

### **Entwicklung und Erprobung eines Prototyps zur großflächigen Ausbringung von Stärkeschaum auf Fahrsilos**

Die ganzjährige stoffliche Nutzung von Biomasse setzt die Erhaltung der Eigenschaften/Qualitäten auch nach der Ernte voraus. Hierfür sind verschiedene Konservierungsverfahren wie das Kühlen, Trocknen und Silieren in der Praxis verbreitet. Die Silierung als natürlich ablaufender, kostengünstiger Prozess unter anaeroben Bedingungen hat sich seit jeher zur Konservierung des Erntegutes für eine hochwertige, ganzjährige Futternutzung oder als Gärsubstrat bewährt und das ohne zusätzlichen Einsatz von Energie. Vereinfacht gilt: je schneller die Silierung erfolgt, desto geringer sind die Verluste und je besser die Verwendungseigenschaften. Die Geschwindigkeit ist nicht nur bei der Ernte, Silo-Befüllung und -Verdichtung notwendig, sondern besonders beim luftdichten Abschluss des Silos mit Hilfe von mindestens drei Lagen Folie und der anschließenden Beschwerung/Befestigung mit Gewichten (Sandsäcke oder Reifen), um so die Windangriffsfläche zu reduzieren und eine schnelle Absenkung des pH-Wertes durch die Milchsäuregärung zu erreichen.

In Schleswig-Holstein ist Futter (Gras, Mais und GPS) im Wert von 370 Mio. Euro in Fahrsilos konserviert. Längst nicht alle diese Silos sind sachgemäß verdichtet und vor allem richtig abgedeckt, was zu erheblichen Verlusten führt. Verluste am Rand und an der Oberfläche von Silos können hier von 10 bis 50 % an Masse und Energie betragen (Thaysen, 2013), was für die weiterführende Nutzung der Silage einen gleichgroßen Mehraufwand an Produktionsfläche für die Biomasse darstellt. Das Aufbringen der bisher üblichen drei Lagen Folie ist eine aufwendige Handarbeit, bindet mehrere Arbeitskräfte und verleitet zu Kompromissen in Qualität und Sorgfalt. Bei der Entnahme des Silofutters bzw. des Gärsubstrates bereiten die Handhabung und Entsorgung der Folie zusätzlichen Aufwand. Also sind Alternativen gefragt. Die Notwendigkeit der Abdeckung von Silos ist unumstritten. Einzig die Frage mit welchem Material dies geschehen muss, kann unterschiedlich beantwortet werden. Der Nutzen von Materialien (Kunststoffen) auf der Grundlage von stärkehaltigem Material gewinnt zunehmend an Interesse, da die Preise für Erdöl und damit auch für klassische Kunststoffe auf Erdölbasis zukünftig weiter steigen werden.

Zunächst sind hier die Produktions- und Verwertungseigenschaften zu nennen, die es ermöglichen, Stärkeprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen als Kunststoffersatz (Baustoffe, Verpackungen, Folien und Einwegartikel) zu verwenden. Der Vorteil wäre hier, dass Produktion und Verwendung des Ausgangsmaterials (stärkehaltiger Produkte aus Mais, Kartoffeln und Getreide) auf der Seite der Landwirte liegen und damit die Wertschöpfung für die Landwirte nachhaltig verbessert werden könnte. Betriebe (Viehhaltung, Milcherzeugung und Biogaserzeugung) mit einer ganzjährigen Nutzung von Biomasse sind auf qualitativ hochwertige Silagen angewiesen. In Schleswig-Holstein sind das derzeit nach den Angaben des Statistikamtes Nord ca. 11.000 Betriebe, die ihre Wertschöpfung aus dem Futterbau betreiben. In Deutschland sind es sogar 168.600 Betriebe mit einem Bedarf an qualitativ hochwertigen Silagen für die Futternutzung. In der Energienutzung steigt der Bedarf von bisher 4.000 Betrieben von Jahr zu Jahr an und dies mit sehr hohem Flächenbedarf für den Anbau der Energiepflanzen. All diese Betriebe haben einen steten hohen Bedarf an Silage. Eine verlustmindernde Silierung hat neben den höheren Energiegehalten auch noch den Vorteil, dass so wenig wie möglich an Fläche benötigt wird. Denn hier entwickelt sich eine Nutzungskonkurrenz zwischen Futter, Energie und Ernährung. Der Bedarf in der Praxis nach dieser neuen Siloabdeckmethode ist sehr hoch da hier eine effiziente Möglichkeit zur Abdeckung mit geringerem Arbeitsaufwand für Abdeckung und Entnahme gefunden wurde.

Die eigenen Versuche und Überlegungen zeigen eine Möglichkeit zur effizienten Siloabdeckung, die sich auch in Praxisversuchen bewährt hat. Einzelne Fragen sind noch im Detail zu klären und bis zur Markteinführung zu optimieren um am Ende ein in den Kosten und Leistungen vergleichbares System zur Siloabdeckung im überbetrieblichen Einsatz zu etablieren. Schlussendlich bleibt die Erwartung, dass die Verwendung von Maisgries zur Siloabdeckung eine zusätzliche Möglichkeit zur weiteren Wertschöpfung in der heimischen Landwirtschaft darstellt.

# ***Abschlussbericht***

## **Entwicklung und Erprobung eines Prototyps zur großflächigen Ausbringung von Stärkeschaum auf Fahrsilos**



Prof. Dr. Yves Reckleben  
Fachhochschule Kiel – Fachbereich Agrarwirtschaft  
Fachgebiet Landtechnik  
Grüner Kamp 11  
24783 Osterrönfeld  
Tel.: 04331-845-118  
Fax: 0431-21068-118  
E-Mail: [yves.reckleben@fh-kiel.de](mailto:yves.reckleben@fh-kiel.de)

## Inhalt

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Stand des Wissens und der eigenen Vorarbeiten</b> .....	<b>3</b>
2.1 Schichtdicke für eine hinreichende Konservierung .....	3
2.2 Verwertbarkeit des erzeugten Schaums .....	4
<b>3. Ergebnisse</b> .....	<b>5</b>
3.1 Silobewegung .....	5
3.2 Verteilung des Schaumes in Fahrsiloanlagen .....	6
3.2.1 Anforderungen .....	7
3.2.2 Lösungsansätze .....	7
3.2.3 Kombination verschiedener Lösungsansätze .....	8
3.2.4 Ausbringtechnik.....	9
3.3 Fahrzeug.....	10
<b>4. Ausblick</b> .....	<b>11</b>

## 1. Einleitung

Die ganzjährige stoffliche Nutzung von Biomasse setzt die Erhaltung der Eigenschaften/Qualitäten auch nach der Ernte voraus. Hierfür sind verschiedene Konservierungsverfahren wie das Kühlen, Trocknen und Silieren in der Praxis verbreitet. Dabei ist das Kühlen nur für begrenzte Lagerzeiträume geeignet und energetisch sehr aufwendig. Das Trocknen ist mit einer Veränderung der Produkteigenschaften (Feuchtegehalt, Volumen und Energie) und z. T. mit einem hohen Energieverbrauch für die Wärmeerzeugung verbunden. Die Silierung als natürlich ablaufender, kostengünstiger Prozess unter anaeroben Bedingungen hat sich seit jeher zur Konservierung des Erntegutes für eine hochwertige, ganzjährige Futternutzung oder als Gärsubstrat bewährt und das ohne zusätzlichen Einsatz von Energie.

Vereinfacht gilt: je schneller die Silierung erfolgt, desto geringer sind die Verluste und je besser die Verwendungseigenschaften. Die Geschwindigkeit ist nicht nur bei der Ernte, Silo-Befüllung und -Verdichtung notwendig, sondern besonders beim luftdichten Abschluss des Silos mit Hilfe von mindestens drei Lagen Folie und der anschließenden Beschwerung/Befestigung mit Gewichten (Sandsäcke oder Reifen), um so die Windangriffsfläche zu reduzieren und eine schnelle Absenkung des pH-Wertes durch die Milchsäuregärung zu erreichen.

Die Verlustminderung am Silo ist gerade bei der steigenden Flächenkonkurrenz (Nahrungs-/Futtermittel oder Energieproduktion) von besonderer Bedeutung, da weniger Fläche für die gleiche Leistung vorgehalten werden muss (vgl. Abbildung 1).

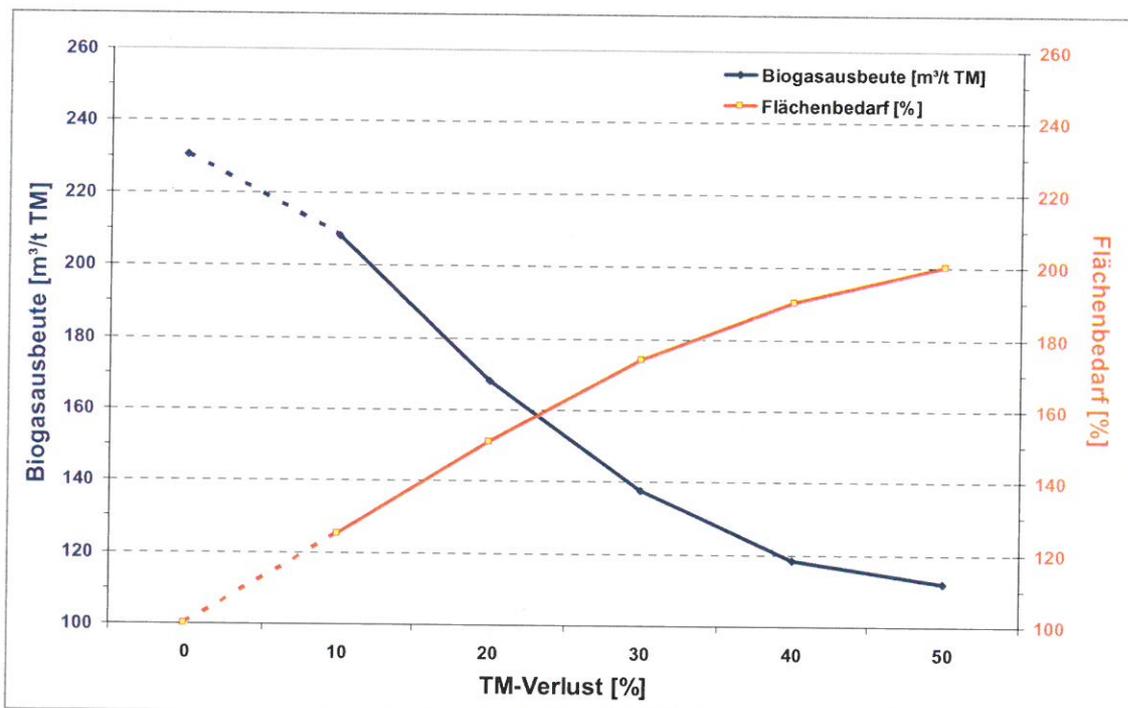


Abbildung 1: Konservierungsverluste im Fahrsilo und ihre Auswirkung auf die Biogasverwertung und den zusätzlichen Flächenbedarf für den Substratanbau

In Schleswig-Holstein ist Futter (Gras, Mais und GPS) im Wert von 370 Mio. Euro in Fahrsilos konserviert. Längst nicht alle diese Silos sind sachgemäß verdichtet und vor allem richtig abgedeckt, was zu erheblichen Verlusten führt. Verluste am Rand und an der Oberfläche von Silos können hier von 10 bis 50 % an Masse und Energie betragen (Thaysen, 2013), was für die weiterführende Nutzung der Silage einen gleichgroßen Mehraufwand an Produktionsfläche für die Biomasse darstellt.

Die sorgfältige Abdeckung bildet jedoch ein schwaches Glied in der Mechanisierungskette (vgl. Abbildung 2).

### Vor- und Nachteile heutiger Siloabdeckungen

---

**Vorteile:**

- eine hohe Elastizität und Stabilität,
- Wasserundurchlässigkeit
- guter Luftabschluss (bei richtiger Abdeckung mit 3 Lagen Folie)
- die Wiederverwendbarkeit einzelner Lagen

**als Nachteile sind bekannt:**

- Kosten für das Material

1. Lage „Saugfolie“	0,10 €/m <sup>2</sup> *e
2. Lage „Silofole“	0,35 €/m <sup>2</sup> *e
3. Lage „Gewebefolie – Nikosil“	1,35 €/m <sup>2</sup> *w
<b>Summe Material</b>	<b>1,80 €/m<sup>2</sup></b>

\*e – einweg; \*w - wiederverwendbar

- hoher Arbeitsaufwand (je 1 Akh/ha) bei Siloab- und Aufdeckung
- Risiko von Beschädigungen durch Tiere (Wild, Vögel) und damit der Bildung von Verlustzonen unter diesen Beschädigungen

Prof. Dr. Yves Rechlagen

**Abbildung 2: Vor- und Nachteile heutiger Siloabdeckungen**

Das Aufbringen der Folie ist eine aufwendige Handarbeit, bindet mehrere Arbeitskräfte und verleitet zu Kompromissen in Qualität und Sorgfalt. Bei der Entnahme des Silofutters bzw. des Gärsubstrates bereiten die Handhabung und Entsorgung der Folie zusätzlichen Aufwand. Also sind Alternativen gefragt. Die Notwendigkeit der Abdeckung von Silos ist unumstritten. Einzig die Frage mit welchem Material dies geschehen muss, kann unterschiedlich beantwortet werden. Der Nutzen von Materialien (Kunststoffen) auf der Grundlage von stärkehaltigem Material gewinnt zunehmend an Interesse, da die Preise für Erdöl und damit auch für klassische Kunststoffe auf Erdölbasis zukünftig weiter steigen werden.

Zunächst sind hier die Produktions- und Verwertungseigenschaften zu nennen, die es ermöglichen, Stärkeprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen als Kunststoffersatz (Baustoffe, Verpackungen, Folien und Einwegartikel) zu verwenden. Der Vorteil wäre hier, dass Produktion und Verwendung des Ausgangsmaterials (stärkehaltiger Produkte aus Mais, Kartoffeln und Getreide) auf der Seite der Landwirte liegen und damit die Wertschöpfung für die Landwirte nachhaltig verbessert werden könnte.

## 2. Stand des Wissens und der eigenen Vorarbeiten

In eigenen Überlegungen und Untersuchungen im Rahmen des Projektes Kompetenzzentrum für Biomassenutzung in Schleswig-Holstein im Teilprojekt 18 (TP18) ergibt sich folgender Weg:

Ein Schaum aus Maisgries wird als Ausgangsmaterial für die Abdeckung auf das Silo aufgebracht. Der Schaum wird mittels Extruder Technik aus stärkehaltigem Material (Mais-Gries) erzeugt und sofort aufgebracht werden. Der Extruder befindet sich auf einem Fahrzeug und kann so innerhalb kurzer Zeit das gesamte Silo mit Schaum bedecken – bei geringem Arbeitskräftebedarf.

### 2.1 Schichtdicke für eine hinreichende Konservierung

Die Schichtdicke des Schaums hat einen wesentlichen Einfluss auf die Stabilität (Luft- und Wasserdichtheit) über einen längeren Zeitraum.

Der Schaum verhält sich in seinen Eigenschaften ähnlich wie „Bauschaum“ (PU-Montageschaum). Er wird nach einigen Sekunden fest und die Poren verschließen sich. Die so entstandene Schicht ist zunächst im Labor auf ihre Festigkeit und Gasdurchlässigkeit untersucht wurden.

Als Zielgröße wurde die Stabilität über mindestens 300 Tage definiert, die die Schaumschicht stabil gegen äußere Einflüsse (Luft, Wasser) sein muss. Als Indikator wurde die pH-Wertabsenkung in der Silage genutzt. Die pH-Wertabsenkung tritt ein sobald Luft in die Silage eindringt und zur Buttersäurebildung führt. Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse der eigenen Laboranalysen.

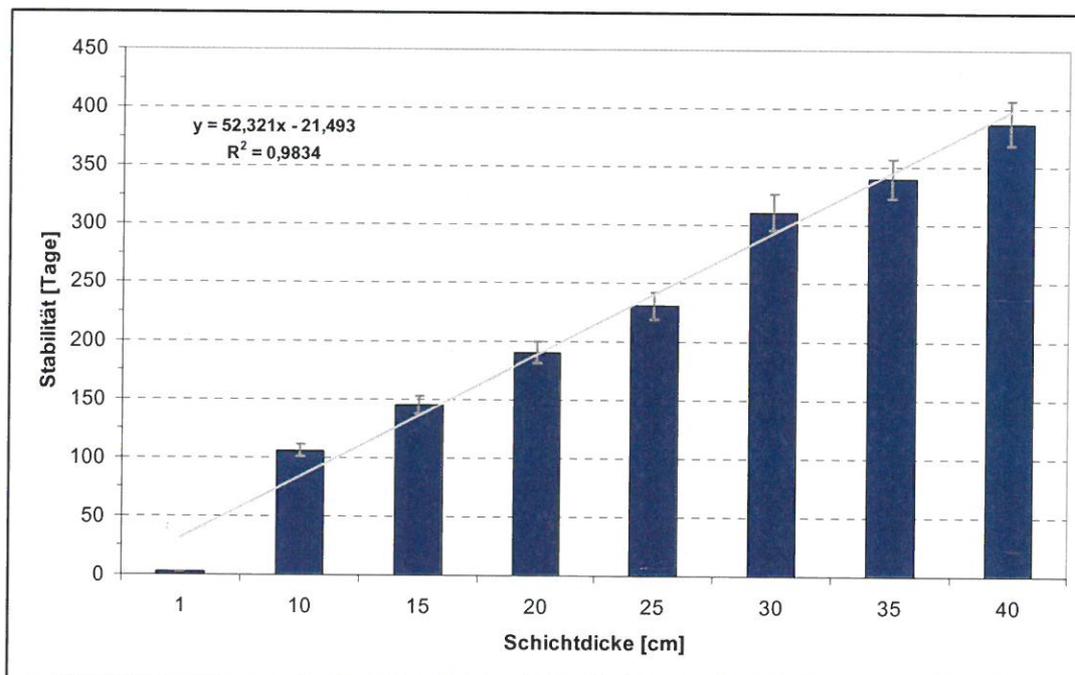


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Schichtdicke des Schaumes und der Stabilität gegenüber Luft-/Wasserdurchlässigkeit im sauren Milieu

Die in Abbildung 3 verwendete lineare Regression zeigt einen positiven Trend im Zusammenhang zwischen Schichtdicke in Zentimeter und Stabilität in Tagen. Das Bestimmtheitsmaß verdeutlicht, dass unter Laborbedingungen mehr als 98 % der Stabilität durch die Schichtdicke beschrieben werden können.

## 2.2 Verwertbarkeit des erzeugten Schaums

Die Verwertung des erzeugten Schaumes, der biologisch abbaubar ist und damit auch als Beimengung im Futter für Milchvieh oder Biogasanlage genutzt kann, wurde ebenfalls nachgegangen. Hierfür wurden in der Praxis Fütterungsversuche beim Jungvieh angelegt und die durchschnittlichen Tageszunahmen bei Standardrationen im Vergleich zu Rationen mit verschiedenen prozentualen Beimischungen des erzeugten Schaumes erprobt.

Die intensive Färsenaufzucht mit einem frühen Erstkalbealter von 24 Monaten bringt viele Vorteile: Einsparungen bei Futterfläche, Stallplätzen und Arbeitszeit. Auch die Leistungsfähigkeit früh abgekalbter Tiere ist bei einem guten Management sehr hoch, wie zahlreiche Untersuchungen belegen. Der Grundstein dafür wird bereits in der Kälberaufzucht gelegt. Die Kälber müssen möglichst schnell zum Wiederkäuer erzogen werden. Voraussetzungen dafür sind u. a. eine relativ kurze Tränkeperiode von maximal 10 Wochen und eine intensive Fütterung.

In der gesamten 90-tägigen Aufzuchtphase lagen die täglichen Zunahmen mit mehr als 770 g in einem sehr guten Bereich (vgl. Tabelle 1). Das durchschnittliche Geburtsgewicht der Kälber lag bei 44 kg.

**Tabelle 1: durchschnittliche Tageszunahmen in der Kälberaufzucht bis zum 90. Tag (eigene Messdaten)**

Zeitraum	1.-60. Tag	61.-90. Tag	61.-90.Tag und Schaumbeimengung
Ø tägliche Zunahme in g*	607	1089	1093

\*Ergebnisse von je 30 Kälbern, durchschnittliches Geburtsgewicht je Tier 44 kg  
GD<sub>5%</sub> - 15,2 g

Die Kälber legten in der Tränkeperiode (1. bis 60. Tag) aufgrund der Tränkemengen von maximal sechs Litern pro Tier und Tag erwartungsgemäß mit 607 g nur verhalten an Gewicht zu. In der anschließenden 30-tägigen Aufzuchtperiode ohne Tränke mit TMR und Schrotfütterung entwickelten sich die Tiere sehr gut weiter und nahmen im Mittel 1089 g pro Tag zu. Bei der Verwendung von 30 % Schaum als Beimengung in der TMR zeigte sich im eigenen Praxisversuch eine leicht höhere Tageszunahme die aber innerhalb der Toleranz von 15,2 g liegt und damit keinen signifikanten Unterschied darstellt. Die hohen Zunahmen in der letzten TMR Phase belegt, dass die Kälber zum vollwertigen Wiederkäuer herangewachsen waren.

Auch als Beimengung für Biogasanlagen wurde der Schaum verwendet, doch aufgrund der großen Mengen von mehr als 18 t FM/Tag, die eine durchschnittliche Biogasanlage (~ 500 kW<sub>el.</sub>) pro Tag an Futter benötigt verringert sich der prozentuale Anteil des Schaumes am Gesamtfutter auf weniger als 5 %. So dass auch hier keine Unterschiede zu erwarten sind.

Diesen Fragen sollte laut Bewilligungsbescheid für das TP18 im Rahmen der Untersuchungen des Kompetenzzentrums für Biomassenutzung in Schleswig-Holstein nur im Labor nachgegangen werden.

### **3. Ergebnisse**

Die Ausbringung des erzeugten Extrudates („Schaums“) erfolgte im Labor manuell und wurde gleich bei der Applikation einer manuellen Qualitätskontrolle durch Sichtprüfung unterzogen. Für einen großflächigen Einsatz auf Fahrsilos waren bislang verschiedene Fragen ungeklärt.

Bislang ungeklärt sind die Silobewegungen (Sinkbewegungen) und deren Umfang in den ersten Wochen nach der Siloerstellung bei verschiedenen Silagen (Mais- und Grassilage). Außerdem ist die Verteiltechnik für die großflächige Applikation und die dafür notwendige Energie bislang nicht untersucht worden. Des Weiteren sind bislang die Silobauformen (mit und ohne Seitenwände, Traunsteiner etc.) für die Gleichmäßigkeit der Schichtdicke zu untersuchen.

#### **3.1 Silobewegung**

Die Bewegung des Silos nach seiner Fertigstellung ist für die Praxis bislang nur von untergeordneter Bedeutung, da die bislang üblichen Folienlagen einer Bewegung des Silos folgen.

Diese Senkbewegungen werden mit zunehmender Silohöhe zunehmend größer, da ein Zusammenhang zwischen Silohöhe und Eigenverdichtung des Materials besteht. Zusätzlich wirken sich Fruchtart und die Leistungsfähigkeit der Häckselkette auf das Ergebnis aus. Da diese Einflussgrößen als Gegeben hingenommen werden müssen, wird dies jedoch nicht weiter betrachtet. Die Siloabdeckung mit Schaum hingegen stellt höhere Anforderungen an die Silostabilität. Für den Schaum aus nachwachsenden Rohstoffen ist diese Bewegung des Silos von großer Bedeutung. Abbildung 4 zeigt exemplarisch die Rahmen des Projektes mittels hochgenauer Messtechnik (Rotationslaser und GPS) bestimmte Silobewegung im Längsverlauf eines Silos.

Für die Schaumschicht wurden im Labor und in Kleinsilos (1 m<sup>3</sup>) mit Seitenwänden maximale Bewegungsmöglichkeiten für den Schaum von maximal 16 cm ermittelt, die sich das Silo absenken darf, ohne dass die Stabilität der Schaumschicht verringert. Erfolgen größere Senkbewegungen im Silo, so ist mit Rissen in der Oberfläche zu rechnen, die die Siloqualität negativ beeinflussen.

In Abbildung 4 ist die Silobewegung zu verschiedenen Terminen im Längsverlauf eines Praxissilos mit Seitenwänden (Holsteiner Silo mit senkrechten 3,5 m hohen Wänden) dargestellt.

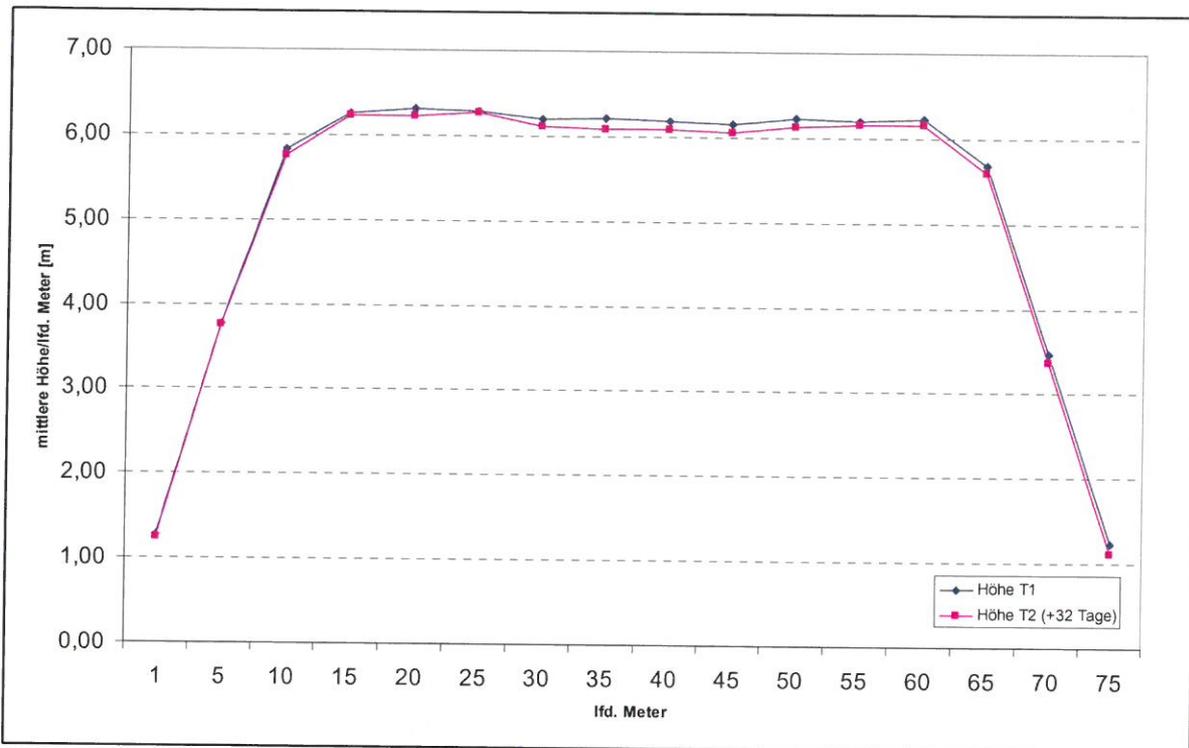


Abbildung 4: Silobewegung entlang des Längsverlaufes bei einem Grassilo mit Seitenwänden

Die in Abbildung 4 veranschaulichte Silobewegung erreicht zu keinem Zeitpunkt und an keine Stelle des Silos die kritischen 16 cm Silobewegung. Allerdings kann dies in der Praxis deutlich abweichen, da nicht alle Silos mit der gleichen Technik erstellt werden. So können zu große Schichtdicken bei der Anlieferung oder zu große Mengen, für die Verteil- und Walztechnik im Silo, nachteilige Verdichtungsergebnisse (Raumgewicht < 250 kg TM/m<sup>3</sup>) bedeuten und die Silagequalität negativ beeinflussen.

Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Untersuchungen zur Entwicklung und Erprobung eines Prototyps zur Ausbringung von Stärkeschaum haben gezeigt, dass speziell die Silobewegung eine erhebliche Einflussgröße auf die Stabilität sein kann. Daher werden im Rahmen des Projektes diesbezüglich weitere Versuche im Labor-/Kleinsilomaßstab durchgeführt.

Nachfolgend sind die wichtigsten Anforderungen und Lösungsansätze dargestellt, die im Rahmen von Expertengesprächen ermittelt wurden.

### 3.2 Verteilung des Schaumes in Fahrsiloanlagen

Neben den Anforderungen, die die Rezeptur an das Applikationsgerät stellt, entstehen weitere Anforderungen durch das Verfahren der Applikation aus Sichtweise des Anwenders. Die nachfolgenden Anforderungen und Lösungsansätze wurden in Expertengesprächen ermittelt und für die Entwicklung des Prototyps genutzt und umgesetzt.

### 3.2.1 Anforderungen

Folgende Anforderungen an die Applikationstechnik wurden aus Expertengesprächen abgeleitet:

- Eignung des Applikationssystems für unterschiedliche Gegebenheiten, die sich aus den baulichen Ausführungen (Länge, Breite, Höhe und Neigung der Wände), der Befüllhöhe, etc. der Siloanlage ergeben
- gleichmäßige Bedeckung der Silage, Ausgleich von Unebenheiten
- Unempfindlichkeit der Applikation gegenüber Witterungseinflüssen (Wind, Regen ...)
- Unempfindlichkeit des Applikationssystems (Gerät mit Peripherie) gegenüber Witterungseinflüssen (Wind, Regen ...)
- unkomplizierte Bereitstellung der Komponenten für das Abdeckmaterial
- unkomplizierte Bereitstellung von Energie und sonstigen erforderlichen Medien (z. B. Druckluft) für das Applikationssystem
- einfache Handhabung des Applikationssystems (Bedienung des Geräts, Zuführung der beiden Komponenten zum Gerät, Verwechslungssicherheit der Komponenten, Wartung, Reinigung und Pflege des Geräts ...)
- Arbeitssicherheit und Anwenderschutz
- geringe Investitions- und Betriebskosten
- geringer Arbeitsaufwand bei der Applikation

### 3.2.2 Lösungsansätze

Folgende Lösungsansätze sind diskutiert und wurden, bezogen auf die Praxis-tauglichkeit, von sehr gut „++“ über mittel „o“ bis sehr schlecht „--“ bewertet:

Auftragung des Materials

- |   |    |
|---|----|
| - Lanze mit einer Düse, manuell geführt                 | o  |
| - Lanze mit einer Düse, über Fernsteuerung geführt      | +  |
| - Balken mit mehreren Düsen, starr                      | o  |
| - Balken mit mehreren Düsen, schwenkbar                 | +  |
| - Balken mit mehreren Düsen, schwenkbar, gezogen        | ++ |
| - Balken mit mehreren Düsen, über Fernsteuerung geführt | +  |
| - sprühen   | o  |
| - schäumen  | ++ |
| - spritzen  | o  |
| - gießen  | o  |

Positionierung des Applikationssystems, bestehend aus Fahrzeug, Vorratsbehälter(n), Fördereinheit, Extruder und Verteiler

- |   |    |
|---|----|
| - Vorratsbehälter für Komponenten stehen neben dem Silo | o  |
| - Vorratsbehälter für Komponenten werden mitgeführt     | +  |
| - Förder- und Extrudereinheit stehen neben dem Silo     | o  |
| - Förder- und Extrudereinheit werden mitgeführt         | +  |
| - Anbaugerät für Zugmaschine                            | o  |
| - Anhängegerät für Zugmaschine auf Rädern               | o  |
| - selbstfahrende Maschine                               | ++ |

#### Ausführung der Vorratsbehälter

- IBC-Container +
- portables, zylindrisches Silo (vgl. Mörtelsilo) +
- Tankwagen ++
- One-Way-Box 0

#### Energiebereitstellung

- mechanisch +
- hydraulisch +
- elektrisch +
- pneumatisch -
- Traktor (mechanisch, hydraulisch, elektrisch, pneumatisch) ++
- Generator +
- öffentliches Stromnetz 0
- Kompressor -

### 3.2.3 Kombination verschiedener Lösungsansätze

In nachfolgender Tabelle ist eine Auswahl an Kombinationen verschiedener Lösungsansätze beim Abdecken eines Silos zusammengefasst dargestellt und jeweils von „++“ bis „--“ bewertet. Hierbei wurden die Praxistauglichkeit, die Realisierbarkeit, die entstehenden Kosten sowie die Flexibilität des jeweiligen Verfahrens bewertet.

**Tabelle 2: Kombinationsmöglichkeiten verschiedener Lösungsansätze**

Vorratsbehälter	Position Applikationssystem	Auftragung	Energiebereitstellung	Bewertung
IBC-Container	neben Fahrsilo	Lanze	Traktor	0
IBC-Container	neben Fahrsilo	Balken	Stromnetz	-
IBC-Container	mitgeführt als Anhängegerät	Lanze	Traktor	+
IBC-Container	mitgeführt als Anhängegerät	Balken	Traktor	+
portables zylindrisches Silo	mitgeführt als Anhängegerät	Balken	Traktor	+
Tankwagen	mitgeführt als Anhängegerät	Balken	Traktor	+
Tankwagen	selbstfahrende Maschine (LKW)	Balken	Maschine	++

Ein gezogenes Anhängegerät scheint geeignet, da die Vorratsbehälter mitgeführt werden können und lange Förderwege dadurch entfallen. Da sich Flachsilos meist nicht in der Nähe des Stromnetzes befinden, scheint eine Stromversorgung über das Stromnetz nicht praktikabel. Die Bereitstellung von

Energie über die Zapfwelle ist in diesem Falle am geeignetsten. Sowohl Druckluft als auch Strom kann über den Traktor erzeugt werden. Das Applikationsgerät könnte somit weitgehend autark betrieben werden.

Eine selbstfahrende Maschine ist am besten geeignet, da diese eine sehr hohe Schlagkraft ermöglicht, allerdings wird diese Variante auch die höchsten Kosten für das Applikationsgerät verursachen. Hierbei müssen die grundsätzlichen Fragen abgeklärt werden, ab wann ein Selbstfahrer rentabel ist und wann ein Anhängengerät sinnvoller ist. Diese Entscheidungen kommen im landwirtschaftlichen Betrieb häufig vor und sind letztendlich eine Frage der Auslastung.

Der eigene Prototyp soll im Versuch und später in der Praxis überbetrieblich eingesetzt werden und von Lohnunternehmen in Dienstleistung angeboten und ausgelastet werden.

### **3.2.4 Ausbringtechnik**

Als Ausbringtechnik wurden für das extrudierte Material zum einen ein Feinputzspritzgerät und zum anderen eine Schaumdüse für die großflächige Applikation. Zusätzlich wurde ein neuer Extruderkopf gemeinsam mit dem Fachbereich Maschinenbau der FH-Kiel entwickelt der für die Labor und Kleinsiloversuche geeignet ist.

Das Feinputzspritzgerät wurde bei den Versuchen an Mais bzw. Gras eingesetzt. Das Aufbringen des Abdeckmaterials erfolgt in einem Schritt, da bereits beim einmaligen Besprühen die Oberfläche weitestgehend abgedeckt wird.

Bei der Beurteilung der Auswirkungen der Geräteeinstellungen auf das Spritzergebnis wurde festgestellt, dass sich ein höherer Flüssigkeitsdruck nicht auf das Abdeckergebnis auswirkt.

Aus den Versuchen konnten folgende Vorteile abgeleitet werden:

- Bei maximaler Förderleistung von jeweils 15 l/min ist es möglich, in Summe bis zu 30 l/min zu fördern, was eine Abdeckung von ca. 3 m<sup>2</sup>/Minute ermöglicht.
- Da die Pumpen sowie das Spritzgerät für Putze ausgelegt sind, eignen sie sich sehr gut für die Förderung und die Ausbringung der Abdeckmasse. Bei den Untersuchungen wurden ungesiebte Komponenten eingesetzt, trotzdem traten keinerlei Verstopfungen aufgrund von Klumpen im Material auf. Diese Robustheit scheint für die Anwendung vorteilhaft zu sein.
- Das Mischergebnis des Applikationsgerätes ist zufriedenstellend. Hier scheinen der „mittlere“ Statikmischer am besten geeignet.
- Der spezifische Energieverbrauch des Elektromotors war geringer als bei den pneumatisch angetriebenen Kolbenpumpen.
- Die zwei Pumpen und das Feinputzspritzgerät sind günstiger in der Anschaffung als ein Zwei-Komponenten-Lackiergerät.

Das eingesetzte Applikationssystem stellte eine Eigenentwicklung auf Basis marktverfügbarer Komponenten dar. Diesbezüglich muss noch Entwicklungsarbeit, beispielsweise im Bereich der automatischen Einstellung der Schichtdicke geleistet werden, die im Rahmen eines Folgeprojektes sichergestellt werden soll. Die Schaumbildung wird beeinflusst durch die Materialdurchflussmengen und die Luftmenge sowie durch die Reaktionszeit.

Bei der Verwendung der Schaumdüse konnte festgestellt werden, dass sich die Austrittslöcher langsam verstopfen, was auf eine ungleichmäßige Materialzusammensetzung zurückzuführen war.

### 3.3 Fahrzeug

Die in Kapitel 3.2.3 diskutierte selbstfahrende Fahrzeugvariante für den Überbetrieblichen Einsatz erscheint als die beste Lösung für die Fragestellung. Als maximale Arbeitsbreite für die zu verwendende Kurzschneckenextruderstechnik bei einer anzustrebenden Schichtdicke von 30 bis 35 cm haben, zeichnen sich in Simulationsmodellen für die Ausbringtechnik etwa 12 m ab. Da das Material schnell erhärtet können so mit einer Hin- und Rückfahrt 24 m Arbeitsbreite erreicht werden. Der im Rahmen dieses Projektes entwickelte Prototyp wurde als Hakenliftvariante konstruiert, so dass verschiedene Trägerfahrzeuge (LKW) genutzt werden können (vgl. Abbildung 5).

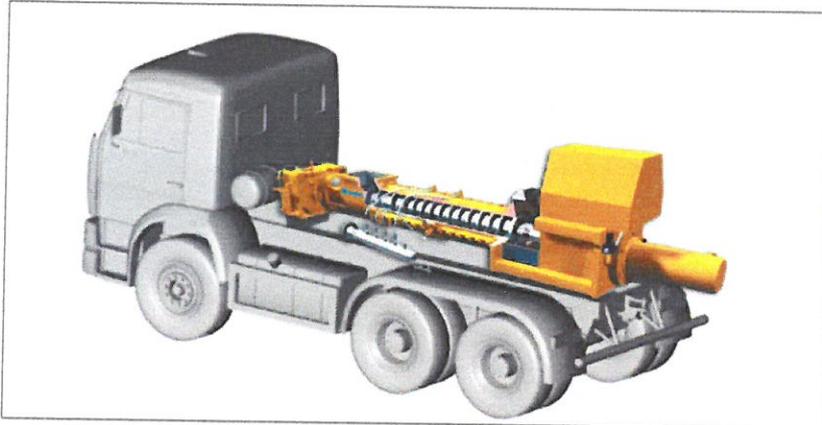


**Abbildung 5:** Prototyp zur Applikation von Stärkeschaum auf Fahrsilos als Hakenliftvariante zur Verwendung mit unterschiedlichen Trägerfahrzeugen (LKW) im Herbst 2015

Die in Abbildung 5 abgebildete Version des entwickelten Prototyps zeigt die Ausführung zum Herbst 2011, die im Mais eingesetzt wurde. Der zu konservierende Mais war kurz gehäckselt und hatte mittlere Trockenmassen von 33 %. So wurden im Rahmen der Versuche 3 Silos mit ca. 15.000 Tonnen Mais konserviert und über den gesamten Winter im Intervall von 2 Wochen begutachtet und bonitiert/beprob. Die Maisernte in 2014/15 war relativ schwierig da es oft und stark geregnet hat. Die Temperaturen waren über längere Zeit  $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  was sich für die Technik nicht nachteilig auswirkte, wie sich später herausstellen sollte.

In der Grasernte im Frühjahr 2016, vor allem beim ersten Schnitt, offenbarten sich mit der entwickelten Ausbringtechnik kleine Probleme. So konnte vor allem bei Silos ohne Seitenwände, wie sie bei Gras oftmals verwendet werden, eine gleichmäßige Schichtdicke des Schaums nicht erreicht werden. Dies ist auf geringere Trockenmassegehalte beim Gras und auf ein Problem beim Kurzschneckenextruder zurückzuführen. Außerdem hat sich beim Gras herausgestellt, dass die Abbildung 5 dargestellte Variante der Ausbringtechnik zu schwach motorisiert war um die Grassilos mit niedrigeren Trockenmassen als im Mais zu überfahren – ohne sich festzufahren.

Daher wurden mit den Projektpartnern bis zum dritten Schnitt im Gras einige Modifikationen am Prototypen durchgeführt. In Abbildung 6 ist der weiterentwickelte Prototyp als CAD Zeichnung dargestellt.



**Abbildung 6:** weiterentwickelter Prototyp als Hakenliftvariante zur Verwendung mit unterschiedlichen Trägerfahrzeugen (LKW) im Sommer 2014

Die Modifikationen am Prototypen (vgl. Abbildung 6) sind eine zusätzliche Einhausung des Extruders um die Außentempereinflüsse zu reduzieren. Der Extruder wurde mit einer längeren Schnecke versehen um mehr mechanische Energie auf den Stärkegries aufzubauen und damit die thermische Energie als Reserve in den kälteren Herbstmonaten zu haben und ein leistungsfähigerer Träger-LKW mit zwei Antriebsachsen, die auch im Gras ein selbstständiges Arbeiten zu ermöglichen.

#### **4. Ausblick**

Betriebe (Viehhaltung, Milcherzeugung und Biogaserzeugung) mit einer ganzjährigen Nutzung von Biomasse sind auf qualitativ hochwertige Silagen angewiesen. In Schleswig-Holstein sind das derzeit nach den Angaben des Statistikamtes Nord ca. 11.000 Betriebe, die ihre Wertschöpfung aus dem Futterbau betreiben.

In Deutschland sind es sogar 168.600 Betriebe mit einem Bedarf an qualitativ hochwertigen Silagen für die Futternutzung. In der Energienutzung steigt der Bedarf von bisher 4.000 Betrieben von Jahr zu Jahr an und dies mit sehr hohem Flächenbedarf für den Anbau der Energiepflanzen. All diese Betriebe haben einen steten hohen Bedarf an Silage. Eine verlustmindernde Silierung hat neben den höheren Energiegehalten auch noch den Vorteil, dass so wenig wie möglich an Fläche benötigt wird (vgl. Abbildung 1). Denn hier entwickelt sich eine Nutzungskonkurrenz zwischen Futter, Energie und Ernährung. Der Bedarf in der Praxis nach dieser neuen Siloabdeckmethode ist sehr hoch da hier eine effiziente Möglichkeit zur Abdeckung mit geringerem Arbeitsaufwand für Abdeckung und Entnahme gefunden wurde.

Die eigenen Versuche und Überlegungen zeigen eine Möglichkeit zur effizienten Siloabdeckung, die sich auch in Praxisversuchen bewährt hat. Einzelne Fragen sind noch im Detail zu klären und bis zur Markteinführung zu optimieren um am Ende ein in den Kosten und Leistungen vergleichbares System zur Siloabdeckung im überbetrieblichen Einsatz zu etablieren. Schlussendlich bleibt die Erwartung, dass die Verwendung von Maisgries zur Siloabdeckung eine zusätzliche Möglichkeit zur weiteren Wertschöpfung in der heimischen Landwirtschaft darstellt.