

# Innovative Silageabdeckung

Praxisversuche mit nachwachsenden Rohstoffen verlaufen vielversprechend

von VERONIKA SCHREIEDER, DR.-ING. PETER EMBERGER und DR. EDGAR REMMELE: **Eine neuartige Siloabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen könnte konventionelle Verfahren mit Kunststofffolien ersetzen. Sie wird flüssig auf das Silo gespritzt, härtet in wenigen Sekunden aus und versiegelt das Silo. Das maschinelle Aufspritzen kann den Arbeitsaufwand und die Unfallgefahr beim Siloabdecken deutlich senken. Durch die Eigenhaftung des Materials auf dem Siliergut entfällt die übliche Beschwerung und die Abdeckung kann mit der Silage in Biogasanlagen mitverwertet werden. Das patentierte Abdeckmaterial steht der Industrie zur weiteren Produktentwicklung und Markteinführung zur Verfügung.**

Das Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ) in Straubing arbeitet seit mehreren Jahren an der Entwicklung einer Siloabdeckung für Fahrhilfen und Freigärhaufen. Diese neuartige Silageabdeckung soll aufspritzbar, selbsthaftend und auf Basis nachwachsender Rohstoffe sein. In der nun abgeschlossenen letzten Projektphase wurde an der Überführung in die Praxisreife gearbeitet. Gefördert wurden die Forschungsvorhaben vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.

## Anforderungen an eine Silageabdeckung

Der gasdichte Abschluss der Silage ist Grundvoraussetzung für die Konservierung von Futtermitteln und wird nach dem derzeitigen Stand der Technik mit erdölbasierten Kunststofffolien erreicht. Eine geeignete Silageabdeckung muss über den Zeitraum von mindestens zwölf Monaten einer Vielzahl an äußeren Einflüssen standhalten. Sie muss wind- und was-

serfest sein sowie eine sehr gute UV- und Temperaturstabilität besitzen. Das Verfahren der konventionellen Abdeckung des Silos mit Kunststofffolien erfüllt zwar alle nötigen Anforderungen, doch ist deren Aufbringung arbeitsintensiv und birgt potenzielle Unfallgefahren beim Zu- und Aufdecken. Zudem ist die Entsorgung der Folien nach der Nutzung aufwendig. Die neuartige Abdeckung soll daher zusammen mit dem Siliergut entnommen werden können, in Biogasanlagen verwertbar und gegebenenfalls verfütterbar sein.

## Weiterentwicklung der Abdeckung im Labor

Die in vorhergehenden Arbeiten entwickelten vielversprechenden Rezepturen der Siloabdeckung wurden in einer letzten Projektphase weiter optimiert und deren Eigenschaften im Labor untersucht. Durch Rezepturoptimierungen wurde eine Verbesserung der Dehnbarkeit von 13 Prozent auf mehr als 90 Prozent erreicht. Die Materialschumpfung, die bei den Rezepturen der vorangegangenen Arbeiten als Problem identifiziert wurde, konnte um bis zu 80 Prozent reduziert werden. Die Wasseraufnahme und das Quellverhalten wurden wesentlich verringert und damit verbessert. Auch die Gasdichtigkeit des Materials konnte weiter verbessert werden und der Permeationskoeffizient für Sauerstoff liegt für die optimierten Rezepturen unter  $2 \text{ cm}^3 \text{ m}/(\text{m}^2 \text{ d bar})$  im Vergleich zu  $3 \text{ cm}^3 \text{ m}/(\text{m}^2 \text{ d bar})$  für Materialien aus den vorangegangenen Arbeiten. *Abbildung 1* veranschaulicht die Verbesserung der Gasdurchlässigkeit im Laufe der Materialentwicklung anhand ausgewählter Messergebnisse. Die Prüfung der Materialverträglichkeit mit Siloanstrichen ergibt, dass bitumenhaltige Siloanstriche nicht mit dem Material kompatibel sind. Geeignet sind Siloanstriche auf Basis von Epoxidharz, Polyurethan oder Acrylpolymeren.

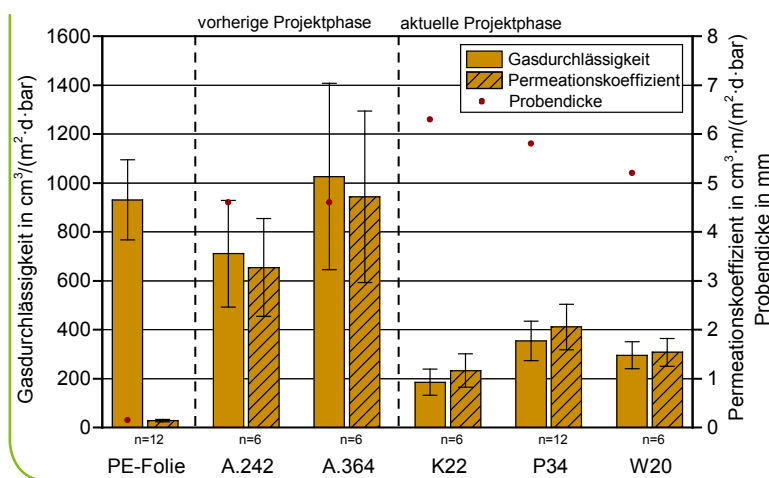


Abbildung 1: Gasdurchlässigkeit (für Sauerstoff), Permeationskoeffizient und Probendicke ausgewählter Rezepturen im Laufe der Materialentwicklung im Vergleich zur konventionellen Silofolie (PE-Folie)

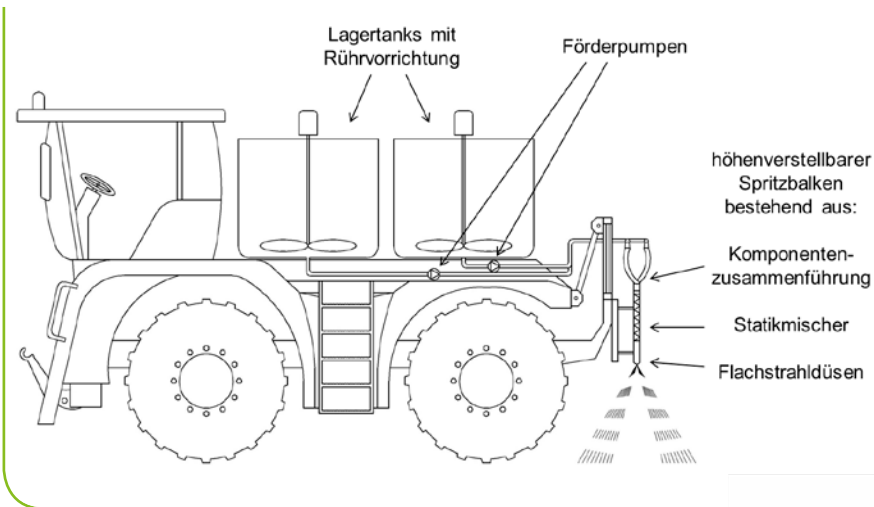


Abbildung 2: Skizze eines möglichen Selbstfahrers mit Applikationsgerät

### Aufbringtechnik des Zwei-Komponenten-Materials

In Vorbereitung für die Materialaufspritzung bei den praxisnahen Versuchen wurde ein Prototyp eines Applikationsgeräts für das Abdeckmaterial entwickelt. Mit diesem konnte die Silageabdeckung gezielt auf Silierguthaufen aufgebracht und die grundsätzliche Machbarkeit demonstriert werden. Die wesentlichen Bauteile sind zwei Pumpen, die für die Förderung von scherempfindlichen Suspensionen geeignet sind, ein Statikmischer, um die beiden reaktionsfähigen Komponenten zu mischen und für das Aufspritzen des Materials geeignete Flachstrahldüsen. Auf Basis der daraus gewonnenen Erkenntnisse wurden Anforderungen für die Entwicklung eines praxistauglichen Applikationsgeräts auf einem Trägerfahrzeug für große Silagehaufen abgeleitet. *Abbildung 2* zeigt eine Skizze einer möglichen Ausführung einer selbstfahrenden Arbeitsmaschine als Applikationsgerät. Auch andere Trägerfahrzeuge, wie beispielsweise Pistenraupen, die auch beim Silieren eingesetzt werden, sind möglich. Das gesamte Applikationsgerät ist in Modulbauweise ausgeführt und soll einfach vom Trägerfahrzeug abgenommen werden können, sodass dieses auch für andere Zwecke verwendet werden kann.

### Silierungsversuche mit der NAWARO-Abdeckung

Im Verlauf des Forschungsvorhabens wurden mehrere praxisnahe Silierungsversuche durchgeführt. Eine erste Versuchsreihe mit einem ersten Prototyp eines Applikationsgeräts wird mit fünf verschiedenen Materialrezepturen auf Miniaturbetonsilos mit zwei Quadratmeter Grundfläche durchgeführt. Die Materialaufbringung mit einem

manuell zu bedienenden Applikationsgerät stellt eine Herausforderung dar, und als Resultat beeinträchtigen stark schwankende Mischungsverhältnisse der beiden Komponenten und unterschiedliche Materialdicken auf der Silageoberfläche die Interpretation der Versuchsergebnisse. Nach acht Monaten Lagerzeit im Freien werden die Silos beprobt. In 30 cm Tiefe unter der Abdeckung sind gute bis sehr gute Silagequalitäten vorzufinden, jedoch ist die Silagequalität direkt unter der Abdeckung zumeist ungenügend. Darüber hinaus sind zum Teil ein Wachstum von Schimmel auf der Oberfläche des Abdeckmaterials und ein Ablösen des

Materials von der Silowand festzustellen. Die zwei besten Rezepturen dieses Versuchs wurden im Labor weiter optimiert.

Im letzten Praxistest gegen Ende des Projekts wurde das weiter optimierte Material auf zwei 15 m<sup>2</sup> große Freigärhaufen aufgetragen. Für die Applikation wurde die Spritzlanze eines neuen Applikationsprototyps in ihrer Neigung verstellbar an einem höhenverstellbaren Spritzbalken im Heckaufbau eines Traktors befestigt (*siehe Bild 1*). Das Abdeckmaterial konnte damit erfolgreich auf die Freigärhaufen in einem Arbeitsgang aufgespritzt werden (*siehe Bild 2*). Nach vier Monaten Lagerzeit bis zum Projektende ist noch keine Beeinträchtigung der Silage-



Bild 1: Applikation des neuartigen Abdeckmaterials auf einen Freigärhaufen mit einer in ihrer Neigung verstellbaren Spritzlanze auf einem höhenverstellbaren Spritzbalken im Heckaufbau eines Traktors (Foto: Ulrich Eidenschink, TFZ)

abdeckung erkennbar. Der Sauerstoffgehalt wird in allen Freigärhaufen während der Lagerzeit auf nichtinvasive Art erfasst und liegt auch nach vier Monaten unter 0,2 Prozent (siehe Abbildung 3). Dies weist auf eine ausreichende Dichtigkeit des Abdeckmaterials hin. Schimmelbildung oder anderweitige negative Veränderung des Materials sind bisher nicht zu erkennen. Die entwickelte Materialrezeptur erscheint daher als äußerst vielversprechend hinsichtlich ihrer Funktionalität als Silageabdeckung, wengleich eine abschließende Bewertung gegenwärtig nicht möglich ist. Es ist davon auszugehen, dass vor einer Markteinführung noch letzte Rezepturoptimierungen und Abstimmungen auf ein zu entwickelndes Applikationsgerät vorzunehmen sind. Nach derzeitigem Stand der Technik werden ca. 8 kg Material pro Quadratmeter für einen gasdichten Abschluss über zwölf Monate benötigt.



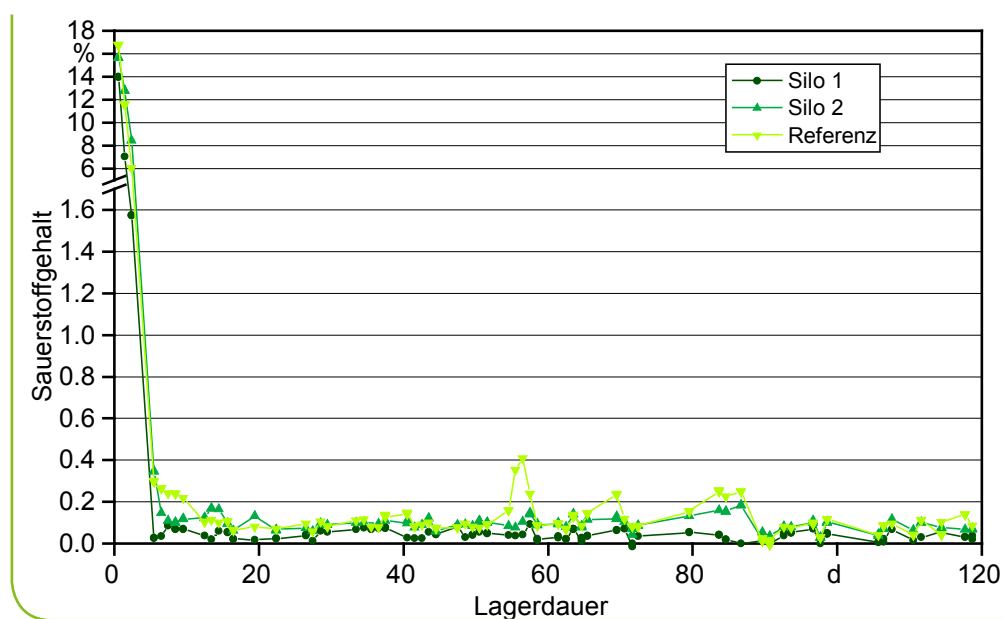
▣ Bild 2: Blick auf zwei Freigärhaufen mit der optimierten Silageabdeckung einen Monat nach Versuchsbeginn – hinten im Bild: Referenz mit Folienabdeckung (Foto: Veronika Schreieder, TFZ)

#### Verwertung der neuartigen Silageabdeckung

Versuche zum anaeroben Abbau des neuartigen Silageabdeckmaterials wurden am Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL-ILT) durchgeführt. Dabei ergaben sich keine Hinweise auf eine Beeinträchtigung des Gasbildungsprozesses. Weiterhin wurde festgestellt, dass sich das vorab drei Monate gealterte Material langsam abbaut und nach ca. 100 Tagen im Durchflussreaktor eine Abbaurrate von durch-

schnittlich 30 Prozent bezogen auf die Trockenmasse aufweist. Es ist daher davon auszugehen, dass teilweise abgebauten Abdeckmaterial über den Gärrest mit ausgetragen wird. In zukünftigen Arbeiten sollte daher untersucht werden, wie sich dieses Material im Gärrest nach der Ausbringung weiter abbaut.

Die aerobe Abbaubarkeit wurde mittels Desintegrationsstest im Komposter geprüft. Der Siebrückstand nach drei Monaten im Komposter, der zu Beginn der Tests 14 Monate alten Prüfkörper, beträgt ca. 30 Prozent bezogen auf die Trockenmasse. Der anaerobe Abbau ist auch hier nach drei Monaten nicht vollständig beendet. Daher sollte das weitere Abbauverhalten in zukünftigen Arbeiten untersucht werden.



▣ Abbildung 3: Entwicklung des Sauerstoffgehalts im Inneren des Freigärhaufens während der ersten 120 Tage

Zur Verwertung des Silageabdeckmaterials als Futtermittel, beigemischt in der Silage, wurde ein Antrag zur Aufnahme des Materials als Einzelfuttermittel durch die Normenkommission Einzelfuttermittel des Zentralausschusses der Deutschen Landwirtschaft gestellt, eine Entscheidung steht gegenwärtig noch aus. Mit Ausnahme des Latex sind alle Bestandteile des Silageabdeckmaterials

### Infobox: Zusammensetzung der Abdeckung

Bei der entwickelten Abdeckung handelt es sich um eine Zwei-Komponenten-Mischung, die im Wesentlichen aus Rapsöl und einer Naturkautschuk-Dispersion besteht. Weitere Bestandteile der Rezeptur sind unter anderem Geliermittel wie Alginat und Pektin, Füllstoffe wie Zellulosefasern und weitere Zusatzstoffe wie Calciumsulfat und Natriumbenzoat. Glycerin wird als Weichmacher zur Erhöhung der Elastizität des Materials zugegeben. Zusammengemischt und aufgespritzt härtet das Material auf dem Silo aus und gewährleistet schnell einen luftdichten Abschluss.

Komponente	Bestandteil	Massenanteil in Prozent FM*	Eigenschaft
A	Rapsöl	40,4	Basis
	Natriumalginat	0,9	Geliermittel
	Cellulosefasern	2,2	Füllstoff
	Calciumsulfat	1,1	Gelierhilfsmittel
B	Latex	18,4	Bindemittel
	Wasser	27,5	Lösemittel
	Natriumbenzoat	1,8	Konservierungsmittel
	Sorbit	2,2	Feuchthaltemittel
	Glycerin	5,5	Weichmacher

\*Frischmasse

bereits als Einzelfuttermittel oder Futtermittelzusatzstoff zugelassen.

#### Wirtschaftlichkeit des neuen Abdeckverfahrens

Eine Wirtschaftlichkeitsabschätzung des gesamten Abdeckverfahrens mit dem neuen Silagematerial auf Basis nachwachsender Rohstoffe ergibt, dass voraussichtlich drei- bis fünffach höhere Kosten im Vergleich zum konventionellen Abdeckverfahren mit drei Lagen Folie entstehen. Die höheren Materialkosten im Vergleich zur Folie können nicht komplett durch Personalkostenreduktion beim weniger arbeitskraftintensiven Aufbringen und die Zeitersparnis durch den Wegfall des Abdeckens einer Folie kompensiert werden. Die Vorteile des neuen Verfahrens hinsichtlich einer geringeren Unfallgefahr, da keine Personen den Silagehaufen zum Abdecken betreten müssen, können nicht wirtschaftlich bewertet werden.

#### Fazit und Ausblick

Insgesamt konnten durch die Arbeiten die Materialeigenschaften der Silageabdeckung im Vergleich zu vorangegangenen Projektphasen wesentlich verbessert und eine gute Ausgangsbasis für eine Produktentwicklung bei Industriepartnern für eine anschließende Vermarktung geschaffen werden. Die Merkmale der optimierten Rezepturen sind zum

Patent angemeldet (ergänzend zu einem bereits erteilten Patent), sodass potenzielle Interessenten die Möglichkeit haben, die Rechte zu erwerben und noch zu tätige Investitionen gesichert sind. In zukünftigen Arbeiten sollten alternative Verwendungsmöglichkeiten für das entwickelte Material untersucht werden.



**VERONIKA SCHREIEDER**  
**DR.-ING. PETER EMBERGER**  
**DR. EDGAR REMMELE**

TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM IM  
KOMPETENZENTRUM FÜR  
NACHWACHSENDE ROHSTOFFE  
veronika.schreieder@tfz.bayern.de  
peter.emberger@tfz.bayern.de  
edgar.remmele@tfz.bayern.de

