolien haben qualitativ noch immer die besten Eigenschaften (sehr gute mechanische Festigkeit, UV-Stabilität und Kleb-

kraft) und enthalten ausserdem keine umweltbelastenden Pigmentstoffe. Damit bei der Silagequalität keine Einbussen zu befürchten sind, ist neben der Wahl der geeigneten Stretchfolie und Foliensfarbe auch die geordnete Lagerung der Ballen an einem geeigneten Standort wichtig. Die Entsorgung der jährlich steigenden Foliensmengen via Kehrichtverbrennung stellt für die Zukunft keine befriedigende Lösung dar.



Abb. 1: Fünfzehn verschiedene Wickelfolien wurden in einem Versuch hinsichtlich Qualität, Alterung, Folienerwärmung, Silagequalität und Landschaftsverträglichkeit untersucht.

Inhalt	Seite
Problemstellung	2
Versuchsdurchführung	2
Prüfnormen für Stretchfolien	3
Ergebnisse	
Abmessungen und Rollengewicht	4
Mechanische und physikalische Eigenschaften	5
Alterungsbeständigkeit	7
Zustand der Folien nach der Lagerung	9
Folienerwärmung	9
Gärqualität der Silage	11
Foliensfarben und Landschaftsbild	12
Schadstoffe in Stretchfolien	13
Entsorgung von Wickelfolien	14
Folgerungen	14
Empfehlungen	15
Literatur	16

Problemstellung/Auftrag

Aufgrund von Schätzungen belief sich die Anzahl gewickelter Rund- und Quaderballen in den letzten Jahren in der Schweiz auf rund 2,5 Mio Stück. Die Vorzüge der Ballentechnik im Vergleich zu anderen Silierverfahren (vor allem Flach- und Hochsilo) sind bekannt: Hohe Flexibilität, geringe Investitionen in Gebäude, Lager und Maschinen, geringer Mechanisierungs- und Arbeitszeitbedarf für den eigenen Betrieb.

Für das Stretchen der Grassilageballen verwendet man heute überwiegend weisse Wickelfolien. Mit der jährlich steigenden Zahl von Wickelballen wurden die mit weissen Stretchfolien eingepackten Ballen in der breiten Bevölkerung zunehmend als störend und wenig landschaftsverträglich empfunden. Seit einigen Jahren sind auf dem Markt auch farbige, weniger stark reflektierende Wickelfolien erhältlich. Das Aufkommen der Ballensilage hatte zudem zur Folge, dass verbreitet Pro-

bleme mit ungenügender Futterqualität auftraten, wenn Silageballen über längere Zeit im Freien gelagert wurden. Neben den verschiedenen möglichen Ursachen wie Futterart, Anwelkggrad, Futtermverschmutzung, Pressdichte, Wickeltechnik, Folienbeschädigung und Ballenlagerung kommt dabei verschiedentlich auch die Qualität der Wickelfolien in Diskussion. Ein an der FAT angelegter Versuch soll auf folgende Fragen Antwort geben: Erfüllen die in der Praxis eingesetzten Folienfabrikate und -typen die qualitativen Anforderungen? Bestehen qualitative Unterschiede zwischen den verschiedenen Wickelfolien? Wie eignen sich farbige im Vergleich zu weissen und schwarzen Folien? Wie verträglich verhalten sich verschiedene Folienfarben für die Ballenlagerung im Freien? Die Erkenntnisse dienen dazu, geeignete Empfehlungen hinsichtlich Folienwahl und optimaler Silagekonservierung abzuleiten.

rem Polyethylen niederer Dichte (PE-LLD). Sie sind nach dem gleichen Prinzip (Extrusionsverfahren) hergestellt und bestehen aus drei Lagen: Die mittlere Schicht beinhaltet die Grundstruktur und verleiht der Folie die erforderliche Stabilität und Dehnbarkeit. Auf der inneren Schicht ist der Klebstoff aufgetragen, der das Aneinanderhaften der Folienlagen garantiert. Die äussere Schicht enthält den gegen die Degradierung wirkenden UV-Stabilisator. Bei weissen und farbigen Folien wird dieser Schicht zudem ein Pigmentstoff zugeschlagen.

Bezüglich Folienfarben besteht heute ein vielseitiges Angebot. Nach wie vor dominieren hierzulande die weissen Folien. Farbige Folien werden zwar zunehmend, aber immer noch sehr zurückhaltend eingesetzt. Unter diesen ist heute die hell- oder blassgrüne Farbe am meisten verbreitet. Dunkelgrüne, grüne, beige oder feldgraue Folien kommen eher selten zur Anwendung. Nur noch ganz vereinzelt sieht man schwarze Folien.

Im Versuch wurden fünf weisse, vier hellgrüne, eine grüne, drei dunkelgrüne und zwei schwarze Stretchfolien eingesetzt (Abb. 1). Bei den farbigen Folien – insbesondere bei den hellgrünen – bestehen je nach Hersteller innerhalb der gleichen Farbbezeichnung mehr oder weniger deutliche Nuancen. Die hellgrüne Folie von Agriflex ist deutlich dunkler als die der übrigen Hersteller; sie wird deshalb im Folgenden als «grün» bezeichnet. Die dunkelgrünen Folien von Tenospin und Agristretch sind olivgrün, während jene von Silotite eher bräunlich ist. Dagegen ist der Farbton der weissen und schwarzen Folien bei allen Herstellern identisch.

Versuchsdurchführung

Versuchsanlage

Es wurde ein Versuch mit 15 verschiedenen Wickelfolien angelegt. Die gewählten Folienfarben waren weiss, schwarz, hellgrün und dunkelgrün. Mit jeder Folie wurden zwei Rundballen hergestellt. Die insgesamt 30 Rundballen konservierte man Ende Mai im ersten Schnitt auf einer Kunstwiese (Standardmischung 330). Der Bestand im Erntestadium 4 hatte 85% Gräser mit einem Ertrag von rund 40 dt TS/ha. Das Futter wurde vorgewelkt (Aufbereiter, zweimal Zetten) und hatte beim Pressen einen mittleren TS-Gehalt von 38%. Als Rundballenpresse kam eine Welger RP 200 mit konstanter Presskammer und mit Schneidwerk zum Einsatz. Die Verdichtung lag im Durchschnitt bei 197 kg TS pro m³. Die Ballen wurden sofort im Feld sechslagig gewickelt. Die Vorstreckung betrug bei allen Folien 60% (ausgenommen Teno-spin 70%). Die mit einer Klemmzange heimgeführten Rundballen lagerten anschliessend auf einem Kiesplatz einzeln nebeneinander auf der Bauchseite während zehn Monaten.

Eingesetzte Wickelfolien

Die insgesamt 15 untersuchten Folien stammen von fünf Herstellern (Tab. 1). Deren Auswahl für den Versuch erfolgte aufgrund ihrer Verbreitung in der schweizerischen Landwirtschaft. Die verwendeten Folien hatten eine Normdicke von 25 mikro-m (= 25 mm/1000) und eine Breite von 500 mm. Die untersuchten Folien sind sogenannte Stretchfolien aus linea-

Tab. 1: Im Versuch eingesetzte Wickelfolien (Breite 500 mm, Dicke 25 mikro-m)

Fabrikat	Hersteller	Bezug bei	Farbe	Erforderliche Dehnung %
Silotite	Bonar Phormium Packaging B-9240 Zele Belgien	Baltensberger Farmtechnik AG 8311 Brütten	Weiss Hellgrün Braungrün Schwarz	55-70
Teno-spin	Trioplast AB S-33323 Smalandsstenar Schweden	Aemisegger Bruno Haufen 51 9426 Lutzenberg	Weiss Hellgrün Olivgrün Schwarz	65-80
Aspla	Aspla Plasticos Espanoles SA E-39300 Torrel Avega Spanien	Gebr. Herzog Langacker 5075 Hornussen	Weiss Hellgrün	55-70
Agriflex / Manuli	Pentacast Manuli I-86077 Pozzilli Italien	Kuert Rudolf Seil- und Hebeteknik 4900 Langenthal	Weiss Grün	50-65
Agristretch	W. Hamburger Unterland A-6330 Kufstein Österreich	W. Hamburger Unterland A-6330 Kufstein Österreich	Weiss Hellgrün Olivgrün	bis 70

Tab. 2: Prüfkriterien und Anforderungen für Wickelfolien
(DLG-Prüfnorm für PE-Stretchfolien niederer Dichte, Stand 2001)

Eigenschaften	Anforderungen
1. Abmessungen 1.1 Foliendicke 1.2 Folienbreite 1.3 Rollengewicht	Nenndicke mind. 0,025 mm (Mittelwert); zulässige Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert +/- 15 % Nennbreite mind. 500 mm bzw. 750 mm 20,7 kg (500 mm) ¹⁾ 25,9 kg (750 mm) ²⁾
2. Mechanische Eigenschaften 2.1 Spannung bei 80 % Dehnung 2.2 Reissfestigkeit längs und quer 2.3 Reissdehnung längs und quer 2.4 Weiterreisskraft längs 2.5 Relaxation (Kraftabfall nach 6 min bei 80 % Dehnung) 2.6 Durchdrückkraft bei 80 % Dehnung 2.7 Klebkraft	> 10 N/mm ² > 10 N/mm ² > 400 % > 1,8 N < 40 % > 10 N > 0,05 N
3. Alterungsverhalten Beständigkeit bei Exposition im Freien (Gesamtbestrahlung ca. 2000 MJ/m ²) 3.1 Reissdehnung längs	> 350 % und zugleich < 30 % Minderung i.V. zum Neuzustand
4. Physikalische Eigenschaften 4.1 Gasdurchlässigkeit für O ₂ bei 23 °C und 0,2 bar, 1-lagig, ungedehnt	< 1800 cm ³ /m ² in 24 h

¹⁾ Bei Nennlänge 1800 m, Nennbreite 500 mm und Nenndicke 0,025 mm

²⁾ Bei Nennlänge 1500 m, Nennbreite 750 mm und Nenndicke 0,025 mm

- **Silagequalität:** Analyse der Gehalte (Rohfaser, Rohprotein, Rohasche) und der Gärparameter (pH-Wert, Säuren, Alkohol, Ammoniak) der Silage nach zehn Monaten Lagerung. Futterentnahme gesondert in zwei Tiefen (0-10 cm und 10-60 cm). Analyse der Proben durch die RAP Posieux.
- **Innere Qualität der Stretchfolien:** Überprüfung auf den Gehalt einiger ausgewählter Schwermetalle (Cd, Cl, Cr, Pb, Zn, Hg).
- **Einschätzung der Landschaftsverträglichkeit verschiedener Folienfarben durch die breite Bevölkerung:** Durchführung einer Umfrage anlässlich des Tages der offenen Tür der FAT im Juni 1999. Gegen 200 Personen aus der landwirtschaftlichen und nichtlandwirtschaftlichen Bevölkerung haben sich daran beteiligt.

Prüfnormen für Silagestretchfolien

Was wurde untersucht?

- **Folienqualität:** Mechanische und physikalische Eigenschaften der Stretchfolien im neuen und degradierten Zustand. Die untersuchten Parameter gehen aus Tabelle 2 hervor. Um den Messaufwand in Grenzen zu halten, führte man an den degradierten Folien nur noch ein reduziertes Messprogramm (Reissfestigkeit, Reissdehnung, Weiterreisskraft, Durchdrückkraft und Gasdurchlässigkeit) durch. Die Klebkraft liess sich im degradierten Zustand aus methodischen Gründen (zu geringe Adhäsion zwischen Folienlagen) nicht ermitteln. Als Muster für die degradierten Folien wurden an den Ballen die äussersten beiden Folienlagen entnommen. Sämtliche Messungen zur Folienqualität führte die EMPA St.Gallen, Abteilung Verpackung und Kunststoffe, durch.
- **Optischer Zustand der degradierten Folien:** Visuelle Beurteilung der UV-Stabilität, der Klebkraft und der farblichen Veränderung nach zehnmonatiger Lagerung der Ballen unter freiem Himmel. Beurteilung und Bonitierung durch drei Fachpersonen.

- **Folienerrwärmung:** Entwicklung und Verlauf der Temperatur während 40 Tagen nach dem Wickeln direkt unter der Folie sowie in einer Tiefe von 5 und 15 cm unter der Folie. Messung kontinuierlich in Intervallen von 30 Minuten mit elektronischen Thermometern.

An die Qualität von Wickelfolien stellt man **hohe Anforderungen**. Wichtig sind nicht nur gute mechanische Eigenschaften (Zugfestigkeit, Reissdehnung) und ein gutes Klebverhalten, sondern auch eine hohe Stabilität gegen ultraviolette (UV) Sonnenstrahlen zum Schutz gegen eine rasche Zersprödung. Um den Folienverbrauch möglichst gering zu halten, sollte die Folie zudem eine sehr

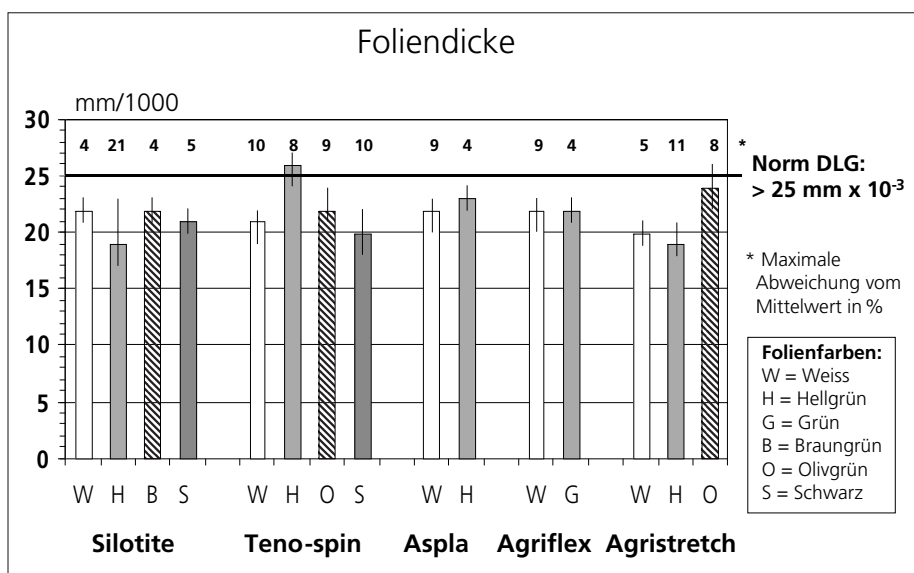


Abb. 2: Gemessene Foliendicke (Mittelwert aus zehn Messungen) und Vergleich mit dem DLG-Normwert.

geringe Dicke aufweisen. Konkret fordert man:

- Hohe Reissfestigkeit
- Hohes Dehnungsvermögen
- Grosse Widerstandskraft gegen mechanische Einwirkungen (Schläge, Abrieb, Eindrücken)
- Hohes Klebvermögen zwischen einzelnen Folienlagen
- Möglichst geringe Gasdurchlässigkeit
- Hohe UV-Stabilität
- Resistenz gegen mikrobiologischen Abbau (Alterungsbeständigkeit)
- Ökologisch unbedenkliche, das heisst schadstofffreie chemische Zusammensetzung

Für Silagestretchfolien gibt es in Europa **zwei Normen**: **DLG** (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft) und **AFNOR** (Association Française de Normalisation). Sie definieren einerseits die Anforderungen bezüglich den mechanischen und physikalischen Eigenschaften und andererseits die Prüfverfahren für die Labormessungen. Zwischen der deutschen und der französischen Norm bestehen nur geringfügige Unterschiede. In der vorliegenden Untersuchung stützten wir uns auf die Prüfnorm der DLG ab. In Tabelle 2 sind die einzelnen Prüfkriterien und Mindestanforderungen der DLG-Norm zusammengestellt.

Die an der EMPA St.Gallen durchgeführten Messungen wurden in allen Punkten auf die in der Norm definierten Prüfverfahren abgestimmt. Dadurch lassen sich die Messergebnisse mit den geltenden Anforderungen vergleichen.

Ergebnisse

Abmessungen und Rollengewicht

Die optimale **Foliendicke** ist in erster Linie für einwandfreie mechanische Eigenschaften wichtig. Eine zu dünne Stretchfolie reißt beim Dehnen am Wickler ab. Zu dicke Folien führen zu einem unerwünscht hohen Folienverbrauch. Die Nenndicke für Stretchfolien beträgt 0,025 mm. Die in Tabelle 3 aufgeführten Messwerte für die Dicke sind die Mittelwerte aus zehn Messungen. Aus diesen darf der Kleinstwert nicht unter 0,023 mm und der Höchstwert nicht über 0,032 mm liegen. Die Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert darf höchstens 15% betragen. Überraschenderweise weisen mit Ausnahme von zwei Folien (Teno-spin hellgrün und Agri-

stretch olivgrün) sämtliche Folien eine zu geringe Dicke auf (Abb. 2). Bei vier Folien liegt die gemessene Dicke mit 0,019 bis 0,02 mm gar deutlich unter dem geforderten Nennwert. Der Kleinstwert wurde bis auf zwei Ausnahmen überall unterschritten. Die maximale Abweichung vom Mittelwert dagegen liegt nur in einem Fall (Silotite hellgrün) über 15%. Allerdings zeigten die Wickelfolien im Praxiseinsatz trotz zu geringer Dicke keine negativen Eigenschaften bezüglich Reissfestigkeit.

Die Messungen der **Folienbreite** zeigen, dass die Mehrheit der geprüften Folien die geforderte Mindestbreite von 500 mm knapp unterschreiten (Tab. 3). Die Abweichung vom Nennwert beträgt allerdings nur in zwei Fällen (Agriflex weiss und grün) mehr als 1%.

Aus der Foliendicke, -breite und -länge ergibt sich das **Netto-Rollengewicht**. Dieses gibt einen Anhaltspunkt über die verfügbare Folienmenge bzw. -fläche. Das Netto-Rollengewicht errechnet sich nach folgender Formel:

$$\text{Mindestnettogewicht [kg]} = \text{Nennlänge [m]} \times \text{Nennbreite [m]} \times \text{Nenndicke [mm]} \times 0,92 \text{ (mittleres spezifisches Gewicht in kg/dm}^3\text{)}$$

Tab. 3: Gemessene Foliendicken, Folienbreiten und Rollengewichte sowie Vergleich mit den entsprechenden Nenn- und Sollwerten

Folienfabrikat	Folienfarbe	Foliendicke mm/1000	Folienbreite mm	Netto-Rollengewicht	
				Soll ¹⁾ kg	Gewogen kg
Silotite	Weiss	22	496	18,1	17,1
	Hellgrün	19	497	15,6	20,6
	Braungrün	22	495	18,0	17,3
	Schwarz	21	496	17,3	16,9
Teno-Spin	Weiss	21	498	17,3	20,7
	Hellgrün	26	501	21,6	20,9
	Olivgrün	22	500	18,2	20,3
	Schwarz	20	499	16,5	20,3
Aspla	Weiss	22	498	18,1	20,5
	Hellgrün	23	500	19,0	20,8
Agriflex	Weiss	22	492	17,9	20,5
	Grün	22	488	17,8	20,4
Agristretch	Weiss	20	497	16,4	20,6
	Hellgrün	19	500	15,7	20,0
	Olivgrün	24	498	19,8	20,1
DLG-Norm:	Nennwert	25	500	20,7 ²⁾	

¹⁾ Bei einer Nennlänge von 1800 m und der gemessenen Dicke und Breite

²⁾ Bei einer Nennlänge von 1800 m, Nennbreite von 500 mm und Nenndicke von 0,025 mm

Bei einer Nennlänge von 1800 m, einer Nennbreite von 500 mm und einer Nenndicke von 0,025 mm ergibt sich für das Netto-Rollengewicht ein Nennwert von 20,7 kg. In Tabelle 3 sind die gewogenen Netto-Rollengewichte der im Versuch eingesetzten Folienrollen aufgelistet. Aufgrund der teilweise recht geringen Foliendicke überrascht es nicht, dass bei mehreren Wickelfolien das Netto-Rollengewicht unter dem Nennwert liegt. In der vorletzten Kolonne sind zusätzlich die Sollwerte angegeben, die sich aus der gemessenen Foliendicke und -breite ergeben. Der Vergleich mit den gewogenen Rollengewichten zeigt, dass drei Folien von Silotite (weiss, braungrün und schwarz) auch diese Mindestsollwerte um 400 bis 1000 g unterschreiten.

Die dargestellten Ergebnisse zu Abmessungen und Gewichten gelten insofern mit einem gewissen Vorbehalt, als von jedem Folientyp nur eine Folienrolle zur Verfügung stand und nicht ausgeschlossen werden kann, dass von Rolle zu Rolle fabrikationsbedingte Unterschiede bestehen.

Mechanische und physikalische Eigenschaften

Spannung

Die Spannung ist die Kraft pro Fläche, die bei der vorgegebenen Dehnung von 80% in Längsrichtung im Zugversuch resultiert. Sie muss gemäss Norm mindestens 10 N/mm² erreichen.

Die ermittelten Werte für die Spannung sind in Abbildung 3 dargestellt. Alle 15 Stretchfolien erfüllen die Anforderungen bezüglich der Spannung. Den höchsten Wert (16 N/mm²) erreichte die schwarze Stretchfolie von Silotite, den niedrigsten die hellgrüne Folie von Teno-spin (11,5 N/mm²). Zwischen den einzelnen Foliendicken bestehen teilweise statistisch gesicherte Unterschiede. Zwischen der Spannung und der Foliendicke ergibt sich kein logischer Zusammenhang.

Reissfestigkeit

Die Reissfestigkeit, die im Zugversuch zusammen mit der Reissdehnung in Längs- und Querrichtung ermittelt wird, entspricht der Kraft, bei der die Stretchfolie eine definitive Verformung («Bruchverformung») erfährt. Der geforderte Mindestwert für die Reissfestigkeit beträgt gemäss DLG-Prüfnorm sowohl längs als auch quer 20 N/mm².

Wie die Messungen an den neuen Stretchfolien zeigen, erfüllen bei der Reissfestigkeit in Längsrichtung alle untersuchten Stretchfolien die Anforderung und übertreffen den Sollwert von 20 N/mm² zum Teil deutlich (Tab. 4). Selbst die tiefste gemessene Reissfestigkeit (Agristretch hellgrün) liegt noch bei

Tab. 4: Reissfestigkeit und Reissdehnung im Neuzustand (Mittelwert aus 10 Messungen) sowie Vergleich mit der DLG-Prüfnorm

Folienfabrikat	Folienfarbe	Reissfestigkeit in N/mm ²				Reissdehnung in %			
		Längsrichtung		Querrichtung		Längsrichtung		Querrichtung	
		Mittelwert ¹⁾	Stabw ²⁾	Mittelwert ¹⁾	Stabw ²⁾	Mittelwert ¹⁾	Stabw ²⁾	Mittelwert ¹⁾	Stabw ²⁾
Silotite	Weiss	37,6 ^{cde}	3,70	35,6 ^b	2,37	568 ^{bc}	30,9	750 ^e	23,8
	Hellgrün	40,0 ^{bcd}	2,85	35,4 ^{bc}	2,08	525 ^{de}	14,1	711 ^f	18,8
	Braungrün	33,3 ^{fg}	1,75	31,6 ^{de}	1,51	530 ^{de}	25,9	715 ^f	19,4
	Schwarz	37,2 ^{def}	4,46	33,0 ^{cd}	1,84	528 ^{de}	45,1	713 ^f	22,2
Teno-Spin	Weiss	40,3 ^{bc}	3,00	34,2 ^{bc}	2,77	588 ^{bc}	47,2	800 ^{bc}	21,9
	Hellgrün	33,8 ^{fg}	3,84	34,8 ^{bc}	1,97	581 ^{bc}	40,7	811 ^{ab}	22,1
	Olivgrün	32,6 ^g	2,86	30,7 ^{ef}	1,77	548 ^{cd}	29,4	792 ^{bcd}	21,2
	Schwarz	37,3 ^{def}	1,81	34,9 ^{bc}	2,48	660 ^a	23,7	775 ^{cde}	27,4
Aspla	Weiss	35,9 ^{ef}	3,81	35,0 ^{bc}	4,23	504 ^e	26,3	791 ^{bcd}	49,5
	Hellgrün	40,9 ^b	3,29	39,5 ^a	2,65	516 ^e	13,0	830 ^{ab}	24,9
Agriflex	Weiss	40,7 ^b	3,36	34,4 ^{bc}	1,05	501 ^e	21,6	807 ^{ab}	12,0
	Grün	44,9 ^a	2,50	29,2 ^f	3,19	421 ^g	14,0	789 ^{bcd}	50,0
Agristretch	Weiss	35,9 ^{ef}	2,62	33,1 ^{bcd}	1,44	564 ^{bc}	23,2	771 ^{de}	18,5
	Hellgrün	29,2 ^h	2,22	29,4 ^{ef}	2,76	456 ^f	35,5	725 ^f	25,4
	Olivgrün	32,6 ^g	2,08	31,5 ^{def}	2,48	577 ^{bc}	19,1	772 ^{de}	30,2
Normwert der DLG:		> 20 N/mm ²		> 20 N/mm ²		> 400 %		> 400 %	

¹⁾ Folien mit ungleichen Buchstaben unterscheiden sich statistisch gesichert bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von < 5%.

²⁾ Stabw = Standardabweichung

fast 30 N/mm². Zwischen den einzelnen Folien bestehen teilweise statistisch gesicherte Unterschiede. Auch in Querrichtung weisen alle 15 Stretchfolien eine ausreichende Reissfestigkeit auf. Die gemessenen Werte liegen zwischen 29,2 (Agriflex grün) und 39,5 N/mm² (Aspla hellgrün). Die Signifikanzen zwischen den verschiedenen Folien sind weniger ausgeprägt als bei der Reissfestigkeit in Längsrichtung.

Reissdehnung

Die Reissdehnung entspricht der maximalen Ausdehnung, welche die Stretchfolie bei der maximalen Zugspannung erreicht. Die Ausdehnung wird in Prozent

zur ursprünglichen Länge angegeben und muss gemäss DLG-Prüfnorm längs und quer mindestens 400% erreichen. In der Prüfnorm der AFNOR wird für die Reissdehnung in Längsrichtung ein Mindestwert von 400% und in Querrichtung ein solcher von 600% angegeben.

Die Ergebnisse der Reissdehnung sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Für die Reissdehnung in Längsrichtung erfüllen alle geprüften Folien die Anforderung. Zwei Stretchfolien (Agriflex grün und Agristretch hellgrün) übertreffen die geforderten 400% allerdings nur relativ knapp. Auffallend ist die sehr hohe Reissdehnung von 660% der schwarzen Folie von Teno-spin. Die verschiedenen Folien unterscheiden sich zum Teil recht deutlich. Auch bei der Reissdehnung in Querrichtung werden die Mindestanforderungen von allen 15 Stretchfolien mit Werten über 700% deutlich übertroffen. Dies auch dann, wenn für den Vergleich die strengere Prüfnorm der AFNOR (mindestens 600% Dehnung) herangezogen wird. Die Unterschiede zwischen den Folien sind weniger signifikant als bei der Reissdehnung in Längsrichtung. Die Stretchfolien von Silotite und Agristretch fallen im Vergleich mit den übrigen Folien durch etwas tiefere Messwerte auf.

Die Reissfestigkeit und die Reissdehnung sind für Wickelfolien sicher die wichtigsten mechanischen Eigenschaften. Positiv zu bewerten sind Stretchfolien, die sowohl bei der Reissfestigkeit als auch bei der Reissdehnung in beiden Zugrichtungen gute Ergebnisse zeigen. Aufgrund der Messungen schneiden in dieser Hinsicht die folgenden Folien sehr gut ab:

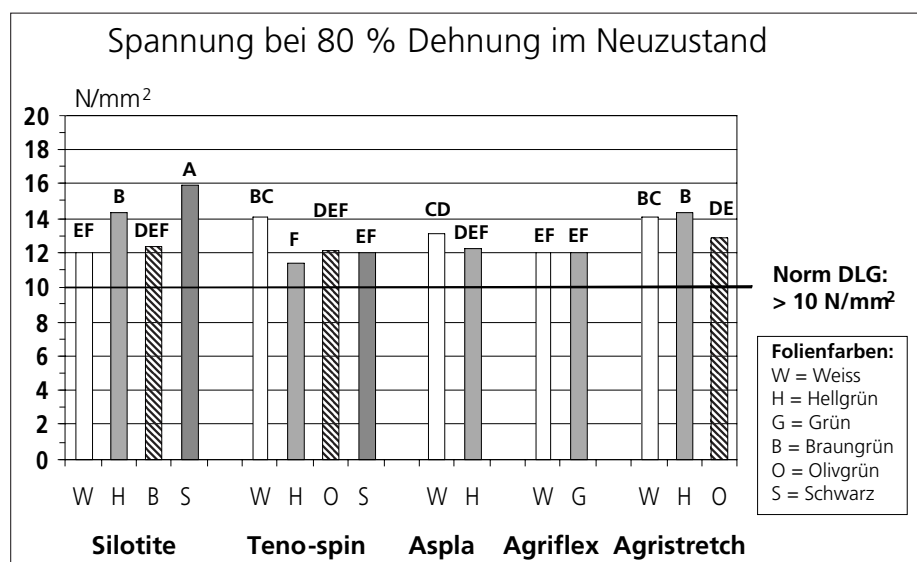


Abb. 3: Gemessene Spannung bei 80% Dehnung im Neuzustand (Mittelwert aus sechs Messungen) und Vergleich mit dem DLG-Normwert.

Tab. 5: Weiterreisskraft längs, Relaxation (bei 80% Dehnung) und Durchdrückkraft (ungedehnt) im Neuzustand sowie Vergleich mit der DLG-Prüfnorm

Folienfabrikat	Folienfarbe	Weiterreisskraft Mittelwert ¹⁾ N	Relaxation Mittelwert ¹⁾ %	Durchdrückkraft Mittelwert ¹⁾ N
Silotite	Weiss	1,79 ^d	45,5 ^c	17,8 ^{bcd}
	Hellgrün	1,65 ^{fg}	41,3 ^b	17,3 ^{bcde}
	Braungrün	1,65 ^{fg}	41,5 ^b	17,1 ^{cde}
	Schwarz	1,68 ^f	48,5 ^d	19,1 ^{ab}
Teno-Spin	Weiss	1,95 ^{bc}	42,4 ^b	18,2 ^{bcd}
	Hellgrün	2,13 ^a	43,8 ^{bc}	15,9 ^{efg}
	Olivgrün	1,96 ^{bc}	43,8 ^{bc}	14,7 ^{gh}
	Schwarz	2,03 ^b	43,0 ^{bc}	17,3 ^{bcde}
Aspla	Weiss	1,77 ^{de}	41,8 ^b	18,4 ^{bcd}
	Hellgrün	1,92 ^c	41,5 ^b	20,1 ^a
Agriflex	Weiss	1,70 ^{ef}	37,0 ^a	17,8 ^{bcd}
	Grün	1,60 ^{gh}	37,6 ^a	18,7 ^{abc}
Agristretch	Weiss	1,54 ^h	42,6 ^b	13,9 ^h
	Hellgrün	1,83 ^d	42,9 ^{bc}	15,3 ^{fgh}
	Olivgrün	1,82 ^d	42,7 ^b	16,8 ^{def}
Normwert der DLG:		> 1,8 N	< 40 %	> 10 N

¹⁾Folien mit ungleichen Buchstaben unterscheiden sich statistisch gesichert bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von < 5%.

Teno-spin schwarz, Teno-spin weiss, Aspla hellgrün und Silotite hellgrün.

Weiterreisskraft

Die Weiterreisskraft ist der Widerstand, dem die Stretchfolie nach der Bruchverformung im Zugversuch standhalten kann. Sie wird in Längsrichtung gemessen und muss nach DLG-Prüfnorm mindestens 1,8 N betragen.

Wie die Messergebnisse im Neuzustand zeigen, haben sieben Stretchfolien eine ungenügende Weiterreisskraft (Tab. 5). Deutlich zu tiefe Werte haben die weisse Folie von Agristretch und die grüne von Agriflex. Die vier Stretchfolien von Teno-spin dagegen schneiden bezüglich der Weiterreisskraft sehr gut ab.

Die Ergebnisse der Weiterreisskraft zeigen keinen Zusammenhang mit jenen der Reissfestigkeit, Reissdehnung oder Foliendicke.

Relaxation

Zur Ermittlung des Relaxationsverhaltens wird die Stretchfolie in Längsrichtung auf 80% gedehnt. Sechs Minuten später misst man die Zugkraft. Der Kraftabfall zwischen der ersten und der zweiten Messung darf dabei gemäss Norm maximal 40% betragen.

Aufgrund der Ergebnisse in Tabelle 5 haben fast alle geprüften Stretchfolien

eine Relaxation, die mehrheitlich knapp über den erlaubten 40% liegt. Einzig die beiden Stretchfolien von Agriflex erfüllen die Anforderung hinsichtlich Relaxation. Das schlechteste Relaxationsverhalten weisen die schwarze und die weisse Folie von Silotite auf.

Durchdrückkraft

Die Durchdrückkraft gibt einen Anhaltspunkt für den Widerstand der Stretchfo-

lie gegenüber der mechanischen Beanspruchung. Je höher die gemessene Durchdrückkraft, desto grösser ist der Widerstand gegen Schläge und Verletzungen, die beispielsweise beim Ballenumschlag auftreten können. Die Durchdrückkraft ermittelt man mit einem Dorn mit einem Durchmesser von 12,5 mm, dessen Spitze auf 60° abgeschrägt ist. Die Messung erfolgt von innen und von aussen. Die Durchdrückkraft muss gemäss DLG-Norm mindestens 10 N betragen.

Für die Durchdrückkraft im Neuzustand wurden im Versuch Werte zwischen 13,9 und 20,1 N ermittelt (Tab. 5). Somit erfüllen alle geprüften Folien die Anforderung bezüglich Durchstoss.

Klebkraft

Die Klebkraft bestimmt man im Schälversuch mit zwei 50 mm breiten Folienlagen (Innen- gegen Aussenseite) ungedehnt mit einer Prüfgeschwindigkeit von 50 mm/min. Für Stretchfolien mit integrierten Klebstoffanteilen beträgt der Mindestwert gemäss DLG-Norm 0,05 N.

Aufgrund der gemessenen Werte im Schälversuch erfüllen sieben Folien diese Anforderung nicht (Abb. 4). Allerdings wird der Mindestwert von 0,05 N von keiner Folie deutlich unterschritten; die tiefsten Messwerte liegen mit 0,044 N (Silotite braungrün und Agriflex grün) knapp darunter. Die besten Hafteigenschaften zeigen die beiden weissen Stretchfolien von Silotite und Teno-spin. Auch die beiden schwarzen Folien weisen eine gute Klebkraft auf.

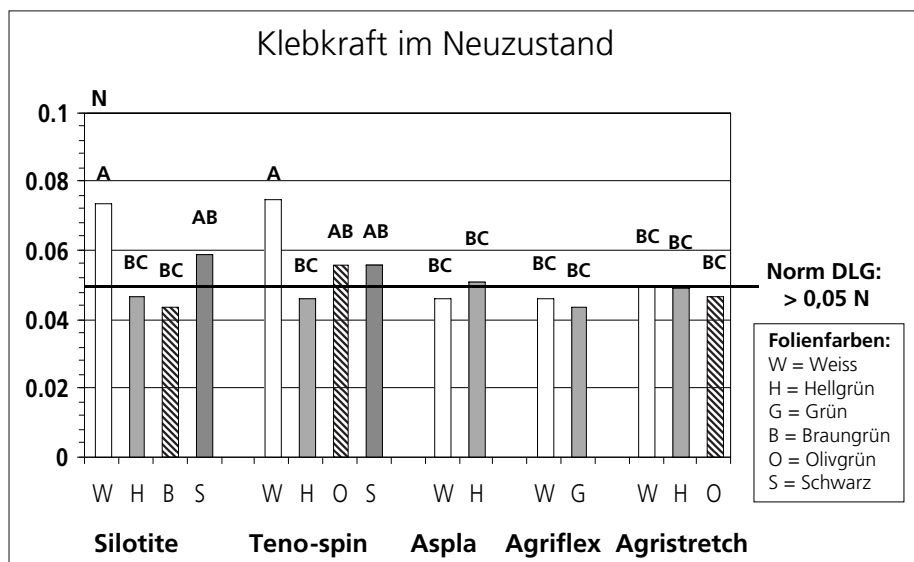


Abb. 4: Gemessene Klebkraft im Neuzustand (Mittelwert aus sechs Messungen) und Vergleich mit dem DLG-Normwert.

Gasdurchlässigkeit

Neben den mechanischen Eigenschaften ist eine geringe Gasdurchlässigkeit eine wichtige Voraussetzung, um nach dem Wickeln im Balleninnern optimale Gärbedingungen zu schaffen. Die Permeabilität der Stretchfolien wurde im Versuch sowohl für Sauerstoff (O₂) als auch für Kohlendioxid (CO₂) gemessen. Grenzwerte sind aber nur für die O₂-Durchlässigkeit definiert, weshalb auf die Ergebnisse der CO₂-Durchlässigkeit nicht weiter eingetreten wird. Die Messungen wurden sowohl an den neuen als auch an den degradierten Folien durchgeführt. Die Ermittlung der Gasdurchlässigkeit erfolgt mit einer isostatischen Methode, bei der die Sauerstoffdiffusion an den einlagigen, ungedehnten Stretchfolien in mehreren Messzyklen bei 0,2 bar, 23°C und bei 50% rel. Luftfeuchtigkeit gemessen wird. Die Gasdurchlässigkeit für Sauerstoff darf gemäss Prüfnorm 1800 cm³/m²/24h nicht überschreiten. Wie die Ergebnisse in Abbildung 5 zeigen, liegen die gemessenen O₂-Durchlässigkeiten der untersuchten Stretchfolien in einem Bereich von 760 bis 1330 cm³/m²/24h. Alle geprüften Folien erfüllen damit die Anforderungen bezüglich Permeabilität. Die geringste O₂-Durchlässigkeit haben die weisse und schwarze Folie von Silotite sowie die olivgrüne von Agristretch. Die Unterschiede von Folie zu Folie sind zwar recht beachtlich, haben aber insofern keine grössere Bedeutung, als auch die höchsten gemessenen Gasdurchlässigkeiten weit unter dem erlaubten Maximalwert liegen.

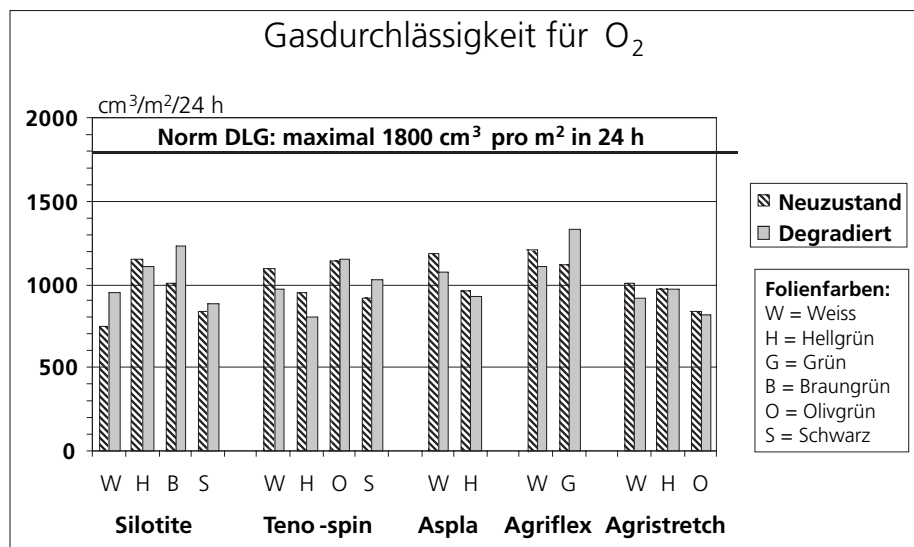


Abb. 5: Gemessene Gasdurchlässigkeit für Sauerstoff (O₂) im Neuzustand und nach zehn Monaten Exposition im Freien (degradiert) sowie Vergleich mit dem DLG-Normwert.

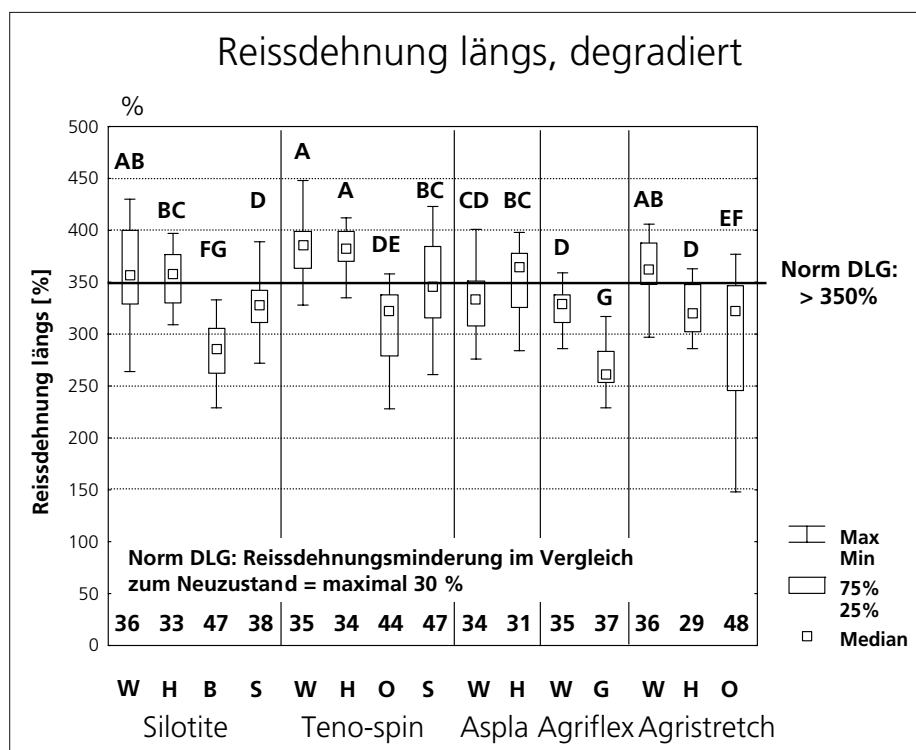


Abb. 6: Gemessene Reissdehnung in Längsrichtung im degradierten Zustand (Mittelwert aus 20 Messungen) und Reissdehnungsminderung bezogen auf den Neuzustand in Prozent als Mass für die Alterungsbeständigkeit. Stretchfolien mit ungleichen Buchstaben sind signifikant verschieden ($p = 0,05$). Die Bestrahlung war im Versuch höher als die in der Norm festgelegten Gesamtbestrahlung von 2000 MJ/m².

gen. Weiter fällt auf, dass sich die Gasdurchlässigkeit der Stretchfolien auch nach einer zehntonatigen Exposition im Freiland kaum veränderte. Die Alterung bzw. Zersprödung der oberen Folienlagen scheint demnach keinen Einfluss auf die Permeabilität zu haben.

Alterungsbeständigkeit

Die Alterungsbeständigkeit von Stretchfolien ist eine komplexe Grösse. Sie wird im Wesentlichen durch drei Komponenten bestimmt:

- Chemische Beständigkeit gegenüber Säuren und Gasen aus der Silage
- Beständigkeit gegenüber Mikroorganismen aus der Silage (anaerober Abbau) und aus der Umgebung (aerober Abbau)
- Beständigkeit gegen UV-Strahlung und Oxidation.

Reissdehnungsminderung

Die Alterungs- oder Witterungsbeständigkeit lässt sich anhand der Reissdehnung im degradierten Zustand bzw. der Reissdehnungsverminderung bezogen auf den Neuzustand charakterisieren. Dabei gelten gemäss DLG-Prüfnorm die folgenden Vorgaben: Die degradierten Stretchfolien müssen nach einer zehn- bis zwölfmonatigen Exposition unter freiem Himmel, bei der die Gesamtbestrahlung rund 2000 MJ/m² beträgt, eine Reissdehnung in Längsrichtung von mindestens 350% aufweisen. Zudem darf die Verminderung der Reissdehnung im Vergleich zum Neuzustand maximal 30% erreichen.

Sämtliche Folien zeigen im degradierten Zustand eine deutliche Abnahme der Reissdehnung in Längsrichtung (Abb. 6). Nur gerade sieben der 15 Wickelfolien weisen im degradierten Zustand eine gemäss Prüfnorm genügende Reissdehnung auf. Zudem ist die Reissdehnungsminderung verglichen mit dem Neuzustand mit einer Ausnahme (Agristretch hellgrün) bei sämtlichen Folien über der Norm von maximal 30%. Am markantesten ist die Reissdehnungsminderung mit 47 bis 48% bei der olivgrünen Folie von Agristretch, der braungrünen Folie von Silotite und der schwarzen Folie von Teno-spin. Allerdings ist das Ergebnis insofern zu relativieren, als die Summe der Globalstrahlung für die Versuchsdauer, während der die Ballen von Ende Mai bis Ende Februar im Freien dem Sonnenlicht ausgesetzt waren, mit 2840 MJ/m² einiges höher war als der in der DLG-Prüfnorm angegebene Wert von 2000 MJ/m². Die im Versuch höhere Gesamtstrahlung bewirkte eine relativ starke Versprödung der Stretchfolien, wodurch die Messresultate zur Reissdehnung im Vergleich zur Norm unterdurchschnittlich ausfielen. In Querrichtung weisen die degradierten Folien dagegen keine Verschlechterung der Reissdehnung auf. Im Vergleich zum Neuzustand nahm sie sogar überall leicht zu.

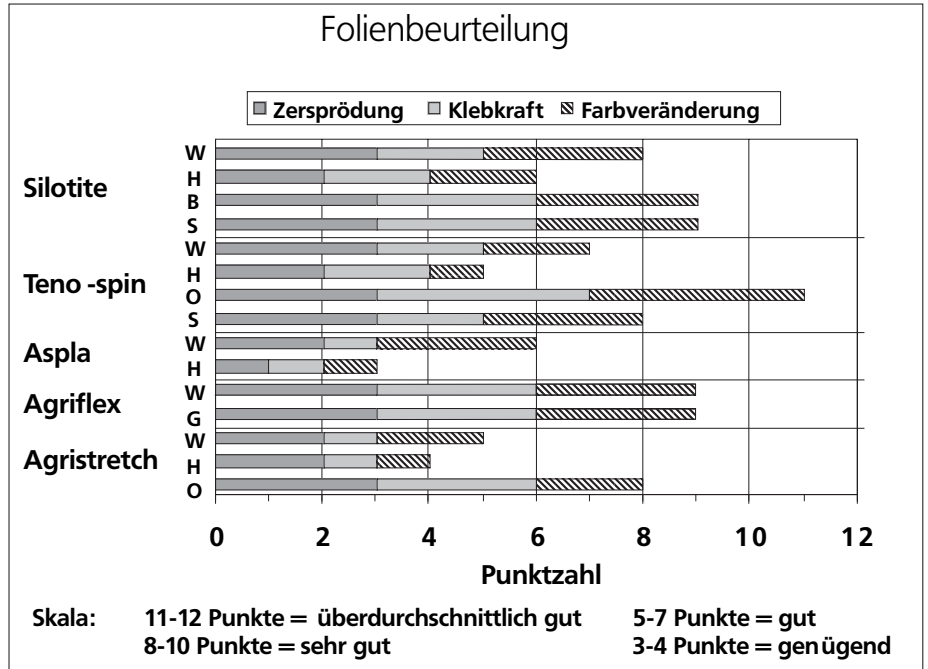


Abb. 8: Optische Beurteilung des Zustandes der degradierten Stretchfolien nach zehnmonatiger Exposition im Freien. Beurteilte Kriterien: Zersprödung, Klebkraft und Farbveränderung.

Reissfestigkeit, Weiterreisskraft und Durchdrückkraft

Neben der Reissdehnung ermittelte man an den degradierten Folien auch die Reissfestigkeit, die Weiterreissfestigkeit und die Durchdrückkraft, obwohl für diese Eigenschaften zur Beurteilung der Alte-

rungsbeständigkeit keine Normwerte bestehen. Die Klebkraft liess sich an den degradierten Folien aus methodischen Gründen nicht bestimmen.

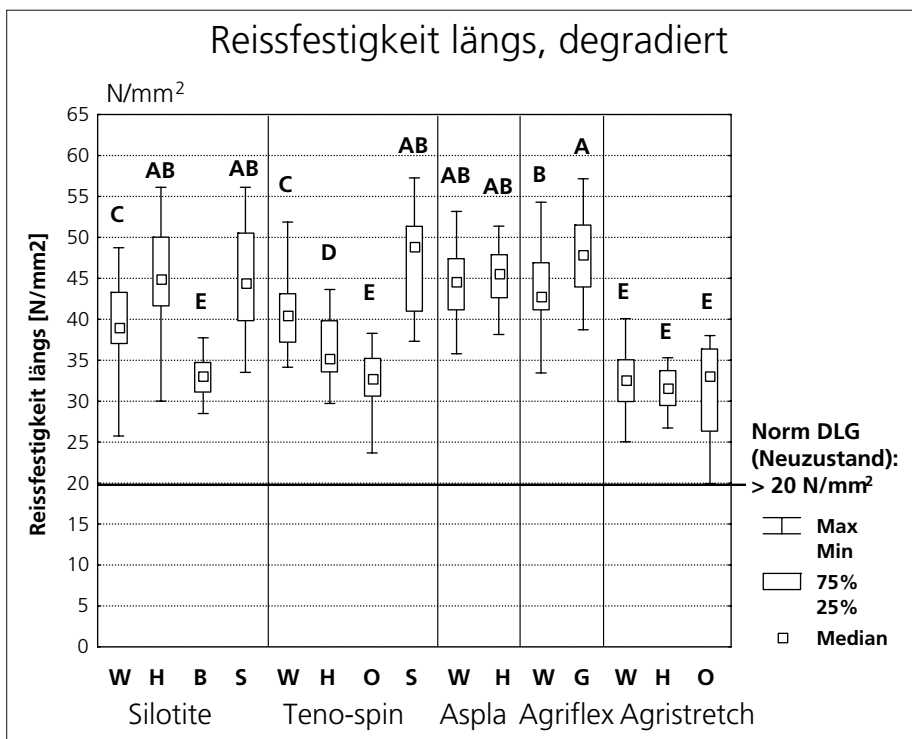


Abb. 7: Gemessene Reissfestigkeit in Längsrichtung im degradierten Zustand (Mittelwert aus 20 Messungen). Stretchfolien mit ungleichen Buchstaben sind signifikant verschieden (p = 0,05).

In Abbildung 7 sind die in Längsrichtung ermittelten **Reissfestigkeiten** im degradierten Zustand dargestellt. Im Vergleich zum Neuzustand zeigen die gleichen Folien im Grossen und Ganzen ähnliche Messwerte. Dies bedeutet, dass sich die Reissfestigkeit in Längsrichtung nach einer Exposition von zehn Monaten im Freiland kaum veränderte. In einzelnen Fällen nahm die Reissfestigkeit verglichen zur Messung im Neuzustand sogar leicht zu. Dies dürfte aber auf nicht identische Probemuster zurückzuführen sein. Im degradierten Zustand streuen die Messwerte stärker als bei den neuen Folien. In Querrichtung dagegen verminderte sich die Reissfestigkeit bei allen degradierten Folien im Vergleich zum Neuzustand deutlich. Die Abnahme beträgt im Durchschnitt aller Folien 31%, im schlechtesten Fall gar 50%.

Die Messungen der **Weiterreisskraft** im degradierten Zustand ergaben für alle geprüften Stretchfolien eine deutliche Verschlechterung der Messwerte. Im Durchschnitt aller Folien beträgt die Abnahme gegenüber dem Neuzustand 34%. Bei der **Durchdrückkraft** dagegen resultierte im degradierten Zustand bei keiner Stretchfolie eine markante Verminderung.

Zustand der Wickelfolien am Ende der Lagerung

Nachdem die Silageballen während rund zehn Monaten im Freien lagerten, unterzog man die Stretchfolien einer optischen Beurteilung. Sie beinhaltete im Wesentlichen den mechanischen Zustand (Zerprüfung, Festigkeit), die Haftenhaftenschaften (Klebkraft) und die farbliche Veränderung (Ausbleichen) der Folien. Die drei Kriterien wurden benotet; für jedes Kriterium standen maximal vier Punkte zur Verfügung. Die Beurteilung erfolgte durch drei Personen, die unabhängig voneinander die Folien bonitierten. Bewertet wurden nur die beiden obersten Folienlagen. Die Beurteilung brachte folgende Erkenntnisse (Abb. 8):

- Acht der 15 Stretchfolien erhielten im Total mindestens acht der 12 möglichen Punkte, was den geprüften Folien allgemein ein gutes Zeugnis ausstellt. Allgemein gilt, dass die Wickelfolien nach zehnmonatiger Exposition einen deutlich besseren Zustand aufwiesen als in früheren Praxiseinsätzen und Versuchen. Dies gilt für sämtliche eingesetzten Folien, insbesondere jedoch für die dunkelfarbigten Folien.
- Am besten präsentierten sich die schwarzen und die dunkel eingefärbten Stretchfolien (8 bis 11 Punkte), gefolgt von den weissen Folien (5 bis 9 Punkte). Am schlechtesten schnitten die hellgrünen Folien ab (3 bis 6 Punkte). Die grün gefärbte Folie von Agriflex dagegen präsentierte sich in sehr gutem Zustand (9 Punkte).

- Den mit Abstand besten Eindruck hinterliess die olivgrüne Stretchfolie von Teno-spin (11 Punkte). Diese war im Vergleich zum Neuzustand kaum verwittert, war farblich praktisch unverändert und klebte sehr gut.
- Am schlechtesten schnitten die beiden hellgrünen Stretchfolien von Aspla und Agristretch ab (3 bzw. 4 Punkte). Bei diesen Folien waren die äusseren Lagen teilweise aufgefaserter, hatten keine Festigkeit mehr, klebten kaum mehr und lösten sich an einigen Stellen von den inneren Lagen ab. Ausserdem waren sie stark verblichen. Durch die sechsfache Wicklung war die Verpackung aber auch bei diesen Ballen gewährleistet (Abb. 9).
- Unter den weissen Folien zeigte sich jene von Agriflex im besten (9 Punkte), jene von Agristretch im schlechtesten Zustand (4 Punkte). Farblich sind sie zwar mehrheitlich kaum verändert, doch haben sie teilweise eine verminderte Festigkeit und/oder Klebkraft. Sämtliche weissen Folien wiesen unter den obersten Lagen schwarzgrüne Algenflecken auf, die auf eine stärkere Verwitterung hindeuten.

Unabhängig vom Resultat dieser Beurteilung ist festzuhalten, dass die geprüften Stretchfolien nach zehnmonatiger Exposition im Freien einen optisch guten Eindruck hinterliessen und die Alterungsbeständigkeit mit Ausnahme der hellgrünen Folien von Aspla und Agriflex einwandfrei gegeben ist. Ausserdem bestätigt der Versuch in keiner Weise die

in Praxiskreisen oft gehörte Befürchtung, dass schwarze Wickelfolien nach längerer Exposition im Freien die Klebkraft verlieren und dunkelfarbige Folien eine verminderte UV-Stabilität aufweisen. Letzteres trifft viel eher für einzelne Fabrikate der hellgrünen Folien zu.

Fazit: Abgesehen von einzelnen Abweichungen erfüllen alle 15 untersuchten Wickelfolien übers Ganze gesehen die gestellten Anforderungen hinsichtlich Spannung, Reissfestigkeit, Reissdehnung, Klebkraft und Gasdurchlässigkeit. Auch die Alterungsbeständigkeit ist mit Ausnahme der hellgrün gefärbten Folien von Aspla und Agristretch sehr gut.

Folienerwärmung

Durchführung der Temperaturmessungen

Die Temperaturmessungen an den Ballen erfolgten in der Folgezeit nach dem Wickeln während mehreren Tagen und in verschiedenen Tiefen. Die in einer Tiefe von 0, 5 und 15 cm installierten Temperatursonden zeichneten den Temperaturverlauf in 30-Minuten-Intervallen auf. Die Rundballen waren den ganzen Tag der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt. Die Sonden wurden zuoberst mittig, das heisst, an der wärmsten Stelle plaziert. Die Messungen erfolgten an fünf Folienfarben der folgenden Folienfabrikate:

- Weiss (Teno-spin)
- Hellgrün (Teno-spin)
- Olivgrün (Teno-spin)
- Braungrün (Silotite)
- Schwarz (Teno-spin)

Unterschiedliche Erwärmung je nach Tiefe und Folienfarbe

Mit den Temperaturmessungen an den nebeneinander freistehenden Ballen wurde drei Tage nach dem Wickeln (28. Mai) begonnen. Ab dem 30. Mai herrschte sonniges, warmes Wetter mit Tageshöchsttemperaturen um 28 °C. Ab dem 4. Juni setzte regnerisches und kühles Wetter ein; die Temperaturmaxima überschritten in der Folge bis zum Ende der Messungen die 20°-Marke kaum mehr.

Die Grafiken in Abbildung 10 illustrieren den Temperaturverlauf in den ersten elf Tagen nach Messbeginn für die fünf untersuchten Wickelfolien und die drei Messtiefen. Abbildung 11 zeigt als Vergleich die gemessenen Temperaturen an einem sonnigen, sehr warmen Tag (30. Mai) und an einem kühlen, regnerischem Tag (5. Juni). Die dargestellten Messwer-



Abb. 9: Hellgrüne Stretchfolien fallen im Vergleich zu weissen Folien in der freien Landschaft etwas weniger auf, die Alterungsbeständigkeit befriedigt aber nicht bei allen Fabrikaten.

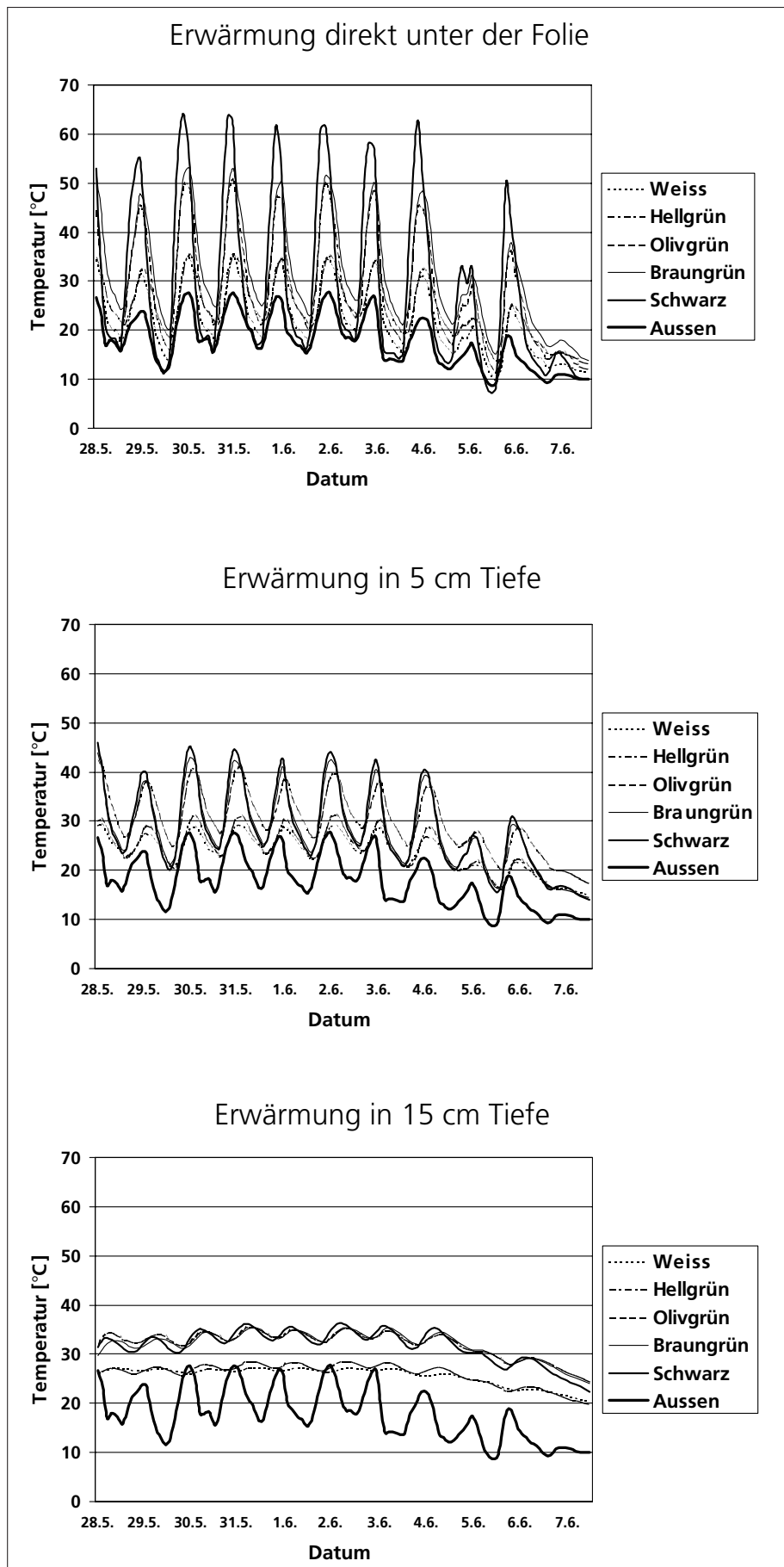


Abb. 10: Temperaturverlauf in drei verschiedenen Tiefen (0,5 und 15 cm) unter der Wickelfolie sowie im Freien während elf Tagen zu Beginn des Gärprozesses.

te stellen die Höchstwerte dar, die im Tagesverlauf registriert wurden. Diese hielten in der Regel nur während weniger Stunden an.

Bei allen fünf Folienfarben trat die höchste Temperatur direkt unter der Folie auf. Erwartungsgemäss waren die Temperaturen unter der schwarzen Stretchfolie am höchsten und unter der weissen am niedrigsten. Am 30. Mai registrierte man an der schwarzen Folie einen Höchstwert von 64°C, an der braungrünen von 56°C und an der olivgrünen von 52°C. Die hellgrüne und weisse Folie erwärmten sich an der Oberfläche nur auf etwas über 35°C. Die Temperaturdifferenz zwischen schwarzer und weisser Folienfarbe betrug direkt unter der Folie beinahe 30°C. In einer Messtiefe von 5 cm sind die Temperaturunterschiede schon deutlich geringer. Zwischen der schwarzen und der weissen Folie betrug diese noch 15°C. Noch geringer ist der Unterschied 15 cm unter der Folie: Hier betrug die Differenz zwischen schwarz und weiss noch 9°C. Die Temperaturentwicklung an der Ballenoberfläche hängt ausserdem stark von der Witterung bzw. der Aussentemperatur ab. So erwärmten sich am 5. Juni (Abb. 11) sämtliche Folien deutlich weniger stark. Zwischen schwarzer und weisser Folie war die Differenz mit 20°C markant tiefer als am 30. Mai. In einer Messtiefe von 5 und 15 cm machte sich die Folienerwärmung nur noch abgeschwächt bemerkbar und die Unterschiede zwischen den Folien betragen noch maximal 7°C.

Eine starke Erwärmung von Wickelfolien bei der Ballenlagerung im Freien findet folglich fast nur an der Ballenoberfläche statt. Bereits in einer Tiefe von 5 cm werden die Temperaturen durch das Futter stark abgeschwächt. Die Sonneneinstrahlung und die Aussentemperatur beeinflussen das Ausmass der Erwärmung massgebend. Im Vergleich zu dunkelgefärbten und schwarzen Folien reflektieren weisse und hellgrüne Folien das Sonnenlicht besser und erwärmen sich deshalb weniger stark.

Auswirkung auf die Gasdurchlässigkeit

Ein Anstieg der Temperatur erhöht die Gasdurchlässigkeit der Stretchfolien. Um den Einfluss der Folienerwärmung auf die Gasdurchlässigkeit quantitativ ermitteln zu können, mass man die Sauerstoffdurchlässigkeit der im Versuch eingesetzten Folien neben der Standardtemperatur von 23°C zusätzlich bei 40°C. Aus den beiden Messwerten liess sich mit Hil-

fe der Gleichung nach Arrhenius für jede Stretchfolie die Temperaturabhängigkeit der Sauerstoffdurchlässigkeit berechnen. Abbildung 12 vermittelt exemplarisch den Zusammenhang zwischen der Temperatur (x-Achse) und der Gasdurchlässigkeit für Sauerstoff (y-Achse), einerseits für die vier Stretchfolien von Teno-spin, andererseits für den Durchschnitt aller 15 Folien. Gemäss dieser Kurve bewirkt ein Anstieg der Oberflächentemperatur der Folie von 20°C auf 40°C eine Gasdurchlässigkeitszunahme von 175%. Bei einem Anstieg auf 50°C erhöht sich die Durchlässigkeit gar um 230%. Bei rund 50°C werden die nach DLG-Norm maximal tolerierten 1800 cm³/m²/24h im Mittel aller Folien überschritten. Die einzelnen Folienfabrikate zeigen bezüglich Temperaturabhängigkeit ein recht unterschiedliches Verhalten.

Die nicht-lineare Abhängigkeit der Gasdurchlässigkeit von der Temperatur hat zur Folge, dass Stretchfolien, die sich aufgrund ihrer Pigmentierung bei der Exposition im Freien stark erwärmen, vorübergehend eine hohe Durchlässigkeit aufweisen. In Abbildung 13 sind für die verschiedenen Folienfarben (weiss, hellgrün, grün, dunkelgrün, schwarz) die Werte für die Sauerstoffdurchlässigkeit dargestellt, die bei der gemessenen Erwärmung im Freiland auftreten können. Die Werte stützen sich auf die im Versuch durchgeführten Temperaturmessungen ab (Abb. 10). Während sich die Gasdurchlässigkeit bei weissen und hellgrünen Wickelfolien nur wenig erhöht, bewirkt die starke Folienenerwärmung der dunkelgrünen und schwarzen Folien eine deutliche Erhöhung der O₂-Permeabilität, die den Toleranzwert von 1800 cm³/m²/24h markant überschreitet. Allerdings ist einzuräumen, dass eine starke Erwärmung der Folien auch an sonnigen und heissen Tagen nur einige Stunden dauert und die Gasdurchlässigkeit somit nur vorübergehend erhöht wird.

Gärqualität der Silage

Futteranalysen sollten zeigen, welchen Einfluss die Qualität der Wickelfolien (Gasdurchlässigkeit) oder die Folienenerwärmung auf die Gärqualität der Silage haben können. Eine Beeinträchtigung der Silagequalität als Folge einer erhöhten Gasdurchlässigkeit oder Folienenerwärmung dürfte sich am ehesten in der obersten Futterschicht direkt unter der Stretchfolie zeigen. Die Silageballen wurden deshalb in zwei Tiefen von 0-10 cm und 10-60 cm beprobt.

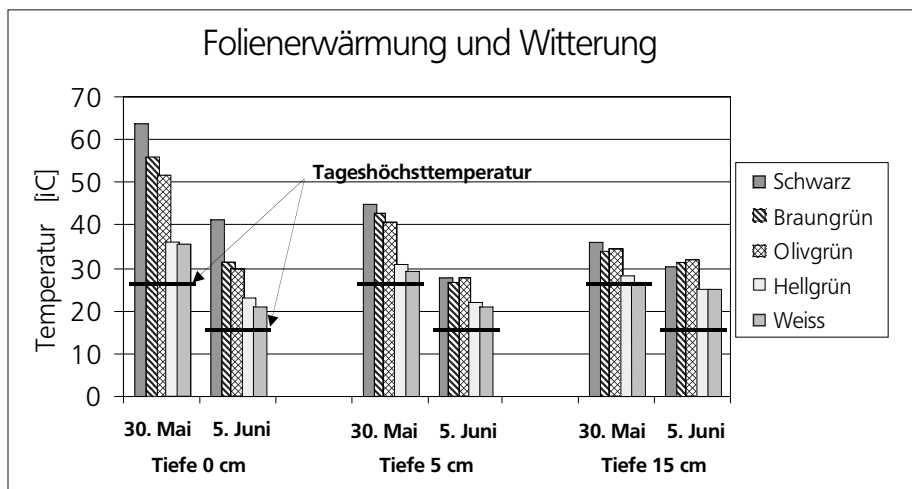


Abb. 11: Gemessene Höchsttemperaturen in drei verschiedenen Tiefen (0, 5 und 15 cm) unter der Wickelfolie am 30. Mai (sonnig, warm) und am 5. Juni (kühl, regnerisch).

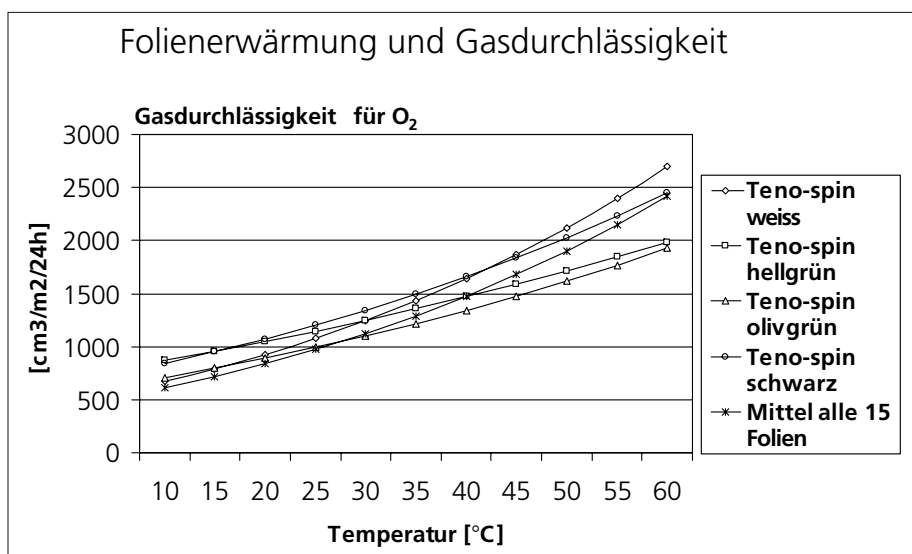


Abb. 12: Gasdurchlässigkeit für Sauerstoff (O₂) in Abhängigkeit der Temperatur für vier unterschiedlich eingefärbte Folien der Marke Teno-spin sowie für den Durchschnitt aller 15 Folien.

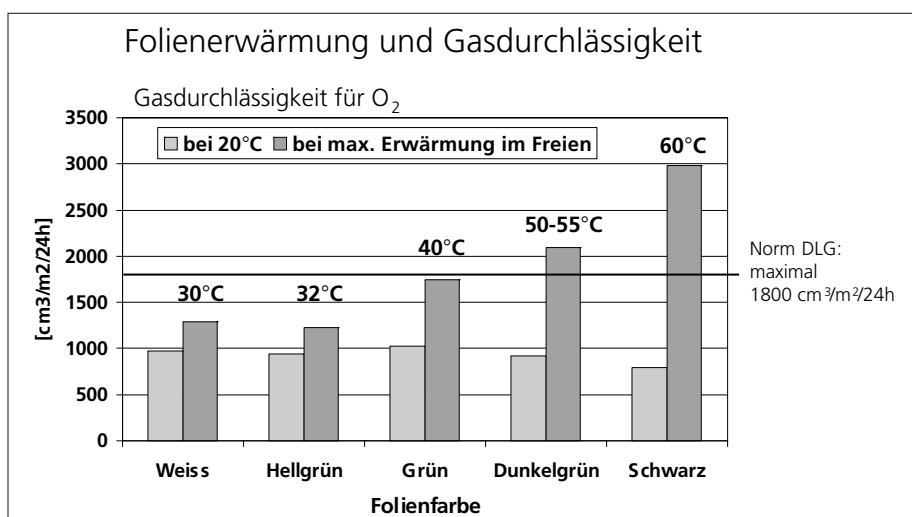


Abb. 13: Gasdurchlässigkeit für Sauerstoff (O₂) für fünf verschiedene Folienfarben bei 20°C und bei der Temperatur, die für die jeweilige Folienfarbe bei maximaler Erwärmung im Freien gemessen wurde.

Tab. 6: Ausgewählte Gärparameter und DLG-Punkte zur Charakterisierung der Silagequalität (Mittelwerte aus zwei Ballen)

Fabrikat	Folienfarbe	TS %		pH	Essigsäure g/kg TS kor.	Buttersäure g/kg TS kor.	Milchsäure g/kg TS kor.	DLG-Punkte	
		0-60 cm	0-10 cm					0-10 cm	10-60 cm
Silotite	Weiss	35,6	5,08	11,9	12,2	8,9	43	46	
	Hellgrün	34,0	5,21	18,7	20,2	6,1	37	37	
	Braungrün	37,6	4,97	18,1	11,2	17,7	55	46	
	Schwarz	29,2	5,13	11,3	17,7	0,0	24	35	
Teno-spin	Weiss	34,0	5,18	10,6	15,6	5,1	34	36	
	Hellgrün	33,1	5,16	27,0	24,9	29,3	39	33	
	Olivgrün	37,1	4,96	18,2	10,9	22,8	56	55	
	Schwarz	42,7	5,01	19,5	9,1	26,0	67	44	
Aspla	Weiss	43,5	5,19	15,9	6,8	14,9	58	34	
	Hellgrün	35,1	5,23	10,9	12,9	6,9	35	35	
Agriflex	Weiss	41,0	5,17	15,0	6,6	6,8	53	53	
	Grün	41,8	5,15	15,0	9,1	9,5	49	40	
Agristretch	Weiss	35,6	5,18	12,3	18,7	10,3	34	36	
	Hellgrün	35,1	5,26	11,0	18,3	4,0	29	33	
	Olivgrün	49,1	5,19	14,0	3,1	10,4	68	72	
Durchschnittswert		38,0	5,14	15,2	12,5	11,9	45	42	

Die Gärqualität von Grassilagen lässt sich anhand des pH-Wertes, des Zuckergehaltes und der Gehalte an Essigsäure, Buttersäure und Milchsäure beurteilen. Ein günstiger Gärverlauf ergibt einen hohen Zucker- und Milchsäuregehalt. Ein tiefer pH-Wert (unter 5,0) ist ein Indiz für eine rasche und sichere Absäuerung der Silage. Hohe Buttersäuregehalte ergeben sich bei einer starken Futterschmutzung oder bei Nach- und Fehlgärungen. Tabelle 6 vermittelt einige ausgewählte Analysewerte zur Gärqualität nach zehn Monaten Lagerung der Silageballen. Es fällt auf, dass die TS-Gehalte der Silagen von Ballen zu Ballen zum Teil recht deutlich vom Mittelwert (38% TS) abweichen. Um einigermaßen sichere Vergleiche hinsichtlich Gärqualität machen zu können, dürften die TS-Gehalte höchstens um 3 bis 4% vom Durchschnitt abweichen.

Obwohl die Ernte bei günstiger Witterung stattfand und das Mähgut auf optimale 38% TS vorgewelkt wurde, resultierte in den meisten Ballen eine mässige bis schlechte Silagequalität. Dafür sind die mehrheitlich hohen Buttersäure-Werte von bis zu 20 g pro kg TS verantwortlich, die zum Teil deutlich über dem Toleranzwert von 8 g pro kg TS liegen. Die Ursache dafür dürfte entweder in der Futterschmutzung oder in Nachgärungen als Folge einer zu geringen Pressdichte der Ballen liegen.

Die Berechnung der DLG-Punktzahl ist eine in Deutschland gebräuchliche Methode zur Beurteilung von Grünfuttersilagen auf der Basis des Buttersäure- und Essigsäuregehaltes, des Ammoniak-Anteils und des pH-Wertes. Eine hohe Punktzahl bedeutet eine gute Silagequalität, wobei 100 Punkte das Maximum

sind. Anhand des folgenden Schlüssels lässt sich die Gärqualität wie folgt bewerten:

- unter 30 Punkte: sehr schlecht
- 31-50 Punkte: schlecht
- 51-70 Punkte: mässig
- 71-90 Punkte: gut
- über 90 Punkte: sehr gut

Die beiden letzten Kolonnen in Tabelle 6 vermitteln die berechneten DLG-Punktzahlen für die untersuchten Folienfabrikate und -farben, aufgeteilt in die zwei beprobten Futterschichten. Jeder Wert entspricht dem Mittel aus zwei Ballen mit der gleichen Wickelfolie. Im Durchschnitt aller 30 Ballen (0-60 cm) resultierte eine DLG-Punktzahl von 44, was einer «schlechten» Gärqualität gleichkommt. Die tiefste DLG-Punktzahl ist 22, die höchste 72.

Aufgrund dieser grossen Unterschiede sind kaum Vergleiche in bezug auf die Gärqualität möglich. Die Ergebnisse lassen deshalb keine Schlüsse zu, ob die Qualität und Farbe der Stretchfolie die Gärqualität beeinflussen. Untersuchungen aus Deutschland und Schweden beweisen aber, dass schwarze und dunkelfarbige Stretchfolien trotz starker Erwärmung an der Ballenoberfläche keinen negativen Einfluss auf die Silagequalität haben, auch wenn sich hin und wieder eine Braunverfärbung der obersten Silageschicht feststellen lässt.

Folienfarben und Landschaftsbild

Ein Besuchstag anlässlich des Tages der offenen Tür an der FAT 1999 bot Gelegenheit, eine grössere Anzahl Leute nach der Akzeptanz verschiedener Farben bei

Wickelfolien zu befragen. Ziel der Umfrage war es, herauszufinden, ob eingestretchte Silageballen bei der Lagerung unter freiem Himmel als störend empfunden werden (Frage 1) und welche Folienfarben für die Ballenlagerung unter freiem Himmel von der breiten Bevölkerung als geeignet oder ungeeignet eingestuft werden (Frage 2). Anhand von ausgestellten Rundballen, die mit sechs verschiedenfarbigen Stretchfolien (weiss, schwarz, hellgrün, grün, olivgrün, braungrün) eingepackt waren, konnten die Besucher die verschiedenen Folienfarben direkt am Objekt beurteilen. An der Umfrage beteiligten sich 168 Personen, wovon 68 (40%) praktizierende Landwirte waren. Der Anteil der Frauen betrug 32% (53 Personen). 15% der Befragten waren jünger als 25 Jahre, 38% über 50 Jahre alt.

Die Frage «Empfinden Sie die in freier Landschaft gelagerten Silageballen als störend?» beantworteten 27% aller Personen mit Ja und 71% mit Nein. 2% der Befragten konnten sich nicht entscheiden («Weiss nicht»). Das überraschend positive Ergebnis zu dieser Frage mag erstaunen, dürfte aber auf die in der Umgebung von Tänikon vergleichsweise grosse Akzeptanz gegenüber der Landwirtschaft und den relativ grossen Anteil an Landwirten zurückzuführen sein. Die Unterscheidung in die beiden Gruppen «Landwirtschaft» und «Nichtlandwirtschaft» ergab kein unterschiedliches Resultat.

Auf die Frage «Welche der gezeigten Folienfarben passen sich gut, mittel oder schlecht in die Landschaft ein?» schnitten die beiden Folienfarben olivgrün und braungrün klar am besten ab. Die Anteile an Nennungen «gut geeignet» betragen für die olivgrüne Farbe 74% und für die braungrüne 62%. Lediglich 3 bzw. 6% der Befragten beurteilten diese beiden Folien als schlecht geeignet. Dagegen bezeichneten 51 bis 57% der Personen die Folienfarben hellgrün, schwarz und weiss als ungeeignet (Abb. 14).

Auch wenn für Umfragen stets eine gewisse Vorsicht gilt, zeigt das Ergebnis deutlich, dass dunkelfarbige Stretchfolien bezüglich Störung des Landschaftsbildes im Vergleich zu den weissen Folien besser akzeptiert werden (Abb. 15). Im Gespräch mit den Befragten zeigte sich auch, dass die Farbe der Silageballen nicht allein massgebend ist. Einer geordneten Lagerung der Ballen an einem geeigneten Standort wird in vielen Fällen ein ebenso hohes Gewicht beigemessen.

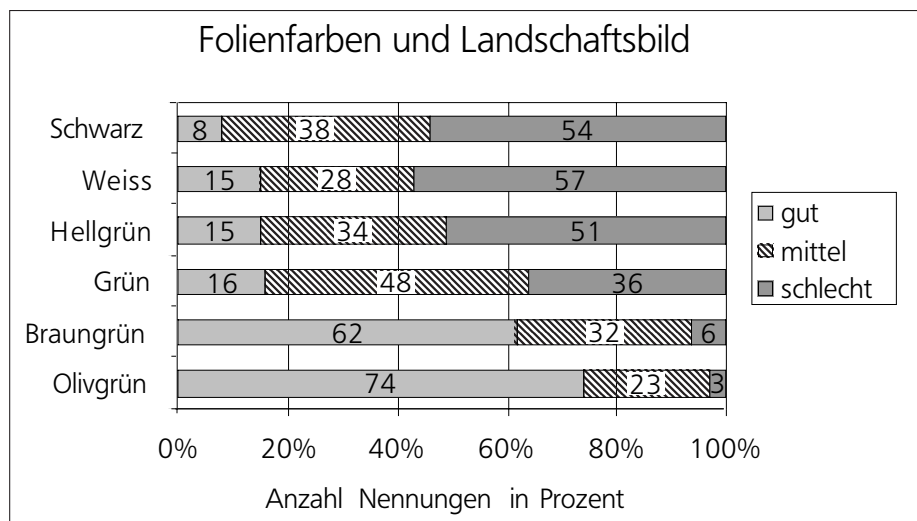


Abb. 14: Umfrageergebnis zur Frage «Welche der gezeigten Folienfarben passen sich gut, mittel oder schlecht in die Landschaft ein?». Anzahl Nennungen in Prozent von total 168 befragten Personen.

Enthalten Stretchfolien Schadstoffe ?

PE-Stretchfolien sollten frei von Schadstoffen wie z.B. Schwermetallen oder anderen umweltgefährdenden Elementen oder Verbindungen sein. Dies einerseits, um das Risiko einer Kontamination der Silage durch gesundheitsgefährdende Stoffe auszuschliessen, und andererseits eine saubere und umweltverträgliche Entsorgung zu gewährleisten.

Aus rechtlicher Sicht unterstehen Silagestretchfolien der Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (StoV 1986, Stand 2003). Gemäss dieser Verordnung müssen Stoffe, die in der Schweiz in Verkehr gebracht werden, auf bestimmte Eigenschaften beurteilt und, sofern sie umweltgefährdend sind, entsprechend gekennzeichnet werden. Die Verordnung

verbietet zudem die Erzeugung und die Einfuhr von cadmiumhaltigen Wickelfolien (Anhang 4.11 über Kunststoffe). Von diesem Verbot kann der Gesetzgeber eine Ausnahme gewähren, sofern erstens der Gehalt an Schadstoffen einen gewissen Höchstwert nicht überschreitet und zweitens keine anderen Stoffe enthalten sind, die bei der Entsorgung wesentliche Mengen von Schadstoffen freisetzen. Dabei gelten die folgenden Höchstwerte:

Fluor:	20 mg/kg
Chlor:	1000 mg/kg
Brom:	20 mg/kg
Blei:	20 mg/kg
Cadmium:	10 mg/kg

Ausserdem müssen diese Kunststoffe mit der Aufschrift «In Verbrennungsanlagen

für Siedlungsabfälle unschädlich vernichtbar» oder, bei Platzmangel, die Kurzform «In KVA unschädlich vernichtbar» versehen sein.

Über die genaue chemische Zusammensetzung von PE-Stretchfolien gibt es keine verlässlichen Angaben, weder seitens der Hersteller noch seitens amtlicher Prüfstellen. Schwarze Folien werden mit Russ (Kohlenstoff in reiner Form) eingeschwärzt. Weisse Folien werden mit Titandioxid gefärbt, das zwar ungiftig, bei der Freisetzung in grösseren Mengen die Umwelt dennoch belasten kann. Unbekannt ist aber, wie die verschiedenen Farbtöne bei den grünen Folien zustande kommen. Laut Herstellerangaben ist es nicht einfach, dunkelgrüne Pigmentstoffe zu finden, die UV-stabil und gleichzeitig frei von Schwermetallen sind.

Die im Versuch eingesetzten Stretchfolien wurden an der EMPA (Abteilung Produktanalytik) auf einzelne Elemente qualitativ und quantitativ untersucht. Cadmium, Chlor, Chrom, Blei und Zink wurden mittels optischer Emissionsspektrometrie und Quecksilber mit AAS-Kaltdampftechnik (Atomabsorptionsspektrometrie) bestimmt. In sechs Stretchfolien der Farben weiss, hellgrün und dunkelgrün wurde Zink in Mengen bis zu 48 mg/kg nachgewiesen. Ausserdem enthielten mehrere Folien mit den gleichen Farben Chrom in Mengen bis maximal 6 mg/kg. Die anderen Elemente, das heisst Cadmium, Chlor, Blei und Quecksilber konnten nicht oder nur in Spuren nachgewiesen werden.

Da in der Stoffverordnung weder für Zink noch für Chrom Grenzwerte definiert sind, erfüllen folglich die geprüften Folien zumindest die gesetzlichen Anforderungen.



Abb. 15: Für die Ballenlagerung unter freiem Himmel sollten nicht weisse (linkes Bild), sondern dunkelfarbige Wickelfolien (rechtes Bild) eingesetzt werden. Diese sind heute qualitativ ebenbürtig und fügen sich viel besser ins Landschaftsbild ein.

Entsorgung von Wickelfolien: nach wie vor ungelöst!

In der Schweiz werden jährlich gegen 3000 Tonnen Silagestretchfolien verwendet. Deren Entsorgung ist heute noch nicht befriedigend gelöst, wie die folgenden Hinweise zeigen:

- **Ablagerung in Deponien** ist seit 2000 gemäss Bund untersagt.
- **Verbrennung im Freien oder in Hausfeuerungsanlagen** ist nach der Luftreinhalteverordnung verboten.
- **Entsorgung über die Kehrichtverbrennung (KVA):** Kleinere Mengen von Polyethylen (PE), vermischt mit brennbarem Sperrgut oder Kehricht aus den Haushaltungen ist ein geschätzter Rohstoff in der grosstechnischen Kehrichtverbrennung. Zur Zeit wird heute ein Grossteil der anfallenden Wickelfolien über die regionalen KVA's entsorgt. Die Entsorgungskosten belaufen sich auf 300 bis 400 Franken pro Tonne.
- **Verwendung als Brennstoff:** PE hat den gleich hohen Heizwert wie Heizöl. Die Nutzung als Brennstoff in Hochöfen der Zementindustrie wurde schon praktiziert, die Kapazitäten sind aber begrenzt.
- **Wiederverwertung (Recycling):** Die technische Abfallverordnung verlangt, dass «Abfälle verwertet werden müssen, wenn dies technisch möglich und wirtschaftlich tragbar ist und die Umwelt dadurch weniger belastet wird als durch die Beseitigung und Neuproduktion.» Wiederaufbereitetes PE-Granulat kann in der Kunststoffindustrie zur Herstellung von Kabelrohren, Blumentöpfen, Abfallsäcken u.ä. verwendet werden. Das Rezyklieren der gebrauchten Wickelfolien stiess aber in der Vergangenheit auf Schwierigkeiten. Der tiefe Preis des Rohstoffes, die relativ starke Verschmutzung der Folien und die punktuell anfallenden kleinen Mengen erschweren eine wirtschaftliche und problemlose Wiederverwertung.
- Ein gut organisierter **Sammel-service** mit gebührenpflichtigen Säcken ermöglicht heute die Rückführung der gebrauchten Folien von den Verbrauchern zu den Sammelstellen, von wo das Material zu den sogenannten Poly-Partnern gelangt. Diese sind mehr oder weniger flächendeckend vertreten und organisieren den Transport des Materials zu den Abnehmern.

Auch wenn heute die saubere Verbrennung in Kehrichtverbrennungsanlagen und in Hochöfen der Zementindustrie – schadstofffreie Stretchfolien vorausgesetzt – heute sichergestellt ist, ist die Folienentsorgung nach wie vor nicht befriedigend gelöst. Da das Einsammeln der gebrauchten Folien bei den Verbrauchern mit einem beträchtlichen logistischen Aufwand verbunden ist, lässt sich auch die Wiederverwertung wirtschaftlich kaum rentabel gestalten. Da das Silieren in Grossballen weiter an Bedeutung zulegen wird, müssen zur Schonung des nicht unendlich vorhandenen Rohstoffes Erdöl und zur Verbesserung des Images der Grossballentechnik taugliche Lösungen für die Entsorgung unbedingt angestrebt werden. Eine interessante Alternative wäre die Verwendung von **biologisch abbaubaren Stretchfolien** auf der Basis von Polymeren aus nachwachsenden Rohstoffen oder aus Polymeren petrochemischen Ursprungs, die sich nach Gebrauch kompostieren oder unterpflügen lassen. Die Entwicklung einer solchen Wickelfolie steht noch aus. Ein entsprechendes Pilotprojekt an der FAT mit einem Copolyester Ecoflex lieferte bereits vielversprechende Ergebnisse.

Folgerungen

Da die Herstellung von Stretchfolien laufend Änderungen erfährt, ist es naheliegend, dass die Folien der einzelnen Hersteller von Jahr zu Jahr nicht immer die gleichen Eigenschaften aufweisen. Die aus dem Versuch hervorgegangenen Ergebnisse haben somit für die gleichen Folienfabrikate und -typen der folgenden Jahre nur beschränkte Gültigkeit. Dennoch lässt sich sagen, dass die heute auf dem Markt angebotenen Wickelfolien bekannter Hersteller die Anforderungen bezüglich den mechanischen Eigenschaften und der Gasdurchlässigkeit erfüllen. Auch die Alterungsbeständigkeit ist mit Ausnahme einiger hellgrüner Folien gut. Die heute im Handel erhältlichen Wickelfolien der bekanntesten Hersteller **eignen sich folglich ohne Einschränkung für die einjährige Silagekonservierung**, wie sie von fast allen Herstellern garantiert wird. Für die in der Praxis hin und wieder auftretenden Qualitätsmängel bei Ballensilagen (Probleme mit Schimmelbefall) dürfte die Stretchfolie als solche nur in den seltensten Fällen die Ursache sein, sofern die Ballen mit genügend Folienla-

gen umwickelt werden und die Folie nach dem Wickeln nicht beschädigt wird.

Bezüglich den **Folienfarben** bleibt folgendes festzuhalten:

- **Schwarze Stretchfolien** werden zurzeit in der Schweiz ungerechtfertigterweise kaum mehr eingesetzt, obwohl sie qualitativ in jeder Hinsicht nach wie vor die besten Eigenschaften besitzen. Schwarze Folien sind zudem die umweltfreundlichsten, weil sie nur gerusst sind. Ihrem einzigen Nachteil, der starken Erwärmung an der Sonne, wird heute eine zu grosse Bedeutung beigemessen, denn mehrere Untersuchungen bestätigen, dass eine starke Folienerwärmung die Gärqualität nicht beeinträchtigt (Abb. 16).
- **Dunkelfarbige Stretchfolien** sind für die Ballenlagerung im Freien und an exponierten Stellen am besten geeignet, da sie am wenigsten auffallen. Verglichen mit den übrigen Folien sind sie heute in qualitativer Hinsicht mindestens ebenbürtig. Vor allem in touristisch geprägten Regionen (Berggebiet!) muss der Absatz dunkelfarbiger Folien deshalb verstärkt gefördert werden. Dunkelfarbige Folien sind pro Rolle je nach Fabrikat 3 bis 5 Franken teurer als die übrigen Folien. Der einzelne Rundballen verteuert sich dadurch aber lediglich um 15 bis 20 Rappen. Der etwas höhere Rollenpreis darf deshalb weder für den Lohnunternehmer noch den Landwirt ein Grund sein, auf dunkelfarbige Folien zu verzichten.
- **Mit hellgrüner Folie** gewickelte Ballen integrieren sich bei der Lagerung im Freien nur wenig besser als weisse Wickelfolien. Da die Alterungsbeständigkeit nicht restlos befriedigt, dürften hellgrüne Stretchfolien in Zukunft nur eine Chance haben, wenn deren Qualität verbessert werden kann.
- Die **weissen Wickelfolien**, heute klar am meisten verwendet, erwärmen sich an der Sonne am wenigsten und schliessen somit allfällige Probleme einer erhöhten Gasdurchlässigkeit und einer Einbusse der Silagequalität aus. Verglichen mit schwarzen und dunkelfarbigen Folien sind sie jedoch qualitativ geringfügig schlechter einzustufen. Da weisse Silageballen im Freien das Landschaftsbild beeinträchtigen, sollten sie unbedingt mit geeigneten Netzen oder Blachen getarnt werden. Gerechtfertigt ist deren Verwendung am ehesten für Frühlingssilage, das heisst für die Konservierung im ersten Schnitt, weil die Sonneneinstrahlung in



Abb. 17: Beim ersten Einsatz einer neuen Stretchfolie ist am Wickler die richtige Folienvordehnung, Foli­enüberlappung und die gewünschte Lagenzahl zu kontrollieren.

Abb. 16: Schwarze Stretchfolien sind nicht nur sehr lichtstabil und frei von syntheti­chen Farbstoffen, sondern weisen auch eine sehr gute Qualität auf. Leider haben sie heute in der Schweiz praktisch keine Bedeutung mehr.

den Monaten Mai, Juni und Juli am intensivsten ist.

Empfehlungen

- **Stretchfolienwahl:** Es ist darauf zu achten, dass nur qualitativ einwandfreie, bewährte Stretchfolien von bekannten Herstellern verwendet werden.
- **Folienfarbe:** Bei der Lagerung der Ballen im Freien, insbesondere aber an exponierten Stellen (offene Felder, Hügelkuppen, Strassenränder, Dorfeinfahrten) und in touristisch geprägten Regionen sind dunkelfarbige Folien zu verwenden. Schwarzen Stretchfolien ist aus Qualitätsgründen der Vorzug zu geben. Weisse Stretchfolien können für die Konservierung des ersten Schnittes angebracht sein. Hellgrüne Wickelfolien sollten wegen der geringeren Alterungsbeständigkeit immer mit sechs Lagen gestretcht werden und sind nur für die Konservierung bis maximal sechs Monate geeignet.
- **Anzahl Foli­enlagen:** Im Normalfall sind sechs Foli­enlagen zu wickeln. Für sperriges, grobstängeliges Futter (Luzerne, Ökoheu) empfiehlt es sich, mit acht Lagen zu wickeln, um ein

Durchstechen der Folie zu vermeiden. Werden die Ballen weniger als zirka vier Monate lang gelagert, können auch vier Foli­enlagen genügen, allerdings nur bei geschützter Ballenlagerung (unter Vordach, Abdecken).

- **Wickeltechnik:** Die Anweisungen des

Herstellers bezüglich Einstellungen am Wickler (Lagenzahl, Vordehnung, Überlappung usw.) sind einzuhalten. Die optimale Überlappung und Vordehnung am Wickler (je nach Foli­enfabrikat zwischen 50 und 80%) müssen zu Beginn kontrolliert werden (Abb. 17). Die Lagenzahl lässt sich wie folgt überprüfen: Bei 50% Überlappung (500 mm breite Folie) muss der Ballen auf



Abb. 18: Spezielle Schutznetze verhindern lästige Foli­enverletzungen durch Vögel, Katzen, Füchse und Nagetiere.



Abb. 19: Wenn immer möglich ist eine hofnahe, auf befestigtem Boden und vor starker Sonneneinstrahlung geschützte Ballenlagerung anzustreben.

Literatur

Association Française de Normalisation, 1995. Marque NF applicable aux films plastiques à usages agricoles, NF 135, (1) 5/1995.

Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, DLG-Prüfungs-Abteilung, 2001. Prüfprogramm für Stretchfolien aus linearem Polyethylen niederer Dichte.

Diverse Autoren, 1995. Das Handbuch für die Ballensilageherstellung. Trioplast AB, Smalandsstenar, Schweden.

DLG-Ausschuss «Futterkonservierung», 1997. DLG-Schlüssel zur Beurteilung der Gärqualität von Grünfuttersilagen auf der Basis der chemischen Untersuchung; nach Weissbach und Honig.

Frick R., 2000. Ballensilage mit farbigen PE-Stretchfolien. Agrarforschung 7 (4), 158-163, 2000.

Frick R. und Jakob R., 1999. Silageballen mit farbiger Folie wickeln? Die Grüne 48/99.

Harmati Z. und Wüest B., 2001. Mündliche Mitteilungen, EMPA St. Gallen.

Keller A., 1999. Untersuchung abbaubarer Folien für den Einsatz als Silagestretchfolien. Interner Bericht, Eidg. Forschungsanstalt Tänikon (FAT).

Keller A., 2001. Mündliche Mitteilungen, Eidg. Forschungsanstalt Tänikon (FAT).

Mosch G., Dengel U., 2000. DLG-Prüfbericht 4864 Stretchfolie RaniWrap weiss. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, Frankfurt.

Mosch G., Dengel U., 2000. DLG-Prüfbericht 4865 Stretchfolie RaniWrap grün. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, Frankfurt.

Stoffverordnung StoV 1986 (Stand 2003), Anhang 4.11 über Kunststoffe. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).

Wyss U., 2001. Mündliche Mitteilungen, Eidg. Forschungsanstalt für Nutztiere (RAP), Posieux.

dem Wickler für sechs Folienlagen 1,5 Umdrehungen machen.

• **Zeitpunkt Wickeln:** Das Wickeln beim Lagerplatz vermindert die Gefahr von Folienbeschädigungen beim Transport und Umschlag der Ballen. Die Ballen sollen aber spätestens zwei Stunden nach dem Pressen gewickelt werden. Das Einstretchen bei Regen ist zu vermeiden, da nasse Folien weniger gut kleben.

• **Ballenlagerung:** Die geschützte Lagerung unter einem Gebäudevordach verzögert den Alterungsprozess der Wickelfolien. Wer bei der Lagerung im Freien auf weisse oder hellgrüne Folien

nicht verzichten will, sollte die Ballen mit einem Tarnnetz, Vogelschutznetz oder einer Blache (z.B. alte Flachsilofolie) abdecken (Abb. 18). Dies bringt drei Vorteile: Schutz vor Folienbeschädigungen durch Vögel, Marder, Katzen, Füchse, Wild usw., Schutz vor Sonneneinstrahlung, Schonung des Landschaftsbildes. Werden Silageballen über längere Zeit (mehr als drei Monate) aufbewahrt, ist eine hofnahe Lagerung anzustreben (Abb. 19). Dies erleichtert die regelmässige Kontrolle der Ballen auf Folienverletzungen. Beschädigte Folien sind unverzüglich mit Klebband abzudecken.