

# Landtech

## Biologisch abbaubare Silagestretchfolien prinzipiell möglich

Andreas Keller, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon  
Auskünfte: Andreas Keller, e-mail: andreas.keller@fat.admin.ch, Fax +41 (0)52 365 11 90, Tel. +41 (0)52 368 31 31

**V**erschiedene biologisch abbaubare Folien erfüllen im Anlieferungszustand die hohen Anforderungen, die an Silagestretchfolien gestellt werden. Der Einsatz solcher Folien für die Silagekonservierung würde eine Entsorgung der anfallenden Folienabfälle direkt auf dem Hof ermöglichen. Biologisch abbaubare Folien könnten grundsätzlich als Silagewickelfolien dienen, sofern sich die Geschwindigkeit des biologischen Abbaus deutlich verringern lässt.



**Abb. 1.** Silageballen aus biologisch abbaubaren Ecoflex-Folien. Das schwarze Folienmaterial ist mit Russ stabilisiert. Wegen der fehlenden Klebeschicht wurden die Ballen an den Folienüberlappungsstellen mit witterungsbeständigem Klebeband abgedichtet.

Viele Anwendungen von Kunststoffen in der Landwirtschaft wie die Verwendung von Stretchfolien, Mulchfolien im Gartenbau oder Verpackungen sind kurzfristiger Natur. In der schweizerischen Landwirtschaft fallen jährlich zirka 28'000 Tonnen Kunststoffabfälle an (IG Polyethylenindustrie 1998). Davon entfallen zirka 2000 Tonnen auf Silagestretchfolien, die stark verschmutzt vorliegen (Gaillard und Jakob 1995). In der BRD sind es 7500 t (Wilmer 1998), in Frank-

reich 5000 bis 8000 t und in England 20'000 bis 25'000 t (Dänzer 1997). Die Entsorgung von Kunststofffolien auf Deponien ist in der Schweiz nicht mehr möglich. Seit dem 1.1.2000 ist die Ablagerung brennbarer Abfälle ohne Vorbehandlung ausnahmslos verboten (TVA 1998). Die Folienabfälle werden daher meist in Kehrrichtverbrennungsanlagen (KVA) verbrannt (Gaillard und Jakob 1995). Alternativen dazu bietet das Recycling oder die thermische Verwertung in Zementwerken. Diese Entsorgungsmöglichkeiten ziehen einen erheblichen logistischen Aufwand mit sich, der sich in der Berechnung der Entsorgungskosten empfindlich niederschlägt. Die Entsorgungskosten für eine Tonne landwirtschaftlicher Polyethylenfolie liegen je nach Menge und Transportweg zwischen 330 und 680 Franken (Gaillard und Jakob 1995). Dieser Aufwand wäre mit biologisch

abbaubaren Folien vermeidbar, die nach Gebrauch kompostiert werden können. Die Kosten für eine herkömmliche Folie einer Silageballen (ca. 1 kg Material) und deren Entsorgung liegen bei zirka 5,40 Franken. Ein Preis, den durchaus auch biologisch abbaubare Folien erreichen könnten. Die Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften und die Sauerstoffdurchlässigkeit von Silagestretchfolien werden bereits von einigen auf dem Markt erhältlichen abbaubaren Folien erfüllt. Diese Voruntersuchungen sollen zeigen, ob sich biologisch abbaubare Folien für die Anwendung als Silagestretchfolie eignen könnten.

### Anforderungen an Silagestretchfolien

Es bestehen Normen, welche die Anforderungen an Silagestretchfolien beschreiben (DLG 1998; AFNOR 1995). Diese sind in Tabelle 1 aufgelistet. Die aufge-

**Tab. 1. Anforderungen an Silagefolien.** Die in Klammern aufgeführten Werte stammen aus AFNOR (1995), alle anderen aus DLG (1998)

Neendicke		25 µm (Mittelwerttoleranz ±5%)
Kleinstwert		23 µm (Mittelwert -15%)
Grösstwert		32 µm (Mittelwert +30%)
Reissdehnung	längs	400 %
	quer	400 % (600%)
Reissfestigkeit		20 Mpa
Streckspannung	längs	(10 MPa)
Streckspannung	quer	(9 MPa)
Weiterreisskraft min.		1,8 N
Durchdrückkraft bei 80 % Reckung		10 N
Spannung bei 80 % Reckung		min. 10 MPa
Klebkraft		0,1 N
Alterung 1 Jahr Freiland		
Reissdehnung längs		350 %
Reissdehnungsminderung max.		30 %
Gasdurchlässigkeit (O <sub>2</sub> ) max.		1800 cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> in 24 h

fürte Klebkraft wird bei den herkömmlichen PE-LLD-Folien durch eine Klebeschicht aus Polyisobutylen, die zirka 5 % der Folienmasse ausmacht, erreicht.

Die Alterungsbeständigkeit wird bestimmt durch die chemische Beständigkeit der Folie gegenüber Silagegärsäften und -gasen (Tab. 2 und 3) und durch diejenige gegenüber UV-Strahlung und Oxidation. Bei biologisch abbaubaren Folien spielt auch die Beständigkeit gegenüber Mikroorganismen aus der Silage (anaerob) und aus der Umgebung (aerob) eine wesentliche Rolle. Einerseits soll die Folie während mindestens eines Jahres im Einsatz als Silagefolie möglichst stabil bleiben, andererseits soll sie danach unter Kompostierbedingungen oder unter Boden vollständig abbauen. Hier gilt es, die unterschiedlichen Bedingungen bezüglich des biologischen Abbaus beim Einsatz beziehungsweise beim Entsorgen auszunutzen.

### Biologisch abbaubare Folienmaterialien

Für die Herstellung von Folien geringer Dicke, wie sie für Silagefolien gefordert wird, eignet sich das Folienblasverfahren. Besonders lassen sich damit auch mehrschichtige Folien in einem Arbeitsschritt herstellen, was das einfache Aufbringen der nötigen Klebschicht erlaubt. Tabelle 4 stellt eine Auswahl biologisch abbaubarer Polymere dar, die sich mit dem Folienblasverfahren verarbeiten lassen.



**Abb. 2.** Die direkt auf der Wiese gelagerten Ballen zeigten die ersten Zersetzungsercheinungen nach 38 Tagen Lagerung an den Übergangsstellen vom Boden zur Luft.

**Tab. 2. Kennwerte von Silagesickersaft** (Köbrich 1988)

Merkmal	Einheit	Kennwert
pH-Wert		3 bis 6
Acidität	ml/l 1N NaOH	170 pH 5; 300 pH 6; 350 pH 8
Schwefel	mg S/l; mg SO <sub>4</sub> /l	230; 700
Chemischer Sauerstoffbedarf	mg O <sub>2</sub> /l	10'000 bis 100'000
Biologischer Sauerstoffbedarf (5 d, 20 °C)	mg O <sub>2</sub> /l	10'000 bis 80'000
Organische Säuren als Buttersäure	mg/l	7'000 bis 12'000

**Tab. 3. Maximalwerte von Inhaltsstoffen von Grassilage** (diese Werte werden nie alle miteinander in derselben Silage erreicht) (Jakob 1997)

Inhaltsstoffe von Grassilage	g/kg Trocken-substanz (Maximalwerte)
Milchsäure	200
Essigsäure	100
Buttersäure	80
Propionsäure	10
Ethanol	40
Ammoniak	10

Gemäss Tabelle 1 muss die Reissdehnung von Silagestretchfolien mindestens 400 % betragen. Demnach kommen von den Werkstoffen aus Tabelle 4 nur noch folgende in Frage: Polycaprolacton (PCL), das Copolyester Ecoflex und die Stärke/PCL Blends MaterBi beziehungsweise Biotec. Bei intensiver Sonnenbestrahlung der Silageballen können Temperaturen um die 60 °C an der Folienoberfläche ohne weiteres erreicht werden (Daponte 1991). Die Schmelz-

punkte von PCL und Biotec liegen nahe bei dieser Temperatur, was deren Einsatz als Materialien für Silagestretchfolien stark einschränkt. Folien aus PCL und Biotec wurden daher nicht weiter untersucht. MaterBi-Folien bauen ihre mechanischen Eigenschaften im Zusammenhang mit permanenter Feuchtigkeit, wie sie im Kontakt mit Silage auftritt, viel zu schnell ab (Keller 1996). Ebenso ist die UV-Stabilität der untersuchten Stärke/PCL-Blends für eine Lagerung am direkten Sonnenlicht zu gering. Von den in Betracht gezogenen Folienma-

terialien ist daher das Copolyester Ecoflex für die Anwendung als Silagestretchfolie am vielversprechendsten. Mit diesem Material erfolgten die im Folgenden beschriebenen praxisnahen Silageversuche.

### Silageversuche

Es wurden eine weisse Folie und eine mit Russ stabilisierte, schwarze Folie (Ecoflex) verwendet (Tab. 5). Die Russpartikel der stabilisierten Folie waren nicht homogen verteilt, was deren Festigkeit und Reissdehnung etwas beeinträchtigte. Wir haben darauf

verzichtet, die biologisch abbaubaren Folien mit einer Klebeschicht zu versehen, da noch kein geeigneter biologisch abbaubarer Klebstoff gefunden wurde. Die entsprechenden Ballen wurden daher für diesen Versuch nach dem Wickeln an den Folienüberlappungsstellen mit einem witterungsbeständigen Silagefolienreparaturband abgedichtet (Abb. 1).

**Rundballen (Gras):** Es wurden Grasrundballen einer Masse zwischen 670 und 740 kg gepresst. Das Futter hatte einen Trockenstoffgehalt (TS) von 38,2 bis

**Tab. 4. Auswahl biologisch abbaubarer Thermoplaste und deren Eigenschaften**

Biologisch abbaubare Polymere aus NWR	Herkunft	Reissfestigkeit MPa	Reissdehnung %	Schmelzpunkt °C
Thermoplastische Stärke (20 % Glycerin) (Aichholzer 1997)	Mais	6	10	–
Poly(hydroxybutyrat/-valerat) (Monsanto 1997)	Zucker	28	15	153
Zellulosediacetat (Herrmann und Hanselka 1995)	Zellulose	32	19	180
Polymilchsäure (PLA) (Kuroki 1998)	Mais, Zucker	60	5	160
<b>Biologisch abbaubare Polymere petrochemischen Ursprungs</b>				
Polycaprolacton (PCL) (Fritz <i>et al.</i> 1994)	Erdöl	26-42	600-1000	60
Copolyester Ecoflex (BASF 1997)	Erdöl	29,1	406	–
Polyesteramid (Grigat 1997)	Erdöl	–	120	175
<b>Blends (Mischungen)</b>	<b>Komponenten</b>			
MaterBi (Novamont 1996)	Stärke, PCL	23-28	410-750	130-137
Biotec (Biotec 1996)	Stärke, PCL	20	>850	55-65

**Tab. 5. Zur Herstellung von Silagegrossballen verwendetes Folienmaterial.** Zum Vergleich sind die Daten einer herkömmlichen PE-LLD-Silagefolie aufgeführt

	Foliendicke µm	Reissfestigkeit MPa	Reissdehnung %
Copolyester Ecoflex (BASF 1997)	20-24	29	406
66 % Ecoflex + 34 % Mischung 11 (Russ) (BASF 1997)	25	15	362
PE-LLD-Silagefolie mit Klebeschicht (Frick 1998)	25	30	570

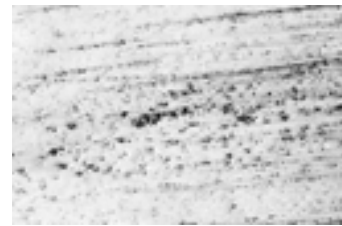
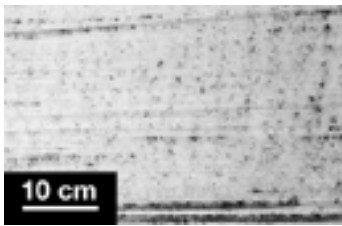


Abb. 3. Verschiedene Stadien der Folienzer-  
setzung an der Silage-  
balle Nr. 3, die  
draussen auf einer  
Palette gelagert wur-  
de. Die Bilder wurden  
nach 80 Tagen Lage-  
rung an verschie-  
denen Stellen der Balle  
aufgenommen.

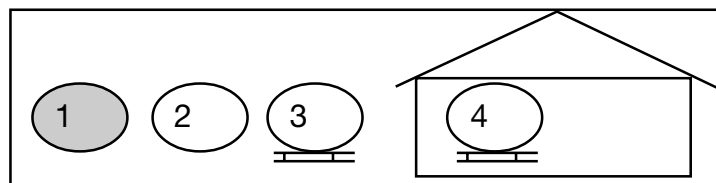
44,4 % und stammte aus einer Naturwiese mit 22,5 % Rohfaseranteil und 1,1% erdiger Verunreinigung (bezogen auf die Trockensubstanz).

Die Rundballe mit der weissen Ecoflexfolie wurden mit einem herkömmlichen Wickelgerät mit einer Vordehnung von 50 % sechsfach gewickelt. Die schwarze Ecoflexfolie liess sich nicht vordehnen, da deren Oberfläche so rutschig ist, dass die Vordehneinrichtung der Wickelmaschine nicht greift. Auch das Anbringen verschiedener rutschfester Beläge auf den Vordehnwalzen konnte dieses Problem nicht lösen. Die Vordehnung dieser Folien war daher deutlich geringer als praxisüblich.

**Lagerung:** Um die Stabilität der Folien gegenüber dem Abbau durch Bodenmikroorganismen beurteilen zu können, wurden die Ballen zum Teil direkt auf dem Grasboden und zum Teil auf Paletten gelagert. Um den Einfluss der Silagegärsäfte und der in der Balle entstehenden Gase getrennt von Witterungs- und Bodeneinflüssen auf die Folie betrachten zu können, wurde eine Balle in einer Halle gelagert. Pro Lagerungsart erfolgte die Herstellung einer Balle. Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Versuchsanlage. Sämtliche Ballen wurden am

Tab. 6. Unterschiedliche Lagerung der Silageballen

Balle Nr.	Masse kg	TS %	Folienmaterial	Standort	Bemerkungen
1	670	43,3	Ecoflex (schwarz)	auf Wiese	
2	690	41,2	Ecoflex 8 (weiss)	auf Wiese	
3	740	38,2	Ecoflex 8 (weiss)	im Freien auf Palette	Folie beim Wickeln 1 x gerissen
4	740	40,2	Ecoflex 8 (weiss)	In Halle auf Palette	nur 4-fach gewickelt (Materialmangel)



19.5.1998 gewickelt und am entsprechenden Standort bauchseitig gelagert.

### Zu hohe Abbaugeschwindigkeit der Folien

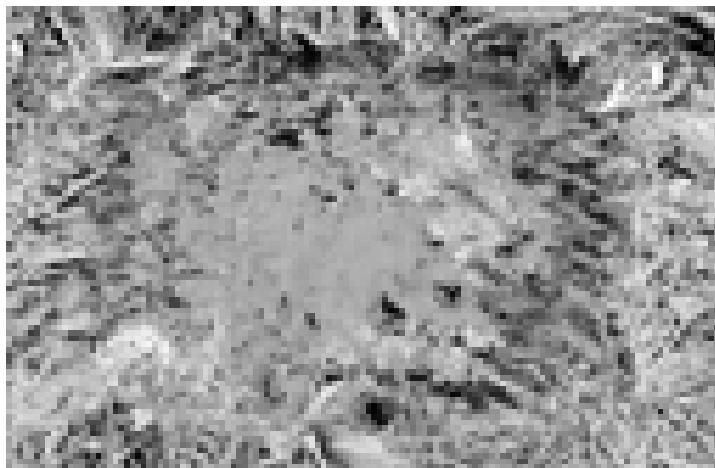
Die Begutachtung der verschiedenen Rundballen erfolgte während der Lagerungsperiode visuell. Um Beschädigungen der Folien zu vermeiden, wurden die Ballen nicht bewegt, weshalb die Untersuchung der den Boden berührenden Folienflächen erst bei Abbruch des Versuches erfolgte.

Erstaunlicherweise wies bereits nach 20 Tagen Lagerung die Balle Nr. 4 (Ecoflex weiss), die un-

ter Dach gelagert war, als erste Schadstellen an der Folie auf, während die im Freien gelagerten Ballen noch intakt waren. Balle 4 war im Gegensatz zu allen anderen nur vierfach statt sechsfach gewickelt, was der Grund dafür sein könnte, dass hier die Abbauerscheinung zuerst beobachtet wurde. Die Balle war keinen Witterungseinflüssen ausgesetzt, die Zersetzung der Folie wurde also von innen her ausgelöst. Die Folie ist entweder gegen die bei der Silage entstehenden Gase oder gegen die mikrobielle Aktivität zu wenig stabil. Da das Folienmaterial Ecoflex eine hohe chemische Stabilität besitzt (Skupin 1998), ist eine mikrobielle Schädigung



**Abb. 4. Anheben der Ballen nach 124 Tagen Lagerung im Freien. Die direkt auf dem Boden aufliegende Folienpartie war weniger stark zersetzt als der Übergang der Bodenberührungsfläche zur freien Folienfläche.**



wahrscheinlicher. Diese ist höchstwahrscheinlich auf aerobe mikrobielle Aktivität zurückzuführen, da Ecoflex anaerob nur sehr schlecht abbaut (Skupin 1998). Die Silageballe war an den Folienüberlappungsstellen sehr gut abgedichtet. Der für den Folienabbau nötige Sauerstoff war also entweder schon im gepressten Futter vorhanden oder diffundierte von aussen durch die Folie. Nach 38 Tagen zeigten die Folien der Ballen 1 und 2 Beschädigungen in Bodennähe. Diese sind auf die Aktivität von Bodenmikroorganismen zurückzuführen, denn Balle 3, ohne direkten Bodenkontakt gelagert, blieb noch weitere 42 Tage intakt. Dann begann auch bei Balle 3 der Abbauprozess sichtbar zu werden. Dies dürfte wiederum von innen her geschehen sein,

etwas langsamer als bei Balle 4 aufgrund der sechsfachen Wicklung. Meist wurden die Zersetzungerscheinungen zuerst an den Kanten der Ballen, wo die Verstreckung der Folien aufgrund der Ballengeometrie am grössten war, festgestellt. Die Stabilität gegen UV-Strahlung und andere Witterungseinflüsse wie Temperaturwechsel, Luftfeuchtigkeit, Staub oder Regen konnte mit den vorliegenden Untersuchungen nicht getrennt beobachtet werden. Die hier dargestellten Resultate lassen sich nur mit Vorsicht interpretieren, da die Versuche nicht wiederholt wurden.

#### **Fazit und Ausblick**

Die Untersuchungen zeigen, dass Ecoflex-Folien von den mechanischen Eigenschaften her als

Silagestretchfolien eingesetzt werden könnten, während deren Beständigkeit gegen mikrobiellen Abbau deutlich zu gering ist. Ausserdem fehlt eine biologisch abbaubare, koextrudierbare Klebeschicht. Die Geschwindigkeit des biologischen Abbaus der Folien unter den Bedingungen des Einsatzes als Stretchfolien muss verringert werden. Dies soll durch das Aufbringen einer bewusst nur langsam abbaubaren Klebeschicht, die den Übergang der mikrobiellen Aktivität von einer Wickellage auf die nächste behindert, erreicht werden. Dämmt diese Massnahme die Abbaugeschwindigkeit nicht genügend ein, ist eine chemische Modifikation des Copolyesters - zum Beispiel ein höheres Molekulargewicht oder ein anderes Monomerverhältnis - in Betracht zu ziehen.

#### **Literatur**

- AFNOR (Association Française de Normalisation), 1995. Marque NF applicable aux films plastiques à usages agricoles. *NF 135* (1).
- Aichholzer W., 1997. Bioabbaubare Verbundwerkstoffe auf nachwachsender Rohstoffbasis. In: Band zum 15. Stuttgarter Kunststoff-Kolloquium, 5.-6.3.1997 (Ed. Inst. für Kunststofftechnik), Stuttgart.
- BASF, 1997. Datasheet Ecoflex.
- Biotec, 1996. Biotec Produkteinformation.
- Dänzer D., 1997. Stretchfolie ist nicht gleich Stretchfolie. *DLZ Agrarmagazin* 6, 56-58.
- Daponte T., 1991. Ein neues Licht auf Coexsilofolien. *KTBL-Arbeitspapier* 157, 78 ff.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft), 1998. Prüfprogramm für Stretchfolien aus linearem Polyethylen niederer Dichte.
- Frick R., 1998. Eigene Messungen FAT.

- Fritz H.G., Seidenstücker T., Bölz U., Juza M., Schroeter J. and Endres H-J., 1994. Use and Modification of Biological Substances. Production of Thermo-Bioplastics and Fibres based mainly on Biological Materials. EUR 16102 EN, European Commission. 9-61.
- Gaillard G. und Jakob R., 1995. Verwertung von Polyethylenabfällen aus Silagefolien. *Schweizer Landtechnik* **12**, 18-19.
- Grigat E., 1997. BAK 1095 - das Jahr danach. In: Fachtagung «Biologisch abbaubare Werkstoffe» 19.-20.2.1997. (Ed. Süddeutsches Kunststoffzentrum), Würzburg.
- Herrmann A.S. und Hanselka H., 1995. Verbundwerkstoffe aus biologischen Faser- und Matrixkomponenten. In: Biorohstoff Hanf, Symposium Frankfurt a.M., 2.3.-5.3.1995 (nova Institut Ed.), Hürth.
- IG Schweizer Polyethylen-Industrie, 1998. Pressemitteilung OLMA-Pressekonferenz, St. Gallen.
- Jakob R., 1997. Interne Mitteilung FAT.
- Keller A., 1996. Prüfung von biologisch abbaubaren Folien bzgl. deren Eignung als Silowickelfolie. Interner Bericht FAT, Tänikon.
- Köbrich D., 1988. Umweltgerechte Entsorgung von Silagesickersäften. *KTBL-Arbeitspapier* **117**, 18 ff.
- Kuroki T., 1998. Processability of Polylactid Acid «LACEA»: In: 5. Fachtagung «Biologisch abbaubare Werkstoffe», 2.3.-5.3.1998. (Ed. Süddeutsches Kunststoffzentrum), Würzburg.
- Novamont, 1996. Mater-Bi Produkteinformation.
- Monsanto, 1997. Biopol Produkteinformation.
- Skupin G., 1998. Persönliche Mitteilung, BASF.
- TVA (Technische Verordnung über Abfälle), 1998. TVA vom 10.11.1990, Stand am 13.10.1998, SR 814.600.
- Wilmer H., 1998. Stretchfolien für Wickelsilage: Richtig gewickelt? *Profi Technik* **2**, 52-53.

## RÉSUMÉ

### Films d'ensilage biodégradables: en principe possible

Les films en copolyester Ecoflex (BASF AG) présentent de bonnes caractéristiques mécaniques et une perméabilité à l'oxygène suffisamment basse de façon à satisfaire les exigences des films étirables utilisés pour les balles d'ensilage. Les films stabilisés au moyen de noir de carbone répondent également à presque tous ces critères. Les deux types de films ont été utilisés pour enrubanner des balles d'ensilage qui ont ensuite été stockées en dessous d'un toit ou à l'extérieur, soit sur la prairie, soit sur des palettes. La dégradation des films a pu être observée déjà après 20 à 80 jours suivant le mode de stockage. D'une part, les films ont été attaqués depuis l'intérieur par le fourrage et, d'autre part, à la surface de contact entre le sol et le film. Pour utiliser les films en copolyester pour les balles d'ensilage, la dégradation devrait être nettement moins rapide. La vitesse de dégradation pourrait être réduite par une couche d'accrochage limitant la dégradation ou par une modification chimique du matériel des films.

## SUMMARY

### Biodegradable stretch films for silage bales: basically possible

Films made of Ecoflex copolyester (BASF AG) offer good mechanical properties as well as a sufficiently low oxygen permeability in order to satisfy the requirements of stretch films used for silage bales. Films which are stabilised by carbon black also fulfil practically all these criteria. These two types of film were used to wrap silage bales which were then stored beneath a roof or outside, either on the meadow or on palettes. Degradation of the films was observed as early as after 20 to 80 days, depending on the manner of storage. On the one hand, the films were attacked from inside the bales; on the other, on the contact surface between the soil and the film. In order to use copolyester films for silage bales, degradation should be significantly slower. This can be achieved by adding an adhesive layer limiting degradation or by chemically modifying the films' material.

**Key words:** silage stretch films, biodegradable