



Berichte aus dem TFZ

Entwicklung einer Siloabdeckung aus Nachwachsenden Rohstoffen

Projektpartner:



Entwicklung einer Siloabdeckung aus Nachwachsenden Rohstoffen



Entwicklung einer Siloabdeckung aus Nachwachsenden Rohstoffen

Anne Uhl
Sabine Weinfurtner
Sylvia Brückner
Anna-Theresa Weinert
Georg Rößl
Dr. Thomas Ettle
Thomas Gassner
Dr. Edgar Remmele
Dr. Olaf Röder
Dr. Johannes Ostertag
Dr. Hubert Spiekers

Projektpartner:

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Grub
Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik



Berichte aus dem TFZ 27

Straubing - Grub - Dresden, Juni 2011

Projekttitel: Entwicklung einer Siloabdeckung aus Nachwachsenden Rohstoffen

Projektleiter: Dr. Edgar Remmele – Gesamtvorhaben
Dr. Hubert Spiekers – Teilvorhaben LfL ITE
Dr. Olaf Röder – Teilvorhaben FEP

Autoren: Anne Uhl (TFZ)
Sabine Weinfurter (LfL ITE)
Sylvia Brückner (FEP)
Anna-Theresa Weinert (FEP)
Georg Rößl (LfL ITE)
Dr. Thomas Ertle (LfL ITE)
Thomas Gassner (TFZ)
Dr. Edgar Remmele (TFZ)
Dr. Olaf Röder (FEP)
Dr. Johannes Ostertag (LfL ITE)
Dr. Hubert Spiekers (LfL ITE)

Mitarbeiter: Jakob Meyer (TFZ), Sonja Plankl (TFZ)

In Zusammenarbeit mit: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft – Institut für Tierernährung und
Futterwirtschaft (LfL ITE)
Fraunhofer Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik (FEP)

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Förderkennzeichen N/09/04 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

© 2011

Technologie- und Förderzentrum (TFZ)
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Straubing

Alle Rechte vorbehalten.

Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder archiviert werden.

ISSN: 1614-1008
Hrsg.: Technologie- und Förderzentrum (TFZ)
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe
Schulgasse 18, 94315 Straubing
E-Mail: poststelle@tfz.bayern.de
Internet: www.tfz.bayern.de

Redaktion: Anne Uhl, Dr. Edgar Remmele
Verlag: Technologie- und Förderzentrum
Erscheinungsort: Straubing
Erscheinungsjahr: 2011
Gestaltung: Anne Uhl

Fotonachweis: Technologie- und Förderzentrum (TFZ):
Seiten 36, 38, 41, 55, 63, 68, 69, 73, 75, 117, 118, 119, 120, 134, 134
Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft (ITE):
Seiten 39, 45, 46, 47, 56, 90, 91, 92, 93, 94, 121, 122, 123, 130
Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik (FEP):
Seiten 106, 106, 110, 112
FluidSystems GmbH & Co. KG: Seite 35

Danksagung

Großer Dank gilt dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die Förderung des Vorhabens, insbesondere Herrn MR Dr. Rupert Schäfer und seinen Mitarbeitern für das entgegengebrachte Vertrauen und die gute Zusammenarbeit.

Danken möchten wir Herrn Roman Sarreiter, ehemaliger Leitender Landwirtschaftsdirektor des Lehr-, Versuchs- und Fachzentrums für Milchvieh- und Rinderhaltung, Achselchwang, der die Idee zur Entwicklung einer Siloabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen eingebracht hat. Ebenfalls gilt ein großer Dank Herrn Dr. Hauke Heuwinkel vom Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT), Freising, für die Durchführung der Vergärungsversuche. Herrn Dr. Andreas Kirsch von der Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. möchten wir für die positiven Anregungen bezüglich Kompostierung danken. Außerdem bedanken wir uns bei Herrn Wasmeier und Herrn Wittmann vom Zweckverband Abfallwirtschaft Straubing Stadt und Land (ZAW-SR) für die Möglichkeit der Durchführung von Kompostversuchen.

Besonders danken wir der Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen (AQU) des Instituts für Tierernährung und Futterwirtschaft (ITE) in Grub für die Untersuchungen der Silagequalität.

Weiterer Dank gebührt Herrn Lorenz Goldammer von der Firma STRIKO Verfahrenstechnik W. Strikfeldt & Koch GmbH, der uns unentgeltlich Versuchsmischer und mehrere Komponenten zum Versuchsaufbau zur Verfügung gestellt hat. Bei Herrn Mario Schlegel von der Firma Putzmeister Mörtelmaschinen GmbH und bei Herrn Wolfgang Feck von der Firma FluidSystems GmbH Co. KG möchten wir uns für die technische Unterstützung bei der Durchführung der Applikationsversuche bedanken. Unser Dank gilt auch der Firma Grace GmbH Co. KG, Worms, sowie Walhalla Kalk GmbH und Co. KG, Regensburg, die uns jeweils Einzelkomponenten der Abdeckung kostenfrei geliefert haben. Ebenfalls möchten wir uns bei folgenden Naturlatex-Händlern bedanken, die uns Preisangaben und wichtige Informationen zu Naturlatex geliefert haben: Weber & Schaeer GmbH & Co. KG, Centrotrade Deutschland GmbH, Global Rubber Company, BergK GmbH und ProChemie Limited.

Die Autoren

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	7
Abbildungsverzeichnis	10
Tabellenverzeichnis.....	13
Abkürzungsverzeichnis	15
1 Einführung und Problemstellung	17
2 Zielsetzung.....	19
3 Stand des Wissens.....	21
3.1 Futterkonservierung durch Silierung	21
3.2 Beurteilung der Silagequalität	22
3.3 Ergebnisse aus der ersten Projektphase	22
3.4 Verfahren zur Mischung und Applikation	24
3.4.1 Verfahren zur Aufbringung von Lacken	24
3.4.2 Nassspritzverfahren bei der Spritzbeton-Aufbringung	24
3.4.3 Herstellverfahren von Schäumen - Blasendispersion	26
3.5 Rechtliche Rahmenbedingungen	27
3.5.1 Futtermittelrecht	27
3.5.2 REACH	27
4 Material und Methodik	29
4.1 Herstellung des Abdeckmaterials im Labormaßstab	29
4.1.1 Optimierung der Rezeptur.....	30
4.1.2 Eigenschaften der Rezepturbestandteile	32
4.2 Applikationsgeräte.....	34
4.2.1 Anforderungen aus der landwirtschaftlichen Praxis	34
4.2.2 Lackiergerät - Xtreme™ Mix	34
4.2.3 Förderpumpe für Putze – Strobot 406 S	35
4.2.3.1 Förderpumpen mit Spritzgerät	36
4.2.3.2 Förderpumpen mit Schaumdüse	38
4.3 Silierversuche	39
4.3.1 Laborsiloversuche.....	39
4.3.2 Versuchssiloanlage I.....	41
4.3.3 Versuchssiloanlage II.....	44
4.3.4 Probenahme	48
4.3.5 Analytik	50
4.4 Beurteilung der Silageabdeckung	51
4.4.1 Chemische und physikalische Eigenschaften	51
4.4.2 Spritzversuche	53

4.4.3	Versuchssiloanlage I	55
4.4.4	Versuchssiloanlage II	55
4.4.5	Mykologische Untersuchung der Abdeckung	56
4.4.6	Futtermittelrechtliche Untersuchung der Komponenten	57
4.4.7	Verhalten in Biogasanlagen – anaerober Abbau	57
4.4.8	Kompostierungseigenschaften – aerober Abbau	57
4.5	Gefährdungs- und Risikoanalyse	58
4.6	Ökonomische Betrachtung	59
5	Ergebnisse und Diskussion	63
5.1	Herstellung des Abdeckmaterials im Labormaßstab	63
5.1.1	Optimierung der Rezeptur	64
5.1.2	Lagerfähigkeit der Komponenten	67
5.1.3	Latexkoagulate	69
5.1.4	Eigenheiten bestimmter Versuchschargen der Materialkomponenten	70
5.2	Applikationsgeräte	70
5.2.1	Praxis-Anforderungen an das Verfahren und deren Lösungsansätze	70
5.2.2	Lackiergerät – Xtreme™ Mix	73
5.2.3	Förderpumpe – Strobot 406 S	74
5.2.3.1	Feinputzspritzgerät	75
5.2.3.2	Schaumdüse	76
5.2.4	Zusammenfassung	76
5.3	Siliversuche und Silagequalität	77
5.3.1	Laborsiloversuche	77
5.3.2	Versuchssiloanlage I	78
5.3.2.1	Erstes Versuchsjahr – Maissilage	78
5.3.2.2	Zweites Versuchsjahr – Grassilage	82
5.3.2.3	Zweites Versuchsjahr – Maissilage	85
5.3.3	Versuchssiloanlage II	90
5.3.3.1	Erstes Versuchsjahr	90
5.3.3.2	Zweites Versuchsjahr	98
5.4	Beurteilung der Siloabdeckung	102
5.4.1	Chemische und physikalische Eigenschaften	102
5.4.2	Zusatz von Struktol	109
5.4.3	Zusatz von Fasern	109
5.4.4	Zusatz von Silikagel	110
5.4.5	Abstreuen der Oberfläche	112
5.4.6	Umweltsimulation	112
5.4.7	Beobachtungen aus den Praxisversuchen	113
5.4.7.1	Spritzversuche	113
5.4.7.2	Versuchssiloanlage I	116
5.4.7.3	Versuchssiloanlage II	120
5.4.8	Ernährungsphysiologische Prüfung	123
5.4.9	Eignung als Futtermittel und gesetzliche Anforderungen	124
5.4.9.1	Eignung als Futtermittel und Futtermittelrecht	124
5.4.9.2	Zinkgehalt Versuchssiloanlage I (VJ-2)	127
5.4.9.3	Zinkgehalt Versuchssiloanlage II (VJ-2)	128
5.4.9.4	Berechneter Zinkgehalt (Erwartungswert) und fiktiver Zinkgehalt	130
5.4.9.5	Düngeverordnung (DüV)	131

5.4.9.6	Düngemittelverordnung (DüMV)	132
5.4.10	Verhalten in Biogasanlagen – anaerober Abbau	132
5.4.11	Kompostierungseigenschaften – aerober Abbau	133
5.4.12	Entsorgung von Resten (Komponenten A und B sowie Abdeckmaterial).....	135
5.5	REACH	135
5.6	Gefährdungs- und Risikoanalyse	136
5.7	Ökonomische Betrachtung	139
5.7.1	Kostenabschätzung des Materials	139
5.7.2	Kostenvergleich mit anderen Siloabdeckverfahren	141
5.8	Bewertung der Chancen zur Markteinführung	144
5.9	Diskussion	147
	Zusammenfassung	153
	Abstract	157
	Quellenverzeichnis	159
	Anhang	163

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Nassspritzverfahren der Betonaufbringung [21].....	25
Abbildung 2:	Spritzdüse der Spritzbetonaufbringung [21].....	25
Abbildung 3:	Hydraulisch bewegliche und faltbare Betonpumpe [21]	25
Abbildung 4:	Gezielter Eintrag eines vorgegebenen Gasvolumens in ein gegebenes Flüssigkeitsvolumen [31].....	26
Abbildung 5:	Fließschema der Vorgehensweise.....	29
Abbildung 6:	Xtreme™ Mix-Gerät (Quelle: FluidSystems GmbH & Co. KG).....	35
Abbildung 7:	Förderpumpe Strobot 406 S	36
Abbildung 8:	Schematischer Aufbau der Applikationstechnik - Versuche mit dem Feinputzspritzgerät	37
Abbildung 9:	Statische Mischer – helicale Geometrie.....	38
Abbildung 10:	Feinputzspritzgerät	38
Abbildung 11:	Versuchsgläservarianten	39
Abbildung 12:	Verdichten eines Flachsilos mit einer Walze WACKER NEUSON RT 82-SC (links); Ebenen des abgestochenen, verdichteten Mais- Häckselguts (rechts).....	41
Abbildung 13:	Versuchssiloanlage II im zweiten Versuchsjahr (VJ-2): links neuartige Abdeckvariante, rechts konventionelle Folienabdeckung.....	45
Abbildung 14:	Aufgedecktes Referenzsilo Versuchsanlage 2, VJ-1	46
Abbildung 15:	Siloblockschneider im Heckanbau	47
Abbildung 16:	Fräsmischwagen	47
Abbildung 17:	Probenahmestellen in der Versuchssiloanlage II	49
Abbildung 18:	Penetrometermessung – Beispiel: Herausbewegen des Prüfkörper aus der Probe	55
Abbildung 19:	Mit Futterkalk bestreutes und mit Netzkonstruktion überspanntes Versuchssilo im Versuchsjahr 2.....	56
Abbildung 20:	Komponente A (Öl-Feststoff-Gemisch) und deren Bestandteile	63
Abbildung 21:	Komponente B (Wasser-Latex-Gemisch) und deren Bestandteile	63
Abbildung 22:	Gelierzzeit in Abhängigkeit zweier Kaliumhydroxid-Konzentrationen pro 1 kg Abdeckmaterial (jeweils n = 5).....	65
Abbildung 23:	Gelierzzeit in Abhängigkeit der KOH-Konzentration pro 1 kg Abdeckmaterial.....	65
Abbildung 24:	Mischung einer Rapsölkomponente, gealtert (16 Monate alt) mit einer Latexkomponente, frisch.....	68

Abbildung 25: Mischung einer Rapsölkomponente, frisch mit einer Latexkomponente, gealtert (16 Monate alt)	68
Abbildung 26: Latex-Koagulat entnommen aus der Membranpumpe (vorne) und aus der Exzentrerschneckenpumpe (hinten)	69
Abbildung 27: Versuchssiloplanlage beim ersten Benetzen der Silageoberfläche (links) und beim Glätten von Unebenheiten (rechts).....	73
Abbildung 28: Auftragen von Abdeckmaterial mit dem Feinputzspritzgerät	75
Abbildung 29: Zustand des Versuchssilos (VJ-1) direkt vor der Entnahme der Silage - auffällig starke Bedeckung mit Laub.....	90
Abbildung 30: Nachgezeichneter Schnittverlauf, herausgetrennter Siloblock samt Abdeckmaterial und Messerzustand nach Abschluss des Vorgangs.....	91
Abbildung 31: Fräsbild, Messerzustand, abgefräste Abdeckung vor Mischung und Anschnittfläche Silostock nach Fräsvorgang im Juni 2010	92
Abbildung 32: Greifschaufel „auf Zug“	93
Abbildung 33: Greifschaufel „auf Schub“	93
Abbildung 34: Anhaftungen des Abdeckmaterials an der Greifschaufel, abgeschobenes Teilstück.....	94
Abbildung 35: Gelierzeit in Abhängigkeit des Kaliumhydroxid-Volumenanteils pro 1 kg Abdeckmaterial (n= 5)	103
Abbildung 36: Masseverlust der hergestellten Sprühapplikationsproben (n=20)	104
Abbildung 37: Änderungen der Masse der Probekörper nach Lagerung in Wasser im zeitlichen Verlauf (n=3).....	105
Abbildung 38: Proben nach 24 h Bestrahlung mit UV-Licht.....	106
Abbildung 39: Proben unter UV-Licht nach 5 Wochen Bestrahlung	106
Abbildung 40: Spannungs-Dehnungs-Diagramm des Abdeckmaterials (21 °C, 6 Wochen lang gelagert)	108
Abbildung 41: F-max und F-Bruch des Abdeckmaterials in Abhängigkeit der Lagerungseigenschaften (n=3).....	108
Abbildung 42: Versuch zum Einmischen von Fasern – ganz rechts: Basismischung, links: drei Varianten mit ARBOCEL-Fasern (JRS).....	110
Abbildung 43: Mit Futterkalk abgestreute Probe der Vorzugsrezeptur	112
Abbildung 44: Kraftzunahme pro Millimeter Eindringtiefe bei gespritzten Proben	115
Abbildung 45: Kraftabnahme pro Millimeter Aushub bei gespritzten Proben.....	115
Abbildung 46: Frisch mit dem Abdeckmaterial verschlossenes Versuchssilo (Variante mit Rückwand, VJ-1).....	117
Abbildung 47: Zustand des Abdeckmaterials nach Bewitterung - Ölaustritt (nach einer Woche) (links); Rinnsale aus Regenwasser mit ausgewaschenem Material (rechts).....	117

Abbildung 48: Schimmelbildung in zeitlicher Abfolge Versuchssiloanlage I (VJ-1)..... 118

Abbildung 49: Erste Risse auf der Abdeckungsoberfläche (3. Woche, VJ-2) 119

Abbildung 50: Beispiel für die Spaltenbildung am Wandanschluss in zeitlicher
Abfolge im Versuchszeitraum 2009/10 (VJ-1)..... 120

Abbildung 51: Von Laub befreiter Ausschnitt des Abdeckmaterials und erkennbare
Verrottung auf der Oberfläche der Versuchssiloanlage II im VJ-2 121

Abbildung 52: Randablösung, verrottete Maissilage und Pilzmycel unter der
abbaubaren Abdeckung 122

Abbildung 53: Veränderung des Oberflächenzustands im zeitlichen Verlauf
(06.10.2010, 09.11.2010, 19.01.2011)..... 122

Abbildung 54: Rhodotorula-Kolonie (links), div. Schwärzepilze neben
Probenausschnitt (rechts)..... 123

Abbildung 55: Linksseitige horizontale Probenahmestellen am Versuchssilo in der
Versuchssiloanlage II 130

Abbildung 56: Abbau der Siloabdeckung im Gärbehälter 133

Abbildung 57: Reste von Abdeckmaterial nach der Kompostierung (Biomüll-
Substrat)..... 134

Abbildung 58: Reste von Abdeckmaterial nach der Kompostierung (Grüngutlinie)..... 134

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vorzugsrezeptur ohne Fasern.....	32
Tabelle 2:	Vorzugsrezeptur mit Fasern	33
Tabelle 3:	Varianten der Flachsilos der Versuchssiloanlage I (Versuchsjahr 1).....	43
Tabelle 4:	Varianten der Flachsilos der Versuchssiloanlage I (Versuchsjahr 2).....	44
Tabelle 5:	Bedingungen der Probenlagerung zur Simulation der natürlichen Umwelt	53
Tabelle 6:	Varianten der Spritzversuche mit dem Feinputzspritzgerät	54
Tabelle 7:	Bewertungsstufen der Wahrscheinlichkeit und des Schadensausmaßes für die Risikoabschätzung von Gefahren [3]	59
Tabelle 8:	Aufschäumversuche mit Aluminiumpulver	66
Tabelle 9:	Aufschäumversuche mit Aluminiumpulver und Wärmezufuhr.....	67
Tabelle 10:	Kombinationen verschiedener Lösungsvorschläge für das Applikationssystem	72
Tabelle 11:	Teilschritte beim Auftragen des Abdeckmaterials mit dem Gerät Xtreme™ Mix	73
Tabelle 12:	Zusammenfassende Bewertung der getesteten Applikationsgeräte	77
Tabelle 13:	Zusammenstellung Gärparameter Versuchssiloanlage I (VJ-1)	80
Tabelle 14:	Zusammenstellung Futterwert Versuchssiloanlage I (VJ-1).....	81
Tabelle 15:	Gärparameter der Grassilagen VJ-2	83
Tabelle 16:	Rohnährstoff- und Energiegehalte der Grassilagen VJ-2	84
Tabelle 17:	Gärparameter der Versuchssiloanlage I – Maissilage (VJ-2).....	86
Tabelle 18:	Futterwert der Versuchssiloanlage I – Maissilage (VJ-2).....	88
Tabelle 19:	Gärparameter der Versuchssilos im ersten Versuchsjahr - Beprobung nach 275 Tagen	95
Tabelle 20:	Inhaltsstoffe und Energiebewertung der Versuchssilos im ersten Versuchsjahr - Beprobung nach 275 Tagen	97
Tabelle 21:	Gärparameter der Versuchssilos im zweiten Jahr - Beprobung nach 138 Tagen	99
Tabelle 22:	Inhaltsstoffe und Energiebewertung der Versuchssilos im zweiten Jahr - Beprobung nach 138 Tagen	101
Tabelle 23:	Gelierzzeit in Abhängigkeit des Volumenanteils der 20%igen KOH-Konzentration (n=10).....	102
Tabelle 24:	Masseänderung des Abdeckmaterials nach Bestrahlung mit UV-Licht	107

Tabelle 25:	Umweltsimulation - Probekörper einer Rezepturvariante bei der Natriumalginat zu 50 % durch Silikagel substituiert wurde (Umweltsimulation)	111
Tabelle 26:	Zustand der wichtigsten Rezepturvarianten nach Simulation von Umwelteinflüssen im Labormaßstab	113
Tabelle 27:	Einordnung der Rezepturbestandteile	125
Tabelle 28:	Zinkgehalte der Kleinsiloanlagen der Versuchsanlage I im Ausgangsmaterial und zu Versuchsende (VJ-2)	128
Tabelle 29:	Zinkgehalte der Maissilage aus der Versuchssiloanlage II zur Probenahme am 15.02.2011 (VJ-2)	129
Tabelle 30:	Vergleich der Gefährdungen bei Anwendung eines konventionellen und eines neuartigen Abdeckverfahrens nach [3]	138
Tabelle 31:	Rezeptbestandteile und deren Kostenanteile in der Gesamtmischung von einer Abnahmemenge von 500 bis 25.000 Tonnen	140
Tabelle 32:	Kosten zweier Verfahren zur Abdeckung von Modellsiloanlagen unterschiedlicher Grundflächen (siehe Anhang 7 und 8) nach [8]	142
Tabelle 33:	Kostenvergleich des Verfahrens der Siloabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen zu einem nicht abgedeckten Silo mit 2.500 m ² Grundfläche	143
Tabelle 34:	Entwicklungsziele für das neuartige Abdeckmaterial und Einschätzung des gegenwärtigen Entwicklungsstandes	151

Abkürzungsverzeichnis

ALK	Alkoholgehalt
AM	Ausgangsmaterial
BS	Buttersäure
ELOS	Enzymlösliche organische Substanz
ES	Essigsäure
ME	Umsetzbare Energie
MS	Milchsäure
MW	Mittelwert
NDF	Neutral-Detergenzien-Faser
NEL	Nettoenergie-Laktation
NH ₃ -N	Ammoniakstickstoffgehalt
NWG	Nachweißgrenze
o	oberer Horizont
OS	Organische Substanz
PS	Propionsäure
ST	Stärke
Stabw	Standardabweichung
TM	Trockenmasse
TN	Gesamtstickstoff
u	unterer Horizont
VJ-1	Versuchsjahr 1
VJ-2	Versuchsjahr 2
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
ZU	Zuckergehalt

1 Einführung und Problemstellung

In der Landwirtschaft hat die Silagebereitung zur Biomassekonservierung einen hohen Stellenwert. Sie dient der Konservierung von Nutztierfutter und Biogassubstrat. Als Silage werden meist Gras und Mais, aber auch Klee, Grüngetreide, Luzerne, Rübenblatt, Raps, Birtreber oder Nebenprodukte der Lebensmittelverarbeitung wie Pressschnitzel oder Pülpe verwendet [32]. Vor allem nicht überdachte ortsfeste Flachsiloanlagen werden in Deutschland für die Gärfutterlagerung eingesetzt. Gründe hierfür sind geringe Investitionskosten pro Raumeinheit sowie verfahrenstechnische, betriebs- und arbeitswirtschaftliche Vorteile. Daneben wird Silage beispielsweise auch in Freigärhaufen, Hochsilos, Ballen oder Folienschläuchen bereitet [20].

Die Konservierung des Gärfutters beruht in erster Linie auf der Umwandlung von Kohlenhydraten zu Gärsäuren durch Milchsäurebakterien. Um hochwertige Silage herzustellen, ist ein Sauerstoffabschluss nötig. Flachsiloanlagen werden aus diesem Grund mit Kunststofffolien abgedeckt. In der Praxis werden diese in bis zu drei Lagen aufgebracht. Das Verschließen und Öffnen des Silos ist arbeitsaufwändig.

Aus Kosten-, Arbeits- sowie aus Umweltschutzgründen ist es wünschenswert, eine neuartige Siloabdeckung beziehungsweise ein gesamtes Verfahren zu entwickeln, wodurch auf die konventionelle Silofolie verzichtet werden kann. Im Vorhaben „Entwicklung einer Siloabdeckung aus verfütterbaren Rohstoffen - Projektphase 1“ [30], gefördert durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, wurde vom Technologie- und Förderzentrum (TFZ) in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik (FEP) ein aufspritzbares Abdeckmaterial für Silage entwickelt, mit dem möglicherweise das konventionelle Verfahren der Abdeckung der Silage mit Folien und Beschwerungsmaterial ersetzt werden kann.

Bei diesem Abdeckmaterial handelt es sich um ein selbsthärtendes Material aus nachwachsenden Rohstoffen, das vor Ort aus zwei Komponenten gemischt und aufgetragen wird. Die Gemeinschaftserfindung „Abdeckmaterial für Biomasse und Verfahren zu dessen Herstellung“ wurde zum Patent (DE102006014862A1, EP000001998955A1, WO002007112799A1) angemeldet.

Die Eigenschaften der Abdeckung, wie beispielsweise die Gasdurchlässigkeit und Zugfestigkeit, deuten darauf hin, dass sich mit dieser Abdeckung eine qualitativ hochwertige Silage erzeugen lässt. Möglicherweise kann das Abdeckmaterial auch mit der Silage verfüttert oder mit der Silage als Substrat in Biogasanlagen eingebracht werden, da bei der Auswahl der Bestandteile darauf geachtet wurde, dass sie zum Beispiel ernährungsphysiologisch unbedenklich sind.

Durch den Einsatz des neuartigen Abdeckmaterials für Silage können sich folgende Vorteile ergeben:

- einfache Siloabdeckung durch Aufsprühen eines selbsthärtenden Materials in einem Arbeitsgang,
- weitgehend gasdichter Abschluss des Silostocks durch intensiven Kontakt zwischen Abdeckmaterial und Futteroberfläche,
- Eigenhaftung des Materials, dadurch keine Beschwerung erforderlich,
- Ersatz eines Produkts aus fossilen Rohstoffen durch nachwachsende Rohstoffe,
- Vermeidung von Folien-Abfällen,
- Verwertung der Abdeckung durch Verfütterung oder Einbringung in Biogasanlagen,
- Verringerung des Arbeitsaufwands bei der Abdeckung und bei der Entnahme der Silage.

Bislang konnte jedoch noch nicht unter Beweis gestellt werden, ob die neuartige Silageabdeckung tatsächlich einen luftdichten Abschluss im Silo gewährleistet und ob somit unter der Abdeckung langfristig qualitativ hochwertige Silage erzeugt werden kann. Außerdem ist noch nicht untersucht, ob sich das Abdeckmaterial als Futtermittel beziehungsweise als Biogassubstrat eignet. Auch welches Applikationsgerät sich für die Aufbringung des Materials als für vorteilig erweist ist bisher nicht geklärt. Zudem fehlen Praxiserfahrungen bei der Anwendung des neuartigen Abdeckverfahrens.

2 Zielsetzung

Ziel des Vorhabens ist es, die neuartige Siloabdeckung zu einem praxisreifen Produkt weiterzuentwickeln und dessen Tauglichkeit zu überprüfen. Begleitend zur Entwicklung des Applikationsverfahrens soll die Rezeptur unter den Gesichtspunkten Mischungsverhältnis, minimaler Materialaufwand und Einsatz von Zusatzstoffen optimiert werden. Ziel ist es, ausgewählte Apparate zu testen, die als Komponente für ein Applikationsgerät verwendet werden können, das auf die Anforderungen des Abdeckmaterials ausgerichtet ist.

Das neuartige Abdeckmaterial und das Applikationsgerät sollen in realitätsnahen Versuchen getestet werden. Bei der Aufbringung ist ein intensiver Kontakt zwischen Deckschaum und Silageoberfläche sowie eine gute Klebeeigenschaft zwischen Abdeckmaterial und Silage sicherzustellen. Nach der Aushärtung müssen vom Material alle Anforderungen wie beispielsweise Witterungsbeständigkeit, geringe Gasdurchlässigkeit und Säurebeständigkeit erfüllt werden. Außerdem soll über Gärversuche anhand einer Qualitätsbeurteilung der Silage die Funktionsfähigkeit des Abdeckmaterials ermittelt werden. Auch Tests zur Entnahme der Silage inklusive Abdeckmaterial sollen durchgeführt werden.

Ziel ist es außerdem, die Verfütterbarkeit des Abdeckmaterials zu prüfen. Hierzu wird die Abdeckung einer ernährungsphysiologischen Prüfung unterzogen. Weiterhin werden die rechtlichen Rahmenbedingungen geprüft. Anschließend soll die Abdeckung gegebenenfalls Futteranalysen, Futteraufnahmetests und Fütterungsversuchen unterzogen werden.

Da die Silage auch als Substrat zur Biogaserzeugung eingesetzt wird, soll geprüft werden, inwiefern sich das Abdeckmaterial auf die Methanausbeute und auf den Betrieb einer Biogasanlage auswirkt.

Für das neuartige Abdeckmaterial ist es erforderlich, eine Gefährdungs- und Risikoanalyse durchzuführen. Hierbei werden rechtliche Vorgaben zum Beispiel für die Lagerung und den Transport der Mischkomponenten des Abdeckmaterials sowie für den Arbeitsschutz untersucht. Die Vorgaben der europäischen Chemikalienverordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH = Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) werden berücksichtigt.

Die Ermittlung von betriebswirtschaftlichen Daten soll eine ökonomische Bewertung des Gesamtverfahrens ermöglichen. Es soll eine Bewertung durchgeführt werden, ob die neuartige Siloabdeckung für die Anwendung in landwirtschaftlichen Betrieben geeignet ist und auf welche Art und Weise diese gegebenenfalls in den Markt eingeführt werden kann.

3 Stand des Wissens

3.1 Futterkonservierung durch Silierung

Die Konservierung von Feldfutterpflanzen für die Wiederkäuerernährung durch die anaerobe Milchsäuregärung liefert hochwertiges Grobfutter für eine leistungsfähige Tierhaltung. Die Silagebereitung hat dabei verschiedentliche Vorteile. So bleiben die in den Futterpflanzen enthaltenen Nährstoffe und die Energie weitgehend erhalten, über die Lagerungsdauer steht eine gleichbleibende Futterqualität bereit und die verzehrenden Tiere haben ein schmackhaftes Futter für hohe Aufnahmen am Trog zur Verfügung [2].

Um diese Ziele zu erreichen, müssen im Vorfeld der Silierung und bei der Einlagerung der Futtermittel allerdings einige Voraussetzungen erfüllt werden. Der Landwirt muss den Pflanzenbestand auf Feld oder Wiese auf die Erzeugung von bestem Erntegut hin ausrichten. Die durchzuführenden Saat-, Pflege- und Düngemaßnahmen müssen auf den optimalen Entwicklungsstand der Pflanzen zum Zeitpunkt der Einbringung in den Silostock abzielen. Hierbei ist auch die Witterung zu berücksichtigen. Eine an die betriebsindividuellen Gegebenheiten bezüglich Lagerraum, Maschinen- und Personalausstattung angepasste Erntekette mit hoher Schlagkraft ist ebenfalls von Nöten. Sind diese Grundlagen gegeben, gilt es, das Erntematerial mit optimalem Trockenmassegehalt und physiologischem Reifezustand bei passender Häcksellänge in den Silostock einzulagern. Die zügige, gleichmäßige Verteilung des Silierguts in dünnen Schichten (höchstens 30 cm) muss mit einem hohen Verdichtungsdruck bei der Walzarbeit einhergehen. Direkt nach Abschluss der Befüllung muss der Silostock nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis luftdicht verschlossen werden, um schnellstmöglich anaerobe Bedingungen herzustellen. Dies ist Voraussetzung für die nach Veratmung des Restsauerstoffs unter schneller pH-Wert-Absenkung einsetzende erwünschte Milchsäuregärung durch den epiphytischen Bakterienbesatz.

Das gängige Abdeckmaterial für Futterkonserven aus Flachsiloanlagen stellen Folien aus Polyethylen (PE) [2] dar. Dasselbe Material kommt auch in Form von Stretchfolien bei der Bereitung von Ballensilagen oder als Schlauchsilagenhülle zum Einsatz. Bei der Bereitung von Silagen aus sogenannten nachwachsenden Rohstoffen für die Biogaserzeugung wird häufig aus Gründen der Arbeitswirtschaft, des Arbeitsschutzes und der Kosten ohne Abdeckfolien gearbeitet und somit bewusst ein Verlust an Energielieferung aus dem Biogassubstrat in Kauf genommen [34]. Die abdeckungslose Silagebereitung hat eine Minderung der Qualität und einen Verlust an Masse und damit an Energie zur Folge.

Der Silierprozess kann unter Zuhilfenahme von auf das Erntegut abgestimmten Siliermitteln unterstützt werden, insbesondere dann, wenn die vorherrschenden Silierbedingungen nicht ideal und Fehlgärungen zu erwarten sind. Ist die Silage nach Durchschreiten der Gärphasen stabil, muss der Landwirt bei der Entnahme einen ausreichenden Vorschub erreichen. Der verbleibende Silostock darf bei der Futterentnahme allerdings nicht gelockert werden. Dies würde zum Infundieren von Sauerstoff führen. Durch die dann herrschenden aeroben Bedingungen an der Anschnittfläche würde das Hefenwachstum

angeregt, was zu Nacherwärmung des Silostocks mit Schimmelbildung und Energie- und Nährstoffverlusten führt. Diesen wirtschaftlichen und futtermittelhygienischen Schaden gilt es durch die Gewährleistung der anaeroben Silierbedingungen unbedingt zu vermeiden.

3.2 Beurteilung der Silagequalität

Die Laborprüfverfahren zur Siliermittelprüfung nach der DLG-Richtlinie [7] sind geeignet, um die Qualität einer Silage objektiv beurteilen zu können. Die Versuche mit den Laborsiliegläsern liefern Daten zu pH-Wert, den Gärsäuren Milch-, Essig- und Propionsäure sowie der Buttersäure und zum Ammoniak-Stickstoffanteil am Gesamtstickstoffgehalt. Die aerobe Stabilität bezeichnet den Zeitraum, über den eine geöffnete Silage (also unter Sauerstoffeinfluss) temperaturstabil bleibt. Auch der Alkoholgehalt einer Silage wird als Qualitätskriterium herangezogen. Der Analysengang wird in gleicher Weise auch an Praxissilagagen angewandt. Eine vergorene Silage kann zusätzlich noch einer Sinnenprüfung nach DLG-Schema unterzogen werden, um die Silagequalität hinsichtlich der möglichen Schmackhaftigkeit zu überprüfen. In der Zusammenschau der Analysenwerte und der Sinnenprüfung ergibt sich schließlich ein genaues Bild des Erfolgs oder Misserfolgs der Silierung.

3.3 Ergebnisse aus der ersten Projektphase

In einer ersten Projektphase [30] wurde eine Siloabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen entwickelt, die möglichst gasdicht, witterungsbeständig und verfütterbar ist. Außerdem sollte der Folienersatz so beschaffen sein, dass keine Beschwerung der Abdeckung erforderlich ist. Bei dem Abdeckmaterial handelt es sich um ein selbsthärtendes Material, das vor Ort aus zwei Komponenten A und B gemischt und aufgespritzt wird. Nach Versuchen mit verschiedenen Inhaltsstoffen wie beispielsweise Geliermitteln, Verzögerern und Beschleunigern sowie Füllstoffen wurde eine Zwei-Komponenten-Rezeptur entwickelt, bestehend aus einer öligen Phase A und einer wässrigen Phase B. Die ölige Phase A setzt sich aus 32,7 % Rapsöl, 5,3 % Kreide, 5,3 % Kieselgur, 1,5 % Natriumalginat, 1,0 % Calciumsulfat und 0,3 % Natriumphosphat zusammen. Die Phase B besteht aus 32,2 % Wasser, 20,7 % Naturlatex, 0,2 % Kaliumhydroxid und 0,8 % Zinkoxid.

Beim Zusammenführen der Mischung reagiert in einem ersten Schritt das Natriumalginat mit dem Wasser und bildet ein Netzwerk N_1 , in das Wasser, Öl und die Füllstoffe Kieselgur und Kreide eingebaut werden. Gleichzeitig bildet der Naturlatex durch Entzug von Wasser ein Netzwerk N_2 aus, das sich mit dem Netzwerk N_1 eng verzahnt. Die Ausbildung einer berührungsfesten Oberfläche des Materials dauert nach dem Vermischen der beiden Komponenten ungefähr zwei Stunden. Nach weiteren 22 Stunden ist das Material unter Laborbedingungen vollständig abgebunden.

Es wurde bei der Rezeptur darauf geachtet, dass die Einzelkomponenten ernährungsphysiologisch unbedenklich sind. Allerdings konnte in dieser Projektphase die Verfütterbarkeit des Materials nicht nachgewiesen werden.

In den vergangenen Untersuchungen wurde das Abdeckungsmaterial auf Gasdurchlässigkeit, Zugfestigkeit und Säurebeständigkeit hin getestet. Eine abschließende Einordnung der Eigenschaften des Materials im Vergleich zu konventionellen Silofolien konnte anhand der durchgeführten Untersuchungen jedoch noch nicht erfolgen.

Die Ergebnisse zeigen aber, dass grundsätzliche Anforderungen an eine Siloabdeckung von dem entwickelten Produkt erfüllt werden. Die Untersuchung der Gasdurchlässigkeit erfolgte in Anlehnung an die Prüfmethode DIN 53380 „Prüfung von Kunststoffen - Bestimmung der Gasdurchlässigkeit – Teil 1: Volumetrisches Verfahren zur Messung an Kunststoff-Folien“. Die mit dieser Methode gewonnenen Ergebnisse für die Siloabdeckung sind aufgrund des abgewandelten Verfahrens nicht direkt mit Messwerten für Folien vergleichbar. Anhand der Ergebnisse lässt sich jedoch abschätzen, dass der Abdeckschaum eine wirksame Gasbarriere zur Silage hin darstellt. Die Gasdurchlässigkeit des Abdeckmaterials ist abhängig von der Aushärtung des Schaums. Die Gasdurchlässigkeit nahm im Beobachtungszeitraum, ausgehend von einem geringen Niveau, mit zunehmender Aushärtung weiter ab.

Ebenso veränderten sich durch Alterung des Probenmaterials die mechanischen Eigenschaften des Abdeckmaterials. An frischem Probenmaterial wurde eine hohe Bruchdehnung bis zu knapp 300 % gemessen, die jedoch mit der Aushärtung des Materials zurückging. Im Gegenzug nahm die Zugfestigkeit mit der Alterung des Materials zu. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass sich das Material nach der Aufbringung mehrere Tage lang elastisch verhält und sich an die Silageoberfläche und die Wandung des Silos anlegt bevor es aushärtet.

Die Säurebeständigkeit der Abdeckmasse wurde in Tastversuchen geprüft. Hierbei konnte optisch keine Veränderung des Materials festgestellt werden. Ein offensichtlicher Abbau des Materials durch Einwirkung von Säure konnte nicht festgestellt werden. Deshalb ist anzunehmen, dass es zu keiner negativen Beeinflussung durch die bei der Milchsäuregärung entstehenden Säuren kommt. Die Prüfung der mechanischen Eigenschaften nach Säurebehandlung war aufgrund der geringen Probenmenge nicht möglich.

Im Rahmen der bisherigen Untersuchungen war es noch nicht möglich, die Witterungsstabilität und insbesondere die UV-Stabilität des Materials zu untersuchen. Laborprüfmethoden zur Simulation der Alterung unter Witterungseinflüssen sind aufwändig, kosten- und zeitintensiv. Außerdem liegen noch keine Erfahrungen vor, ob der Abdeckschaum Vögel und Nagetiere anlockt und von diesen gefressen wird.

3.4 Verfahren zur Mischung und Applikation

Für die Applikation des Materials wurde noch kein Verfahren entwickelt. Jedoch sind Spritzverfahren und Apparate für die Aufbringung von Zwei-Komponenten-Polyurethanschaum bekannt, die möglicherweise für die Aufbringung des Abdeckmaterials auf die Silage adaptiert werden können. In Projektphase 1 wurde ein Applikationsgerät für Mehrkomponenten vorgeschlagen, da sich das Mischen im Batch-Verfahren sehr problematisch darstellt, wenn die Komponenten schlagartig reagieren. Bei Mehr-Komponenten-Applikationsgeräten werden die Einzel-Komponenten dem Applikationssystem getrennt zugeführt, in einer Mischkammer beziehungsweise einem Mischblock gemischt und dann auf die Oberfläche gespritzt, gequollen oder gegossen. Jedoch konnte ein Mehr-Komponenten-Applikationsgerät bisher noch nicht untersucht werden.

3.4.1 Verfahren zur Aufbringung von Lacken

Flüssige Lacke können in Tauch- oder Spritzverfahren aufgetragen werden. Die Spritzverfahren haben hierbei die größte Verbreitung gefunden. Im einfachen Fall werden flüssige Lacke mit einer Druckluftspritzpistole zerstäubt. Diese Pistolen werden oft mit einem aufgesetzten Lackvorratsbehälter ausgestattet. Ein Hochdruckzerstäubersystem (Airless System) arbeitet dagegen ohne Druckluft. Die Lackversorgung erfolgt mit einer Lackpumpe aus einem Transportgebilde. [25]

3.4.2 Nassspritzverfahren bei der Spritzbeton-Aufbringung

Beim Nassspritzverfahren wird Beton mit einer Betonpumpe durch eine Schlauchleitung gefördert und am Schlauchende in einer Düse mit Druckluft beaufschlagt. Damit erreicht der Beton an der Wand die erforderliche Anwurfgeschwindigkeit. Das Material wird in Schichten aufgetragen, wobei dies auch an senkrechten Wänden und über Kopf möglich ist. Dabei werden Spritzleistungen von bis zu 20 m³/h erreicht. Das Nassspritzverfahren bei der Spritzbeton-Aufbringung ist in Abbildung 1 dargestellt. [21]

Der Spritzbeton wird von einer Betonpumpe über den Schlauch zur Spritzdüse gefördert. In der Spritzdüse werden in der Regel Beton, Erstarrungsbeschleuniger und Druckluft zusammengeführt und mit hoher Geschwindigkeit ausgetragen. Die Spritzbetondüse ist in Abbildung 2 dargestellt. Bei kleinflächigen Einsätzen wird die Düse meist von Hand geführt. Für große Flächen gibt es Betonpumpen mit einem angebauten Spritzausleger, die hydraulisch beweglich und faltbar sind. Eine solche Betonpumpe ist in Abbildung 3 dargestellt. [21]

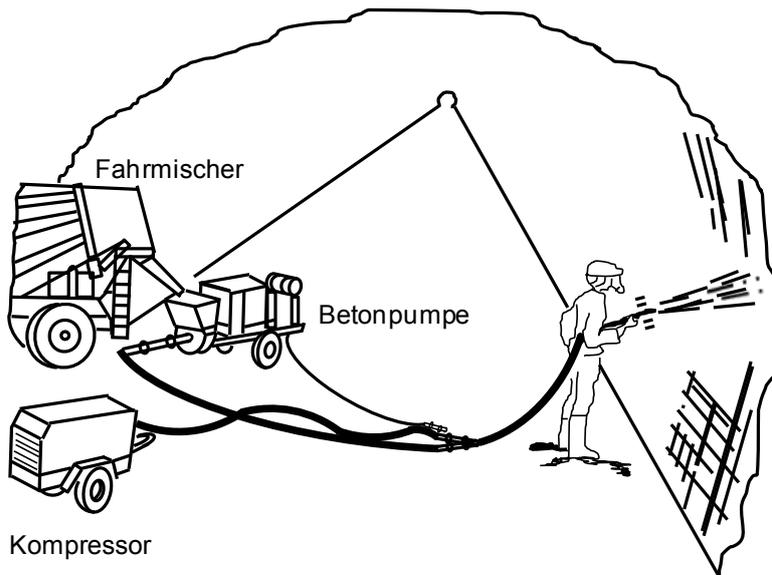


Abbildung 1: Nassspritzverfahren der Betonaufbringung [21]

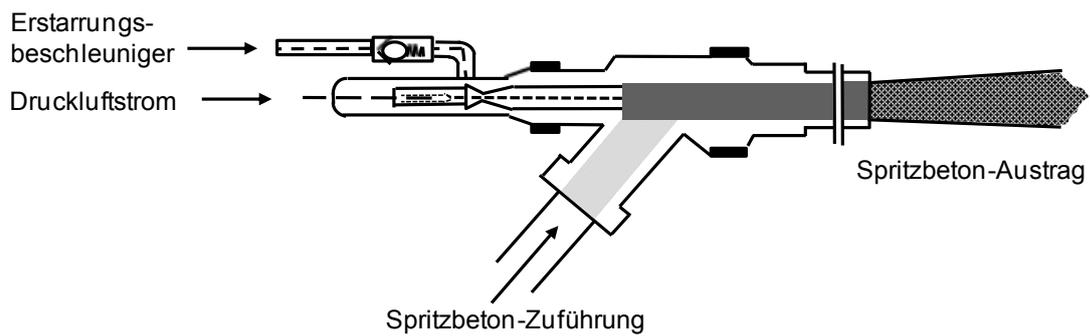


Abbildung 2: Spritzdüse der Spritzbetonaufbringung [21]

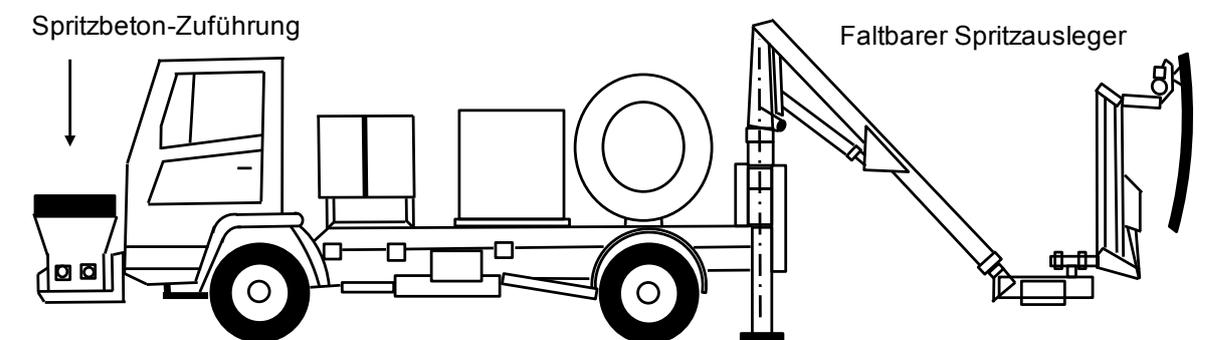


Abbildung 3: Hydraulisch bewegliche und faltbare Betonpumpe [21]

3.4.3 Herstellverfahren von Schäumen - Blasendispersion

Ein Schaum ist ein disperses System, bei dem mindestens eine gasförmige Phase fein verteilt in der umgebenden, meist flüssigen Phase vorliegt. Die Herstellverfahren von Schäumen werden in folgende drei typische Verfahren gegliedert:

- Gaseintrag durch Eintrag von mechanischer Energie in unbegrenzter Gasumgebung,
- gezielter Eintrag eines vorgegebenen Gasvolumens in ein gegebenes Flüssigkeitsvolumen,
- Erzeugung von Gas durch chemische und biochemische Prozesse, (Teil-)Verdampfung unter Temperaturerhöhung oder Druckerniedrigung [31].

Der gezielte Eintrag eines vorgegebenen Gasvolumens wird vor allem im kontinuierlichen Betrieb angewandt und könnte sich für die Aufgabe der Siloabdeckung besonders eignen, da das Volumen vergrößert wird und somit Material eingespart werden kann. In Abbildung 4 werden Aufschäumvorrichtungen dargestellt, die in der Lebensmittelherstellung, der Biotechnologie und in der industriellen Herstellung von Kunststoffschäumen angewandt werden. Das Spektrum reicht von einfachen Siebböden und Lochplatten bis hin zu Dispergiervorrichtungen mit Düsen und Strömungskanälen. Außerdem werden zum kontinuierlichen Schäumen mittels eines gezielten Gasvolumens oft auch statische Mischer eingesetzt. Beim Einsatz eines statischen Mixers bietet sich die Möglichkeit lösliche Gase bei hohem Druck hinzu zu geben. Die anschließende Entspannung führt dann zur spontanen Gasblasenbildung. [31]

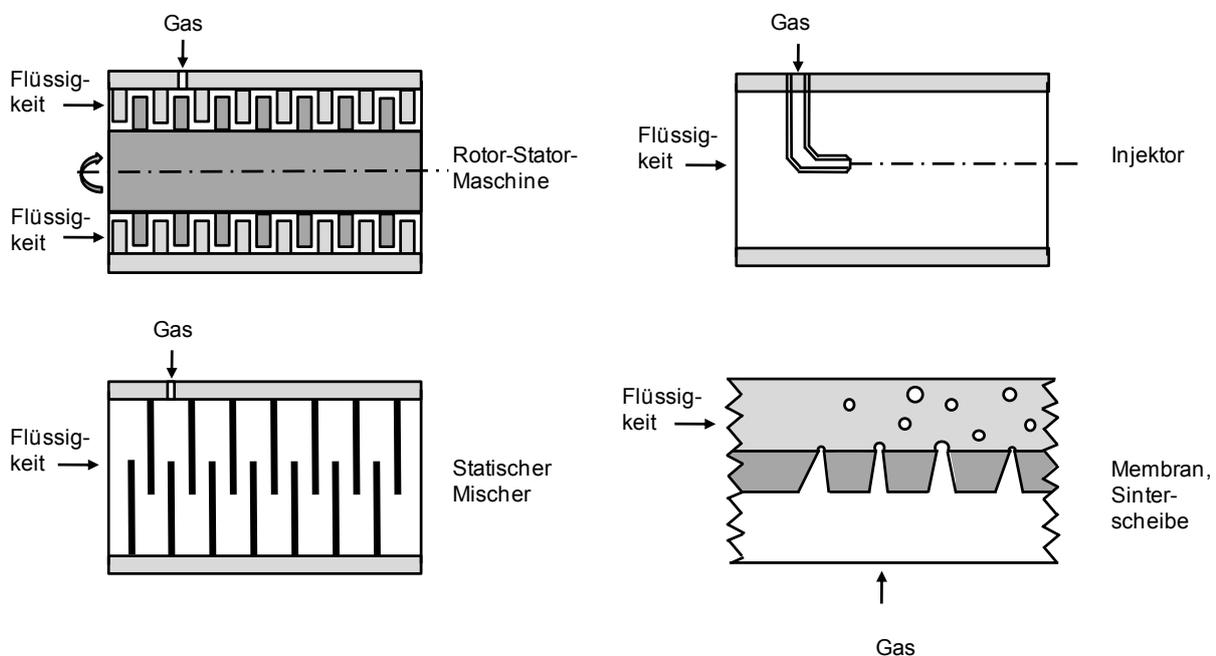


Abbildung 4: Gezielter Eintrag eines vorgegebenen Gasvolumens in ein gegebenes Flüssigkeitsvolumen [31]

3.5 Rechtliche Rahmenbedingungen

3.5.1 Futtermittelrecht

Die Herstellung und Verwendung einer verfütterbaren Silageabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen tangiert eine Reihe nationaler und europäischer Gesetze und Verordnungen in der jeweils gültigen aktuellsten Fassung. Hierzu zählen auf nationaler Ebene die Futtermittelverordnung und das Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB). Relevante europäische Rechtsvorschriften sind die Vorschriften zur Futtermittelhygiene (Verordnung (EG) Nr.: 1831/2003, [11]) und die Verordnung (EG) Nr.: 1831/2003 [12] über Zusatzstoffe zur Verwendung in der Tierernährung. Im Rahmen der rechtlichen Vorgaben muss die Unbedenklichkeit der Bestandteile der Zweikomponenten-Mischung gewährleistet werden.

Viele der Zutaten, wie sie bisher zum Einsatz kamen, sind als Laborchemikalien klassifiziert. Diese chemischen Reinsubstanzen besitzen in der Regel keine Zulassung für den Futtermittel- bzw. Nahrungsmittelbereich. Der Ersatz der technischen Qualität durch futtermittelrechtlich unbedenkliche Substanzformen muss dementsprechend erfolgen.

Weiterhin müssen bei einigen Ausgangsstoffen der verfütterbaren Abdeckung bestehende Höchstmengenregelungen beachtet werden.

3.5.2 REACH

Die Verordnung (EG) 1907/2006 [11], auch REACH genannt (Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals – Registrierung, Bewertung und Zulassung von Chemikalien) trat am 01.06.2007 in Kraft. Der Kern von REACH betrifft Informationsrechte und -pflichten entlang der Lieferkette. Nach der EU-Chemikalienverordnung dürfen nur noch chemische Stoffe in Verkehr gebracht werden, zu denen ein ausreichender Datensatz zu Stoffeigenschaften vorliegt. Hierzu gehören beispielsweise die physikalischen Eigenschaften, die Giftigkeit oder das Verhalten in der Umwelt. Dies bedeutet auch, dass der Hersteller beziehungsweise der Importeur in die EU für den sicheren Umgang mit seinem chemischen Stoff verantwortlich ist. Er muss diese zur Bewertung notwendigen Daten sammeln und sie entlang der Wertschöpfungskette weitergeben. Über Sicherheitsdatenblätter und Stoffsicherheitsberichte werden die Eigenschaften der Stoffe dokumentiert. Unter REACH werden keine Zubereitungen registriert, sondern nur die Einzelstoffe, die sich in solchen Zubereitungen befinden. Jeder Stoff der in mindestens einer Menge von einer Tonne pro Jahr in der EU produziert oder in die EU importiert wird, muss in der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) in Helsinki registriert werden. Dies ist in der Regel bereits durch den Hersteller des Stoffes oder den Importeur in die EU bzw. den Händler erfolgt.

4 Material und Methodik

4.1 Herstellung des Abdeckmaterials im Labormaßstab

Im folgenden Abschnitt wird die Abfolge der durchgeführten Versuche erläutert und mit Hilfe eines Fließschemas (Abbildung 5) dargestellt. Dabei wird die Abfolge der Versuche in Versuchsreihe I, in Vorarbeiten und Auswahl der Applikationstechnik sowie in Versuchsreihe II eingeteilt. In Versuchsreihe I werden die Komponenten mit einem Rührgerät zusammengemischt und Prüfkörper gegossen. Als Versuchsreihe II werden die Applikationen mit dem Zwei-Komponenten-Applikationssystem bezeichnet.

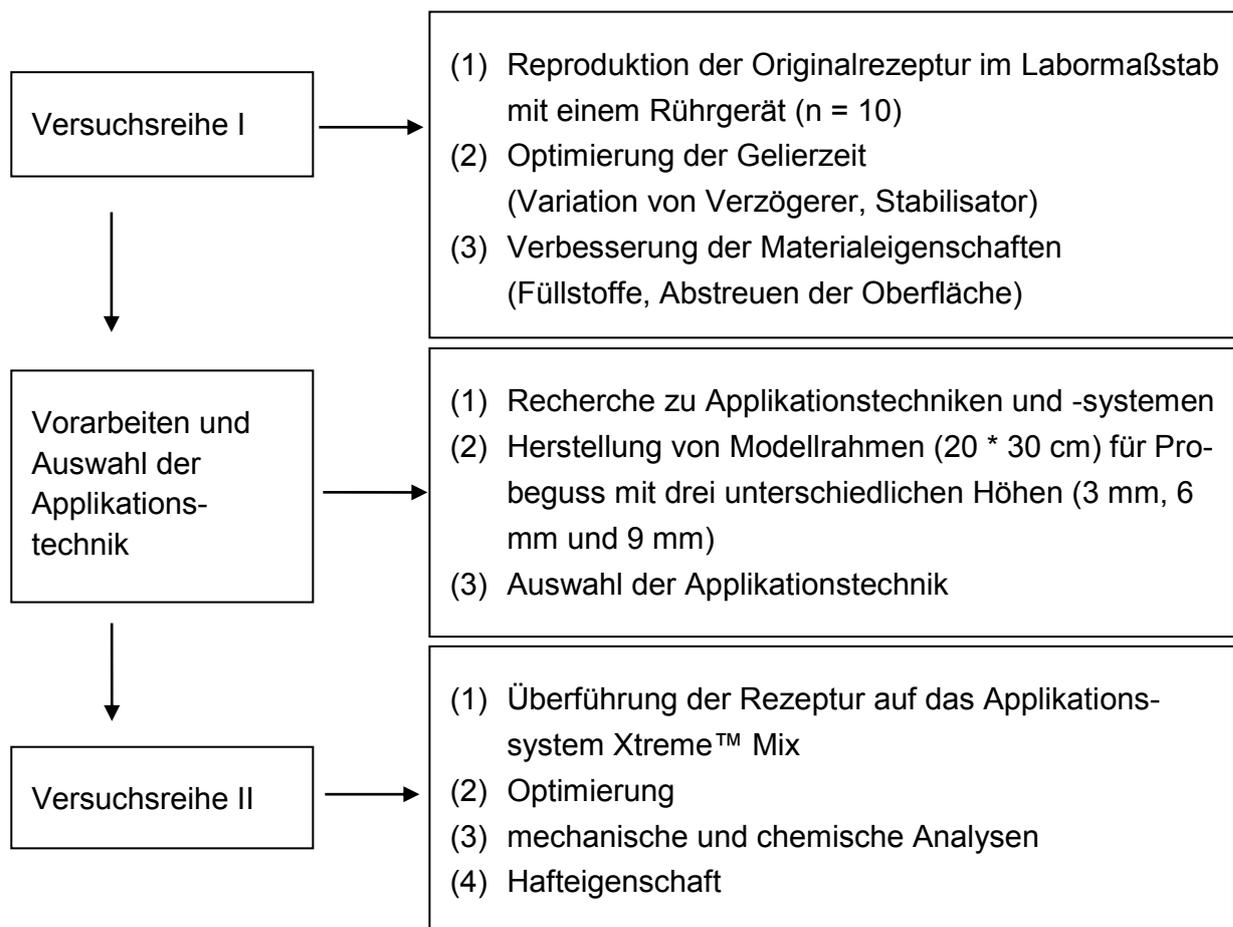


Abbildung 5: Fließschema der Vorgehensweise

Zunächst wird die bestehende Zwei-Komponenten-Rezeptur aus der Projektphase 1 verwendet. Die zwei Komponenten werden getrennt voneinander hergestellt. Um das gewünschte Abdeckmaterial herzustellen, wird in einem weiteren Arbeitsschritt die Komponente B (Wasser-Latex-Gemisch) in die Komponente A (Öl- Feststoff-Gemisch) eingerührt. Bei der Herstellung des Abdeckmaterials erfolgt die Zusammenmischung der Rezeptbestandteile mit dem Rührgerät.

Auf Basis der abgesicherten Ergebnisse der Versuchsreihe I wird die optimierte Rezeptur auf die Sprühapplikation überführt. Dabei soll erstmals getestet werden, ob sich die Rezeptur des Abdeckmaterials zum Sprühen eignet. Zur Beurteilung der Eigenschaften des Abdeckmaterials werden die Proben in Modellrahmen (20 cm x 30 cm) appliziert. Damit können vergleichbare Probekörper hergestellt werden.

4.1.1 Optimierung der Rezeptur

Im Mittelpunkt der Rezeptoptimierung stehen folgende Schwerpunkte:

- Verkürzung der Gelierzeit (Variation des Verzögerers)
- Aufschäumen / Temperatureinfluss
- Vermeidung des Zinkausfalles im gemischten Zustand der Komponente B
- Vermeidung der Koagulation des Latex hinter der Förderpumpe
- Verminderung von Rissbildung und Schrumpfung nach der Aushärtung
- Herstellen einer trockenen, klebefreien Oberfläche

Variation des Verzögerers

In Projektphase 1 wurde eine Kaliumhydroxidlösung (KOH) verwendet, welche als Verzögerer dient. Bei der Reproduktion der Rezeptur wird festgestellt, dass die Konzentration des Verzögerers wesentlichen Einfluss nimmt. Es besteht die Gefahr der vorzeitigen Koagulation der Komponenten bei zu geringem Verzögereranteil.

In der Projektphase 2 werden Versuche mit einer 40%igen und einer 20%igen Kaliumhydroxidlösung durchgeführt. Nachfolgend wird geprüft, ob bei einer Feindosierung einer bestimmten KOH-Lösung die gleichen Resultate erzielt werden.

Aufschäumversuche

Mit Hilfe des Aufschäumens soll die Porosität erhöht werden, um das Abdeckmaterial aufzulockern und gleichzeitig Material einzusparen. Dabei wird ein Prinzip ähnlich der Herstellung von Polyurethanschaum verfolgt. Zu diesem Zweck wird dem Abdeckmaterial als weiterer Bestandteil ein Metallpulver (Aluminiumpulver) zugefügt. Das Aluminium reagiert im alkalischen Milieu mit Wasser, was zur Freisetzung von Wasserstoff führt.

Aufschäumversuche mit Temperatureinfluss

Zusätzlich zum Aluminium werden die Komponenten einzeln erwärmt und im warmen Zustand gemischt, um einen verstärkten Effekt des Aufschäumens zu erzielen.

Zinkausfall

Schon bei kurzzeitiger Lagerung der Komponente B fällt das zur Konservierung zugesetzte Zinkoxid aus der hergestellten Mischung aus. Anhand dieses Ergebnisses werden Versuche angestrebt, die zeigen sollen, wie sich das Zinkoxid bei Variation des Mengenanteils in der Komponente B verhält bzw. ob eine Zumischung in Komponente A zweckmäßiger ist.

Stabilisierer für Naturlatex

Während der Förderung der Komponente B kommt es häufig zur Bildung unerwünschter Koagulate des Naturlatex auf der Druckseite der Pumpe. Diese Koagulate können das Schlauchsystem sowie den Statikmischer verstopfen und zum Ausfall des Gesamtsystems führen. Zur Verminderung der Latex-Koagulation wird der Komponente B der Stabilisator Struktol LS 109 mit einem Masseanteil von 0,38 % bezogen auf den Latex-Anteil zugesetzt. Das entspricht 0,08 % bezogen auf die Gesamtmischung aus den Komponenten A + B.

Füllmaterialien

Zur Reduzierung der Rissbildung sowie der Schrumpfung an der ausgehärteten Abdeckmasse wird der Einsatz von Fasern als Füllmaterial untersucht:

- Bambusfasern: feingehäckseltes Bambus- Naturfasermaterial (5 – 6 % Feuchte, 50 % Feingehalt kleiner 200 µm, max. Faserlänge 6 mm)
- Zellulosefaser von JELU-WERK Josef Ehrler GmbH & Co. KG: Jeluxyl® WEHO 120-f
- Zellulosefaser von J. RETTENMAIER & SÖHNE GmbH €Co KG: ARBOCEL HW
- Zellulosefaser von J. RETTENMAIER & SÖHNE GmbH €Co KG: ARBOCEL RC
- Zellulosefaser von J. RETTENMAIER & SÖHNE GmbH €Co KG: ARBOCEL R
- Zellulosefaser von J. RETTENMAIER & SÖHNE GmbH €Co KG: ARBOCEL FT400

Einsatz von Silikagel

Als Netzwerkbildner wird in der Komponente A Natriumalginat verwendet. Zur Realisierung einer langanhaltenden Elastizität muss ein ausreichender Wassergehalt der Abdeckmasse gewährleistet sein. Da geliertes Natriumalginat zum Austrocknen neigt, wird der Einsatz von Silikagel „Trisyl 300“ geprüft. Dazu wird jeweils 25 %, 50 % und 75 % das Natriumalginates durch Silikagel substituiert.

Abstreuerung der Oberfläche mit Futterkalk bzw. Harnstoff

Zur Verminderung der Klebeneigung der Oberfläche wird ein Abstreuen mit pulvrigen Materialien untersucht. Aus ernährungsphysiologischen Gründen kommen Futterkalk und Harnstoff in die engere Wahl.

4.1.2 Eigenschaften der Rezepturbestandteile

Die Bestandteile der Vorzugsrezeptur ohne Fasern sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Vorzugsrezeptur ohne Fasern

Komponente	Bestandteile	Masse	Masseprozent	Eigenschaften
A	Natriumphosphat	2,0 g	0,32	Verzögerer
	Silikagel	4,5 g	0,73	Wasseradsorbens
	Natriumalginat	4,5 g	0,73	Geliermittel
	Calciumsulfat	6,0 g	0,97	Gelierhilfsmittel
	Kieselgur	33,0 g	5,32	Füllstoff
	Kreide	33,0 g	5,32	Füllstoff
	Rapsöl	202,4 g	32,64	natürlicher Rohstoff
	Zinkoxid	5,0 g	0,81	Konservierungsmittel
B	Naturlatex-Lsg. (60%)	128,0 g	20,64	Bindemittel
	Struktol	0,5 g	0,08	Stabilisierer
	Wasser	200,0 g	32,25	Lösemittel
	KOH-Lösung (20%)	1,2 g	0,19	Verzögerer
	Gesamtmasse	620,1 g	100,00	

Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt die Vorzugsvariante der Rezeptur mit den Fasern ARBOCEL R bzw. ARBOCEL FT400 als Füllstoff.

Tabelle 2: Vorzugsrezeptur mit Fasern

Komponente	Bestandteile	Masse	Masseprozent
A	Natriumphosphat	2,0 g	0,32
	Silikagel	4,5 g	0,72
	Natriumalginat	4,5 g	0,72
	Calciumsulfat	6,0 g	0,96
	Kieselgur	33,0 g	5,28
	Kreide	33,0 g	5,28
	Rapsöl	202,4 g	32,38
	Fasern <i>ARBOCEL R</i> bzw. <i>ARBOCEL FT400</i>	5,0 g	0,80
	Zinkoxid	5,0 g	0,80
B	Naturlatex-Lösung (60%)	128,0 g	20,48
	Struktol	0,5 g	0,08
	Wasser	200,0 g	31,99
	KOH-Lösung (20%)	1,2 g	0,19
	Gesamtmasse	625,1 g	100,00

4.2 Applikationsgeräte

Begleitend zur Entwicklung der Rezeptur wird das Applikationsverfahren entwickelt. Das Applikationsgerät soll auf die Anforderungen des Abdeckmaterials ausgerichtet sein und unter den Gesichtspunkten Mischungsverhältnis, minimaler Materialaufwand und Einsatz von Zusatzstoffen optimiert werden. Dabei soll das System praxistauglich sein sowie eine arbeitszeit- und materialsparende Aufbringung des Abdeckmaterials zulassen. Ein Applikationssystem besteht aus Vorratsbehältern, einer Förder- und einer Mischeinheit sowie einer Spritz- bzw. Auftragseinheit.

4.2.1 Anforderungen aus der landwirtschaftlichen Praxis

In Experten-Gesprächen werden Anforderungen an das Applikationsgerät ermittelt. Hierbei werden Landwirte und Landmaschinenmechaniker sowie Wissenschaftler befragt. Anschließend werden die Anforderungen systematisch geordnet und zusammengefasst. Schließlich werden zu den Anforderungen mögliche Lösungsansätze diskutiert und deren Umsetzung in die Praxis geprüft.

4.2.2 Lackiergerät - Xtreme™ Mix

In ersten Sprühversuchen im Labormaßstab werden die Einzel-Komponenten gemischt und dann im Ein-Komponenten-System versprüht. Nachdem dies erfolgsversprechend getestet wurde, wird anschließend ein Zwei-Komponenten-Spritzgerät Xtreme™ der Firma GRACO N.V. als Test-Gerät eingesetzt (Labortests siehe Kapitel 4.1). Das Zwei-Komponenten-Gerät Xtreme™ Mix (siehe Abbildung 6), das typischerweise zum Spritzen von Zwei-Komponenten-Systemen zur Oberflächenversiegelung bei Betonsanierungen, Rohr- oder Tankbeschichtungen angewendet wird, kann für die Silageabdeckung zweckmäßig verwendet werden. Die Komponenten werden aus zwei separaten Vorrattanks mittels Kolbenpumpen gefördert, welche eine Einstellung des Mischungsverhältnisses von 0,1:1 bis 10:1 in Stufen von 0,1 zulassen. Dabei werden die zwei Materialien automatisch mit einem Fördervolumen von 0,95 bis 11,4 l/min gemischt. Die Kolbenpumpen wie auch die Steuerung werden mithilfe von Druckluft, beispielweise mit einem Baukompressor, betrieben. Das Druckübersetzungsverhältnis liegt bei 68:1. Damit werden mit einem Versorgungsluftdruck von etwa 7 bar Materialförderdrücke von bis zu 469 bar erreicht. Der maximale Luftverbrauch liegt bei etwa 3,9 m³ pro Minute. Es handelt sich hier um ein „Airless-Spritzgerät“, d. h. die Zerstäubung des Materials wird allein durch den Förderdruck und den Einsatz einer Düse erreicht. Für die Sprühpistole werden Düsen mit verschiedenen Sprühdurchmessern und –winkeln angeboten. Zur Säuberung der materialführenden Teile ab der Stelle der Vermischung bis zur Spritzpistole kann mit einer Reinigungslösung aus einem Behälter gespült werden. [17]



Abbildung 6: Xtreme™ Mix-Gerät (Quelle: FluidSystems GmbH & Co. KG)

Bei den ersten Spritzversuchen hat sich herausgestellt, dass sowohl die Latex-Komponente als auch die Rapsölkomponente vor dem Spritzen gefiltert werden müssen, da Klumpen in den Phasen aufgetreten sind. Schließlich werden die Komponenten direkt vor Gebrauch gesiebt bevor sie in die beiden Vorratsbehälter gefüllt werden. Bei den Versuchssiloanlagen, siehe Kapitel 4.3 wird mit der Düse 435 und einem Mischungsverhältnis 1,3:1 gesprüht. Es werden 1,3 Volumen-Anteile Latex-Komponente und 1,0 Volumen-Anteil Rapsölkomponente miteinander vermischt und versprüht. Die Düse 435 hat einen Spritzwinkel von 40° und die Düsenöffnung beträgt 0,89 mm bzw. 0,035 ". Somit ist die Spritzbildbreite bei einem Abstand von 30 cm etwa 16 cm [14]. Der Versorgungsluftdruck wird bei 2,5 bar eingestellt, was einen Materialdruck von ca. 170 bar erzeugt. Der Druck der Reinigungslösung wird bei 6 bar eingestellt. Während des Praxisversuches werden die Praxistauglichkeit des Gerätes sowie das Sprühbild des Airless-Spritzgerätes und das Überdeckungsbild auf der Silage beurteilt.

4.2.3 Förderpumpe für Putze – Strobot 406 S

Aus der Bauindustrie sind Geräte zum Fördern und Spritzen von Mörteln, Spachtelmasse usw. bekannt (siehe 3.4.2) [33]. Als Alternative zum in 4.2.2 beschriebenen Zwei-Komponenten-Spritzgerät wird deshalb eine weitere Applikationstechnik mit Mörtel-Förderpumpen erprobt. Mörtelpumpen bieten den Vorteil, dass sie aufgrund der verwendeten Pumpentechnik (Exzentrerschneckenpumpen) mit Feststoffen im Medium sehr gut zurechtkommen, keine Düsen und Schläuche mit geringen Querschnitten besitzen und aufgrund ihres Anwendungsbereiches meist sehr robust ausgeführt sind. Hinzu kommt, dass sie im Gegensatz zu den Hochdruckkolbenpumpen der Lackiergeräte, welche bei den für diese Anwendung nötigen Förderleistungen nur druckluftbetrieben erhältlich sind, elektrisch angetrieben werden und in einem niedrigeren Druckbereich arbeiten. Allerdings sind zum Fördern der beiden Komponenten zwei Geräte notwendig, welche im Volumenanteil aufeinander abgestimmt werden müssen. Außerdem sind ein Mischblock

und ein Auftragsgerät erforderlich. Als Auftragsgerät werden einerseits ein Feinputzspritzgerät und andererseits eine Schaumdüse untersucht.



Abbildung 7: Förderpumpe Strobot 406 S

Die im Versuch verwendeten Schneckenpumpen Strobot 406 S können stufenlos auf Förderleistungen von jeweils 0 bis zu 15 l/min eingestellt werden und werden mit 230 V Wechselstrom betrieben. Sie arbeiten bei einem maximalen Arbeitsdruck von bis zu 40 bar (Zwei-Komponenten-Lackier-System: bis 200 bar). Zwei dieser Pumpen werden im Versuch parallel geschaltet und fördern jeweils eine Komponente. Im darauf folgenden Mischblock werden die zwei Komponenten zusammengeführt. Der Mischblock besteht aus drei „T-Stück“-Rohrverschraubungen mit einem Zoll Durchmesser. Um den Rückfluss der bereits gemischten Masse zu verhindern, ist am Eingang der Einzelkomponenten am Mischblock jeweils ein Rückschlagventil eingebaut. Außerdem sind zwei Hähne am Mischblock angebracht, die die Reinigung erleichtern sollen. Für beide Pumpen wurden die Pumpenkennlinien für verschiedene Drehzahlen ermittelt und im Versuchsbetrieb auf ein Volumenverhältnis von Rapsöl-Komponente zu Latex-Komponente von 1:1,26 eingestellt. Um das real erzielte Mischungsverhältnis zu ermitteln, werden die Vorratsbehälter inklusive Pumpen während des Versuches gewogen.

4.2.3.1 Förderpumpen mit Spritzgerät

Bei den Versuchen mit dem Feinputzspritzgerät werden Gesamtdurchsätze an Material zwischen 4 und 10 l/min eingestellt. Nach dem Mischblock gelangen die zusammenge-

fürten Komponenten in einen statischen Mischer, der diese zu einer homogenen Masse aufbereiten soll. Der schematische Aufbau ist in Abbildung 8 dargestellt.

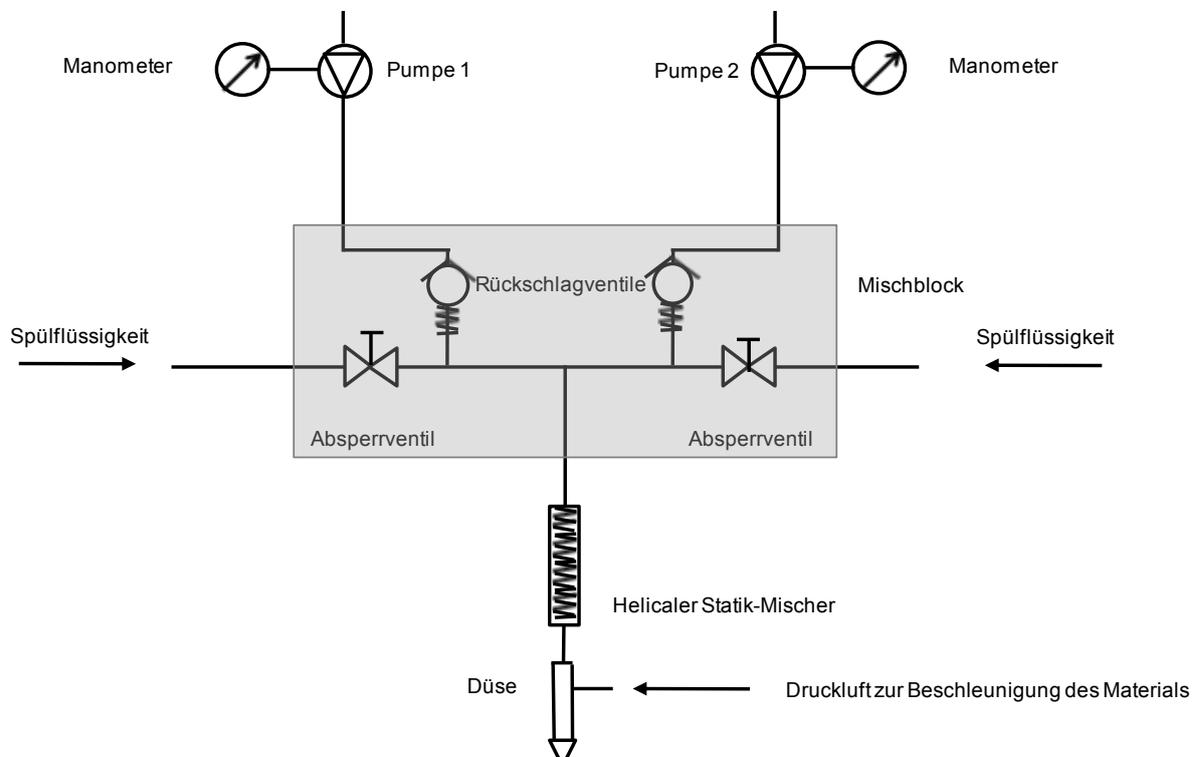


Abbildung 8: Schematischer Aufbau der Applikationstechnik - Versuche mit dem Feinputzspritzgerät

Statische Mischer sind Rohreinbauten, die Turbulenzen im durchfließenden Medium erzeugen und es dadurch vermischen. Die verwendeten Statikmischer haben eine helicale Geometrie (siehe Abbildung 9). Je kleiner der Durchmesser der Statikmischer, umso besser das Homogenisierungsergebnis, desto höher jedoch auch der verursachte Druckverlust. Es gilt also zu untersuchen, welcher Mischer ein befriedigendes Homogenisierungsergebnis bei gleichzeitig geringem Druckverlust liefert. Deshalb werden die folgenden drei verschiedenen Mischelemente der Firma Striko (siehe Abbildung 9) getestet und die Homogenität des Mischergebnisses optisch bewertet:

- „kleiner Statikmischer“ Durchmesser 16 mm Länge 650 mm,
- „mittlerer Statikmischer“ Durchmesser 20 mm Länge 800 mm,
- „großer Statikmischer“ Durchmesser 25 mm Länge 1100 mm.

Das Feinputzspritzgerät ist in Abbildung 10 dargestellt. Es werden zwei Rundstrahldüsen mit 6 mm und 8 mm Durchmesser sowie eine Flachstrahldüse getestet. Das Sprüh- und Überdeckungsbild wird optisch bewertet. Außerdem wird die Praxistauglichkeit des Spritzgerätes abgeschätzt.



Abbildung 9: Statische Mischer – helicale Geometrie



Abbildung 10: Feinputzspritzgerät

4.2.3.2 Förderpumpen mit Schaumdüse

Als weitere Variante wird unter Verwendung der Mörtel-Förderpumpen ein System erprobt, welches die Schäumung des Abdeckmaterials ermöglichen soll. Der Aufbau ist dem des Feinputzspritzgerätes sehr ähnlich. Nach dem Mischblock gelangen die beiden Komponenten ebenfalls in eine Mischstrecke mit statischen Mixern. Als Statik-Mischelemente kommen helicale Mischelemente und sogenannte EREstat-Mischelemente zum Einsatz, welche sich besonders für die Mischung von Gasen und Flüssigkeiten eignen. Die helicalen Mischelemente sollen zuerst für eine ausreichende Homogenisierung der beiden Komponenten sorgen. Danach wird Druckluft über einen Sintermetall-Körper eingeblasen, um die Luft als möglichst kleine Bläschen in das Abdeckmaterial einzubringen. Diese Luftbläschen sollen anschließend durch die EREstat-Mischelemente homogen in der Masse verteilt werden. Die Länge des Mischrohres ist zunächst so gewählt, dass eine aufrechte Arbeitshaltung des Anwenders beim Auftragen gewährleistet ist. Am Ende des Mischrohres sitzt eine Auftragsdüse, aus welcher die Schaummasse ausströmt und auf die Silageoberfläche aufgetragen werden kann. Die Masse entspannt hierbei auf Umgebungsdruck. Die komprimierten Gasblasen sollen dadurch ihr Volumen vergrößern und das Material aufschäumen.

4.3 Silierversuche

4.3.1 Laborsiloversuche

Zu Beginn werden Vorversuche mit Gras als Siliergut im Labormaßstab durchgeführt, um die Eignung der abbaubaren Siloabdeckung für den Projektzweck zu prüfen. Der erste Versuch mit Maissilage im Herbst 2009 in der Versuchssiloanlage II wird nach DLG-Schema ebenfalls im Labormaßstab mit Laborsilogläsern begleitet. Zu den weiteren Versuchen mit Maissilage werden aufgrund der positiven Erfahrungen keine Laborversuche angestellt. Der Versuch mit Grassilage wird von einem Laborversuch nach DLG-Vorgaben begleitet und bestätigt die hierzu aufgeführten Ergebnisse.

Vorversuch Gras, Schnelltest

Zunächst wird ein Vorversuch mit der Zwei-Komponenten-Mischung als Abdeckmaterial für Grobfutterkonserven vorgenommen. Dieser erste Versuchsschritt dient einerseits zum Kennenlernen des Abdeckmaterials und dessen Handhabung. Andererseits ist auch eine erste Prüfung der Eignung der Abdeckung zur Herstellung einer Qualitätssilage unter praxisnahen Umständen eine Zielgröße, um das weitere Versuchsgeschehen planen zu können.



Abbildung 11: Versuchsgläservarianten

Der Vorversuch wird mit Laborsilogläsern (Fassungsvermögen 1 l, siehe Abbildung 11) durchgeführt. Als Ausgangsmaterial zur Silierung wird Gras vom Schlag B3, 3. Schnitt, des Versuchsbetriebs Grub herangezogen. Das Gras wird zwei Tage vor dem Silieren spät abends gemäht, bis ca. 14:30 Uhr am Folgetag auf etwa 35 % Trockenmassegehalt bei sehr sonniger und windiger Witterung angewelkt und in die Lehr- und Versuchshalle gebracht. Dort werden die ungefähr 50 kg des angewelkten Frischmaterials mit einem Scheibenradhächsler zerkleinert. Das Häckselgut wird dünn-schichtig ausgebreitet und

über Nacht gelagert, Probenmaterial für die begleitende Rohrnährstoffanalytik wird hier von gewonnen.

Der Vorversuch ist aus 7 Varianten der Abdeckung mit jeweils drei Wiederholungen aufgebaut. Die tarierten Laborsilos werden mit 450 g beziehungsweise bei einer Variante mit 520 g Frischmaterial befüllt. Neben der mit Glasdeckeln und Gummidichtringen sicher anaerob verschlossenen Standardvariante und einer nicht abgedeckten Variante (sicherer Verderb durch unerwünschten Gärungsverlauf) werden fünf verschiedene Abdeckungsmöglichkeiten mit dem neuartigen Zwei-Komponenten-Gemisch geprüft. Dabei besteht eine Grundvariante aus vorgefertigten Prüfkörpern aus Abdeckmaterial mit zwei unterschiedlichen Dicken („dünn“ = 6 mm; „dick“ = 11,5 mm) und Standardfüllmenge. Bei einer weiteren Variante mit den dicken vorgefertigten Prüfkörpern wird durch stärkere Verdichtung bei der Befüllung des 1 l-Laborsilos eine höhere Füllmenge erreicht. Auf den Laborsilogläsern wird das Abdeckmaterial bei diesen Varianten mit Stahlrohringen und Gummiringen verspannt. Bei der zweiten Versuchsvariante wird eine frisch angerührte gießfähige Masse von puddingartiger Konsistenz verwendet, die direkt auf das zu silierende Gras aufgegossen wird. Hierbei werden bei einer Variante zur Simulation einer Abdichtung mit Sandsäcken zusätzliche Klemmringe aus Kunststoff am Innenrand des Laborsilos auf dem an der Glasinnenwand hochgestrichenen Abdeckmaterial befestigt.

Das Ziel des Vorversuchs ist die Erfassung des pH-Werts der unterschiedlichen Varianten verglichen mit den Standardlaborsilos, um Rückschlüsse bezüglich des Gärungsverlaufs bei Einsatz der neuartigen Abdeckung zu ziehen. Dazu werden die Vorversuchsgläser am vierten Tag nach der Befüllung bis zur pH-Wert-Analyse bei -20 °C eingefroren. Die für die schnelle pH-Wert-Absenkung wichtige Hauptgärphase ist bei Gras üblicherweise nach drei Tagen abgeschlossen. Daher können schon nach dieser kurzen Zeit Aussagen über die grundsätzliche Gewährleistung anaerober Verhältnisse im Laborsilo durch die Abdeckung getroffen werden.

Vorversuch Gras, Langzeittest

Eine komplette Variante mit drei Wiederholungen bei normaler Füllmenge (450 g) wird mit der frisch angerührten Abdeckmasse begossen und mit Klemmringen versehen. Die Lagerungsdauer für diese Laborsilogläser beträgt angelehnt an das DLG-Schema 90 Tage, um Aussagen über das Langfristverhalten des Abdeckmaterials in Verbindung mit Silage treffen zu können. Eines der Gläser wird unter definierten Bedingungen im Klimaraum gelagert. Die weiteren zwei Gläser dieser Versuchsvariation werden den Witterungsbedingungen ausgesetzt. Mit diesen außengelagerten Langzeitgläsern wird zugleich auch die Attraktivität des Abdeckmaterials auf Nager und Insekten untersucht.

Laborversuch, Mais

Begleitend zum Praxisversuch in der Versuchssiloanlage II werden für die beiden Varianten, neuartige und konventionelle Abdeckung, Laborsilogläser angelegt. Untersucht werden der pH-Wert, der Gehalt an Essig-, Propion- und Buttersäure sowie Milchsäure und der Ammoniakgehalt der Silagen über die Dauer eines nach DLG-Schema angelegten Laborversuchs. Es wird mit jeweils drei Wiederholungen gearbeitet.

4.3.2 Versuchssiloanlage I

Die Versuche in Versuchssiloanlage I werden im September 2009 (VJ-1) und 2010 (VJ-2) mit Mais und im Juni 2010 (VJ-2) mit Gras durchgeführt. Unter dem Begriff Versuchssiloanlage I werden zwölf Modelle für befahrbare Flachsilos zusammengefasst. Für die Modelle werden U-förmige Betonkörper mit einer rechteckigen Grundfläche von 2 m² und einer Wandhöhe von 1 m verwendet (siehe Abbildung 12). Zunächst werden die Betonflächen, wie in der Praxis üblich, mit einem Siloanstrich behandelt (VJ-1: Silolack BayWa100; VJ-2: Silobeschichtung Böck), um ein mögliches Angreifen der Gärsäuren auf die Betonteile zu verhindern. Die verschiedenen Silagen werden jeweils mit einer ferngesteuerten Universalwalze von WACKER NELSON Typ RT 82-SC verdichtet, die in Abbildung 12 zu sehen ist. Das Betriebsgewicht des Gerätes beträgt 1.473 kg und die gewählte Fahrgeschwindigkeit liegt bei 20 m/min.



Abbildung 12: Verdichten eines Flachsilos mit einer Walze WACKER NEUSON RT 82-SC (links); Ebnen des abgestochenen, verdichteten Mais-Häckselguts (rechts)

Damit die Silage in allen Flachsilos eine vergleichbare Verdichtung aufweist, werden alle Silos auf dieselbe Weise befüllt.

Bei den Versuchen mit Grassilage (VJ-2) werden abweichend vom üblichen Vorgehen, Silomodelle mit einer Grundfläche von 4 m² angelegt. Hierzu werden zwei Betonkörper hintereinander gestellt und die Teile am Stoß mit einer Dichtungsmasse verbunden. In die Fahrsilos werden 14 mal 60 kg Gras gegeben, und jeweils durch zwölf Überfahrten mit der Universalwalze verdichtet. Abschließend wird mit zusätzlichen zwölf Überfahrten endverdichtet. Der Trockensubstanzgehalt des Grasses beträgt durchschnittlich 19,8 Masse-%.

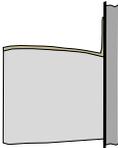
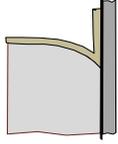
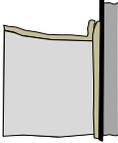
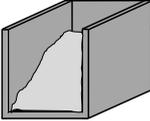
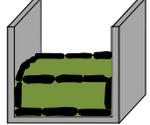
Mit Mais werden in beiden Versuchsjahren jeweils zwölf Flachsilos befüllt. Als Maß für das gleichmäßige Befüllen werden Wannen mit 90 l Volumen verwendet, wobei im Versuchsjahr 1 25 und 2010 24 Wannen à 20 kg pro Silo verwendet werden. Zuerst werden 100 kg Silomais (entspricht 5 Wannen) als Grundlage mit drei Überfahrten verdichtet. Im weiteren Verlauf werden jeweils Auflagen von 60 kg Maishäcksel hinzugefügt und durch dreimaliges Überfahren mit der Walze verdichtet. Abschließend wird das Haufwerk durch fünf Überfahrten endverdichtet. Während der Überfahrten wird besonders auf die Verdichtung am Rand geachtet. Im Versuchsjahr 1 wird die Maissorte PR38H20 und im Versuchsjahr 2 wird die Sorte Morisat verwendet. Beide Sorten haben am Erntezeitpunkt einen durchschnittlichen Trockensubstanzgehalt von 33 Masse-%. Im Jahr 2010 werden genau doppelt so viele Überfahrten als im Jahr 2009 getätigt, da der Mais stärker verdichtet werden sollte als im Vorjahr. Damit die Walze auf die Modellsiloanlage auffahren kann, wird zusätzlich Mais als eine Art Rampe aufgeschüttet, wie in Abbildung 12 (links) dargestellt. Nach Beendigung des Verdichtens wird die „Maisrampe“ mit einer Gabel abgestochen und mit einem Rechen geebnet (Abbildung 12, rechts). Dies ist erforderlich, um den Bodenanschluss der Siloabdeckung mit dem Betonteil untersuchen zu können.

Anschließend wird die Silageoberfläche mit Abdeckungsmasse in den verschiedenen Varianten besprüht. Im Versuchsjahr 1 wird das Lackiergerät Xtreme™ Mix und im Jahr 2010 das Feinputzspritzgerät verwendet. Im Versuchsjahr 1 wird die Rezeptur aus Projektphase 1 verwendet. Außerdem wird die Höhe des Abdeckmaterials und die Art des Wandanschlusses variiert (Übergang Abdeckmaterial zur Betonwand). Die unterschiedlichen Abdeckungsvarianten sind in Tabelle 3 dargestellt.

Im zweiten Versuchsjahr wird eine Versuchsvariante zur Silierung von Wiesengras vom 2. Schnitt mit der neuartigen Abdeckung angelegt. Das Gras stammt von einer Wiese in den Donauauen nahe Straubing und verfügt über eine mehr von Sauergräsern dominierte Pflanzengemeinschaft. Die Grassilos erfahren eine zusätzliche Behandlung. Um die Klebrigkeit der Oberfläche zu reduzieren und das Mikroorganismen-Wachstum zu hemmen, wird das aufgespritzte Abdeckmaterial mit einer Zitronensäure- (E330, Silo 1) und einer Futterharnstofflösung (Zusatzstoff-Nr.: 2.1.1, Silo 3) besprüht. Die Konzentrationen liegen jeweils bei 28,6 % (1,6 kg auf 4 l, 40 %). Ein weiteres Silo (2) wird mit Maisspindelgrieß bestreut. Beim Abdeckmaterial für dieses Silo wird zusätzlich Maisspindelgrieß in die Rapsöl-Komponente eingemischt.

Außerdem werden im Versuchsjahr 2 verschiedene Rezepturvarianten untersucht. Hierbei werden die vielversprechendsten Varianten der Rezepturvariationen aus den Laborversuchen ausgewählt (siehe Kapitel 4.1.2). Zusätzlich werden die Silos teilweise mit Futterkalk abgestreut, um die Klebrigkeit der Oberfläche zu vermindern. Diese Varianten sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 3: Varianten der Flachsilos der Versuchssiloanlage I (Versuchsjahr 1)

ID	Variante	Kurzbezeichnung	Dicke Abdeckmaterial	Wiederholungen
1, 2		Dünn	ca. 5 – 15 mm	2
3, 4, 9, 10		Dick	ca. 7 – 20 mm	4
5, 6		An-der-Wand-zuerst	ca. 7 – 20 mm	2
7, 8		Mit Rückwand	ca. 7 – 20 mm	2
11, 12		Referenz mit Folie und Beschwe- rung mit Sandsäcken	-	2
13, 14		Ohne feste Bodenplatte	ca. 7 – 20 mm	2

Je Flachsilo werden im Jahr 2009 im Mittel ca. 37,5 kg und 2010 31,53 kg Abdeckmaterial auf der Maissilage aufgewendet. Dies entspricht ca. 18,75 kg und 15,76 kg pro Quadratmeter Grundfläche. Bezogen auf die gewölbte Abdeckungsoberfläche von 2,4 m² entspricht dies 15,6 kg und 13,1 kg pro Quadratmeter. Letztendlich ergibt sich jeweils eine Höhe des Abdeckmaterials zwischen 0,5 und 2,0 cm. Daten für den Materialaufwand für die Abdeckung der Grassilage können nicht erhoben werden, da das Applikationsgerät bei diesem Versuch häufig verstopfte und beim Reinigen der Schläuche und Maschinenbauteilen große Mengen an Abdeckmaterial entsorgt werden mussten.

Tabelle 4: Varianten der Flachsilos der Versuchssiloanlage I (Versuchsjahr 2)

ID	Variante	Wiederholungen
1, 2	Rezeptur aus Projektphase 1	2
3, 4	Vorzugsrezeptur mit ARBOCEL R und mit Futterkalk abgestreut	2
5, 6	Vorzugsrezeptur ohne Futterkalk abgestreut	2
7, 8	Vorzugsrezeptur mit Futterkalk abgestreut	2
11	Vorzugsrezeptur mit Futterkalk abgestreut und überdacht	1
9, 10	Referenz mit Folie und Beschwerung mit Sandsäcken	2
12	Referenz ohne jegliche Abdeckung	1

4.3.3 Versuchssiloanlage II

Weitere Praxistests werden in zwei Bauartmodellen von Siloanlagen an der LfL Grub im Versuchsjahr 1 sowie im Versuchsjahr 2 durchgeführt. Die Versuchssiloanlage II ist in Abbildung 13 dargestellt. Es handelt sich dabei um zwei Flachsilos, die jeweils eine Grundfläche von 6 x 4 m vorzuweisen haben. Beim Silo mit der neuartigen Abdeckung befindet sich im Gegensatz zur konventionellen Abdeckung eine schräge Silowand (Traunstein). Dahingegen ist auf einer Seite des Silos mit der konventionellen Abdeckung eine gerade Silowand (Holstein). Die Füllhöhe liegt jeweils bei 1 m und die abzudeckende Oberfläche liegt bei 30 m². Die Versuchssiloanlage II wird vorab jeweils mit einem Hochdruckreiniger komplett gereinigt. Etwa die Hälfte der Traunsteiner Silowand ist bauseitig schon mit einem graufarbenen Schutzanstrich auf Kunstharzbasis versehen gewesen (Böck Silobeschichtung). Es wird kein weiterer Schutzanstrich auf die Betonwände aufgebracht.

Die zur Verfügung stehenden Siloanlagen können mit in der Landwirtschaft üblicher Technisierung beschickt werden. Das Ausgangsmaterial für den Praxisversuch in der Versuchssiloanlage II im Versuchsjahr 1 stammt aus einem Mais-Sortenversuch. Die Grünmaismenge für das Silo mit der neuartigen Abdeckung beträgt 5.540 kg, in das konventionell mit mehreren Kunststofffolien abgedeckte Silo werden 5.840 kg gehäckselter Grünmais eingebracht. Im zweiten Versuchsjahr wird eine Grünmaismenge von 5.540 kg (neuartige Abdeckung) und 5.840 kg (Foliensilo) verwendet. (Verlässliche Verlustrechnungen zur Trockensubstanz konnten aufgrund bei der Auslagerung bestehenden Ungenauigkeiten der Fuhrwerkswaage nicht angestellt werden.) Das Siliergut in beiden Silos wird mit einem Schlepper verdichtet.



Abbildung 13: Versuchssiloanlage II im zweiten Versuchsjahr (VJ-2): links neuartige Abdeckvariante, rechts konventionelle Folienabdeckung

Aus beiden Silos werden vor der Walzarbeit an verschiedenen Stellen in beiden Versuchsjahren repräsentative Proben genommen, die direkt zur Untersuchung auf den Trockensubstanzgehalt, die Rohnährstoffe und die Kenngrößen der Vergärbarkeit weitergeleitet werden.

Im Anschluss an die Verdichtung des Maises wird mit dem Aufsprühen des Abdeckmaterials begonnen. Im Versuchsjahr 1 wird das Zwei-Komponenten-Lackiergerät und im Versuchsjahr 2 das Feinputz-Spritzgerät mit den Exzentrerschneckenpumpen verwendet. Die Mischung wird solange in Schichten aufgetragen, bis ein gleichmäßiger Oberflächenabschluss konstatiert werden kann. An beiden Siloseitenwänden wird die Abdeckschicht bis auf eine Höhe von etwa 5 cm über die Oberfläche gesprüht. Der Sprühvorgang dauert im Versuchsjahr 1 inklusive Rüst- und Reinigungszeiten 3 Stunden. Dabei werden mehrere Pausen zur Zwischenreinigung des Mischkopfs eingeschoben. Im zweiten Versuchsjahr dauert der Sprühvorgang 3 h 40 min inklusive Reinigungspausen, da häufig gebildete Koagulate in der Latexpumpe entfernt werden müssen. Die reine Sprühzeit beträgt 45 min. Im Versuchsjahr 2 wird die neuartige Abdeckung mit Futterkalk abgestreut, um deren Klebrigkeit vorzubeugen.

Im Holsteiner Silo als Referenz werden an den beiden senkrechten Seitenwänden bis zur Kontaktstelle Wand-Boden jeweils Randfolien angebracht. Diese überstehenden Randfolien werden nach Beendigung des Festfahrens zum Schutz vor eindringendem Regenwasser und Sauerstoffzutritt komplett eingeschlagen. Anschließend wird eine transparente Unterziehfolie über den Silostock gezogen und diese noch mit einer Silofolie (weiße Seite oben, schwarz Seite unten), der guten fachlichen Praxis entsprechend, straff abgedeckt und mit Sandsäcken an den Rändern und am höchsten Punkt des Silostocks mit einem Quersteg beschwert. Zum Schutz vor mechanischen Belastungen wird noch ein Siloschutzgitter über das Silo gezogen und ebenfalls mit sandgefüllten Silosäcken befestigt.

Öffnen der Versuchssiloanlage II – Maschinelle Entnahme

Die Maissilagen der Versuchssiloanlage II werden im Versuchsjahr 1 einer Untersuchung zur Eignung maschineller Entnahmeverfahren unterzogen. Das Referenzsilo mit Folienabdeckung erfährt bezüglich der maschinellen Entnahmetechnik keine besondere Behandlung. Die Silosäcke und das Siloschutzgitter werden entfernt, die Silofolie und die Unterziehfolie abgenommen (Abbildung 14). Zur Durchführung und Beurteilung der maschinellen Entnahme am Versuchssilo stehen ein Siloblockschneider, ein Fräsmischwagen und ein Radlader mit Greifschaufel zur Verfügung.



Abbildung 14: Aufgedecktes Referenzsilo Versuchsanlage 2, VJ-1

Maschinelle Entnahme Versuchssiloanlage II – Siloblockschneider

Die Maissilage des Versuchssilos wird auf den Seiten des flachen Bodenanschlusses zunächst bis zu einer Schichthöhe von etwa 25 cm mit dem Radlader entfernt, um einen für den Blockschneider (Abbildung 15) passenden Anschnitt sicherzustellen. Es wird mehrfach Material entnommen um die erhaltenen Schnittbilder absichern zu können.



Abbildung 15: Siloblocksneider im Heckanbau

Maschinelle Entnahme Versuchssiloanlage II – Fräsmischwagen

Zur weiteren Erprobung des Verhaltens der abbaubaren Abdeckmasse gegenüber praxisüblicher Entnahmetechnik wird ein Fräsmischwagen (Horizontalmischer mit drei Schnecken) verwendet. Der Fräsmischwagen (Abbildung 16) wird im mittleren Bereich des Silostocks eingesetzt. An dieser Stelle ist die größte Stapelhöhe der Maissilage zu verzeichnen.



Abbildung 16: Fräsmischwagen

Mit Hilfe des Fräsmischwagens wird die abbaubare Abdeckmasse gegenüber der schnell rotierenden Fräswalze und den langsam drehenden Mischschnecken bei entsprechender Befüllung des Mischbehälters getestet. Gleichfalls wird das Mischbild nach dem Austrag betrachtet. Der Zustand des Silostocks nach Abschluss des Fräsvorgangs wird beurteilt. Das Fräsen wird mehrfach wiederholt.

Maschinelle Entnahme Versuchssiloanlage II - Greifschaufel

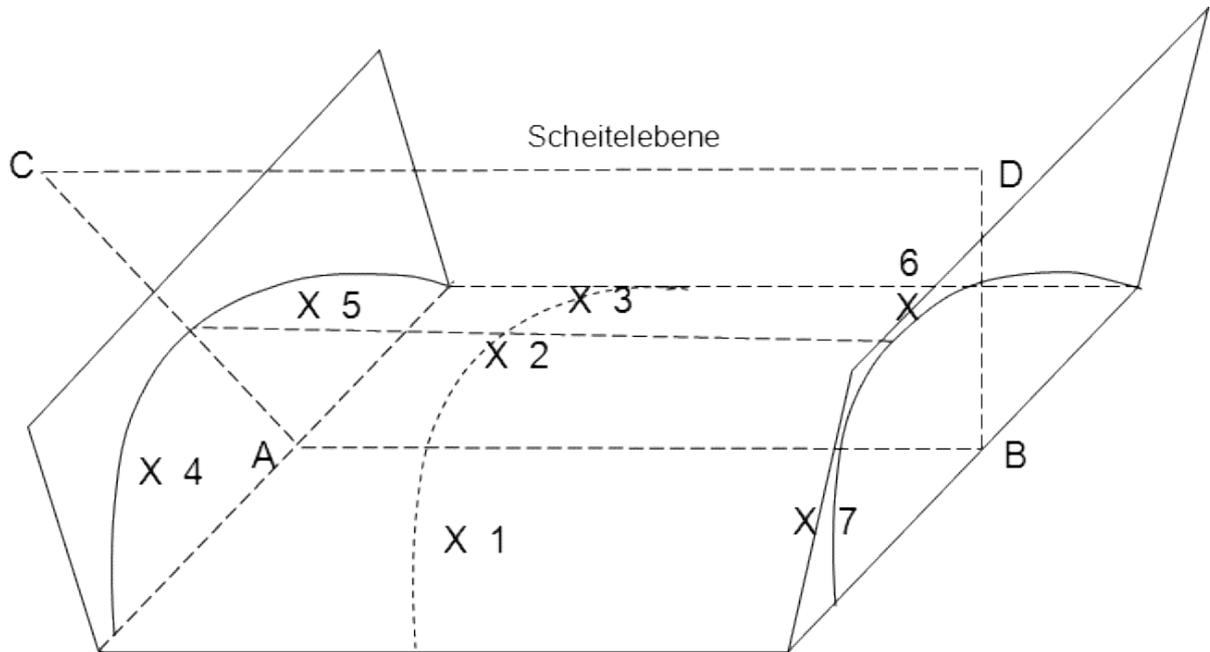
Weitere Erfahrungen bezüglich der maschinellen Entnahme der Maissilage in Verbindung mit der neuartigen Abdeckmasse, werden mit einem Radlader mit Greifschaufel gesammelt. Es werden drei Vorgehensweisen geprüft. Zum einen wird das Abdeckmaterial mit der glatten Kante der Schaufel abgestochen und beim Rückwärtsfahren des Radladers abgezogen. Zum anderen wird versucht, die Abdeckmasse mit der in der Vorwärtsbewegung schiebenden Greifschaufel aufzunehmen. Drittens wird, bedingt durch die geringe Stapelhöhe, direkt mit geöffneter Greifschaufel an den Silostock herangefahren und nach Abklappen der Greiferzinken ein Ausschnitt der Maissilage samt Abdeckmaterial entnommen.

4.3.4 Probenahme

In festen Zeitintervallen werden von der Versuchssiloanlage I Proben gezogen. Die Dichte kann über die Maßzahlen Probenvolumen und Masse ermittelt werden. Verwendet werden sowohl ein Probenehmer der Firma Pioneer (\varnothing innen: 4,6 cm) wie auch ein speziell entwickelter Probenbohrer (Langsamläufer) der Landtechnik Weihenstephan (\varnothing innen: 9,2 cm). Die Probebohrung erfolgt vertikal. Jedem Silo werden in beiden Versuchsjahren rund 1 kg Frischmasse entnommen, luftdicht verpackt, gekühlt und die Roh Nährstoffe sowie die Gärparameter analysiert. Bei längeren Wartezeiten bis zur Untersuchung wird das Probenmaterial bei $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ tiefgekühlt gelagert. Die durch die Probebohrer entstandenen Hohlräume werden unmittelbar nach der Probenziehung wieder mit der neuartigen Abdeckung aufgefüllt und luftdicht verschlossen. Der schnelle Verschluss soll ein Infundieren des Sauerstoffs in den Silostock und das damit verbundene Risiko der Nacherwärmung der Silage so gering wie möglich halten.

An der Versuchssiloanlage II werden in beiden Versuchsjahren vorab 11 Punkte zur Beprobung festgelegt, auch um eine potentielle Schichtung des Versuchsmaterials abbilden zu können. Die Probenahmestellen sind identisch für das Versuchs- und das Referenzsilo und sind in Abbildung 17 dargestellt. Die Probenahme selbst erfolgt entsprechend der Vorgehensweise in der Versuchssiloanlage I. Die Versuchssiloanlage II wird sowohl im ersten, wie auch im zweiten Versuchsjahr ausschließlich bei der Öffnung und Räumung beprobt. Sieben Probebohrungen werden von der Oberfläche vertikal in die Tiefe gesetzt, wovon drei in der Mitte der Versuchssiloanlage verlaufen und je zwei entlang der Randbereiche (Traunsteiner und Holsteiner Silowand) gezogen werden. Zwei Proben werden im Bereich der maximalen Schichthöhe des Silostocks 30 cm unterhalb der Oberfläche horizontal genommen, Randabstand je ca. 1,5 m. Zwei Probenkörper werden im gleichen Bereich, Randabstand je ca. 1,75 m, in einer Höhe von 30 cm über der Bodenplatte ebenfalls horizontal gezogen. Im Versuchsjahr 2 wird durch die Ermittlung der

Differenz der trockenmassebasierten eingelagerten Grünmaismenge im Verhältnis zur ausgelagerten Maissilage-Trockenmasse in den beiden Siloanlagen II eine Darstellung der Lagerungsverluste ermöglicht. Die gewogenen Proben werden bis zur Laboranalytik bei -20 °C eingefroren.



Legende

- 1 = vorne
- 2 = mittig
- 3 = hinten
- 4 = Rand links vorne
- 5 = Rand links hinten
- 6 = Rand rechts hinten
- 7 = Rand rechts vorne
- 8 = Scheitel v. o. links
- 9 = Scheite v. o. rechts
- 10 = Scheitel v. u. links
- 11 = Scheitel v. u. rechts

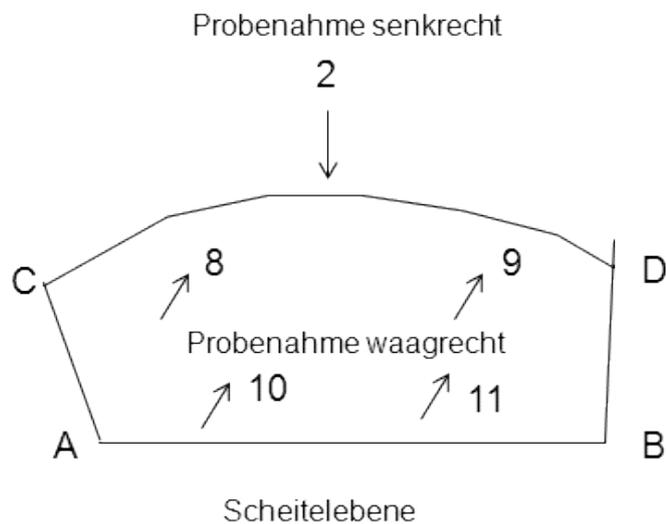


Abbildung 17: Probenahmestellen in der Versuchssiloanlage II

4.3.5 Analytik

Gärparameterbestimmung

Die Messung der pH-Werte in den filtrierten Extrakten erfolgt mit einem pH-Meter der Fa. WTW inolab level 2 und einer Schott Einstab-Messkette BlueLine pH 24 nach Temperaturkompensation.

Die Gehalte an Milch-, Essig-, Propion- und Buttersäure werden ionenchromatographisch bestimmt. Die Trennung der Säuren erfolgt mit einem Ionenchromatographen BIO LC 600 der Fa. Dionex auf einer Trennsäule HPICE AS 1, 250 x 4 mm mit einer Vorsäule LiChrospher 100, RP 18 5 µm, 25 x 4 mm bei 30 °C Säulentemperatur. Als Laufmittel dient 1,5 mmol Oktansulfonsäure in 2 % iso-Propanol in entionisiertem Wasser (v/v) bei einem Fluss von 0,8 ml/min und einem Druck von 1300 psi. Zur Steigerung der Empfindlichkeit wird ein Membransuppressor AMMS-ICE II eingesetzt, der mit 10 mmol Tetrabutylammoniumhydroxidlösung und einem Fluss von ca. 3,0 ml/min gespült wird. Die Detektion der Säuresignale erfolgt im Leitfähigkeitsdetektor ED 50, Fa. Dionex. Die Quantifizierung der Säuren wird nach der externen Standardmethode durchgeführt. Zur Gerätesteuerung, Datenaufzeichnung und -auswertung wird das Labordatensystem Chromeleon v. 7.30 der Fa. Dionex eingesetzt.

Der Gehalt an Ammoniak wird ebenfalls ionenchromatographisch bestimmt. Am Ionenchromatograph DX 300 der Fa. Dionex erfolgt die Trennung und Quantifizierung auf einer Säule CS 12, 250 x 4 mm mit Vorsäule IonPac CG 12, 40 x 4 mm mit dem Eluenten 1,5 mmol Oktansulfonsäure in 2 % iso-Propanol in entionisiertem Wasser (v/v) und einem Fluss von 0,8 ml/min. Ein Kationen-Micromembransuppressor CMMS-ICE II mit einem Regenerens aus 50 mmol Tetrabutylammoniumhydroxidlösung und dem Fluss von ca. 3,0 ml/min wird zur Steigerung der Empfindlichkeit eingesetzt. Die Detektion erfolgt im Leitfähigkeitsdetektor ED 50, Fa. Dionex. Quantifiziert wird nach der externen Standardmethode. Gerätesteuerung, Datenaufzeichnung und -auswertung erfolgt mit dem Labordatensystem Chromeleon v. 7.30 der Fa. Dionex.

Futterwert

Zur Bestimmung der Trockenmasse werden 300 bis 400 g der Frischproben in ein Trockenblech gewogen und im Trockenschrank 36 h bei 65 °C und Frischluftbetrieb vorge-trocknet. Anschließend werden die Proben 4 h bei 105 °C im Umluftbetrieb fertig getrocknet. Nach der Rückwaage wird der Trockenmassegehalt berechnet. Die Analysenprobe wird ausschließlich bei 65°C im Frischluftbetrieb getrocknet. Die getrockneten Proben werden auf einer Schneidmühle der Fa. Brabender, System Wiley, auf < 1 mm vermahlen und für die Untersuchungen in Braunglasflaschen abgefüllt. Die Nährstoffuntersuchungen des Ausgangsmaterials und der Silageproben nach der Weender-Analytik erfolgen nach Methoden des VDLUFA [26].

Zink

In den Maissilagen der Versuchsanlage I und II zum Abschluss der Probenahmen wird im zweiten Versuchsjahr der Zinkgehalt ermittelt. Die zunächst mit der Röntgen-

Fluoreszenz-Analyse (RFA) erfassten Werte werden noch zusätzlich mit der Atom-Absorptions-Spektroskopie (AAS) abgesichert.

4.4 Beurteilung der Silageabdeckung

4.4.1 Chemische und physikalische Eigenschaften

Um die Eignung des Abdeckmaterials für die Einlagerung von Silage beurteilen zu können, erfolgen chemische und physikalische (mechanische) Untersuchungen. Die optimierte Rezeptur wird auf das ausgewählte Zwei-Komponenten-Applikationssystem überführt.

Dabei wird untersucht, ob das Abdeckmaterial auch für eine Sprühapplikation geeignet ist. Im nächsten Schritt erfolgt die Herstellung von Probekörpern, um anschließend die Gelierzeit und den Trocknungsprozess näher zu ermitteln und physikalische und chemische Analysen durchzuführen.

Gelierzeit

An speziell hergestellten Probekörpern wird geprüft, ob die erzielten Ergebnisse der Versuchsreihe I auch mit der Versuchsreihe II mit dem Zwei-Komponenten-Sprühsystem erreicht werden. Dabei wird die Gelierzeit vom Beginn des Gießens bzw. Gesprühten bis hin zum vollständig gelierten Zustand der Probe mit klebefreier Oberfläche notiert.

Temperatureinfluss

Nach der Applikation werden die hergestellten Proben bei verschiedenen Temperaturen (-18 °C, 8 °C, 21 °C) und in verschiedenen Zeitintervallen (14 Tage bis zu 6 Wochen) gelagert. Die Probestücke werden vorher und nachher gewogen und Länge, Breite und Höhe gemessen.

Quellfähigkeit

Da das Abdeckmaterial in seiner späteren Verwendung verschiedenen Wettereinflüssen ausgesetzt sein wird, werden die Proben auf ihre Wasseraufnahmefähigkeit (Quellfähigkeit) geprüft. Dabei wird ein definiertes Probestück von der Größe 5 x 5 cm in einem mit Wasser gefüllten Becherglas für 10 min, 1 h, 5 h, 24 h, 48 h und 72 h exponiert. Die Proben werden in unterschiedlichen Zeitabständen entnommen, gewogen und mit einem Messschieber Länge, Breite und Höhe gemessen, um Aussagen über Größenänderungen und Gewichtszunahmen treffen zu können.

Alterungsbeständigkeit unter UV-Licht

Der Aspekt der Alterung des Abdeckmaterials unter Sonneneinstrahlung wird modellhaft mit Hilfe von UV-Licht (UV-Lampenhalter „Bioblock Scientific“ mit UV-Lampe VL-6.LC) untersucht. Die Wellenlänge liegt bei 365 nm (UV-A). Das Abdeckmaterial (Probekörper von 5 x 5 cm) wird bis zu 5 Wochen unter der UV-Lampe gelagert. Die Beurteilung des Materials erfolgt anhand optischer Veränderungen sowie der Zugfestigkeit.

Zugfestigkeit

Die mechanischen Eigenschaften wie Festigkeit und Elastizität des Abdeckmaterials werden im Zugversuch ermittelt. Dazu werden Probekörper in Anlehnung an die DIN EN ISO 527-3 angefertigt. Die Messungen erfolgen mit einer Universal Zug-/Druckprüfmaschine des Herstellers Instron.

Die Parametereinstellungen an der Prüfmaschine sind wie folgt:

Prüfnorm	F _{maxZug} ; VK ohne; v 50 mm/min
Kraftaufnehmer	10 N
Probenhalter	Schraubzangenhalter

Hafffestigkeit

Die Hafffestigkeit des Abdeckmaterials wird unter folgenden Bedingungen getestet. Eine Folie wird an markierten Stellen an eine senkrechte Fläche angebracht und das Abdeckmaterial durch Aufspritzen appliziert. Die Beurteilung der Fließneigung sowie die Haffeigenschaft des Abdeckmaterials erfolgen visuell.

Umweltsimulation

Ausgewählte Rezepturvarianten der Abdeckmasse werden einer Umweltsimulation unterzogen. Alle 24 Stunden erfolgt ein Wechsel der Umgebungsbedingungen unter denen die Probekörper gelagert werden. Die Dauer des Gesamtzyklus beträgt eine Woche. Nachfolgende Tabelle 5 zeigt die Bedingungen der einzelnen Tage. Die Beurteilung der Probekörper erfolgt visuell jeweils vor jedem Wechsel der Umgebungsbedingung. Dabei werden folgende Kriterien charakterisiert:

- Oberflächenbeschaffenheit (Austritt von Öl oder Wasser, Risse)
- Schrumpfung

Tabelle 5: *Bedingungen der Probenlagerung zur Simulation der natürlichen Umwelt*

Teilzyklus	Umgebungsbedingungen
1. Tag	Lagerung der Proben bei Raumtemperatur (ca. 20 °C)
2. Tag	Wasserzugabe auf die Probenoberfläche (Leitungswasser); Lagerung der Proben bei Raumtemperatur (ca. 20 °C)
3.Tag	Simulation der Sonneneinstrahlung durch zweistündige Behandlung mit UV-Strahlung und 2-stündiger Lagerung im Trockenschrank bei 30 °C
4. Tag	Lagerung unter freiem Himmel mit direkter Sonneneinwirkung auf die Proben (Lufttemperatur > 25 °C) ca. 11 h
5. Tag	Entnahme der Proben und Einlagerung bei Raumtemperatur; Wasserzugabe auf Probenoberfläche, ca. 5 h Bewässerung; anschließend Einfrieren der Proben bei -25 °C
6. Tag	Einlagerung der Proben im Gefrierfach bei -25 °C
7. Tag	Einlagerung der Proben im Gefrierfach bei -25 °C

4.4.2 Spritzversuche

Da bei den Silierversuchen nicht erklärbare Unterschiede in Misch- und Aushärteverhalten der Abdeckmasse beobachtet werden, werden im Versuch der Einfluss der Wechselwirkung der beiden Komponenten, des Applikationsgeräts und der Einfluss der jeweils herrschenden Umgebungsbedingungen näher beleuchtet. Um Applikationstechnik und -verfahren sowie die Rezeptur aufeinander abzustimmen, werden deshalb Spritzversuche mit dem Feinputzspritzgerät durchgeführt. Hierbei werden die Parameter Temperatur, Druck und Rezeptur variiert und die Auswirkung auf das Aushärteverhalten und die Qualität der Abdeckmasse sowie auf das Applikationssystem (z. B. Ablagerungen) untersucht. Die Varianten sind in Tabelle 6 dargestellt. Außerdem wird die Genauigkeit der Dosierung durch die Exzentrerschneckenpumpen untersucht. Hierzu werden drei Wiederholungen je Variante durchgeführt.

Zusätzlich zu den Varianten mit unterschiedlichen Einflussparametern wird die Restmenge der Materialcharge vom 14.06.2010, die beim Gras Silieren kein zufriedenstellendes Ergebnis zeigte, mit in die Versuchsreihe aufgenommen (siehe Kapitel 5.1.4). Für die drei Wiederholungen wird jeweils eine frische Charge gemischt.

Die Versuche werden mit dem in Abbildung 8 dargestellten Applikationsgerät durchgeführt. Um sonstige Einflüsse möglichst gering bzw. konstant zu halten, wird das Vorgehen standardisiert. Die Förderschläuche für die beiden Komponenten von der Förderpumpe bis zum Mischblock werden auf 1,5 m verkürzt. Alle Varianten, außer der Variante „Statikmischer“, werden mit dem „mittleren“ Statikmischer (Durchmesser: 20 mm; Länge: 800 mm) durchgeführt. Die Drehzahl der beiden Pumpen wird für alle Varianten

auf den jeweils gleichen Wert eingestellt. Für jeden Durchgang werden insgesamt 8 kg der beiden Komponenten vorbereitet, in die Pumpen gefüllt und appliziert. Die reine Spritzzeit pro Variante liegt bei ca. 30 – 45 Sekunden. Nach jedem Durchlauf werden die Pumpen, der Mischblock und die Schläuche mit jeweils 10 kg Wasser und Spülmittel gespült. Danach wird das System geöffnet und der Statikmischer auf Verstopfung oder anhaftende Latex-Koagulate untersucht und ggf. gereinigt.

Tabelle 6: Varianten der Spritzversuche mit dem Feinputzspritzgerät

Variante, Beschreibung	Kurzbezeichnung	Wiederholungen
Referenz: „mittlerer“ Statikmischer, Raumtemperatur	Referenz	6
Höherer Druck durch Verjüngung des Querschnittes in der Förderstrecke	HöhererDruck	3
Variation Statikmischer „klein“, „mittel“ und „groß“	Statikmischer	3
Kühlen der Komponenten und der Geräte auf 7 °C	Niedrige Temperatur	3
Doppelte KOH-Menge in der Latexkomponente	KOH-Zugabe	5
Kreide statt Futterkalk	Mit Kreide	3
Charge vom 14.06.2010	Charge (14.06.10)	3

Appliziert werden die verschiedenen Varianten zum einen auf gerahmte Kartonagen mit 25 x 50 cm Kantenlänge und 5 cm Höhe und zum anderen in Pappschalen mit 15 cm Durchmesser und einer Höhe von ca. 3 cm. Bei den Proben wird die Beschaffenheit des Abdeckmaterials optisch beurteilt. Die Schrumpfung wird anhand des Spalts zwischen Abdeckmaterial und Rahmen untersucht sowie die Klebrigkeit bonitiert.

Zur Beurteilung der Aushärtengeschwindigkeit wird das Probenmaterial in den Pappschälchen im Abstand von 3 Minuten, 30 Minuten und 24 Stunden nach der Applikation einer sogenannten Penetrometermessung unterzogen (siehe Abbildung 18). Dazu wird ein zylindrischer Prüfkörper mit kegelförmiger Spitze eines Rotationsviskosimeters (Typ PHYSICA MCR101 der Firma Anton Paar) mit einer Geschwindigkeit von 1 mm/s in die Probe bewegt und die dazu nötige Kraft (Normalkraft) gemessen. Die Eindringtiefe des Zylinders in die Probe beträgt jeweils 10 mm. Für die letzten 2,5 mm des Eindringens des Prüfkörpers in die Probe wird das Kraft-Weg-Diagramm ermittelt und zur Auswertung herangezogen. Die Zunahme der Kraft (F in N) pro Weg (s in mm) dient in diesem Falle als Maß für die Aushärtung der Probe. Auch beim Herausbewegen des Prüfkörpers aus der Probe wird die Abnahme der Kraft pro Millimeter gemessen. Die Abnahme der Kraft (F in N) pro Weg (s in mm) wird erhoben, um Rückschluss auf die Elastizität der Probe zu ermöglichen. Analog zum Eindringen in die Probe wird das Herausbewegen des Prüfkörpers aus der Probe die ersten 2,5 mm beurteilt.



Abbildung 18: Penetrometermessung – Beispiel: Herausbewegen des Prüfkörper aus der Probe

Um die Vermischung der beiden Komponenten bei Verwendung des Applikationsgerätes zu untersuchen, werden Spritzversuche mit eingefärbter Latexkomponente durchgeführt. Dazu wird der Latexkomponente ein blauer Farbstoff zugegeben und nach der Herstellung eines Probenkörpers die Verteilung der Farbe in der Probe optisch beurteilt.

4.4.3 Versuchssiloanlage I

Nach dem Bedecken der Silagen ist das Abdeckmaterial allen Umwelteinflüssen ausgesetzt. Es werden regelmäßig die Veränderungen der Oberflächenbeschaffenheit sowie des Wand- und Bodenanschlusses der Flachsilos nach optischer Begutachtung dokumentiert. Anfangs erfolgt die Kontrolle täglich, später wöchentlich und danach in zweiwöchigen Abständen. Dabei wird die Oberfläche auf beispielsweise Tierspuren, Schimmelpilzwachstum, Schmutz, Löcher, Klebrigkeit oder sonstige Unregelmäßigkeiten untersucht. Außerdem wird der Bodenanschluss zwischen Abdeckung und Bodenplatte sowie der Wandanschluss begutachtet. Schrumpfungen beziehungsweise Spalten zwischen Abdeckung und Wand werden dokumentiert. Um die Hebung und Senkung des Silostocks zu ermitteln, wird die Höhe des Stockes über den Abstand zwischen der Waagerechten und dem Boden der Betonteile an jeweils sieben festgelegten Stellen am Silostock gemessen.

4.4.4 Versuchssiloanlage II

Ab dem Zeitpunkt der Applikation wird einmal wöchentlich der Zustand des konventionellen und des mit der neuartigen Abdeckung belegten Silos dokumentiert. Ein spezielles Augenmerk liegt hier auf dem Verhalten der Abdeckungsmasse am Wandanschluss und

an der Verbindung zur Bodenplatte. Besondere Veränderungen und Vorkommnisse werden dokumentiert.

Nach den Erfahrungen aus dem ersten Versuchsjahr – die Oberfläche war hier aufgrund von Ölaustritt sehr klebrig – sollte im Versuchsjahr 2 durch zwei Maßnahmen ein erneutes Anhaften von z. B. Laub verhindert werden. Zum einen wird die frisch aufgesprühte Zwei-Komponenten-Mischung mit dem Einzelfuttermittel Futterkalk (Calciumcarbonat, E 170) abgestreut, zum anderen wird vor Beginn des Laubfalls eine Netzkonstruktion über dem Versuchssilo errichtet (Abbildung 19). Diese wird nach Ende des Laubwurfs noch vor dem ersten Schneefall wieder entfernt. Veränderungen an der Oberfläche und am Wandanschluss der neuartigen Abdeckung werden dokumentiert.



Abbildung 19: Mit Futterkalk bestreutes und mit Netzkonstruktion überspanntes Versuchssilo im Versuchsjahr 2

4.4.5 Mykologische Untersuchung der Abdeckung

Die mykologische Untersuchung des Abdeckmaterials erfolgt mit dem Oberflächenkultur-Spatelverfahren nach Gedek [11] am Lehrstuhl für Tierhygiene der Technischen Universität München. Dazu werden 10 g Frischmasse des Materials in einem Erlenmeyer-Kolben mit 90 ml 1%iger Peptonlösung versetzt und auf einem Horizontalschüttler für 30 min. geschüttelt. Die Suspension wird verdünnt und auf zwei unterschiedliche Nährböden aufgebracht, Sabouraud-Dextrose-Agar und Dichloran-Glycerin-18-Agar. Während ersterer für die unspezifische Anzucht aller vorhandenen eukaryotischen Keime gedacht ist, handelt es sich beim zweiten um einen Selektiv-Agar zur Anzucht trockenheitstoleranter Hefen und Schimmelpilze. Die Differenzierung der Keime erfolgt anhand morphologischer und mikroskopischer Eigenschaften.

Die mykotoxikologische Untersuchung erfolgt ebenfalls am Lehrstuhl für Tierhygiene der Technischen Universität München nach einer Hausmethode. Die Analyse des Abdeckmaterials mittels HPLC-MS/MS-Technik bleibt auf die Fusarientoxine Deoxynivalenol (DON), Nivalenol (NIV) und Zearalenon (ZEA) beschränkt.

4.4.6 Futtermittelrechtliche Untersuchung der Komponenten

Aus bisherigen Untersuchungen und Gesprächen ergibt sich die Frage, wie das Zwei-Komponenten-Gemisch insgesamt in die rechtlich definierten Futtermittelkategorien einzuordnen ist. Speziell für Naturlatex besteht hier Klärungsbedarf. Dieses Material verfügt bisher auf keinem Gebiet des Futtermittelrechts über eine Einstufung. Daher müssen die zuständigen Officialstellen (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG), Landesamt für Gesundheit und Lebensmittel (LGL), und die Regierung Oberbayern, SG 56) kontaktiert werden.

4.4.7 Verhalten in Biogasanlagen – anaerober Abbau

Zur Beurteilung des Verhaltens des Abdeckmaterials in Biogasanlagen wird untersucht, wie sich die Abdeckung im Labor-Gärbehälter verändert. Es werden zwei 36-Liter Durchflussfermenter des Instituts für Landtechnik und Tierhaltung (ILT) der Landesanstalt für Landwirtschaft verwendet. Zur Absicherung der Ergebnisse werden zwei Wiederholungen angelegt. Die Abdeckung wird zunächst grob zerkleinert (ca. 1 x 1 cm Kantenlänge, 0,3 cm Höhe) und in einen mit einem Sieb versehenen Behälter in einen Labor-Gärbehälter gegeben. Wöchentlich wird der Siebbehälter entnommen, mit Wasser gespült, damit keine Gülle- und Gärreste an der Probe anhaften und anschließend wird das Abdeckmaterial mit Tüchern trockengetupft und gewogen. Der Zustand des Materials wird fotografisch dokumentiert.

4.4.8 Kompostierungseigenschaften – aerober Abbau

Die Kompostierungsversuche mit dem Abdeckmaterial werden einerseits in Grüngut als Kompostsubstrat und andererseits in Kompostsubstrat aus Biotonnen „Biomüll“ in einer kommerziellen Kompostierungsanlage durchgeführt. Es wird das Abdeckmaterial verwendet, das in den Versuchen im September 2009 (Versuchssiloanlage 1) gespritzt wurde. Nach dem Auflösen der Kleinsilos wird das Abdeckmaterial im Juni/Juli 2010 in der Kompostanlage eingesetzt.

Trockenfermentation mit Kompostsubstrat aus Biotonnen:

In das Kompostsubstrat werden drei mit jeweils acht Abdeckungsstücken (jeweils 8 x 12 cm) befüllte nichtkompostierbare Kunststoffnetze in das Kompostgut gegeben, wobei die Stücke mit frischem Kompostgut (Biotonnengut) vermengt werden. Nach dem Schließen des Fermenters wird die Kompostmenge mit Sauerstoff belüftet, bis eine Temperatur von 40 °C erreicht wird. Nach dem Erreichen der Zieltemperatur wird das Substrat mit Perkolat befeuchtet. Das Perkolat entspricht dem Saft, der beim vorhergegangenen Fermentationsprozess entstanden war. Somit wird das Substrat mit einem Bakterienstamm beimpft. Der Abbau wird auch durch die Zugabe von bereits fermentiertem Material in den Fermentationsbehälter verstärkt. Danach wird das Gut für 21 Tage fermentiert. Das fermentierte Gut wird anschließend mit einem Anteil von Grüngutkompost auf einer Kompostmiete gelagert. Hierbei werden Temperaturen von ca. 45 – 75 °C erreicht. Schließlich wird die Kompostmiete sechs Wochen lang zweimal wöchentlich

maschinell umgesetzt. Dabei müssen die Probensäckchen zuvor aus der Kompostmiete ausgegraben werden. Dabei besteht die Möglichkeit sie zu öffnen und frisch mit Substrat zu vermengen, bevor sie wieder eingegraben werden.

Kompostierung von Grüngutabfällen

Jeweils acht Stücke der Siloabdeckung (8 x 12 cm) werden mit Grüngut vermengt und in nichtkompostierbare Netze gegeben. Die drei Netze werden für insgesamt sechs Wochen in einer Grüngutmiete kompostiert. Die Miete wird zweimal in der Woche maschinell umgesetzt. Dazu müssen die Probensäckchen aus der Miete ausgegraben werden und werden ebenfalls frisch mit Substrat vermengt bevor sie wieder eingegraben werden.

Zur Beurteilung der Kompostierung werden diese von Hand vom Kompostgut getrennt und auf Anzahl der Bruchstücke, Oberflächenbeschaffenheit, Grad der Zersetzung und weitere besondere Auffälligkeiten hin untersucht.

4.5 Gefährdungs- und Risikoanalyse

Die Gefährdungs- und Risikoanalyse wird unter Berücksichtigung des Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG), den Berufsgenossenschaftlichen Grundsätzen und Regeln (BGG, BGR, BGV), der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) durchgeführt [3]. Es wird eine Analyse für das konventionelle sowie das neuartige Verfahren durchgeführt und diese anschließend miteinander verglichen.

Als „konventionelle Siloabdeckung“ wird, die in der Praxis am häufigsten anzutreffende Abdeckung eines befahrbaren Silos mit Seitenwänden mit Folien und Sandsäcken, gewählt. Hierbei wird zuerst eine Unterziehfolie, dann eine Abdeckfolie und anschließend eine Schutzplane von mindestens vier Personen auf das Silagehaufwerk aufgebracht. Die Folienlagen werden möglichst glatt gezogen und es wird ein möglichst dichter seitlicher Abschluss hergestellt. Anschließend wird vor allem der Silorand mit Sandsäcken beschwert. Beim neuartigen Abdeckverfahren steht vor allem das Aufbringen eines Zweikomponenten-Materials mit einem Spritzgerät im Vordergrund. Bei diesem fiktiven Verfahren sind zwei Personen beteiligt. Eine Person lenkt eine Zug- bzw. Arbeitsmaschine und die zweite Person bedient von dieser Maschine aus das Spritzgerät. Die beiden Verfahren wurden auf folgende Gefährdungen [3] hin untersucht:

- Mechanische Gefährdungen
- Elektrische Gefährdungen
- Gefahrstoffe
- Biologische Gefährdungen
- Brand- und Explosionsgefährdungen
- Thermische Gefährdungen
- Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen

- Gefährdungen durch Arbeitsumgebungsbedingungen
- Physische Belastungen
- Psychische Faktoren
- Sonstige Gefährdungen

Für die Einschätzung des Risikos der Gefährdungen werden Bewertungsstufen der Wahrscheinlichkeit und des Schadensausmaßes verwendet. Diese sind in Tabelle 7 dargestellt [3].

Zusätzlich werden zu jeder Gefährdung Schutzmaßnahmen formuliert. Jedoch sind technische und organisatorische Maßnahmen nicht mit aufgeführt. Es wird davon ausgegangen, dass bei beiden Anwendungsfällen alle technischen Maßnahmen zum Schutz bereits vorab getroffen worden sind. Ein solch gerätebezogener spezifischer Schutz ist zum Beispiel die Abdeckung um die Zapfwelle am Schlepper, der Griffschutz vor einer Exzentrerschneckenpumpe oder die Isolierung um stromführende Drähte. Organisatorische Maßnahmen wie zum Beispiel die Unterweisung der Arbeitspersonen werden vorausgesetzt.

Tabelle 7: Bewertungsstufen der Wahrscheinlichkeit und des Schadensausmaßes für die Risikoabschätzung von Gefahren [3]

Wahrscheinlichkeit		Schadensausmaß	
Beschreibung	Abkürzung	Beschreibung	Abkürzung
Häufig	A	Ohne Arbeitsausfall	I
Gelegentlich	B	Mit Arbeitsausfall	II
Selten	C	Leichter bleibender Gesundheitsschaden	III
Unwahrscheinlich	D	Schwerer bleibender Gesundheitsschaden	IV
Praktisch unmöglich	E	Tod	V

4.6 Ökonomische Betrachtung

In einem Kostenvergleich werden zum einen das konventionelle Siloabdeckverfahren und zum anderen das neuartigen Verfahren miteinander verglichen. Hierbei werden nur das Ab- und das Aufdecken des Silos untersucht. Arbeitsgänge, die bei beiden Verfahren gleich sind, werden vernachlässigt. Beispielsweise ist das Verdichten der Silage immer erforderlich, unabhängig von der Abdeckvariante. Für den Vergleich werden zwei Modellsilos unterschiedlicher Größe verwendet. Bei dem ersten Modellsilo handelt es sich um ein Silo mit 100 m² Grundfläche. Beim zweiten Modellsilo wird von einem Silo mit 500 m² Grundfläche ausgegangen. Bei der Silierung fallen Material-, Arbeitszeit-, Maschinen- und Entsorgungskosten an, die in der Berechnung berücksichtigt werden [8].

Als Grundlage für die Modellierung werden Daten an zwei Silos mit konventioneller Abdeckung in der Praxis erhoben. Hierbei handelt es sich um Silos, die mit einer Unterziehfolie, einer weiteren Folie sowie mit einem Schutzgitter ausgestattet sind. Zur Beschwerung werden Sandsäcke verwendet. Aus den Praxisdaten werden die Daten für die Modellierung übernommen, zuvor werden die Daten um untypische Arbeitsabläufe bereinigt.

Beim neuartigen Verfahren wird als Datenbasis das Abdecken bei der Versuchssiloanlage II im Versuchsjahr 2 mit dem Feinputzspritzgerät verwendet (siehe Kapitel 4.3.3). Die Daten des Versuchssilos werden auf die zwei Modellsilos (100 m²; 500 m²) hochgerechnet. Es wird ein Verfahren angenommen, das mit zwei Arbeitskräften bewerkstelligt wird. Eine Person bedient von der Maschine aus das Spritzgerät und die zweite Person lenkt die Zug- bzw. Arbeitsmaschine. Es wird davon ausgegangen, dass nicht nur mit einer sondern mit fünf Spritzdüsen abgedeckt wird.

Die **Materialkosten** beziehen sich bei der konventionellen Abdeckung auf Folien, Schutzgitter und Sandsäcke. Hierbei werden die Daten aus den Rechnungen der untersuchten Betriebe und aus Recherchen genutzt. Die Nutzungsdauer von Silosäcken und Schutzgitter wird ebenfalls erhoben. Für die Kostenkalkulation des neuartigen Abdeckmaterials werden Einzelkomponentenhersteller und Händler um Preisangaben gebeten. Da eine Kostendegression bei größeren Abnahmemengen erwartet wird, werden zur jeweiligen Einzelkomponente gestaffelte Bezugsmengen angefragt. Die Hersteller und Händler werden außerdem zu Einschätzungen bezüglich Preisschwankungen und Marktgegebenheiten der Einzelprodukte befragt.

Die **Arbeitszeitkosten** werden mit dem Arbeitszeiterfassungsmodell nach REFA (Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmerentwicklung e. V.) [29] erhoben. Nach der Definition der Arbeitsschritte beim Siloab- und -aufdecken werden die Arbeitszeiten der Arbeitskräfte durch Videoaufzeichnung festgehalten. Mittels der Fortschrittszeitmessung werden schließlich die Arbeitszeiten der einzelnen Arbeitskräfte in Tätigkeit und in Unterbrechung der Tätigkeit gegliedert. Die Tätigkeiten werden dabei in Haupt-, Neben- und zusätzliche Tätigkeiten unterteilt. Die Unterbrechungen der Tätigkeiten sind ablauf-, störungs- oder erholungsbedingt sowie persönlich bedingt. Außerdem werden die Einflüsse der Umgebung wie Witterung, Lichteinfluss sowie personenbezogene Faktoren wie Alter, Erfahrung, Geschlecht erfasst. Dies wird sowohl beim Auf- als auch beim Abdecken der Silos erhoben. Für die Arbeitszeitkosten werden Maschinenring-Verrechnungssätze von 12 €/h angesetzt.

Die **Maschinenkosten** beziehen sich zum Beispiel auf Schlepper und Teleskoplader. Die Zeiten beim Auf- und beim Abdecken werden nach REFA ermittelt. Für die Applikation der neuartigen Abdeckung werden Maschinenkosten angesetzt, die sich an den Maschinenringsätzen für einen Traktor mit angebaute Pflanzenschutzspritze orientieren.

Es wird davon ausgegangen, dass **Entsorgungskosten** nur bei der konventionellen Abdeckung anfallen. Außerdem wird angenommen, dass die Säuberung der Transportbehälter der Komponenten in den Transportkosten enthalten ist. Somit werden nur beim

konventionellen Verfahren Entsorgungskosten angesetzt, die bei den Praxisbetrieben erhoben werden.

Sobald die neuartige Abdeckung als Futtermittel oder als Biogassubstrat eingesetzt werden kann, kann der **Energiegehalt der Abdeckung** in der Kostenkalkulation berücksichtigt werden. Dadurch vermindern sich die Kosten für die neuartige Siloabdeckung. Da sich in der Rezeptur 32,6 % Rapsöl befindet, wird vereinfacht davon ausgegangen, dass der entsprechende Energiegehalt in der Abdeckung wiederum genutzt werden kann. Dieser Rapsölanteil wird in Höhe des Einkaufspreises für Futteröl von den Kosten abgezogen.

In einem dritten Kostenvergleich wird ein nicht abgedecktes Fahrsilo mit einem entsprechenden Fahrsilo verglichen, das mit dem neuartigen Verfahren abgedeckt wird. Zu diesem Kostenvergleich wird ein Silo mit einer Grundfläche von 2.500 m² angenommen. Beim nicht abgedeckten Silo werden die Verluste einbezogen, die in den obersten Schichten des Silagestocks durch Verderb der Maissilage entstehen. Bei den Kosten des neuartigen Verfahrens werden die oben genannten Kosten angesetzt.

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Herstellung des Abdeckmaterials im Labormaßstab

Die Herstellung und das Mischen des Abdeckmaterials erfolgen mit einem Rührgerät. Dies dient der Reproduktion der bestehenden Rezeptur aus Projektphase 1, die sich aus zwei Komponenten zusammensetzt: Komponente A, Öl-Feststoff-Gemisch und Komponente B, Wasser-Latex-Gemisch (Abbildung 20 und Abbildung 21).

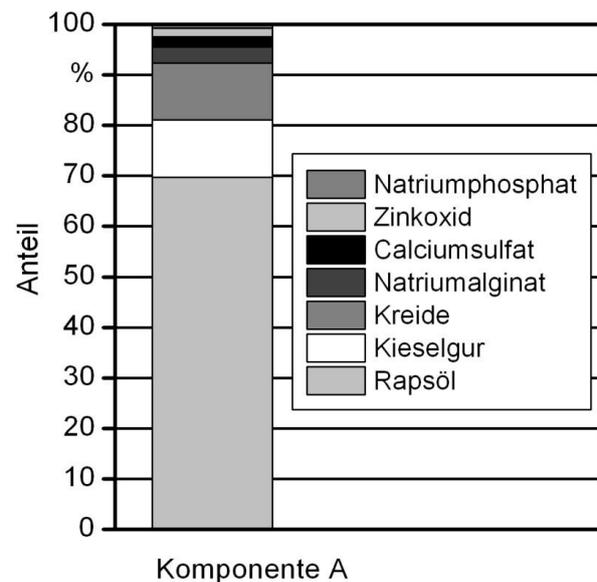


Abbildung 20: Komponente A (Öl-Feststoff-Gemisch) und deren Bestandteile

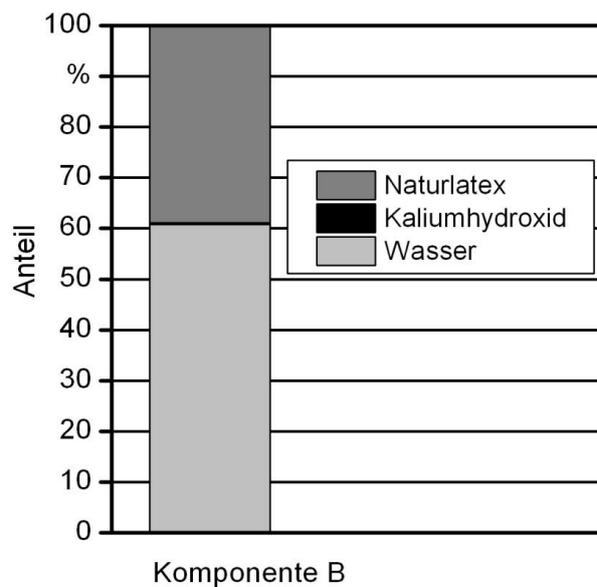


Abbildung 21: Komponente B (Wasser-Latex-Gemisch) und deren Bestandteile

Die beiden Komponenten werden verrührt (Rührgerät), um das gewünschte Abdeckmaterial herzustellen. Dabei reagieren diese miteinander und es kommt zum Gelieren des Materials. Der Übergang von der flüssigen zur festen Phase erfolgt je nach Menge des Verzögerers mehr oder weniger schnell. Die Verwendung von 20%igem Verzögerer (Kaliumhydroxid) zeigt die besten Gelierergebnisse nach 45 bis 60 Sekunden.

5.1.1 Optimierung der Rezeptur

Die Rezeptur wurde mit folgender Zielstellung optimiert:

- Verkürzung der Gelierzeit,
- Aufschäumen,
- Vermeidung des Zinkausfalles in der Komponente B,
- Vermeidung der Koagulation des Latex,
- Vermeidung von Rissbildung und Schrumpfung,
- Vermeidung einer klebefreien Oberfläche.

Die ermittelten Ergebnisse der Handrührversuche dienten als Richtgröße für die anschließenden Versuche mit dem Zwei-Komponenten-Applikationssystem.

Zinkausfall

Eine weitere Eigenschaft der Einzelkomponenten ist, dass das Zinkoxid in dem Wasser-Latex-Gemisch (Komponente B) schon bei kurzer Lagerungszeit ausfällt. Um den Zinkausfall zu vermeiden, wurde die Menge des Zinkoxids vorerst verringert. Das Ergebnis war jedoch nicht zufrieden stellend. Im nächsten Schritt wurde es dem Öl-Feststoff-Gemisch (Komponente A) zugegeben und es kam zu keinem weiteren Zinkoxidausfall.

Variation des Verzögerers

In Experimenten wurde der Verzögerer in 20%iger und 40%iger Kaliumhydroxidlösung untersucht. In den Versuchen hat sich gezeigt, dass mit 20%iger Konzentration des Kaliumhydroxids die Gelierung verkürzt wird. In der nachfolgenden Abbildung 22 sind die Ergebnisse unter Berücksichtigung der Streuung zusammengefasst. Es ist zu erkennen, dass die Gelierzeit mit 20%iger KOH-Lösung niedriger ist als bei Einsatz der 40%igen Lösung. Es wurden von beiden Konzentrationen fünf Proben hergestellt. Der Mittelwert der Gelierzeit mit 20%iger KOH-Lösung ist 19 Stunden und bei Verwendung der 40%igen KOH-Konzentration 42 Stunden.

In der Rezeptur der ersten Projektphase wurde eine Menge von 1,6 ml KOH auf 1 kg Abdeckmaterial verwendet. Nachfolgend soll geprüft werden, ob bei einer Dosierung mit einer 20%igen KOH-Lösung die gleichen Resultate erzielt werden. Die Ergebnisse sind in Abbildung 23 dargestellt.

Die KOH-Konzentration pro Kilogramm Abdeckmaterial wurde zwischen 0,3 ml/kg und 3,2 ml/kg variiert. Die kürzeste Gelierzeit wurde bei einer Zugabe von 1,6 ml KOH (20%ig)/kg Abdeckmaterial erreicht. Bei geringerer und höherer Dosierung des Verzögerers kam es zu einem Anstieg in der Gelierzeit.

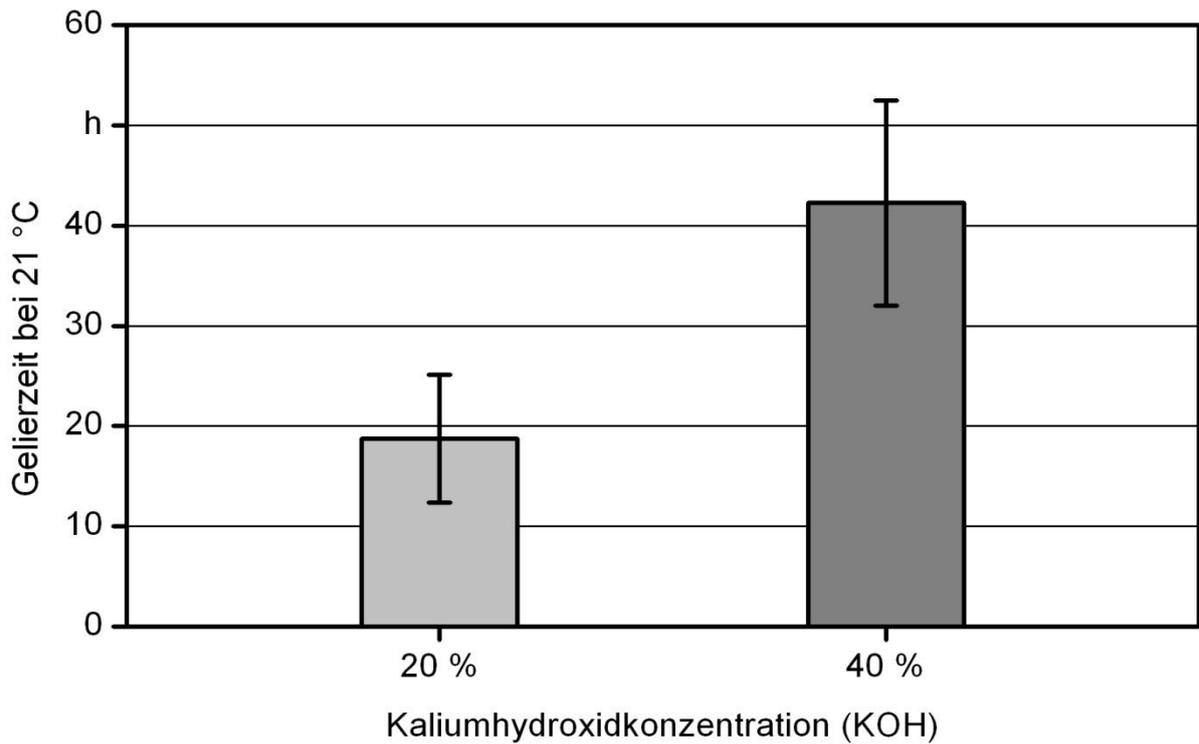


Abbildung 22: Gelierzeit in Abhängigkeit zweier Kaliumhydroxid-Konzentrationen pro 1 kg Abdeckmaterial (jeweils $n = 5$)

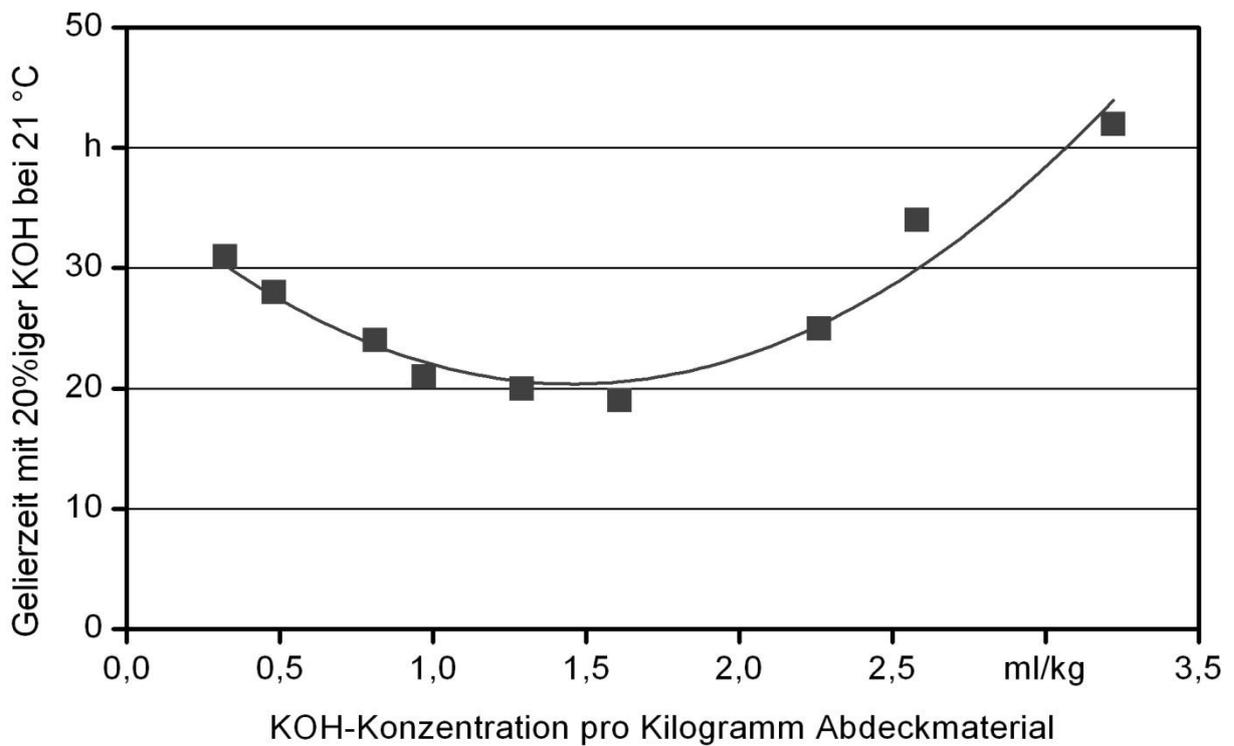


Abbildung 23: Gelierzeit in Abhängigkeit der KOH-Konzentration pro 1 kg Abdeckmaterial

Aufschäumversuche

Mit Hilfe des Aufschäumens soll die Porosität erhöht werden, um das Abdeckmaterial aufzulockern und gleichzeitig Materialkosten einzusparen. Es gibt Erkenntnisse, dass unedle Metallpulver sich für ein Aufschäumen eignen, da diese mit Wasser unter Entwicklung von Wasserstoff reagieren und dabei Metallhydroxide bilden. Der entstehende Wasserstoff wirkt als Treibgas. Dies führt im Idealfall zu einer Porositätserhöhung und damit zur Aufschäumung [30]. Deshalb wurde dem Abdeckmaterial als reaktives Material ein Metallpulver (Aluminiumpulver) zugefügt.

Durch Zugabe von Aluminiumpulver kommt es zu einer Farbveränderung des Abdeckmaterials von beige zu grau, kleine Gasbläschen sind in dem Abdeckmaterial erkennbar und die Verarbeitung des Abdeckmaterials beim Auftragen kann als „gut“ bezeichnet werden. Nach 48 Stunden ist die Oberfläche trocken und die untere Seite an einigen Stellen noch feucht. Die Oberfläche des Abdeckmaterials ist im Gesamten eine geschlossene Fläche, doch an einigen Stellen ist sie mit kleinen Bläschen versehen. Es wirkt sehr elastisch. Nach 72 Stunden sind die Probenkörper vollständig durchgetrocknet. Beim Zufügen des Aluminiumpulvers zum Abdeckmaterial kam es bei den durchgeführten Versuchen jedoch zu keiner messbaren Schäumung des Materials. In Tabelle 8 sind die Messergebnisse zusammengefasst.

Tabelle 8: Aufschäumversuche mit Aluminiumpulver

Höhe des mit Aluminiumpulver versetzten Abdeckmaterials in mm			
5 min nach Herstellung des Abdeckmaterials	5 h nach Herstellung des Abdeckmaterials	nach abgeschlossenem Gelierprozess	
8	8	6	
7	6	6	
7	7	5	
8	7	7	

Aufschäumversuche mit Temperatureinfluss

Um die Reaktion mit Aluminium zu beschleunigen, wurden die Komponenten einzeln auf Temperaturen zwischen 30 °C und 60 °C erwärmt und anschließend vermischt. Bei Temperaturen über 55 °C koagulierte die Latexkomponente. Die Ergebnisse der Versuche sind in Tabelle 9 zusammengefasst. Es wurde keine wesentliche Volumenvergrößerung erreicht. Das Aufschäumen mit Aluminiumpulver wurde daher verworfen.

Tabelle 9: *Aufschäumversuche mit Aluminiumpulver und Wärmezufuhr*

Temperatur in °C	Höhe des mit Aluminiumpulver versetzten Abdeckmaterials in mm		
	5 min nach Herstellung des Abdeckmaterials	5 h nach Herstellung des Abdeckmaterials	nach abgeschlossenem Gelierzustand
30	9	9	8
30	8	8	6
40	7	7	7
40	8	9	9
50	10	10	9
50	7	6	6
55	starke Verdickung der Komponente B bis zur Koagulation		
60	starke Verdickung der Komponente B bis zur Koagulation		

5.1.2 Lagerfähigkeit der Komponenten

Es wurde im Laufe der Versuche festgestellt, dass die zwei Komponenten bei der Homogenisierung mit dem Handrührgerät oftmals anscheinend nicht ausreichend vermischt wurden. Teilweise reagierte die Rapsölkomponente nicht im erwarteten Umfang mit der Latexkomponente. In diesem Falle blieben Reste der Latexkomponente übrig, was in Abbildung 24 dargestellt ist. Dieser Effekt wurde meist beim Mischen von älteren Chargen beobachtet. Teilweise wurde die unzureichende Vermischung bereits bei Chargen, die einer Woche alt waren, beobachtet. Deshalb wurde ein Versuch durchgeführt, bei dem frisch angemischte Komponenten mit 16 Monate alten Komponenten vermischt wurden. In Abbildung 24 ist die Mischung mit gealterter Rapsölkomponente und frischer Latexkomponente und in Abbildung 25 ist die Mischung mit frischer Rapsölkomponente und gealterter Latexkomponente gezeigt. Es wird deutlich, dass die gealterte Latexkomponente kaum einen Einfluss auf die Homogenität der Mischung hat, wohingegen die gealterte Rapsölkomponente die Homogenität negativ beeinflusst.

Es wird vermutet, dass das Natriumalginat als wichtiger Reaktionspartner (Geliermittel) in der Rapsölkomponente nicht mehr seine volle Funktionsfähigkeit besitzt. Deswegen wurden Versuche durchgeführt, bei denen bei einer gealterten Rapsölkomponente die Natriumalginatmenge auf das 1,5-fache und auf das Doppelte erhöht wurde. Hier hat sich gezeigt, dass sich die Homogenität zwar verbessert, jedoch wurde selbst mit der doppelten Menge Natriumalginat die gewünschte Gelierzustand nicht erreicht.

Hierzu sind weitere Versuche erforderlich, um den Einfluss der Alterung auf die Reaktion der Komponenten zu untersuchen. Bei den eingelagerten Proben der Latexkomponente

gab es Anzeichen, dass Latex bereits koaguliert vorliegt. Dies zeigt jedoch keine Auswirkung auf die Reaktionsfreudigkeit mit der frischen Rapsölkomponente.

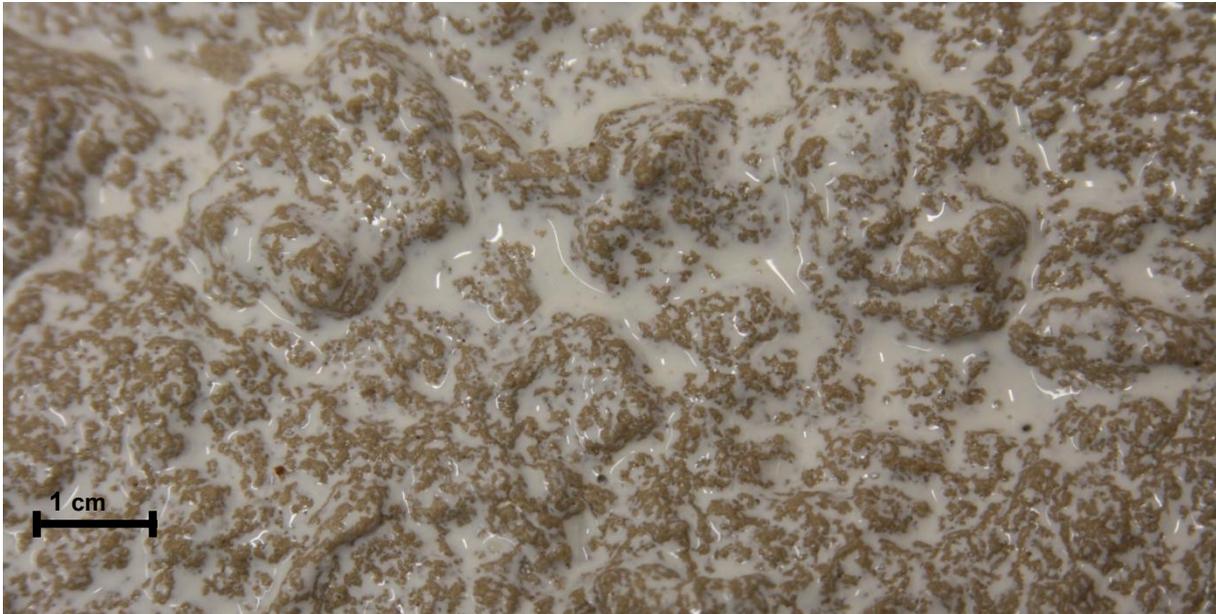


Abbildung 24: Mischung einer Rapsölkomponente, gealtert (16 Monate alt) mit einer Latexkomponente, frisch

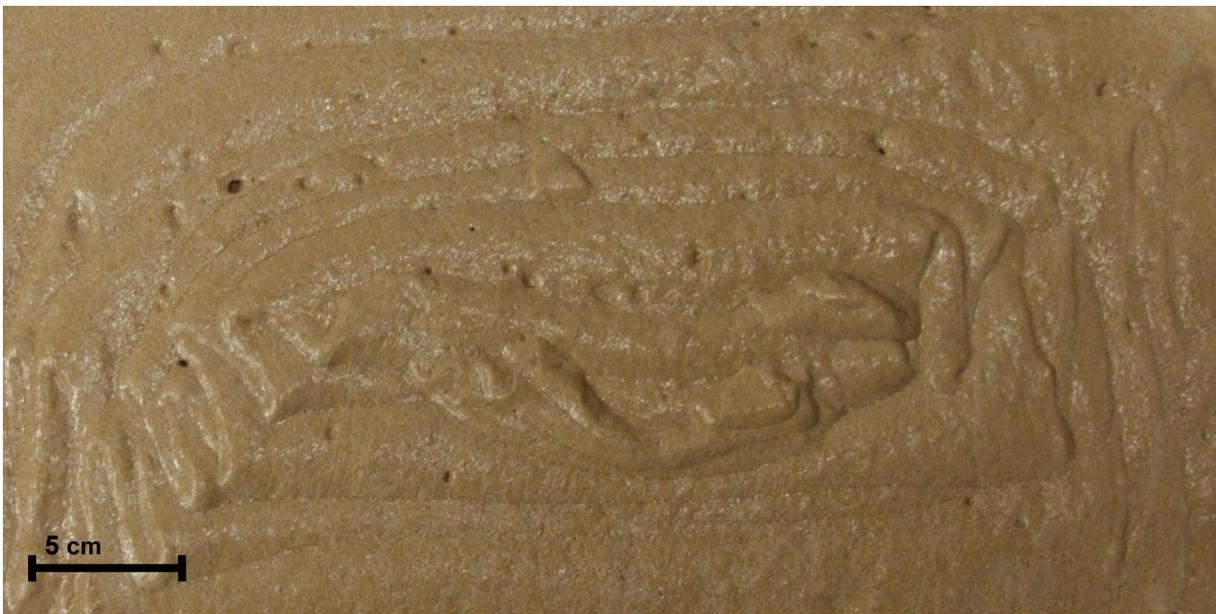


Abbildung 25: Mischung einer Rapsölkomponente, frisch mit einer Latexkomponente, gealtert (16 Monate alt)

5.1.3 Latexkoagulate

Bei der Reinigung der Exzentrerschneckenpumpen fiel auf, dass sich häufig Latexkoagulate an der Mantelwand der Pumpe ablagerten. Teilweise wurden die im Versuchsaufbau nachfolgenden Rückschlagventile während dem Besprühen der Silos von den Latexkoagulaten verstopft und die Funktion der Rückschlagventile war somit eingeschränkt. Durch langanhaltendes Spülen mit Wasser konnten diese Koagulate fast vollständig entfernt werden. Dennoch wurde untersucht, durch welche Bedingungen die Koagulate in der Pumpe entstehen. Hierfür wurden jeweils zwei mal 35 Liter der Latexkomponente mit einer Exzentrerschneckenpumpe (Strobot 406 S) und mit einer Membranpumpe (WILDEN PUMP-MI) bei gleichem Gegendruck gefördert. Es konnte festgestellt werden, dass sich die Membranpumpe für die Förderung von Latex anscheinend besser eignet. In der Membranpumpe waren 0,15 g Koagulate und in der Exzentrerschneckenpumpe 21,5 g Koagulate entstanden. Die Koagulate aus den beiden Versuchen sind in Abbildung 26 dargestellt. Allerdings müsste im Weiteren untersucht werden, ob sich die Membranpumpe auch im Praxiseinsatz bewährt. Außerdem wurde nicht untersucht, ob das Material des Pumpenmantels der Exzentrerschneckenpumpe Einfluss auf die Koagulatbildung ausübt.



Abbildung 26: Latex-Koagulat entnommen aus der Membranpumpe (vorne) und aus der Exzentrerschneckenpumpe (hinten)

5.1.4 Eigenheiten bestimmter Versuchschargen der Materialkomponenten

Beim Grassilierversuch 2010 wurde bereits nach dem Bedecken des ersten Silos festgestellt, dass sich die Konsistenz der Abdeckmasse anders als in den vorausgegangenen Versuchen verhält. Auch die geförderte Menge nahm bei gleichen Pumpeneinstellungen ab, was auf Verstopfungen im System hinwies. Es wurde beobachtet, dass sich der Durchsatz nach zehn Minuten fast halbiert hatte und bereits vor dem Statikmischer ein Druck von 15 bar erreicht wurde. Bis dahin war das Spritzbild in Ordnung, jedoch schien es, als würde die Abdeckmasse auf der Silage relativ schnell gelieren. Bei der Auswertung des exakten Mischungsverhältnisses hat sich gezeigt, dass bei „Silo 2“ zu geringe Mengen der Latexkomponente in die Mischung dosiert wurden. Als Ursache wird vermutet, dass durch die Bildung von Latex-Koagulaten das System stark verstopfte. Es bestand der Verdacht, dass die Latexkoagulate die Förderpumpe nahezu blockiert hatte. Von der Charge wurden Rückstellproben gezogen, die dann in den Spritzversuchen (Siehe Kapitel 5.4.7.1) untersucht wurden.

5.2 Applikationsgeräte

5.2.1 Praxis-Anforderungen an das Verfahren und deren Lösungsansätze

Neben den Anforderungen, die die Rezeptur an das Applikationsgerät stellt, entstehen weitere Anforderungen durch das Verfahren der Applikation aus Sichtweise des Anwenders.

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 beiden Komponenten für das Abdeckmaterial (Aufwand an Abdeckmaterial (ungeschäumt) beträgt bei 1 cm Höhe 10 l/m²)
- 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

- geringe Rüstzeiten
- Möglichkeit des einzel- aber auch überbetrieblichen Einsatzes des Applikationssystems

Folgende **Lösungsansätze** sind zu diskutieren und wurden, bezogen auf die Praxistauglichkeit, 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 Vorratsbehältern, Fördereinheit, Mischeinheit und Sprüheinheit
 - Vorratsbehälter für Komponenten stehen neben dem Silo o
 - Vorratsbehälter für Komponenten werden mitgeführt +
 - Förder- und Mischeinheit stehen neben dem Silo o
 - Förder- und Mischeinheit werden mitgeführt +
 - Anbaugerät für Zugmaschine +
 - Anhängengerät für Zugmaschine auf Rädern o
 - selbstfahrende Maschine ++
- Ausführung der Vorratsbehälter
 - IBC-Container +
 - portables, zylindrisches Silo (vgl. Mörtelsilo) +
 - Tankwagen o
 - One-Way-Box -
- Energiebereitstellung
 - mechanisch +
 - hydraulisch +
 - elektrisch +
 - pneumatisch -
 - Traktor (mechanisch, hydraulisch, elektrisch, pneumatisch) ++
 - Generator o
 - öffentliches Stromnetz --
 - Kompressor --

Kombination verschiedener Lösungsansätze

In Tabelle 10 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 10: Kombinationen verschiedener Lösungsvorschläge für das Applikationssystem

ID	Vorratsbehälter	Position Applikationssystem	Auftragung	Energiebereitstellung	Bewertung
1	IBC-Container	neben Silo	Lanze	Traktor	o
2	IBC-Container	neben Silo	Balken	Stromnetz	-
3	IBC-Container	mitgeführt als Anbaugerät	Lanze	Traktor	+
4	IBC-Container	mitgeführt als Anhängengerät	Lanze	Traktor	+
5	IBC-Container	mitgeführt als Anhängengerät	Balken	Traktor	+
6	Portables zylindrisches Silo	mitgeführt als Anhängengerät	Balken	Traktor	+
7	Tankwagen	mitgeführt als Anhängengerät	Balken	Traktor	+
8	Tankwagen	selbstfahrende Maschine	Balken	Maschine	+

Als eine praxistaugliche Applikationstechnik erscheint die Kombination mit einer Lanze. Durch die Lanze kann während der Aufbringung sofort der Abschlusserfolg kontrolliert werden. Ein gezogenes Anhängengerät scheint geeignet, da die Vorratsbehälter mitgeführt werden können und lange Förderwege dadurch entfallen. Da sich Flachsilo 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 ebenfalls sehr geeignet, da diese eine sehr hohe Schlagkraft ermöglichen würde, 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.

5.2.2 Lackiergerät – Xtreme™ Mix

Auf Versuchssiloanlage I und II wurde 2009 das Abdeckmaterial nach dem Verdichten des gehäckselten Maises mit dem Xtreme™ Mix aufgetragen. In Tabelle 11 sind die einzelnen Sprühschritte dargestellt, die nötig waren, um die Maissilage gleichmäßig zu bedecken und somit den Sauerstoffabschluss zu gewährleisten.

Tabelle 11: Teilschritte beim Auftragen des Abdeckmaterials mit dem Gerät Xtreme™ Mix

Applikations-teilschritt	Abstand zwischen Düse und Silageoberfläche	Beschreibung
1.	100 - 120 cm	erste Benetzung der Silageoberfläche, Abstand zwischen Airless-Spritzgerät und Silageoberfläche mindestens so groß, dass das Siliergut nicht aufgewirbelt wird (siehe Abbildung 27)
2.	70 - 80 cm	gleichmäßige Decke über dem Siliergut
3.	30 - 40 cm	Unebenheiten glätten, Material wird in einer Art Welle über die gleichmäßige Decke geschoben („einwaschen“)
4.	30 - 40 cm	unbedeckte Stellen ausbessern



Abbildung 27: Versuchssiloanlage beim ersten Benetzen der Silageoberfläche (links) und beim Glätten von Unebenheiten (rechts)

Bei der Anwendung des Airless-Spritzgerätes Xtreme™ Mix konnten folgende Vorteile ermittelt werden:

- Durch die gute Dosiergenauigkeit konnten die zwei Komponenten trotz unterschiedlicher Viskositäten zuverlässig gemischt werden. Bei einer möglichen Fehldosierung wird das Gerät sofort automatisch gestoppt und eine entsprechende Fehlermeldung wird angezeigt. Allerdings wurde bei dem Versuch 2009 die gewünschte Dosierung nicht erreicht.
- Das Airless-Spritzgerät erzeugt ein sehr gleichmäßiges Sprühbild, wie in Abbildung 27 ersichtlich wird.
- Das Xtreme™ Mix-Gerät ist sehr bedienerfreundlich, da das Arbeiten sich einfach gestaltet. Beispielsweise ist ein Spülvorgang durch das Umschalten eines Hebels zu bewerkstelligen.
- Die Marktverfügbarkeit dieses Applikationsgerätes ist gegeben und es handelt sich um ein ausgereiftes Gerät für Lackierzwecke und kann die Zwei-Komponenten-Rezeptur ohne Modifikation, das heißt ohne große Anpassung, verarbeiten.

In den praktischen Versuchen wurden folgende Nachteile des Sprühgerätes in der Anwendung „Siloabdeckung“ offensichtlich:

- Das Xtreme™ Mix-Gerät hat einen sehr hohen Luftverbrauch und im Versuchsaufbau ist ein Baustellenkompressor zur Erzeugung der Druckluft erforderlich. Falls nicht genügend Luft vorhanden ist, kann laut Hersteller das Mischungsverhältnis beeinträchtigt sein. Die benötigte Druckluftmenge kann zum Beispiel durch eine konventionelle Druckluftanlage, wie sie auf modernen Schleppern verbaut ist, nicht zur Verfügung gestellt werden. Es wäre hierzu ein separates, zum Beispiel zapfwellengetriebenes Aggregat, erforderlich.
- Da das Lackiergerät mit hohem Druck arbeitet, trifft das Material mit hoher Geschwindigkeit auf der Silageoberfläche auf. Dabei kommt es vor, dass Teile des Siliergutes und auch bereits bedeckte Teilstücke der Abdeckmasse angehoben werden.
- Das Gerät ist in seiner Funktion sehr anfällig gegenüber Feststoffteilchen beziehungsweise Klümpchen. Die Sprühdüse war gelegentlich verstopft, was allerdings durch ein einfaches Drehen und Rückspülen der Düse behoben werden konnte. Zudem kam es zu Verstopfungen am Statikmischer, der mit 12 mm Durchmesser relativ klein war. Die Rückschlagventile des Gerätes wurden außerdem durch Latexkoagulate defekt. Dies Koagulat bildet sich vermutlich durch mechanische Einwirkung (Scherkräfte), denn selbst bei Verwendung von gesiebttem Naturlatex haben sich Koagulate gebildet.
- Das Gerät arbeitete mit sehr hohen Drücken (bis 400 bar), welche ein nicht unerhebliches Verletzungsrisiko darstellen. Außerdem ist das Gerät für hohe Durchflussmengen, welche in der Praxis benötigt würden, nicht ausgelegt.

5.2.3 Förderpumpe – Strobot 406 S

Bei den Versuchen mit den Förderpumpen Strobot 406 S wurden zwei verschiedene Applikationsgeräte untersucht. Es wurde ein Feinputzspritzgerät der Firma Strobot GmbH & Co. KG und ein Schäumgerät, das mit der Firma Striko, Verfahrenstechnik W. Strikfeldt & Koch GmbH gemeinsam entwickelt wurde, eingesetzt.

5.2.3.1 Feinputzspritzgerät

Das Feinputzspritzgerät wurde bei den Versuchssiloanlagen I und II an Mais bzw. Gras sowie für weitere Spritzversuche eingesetzt. Das Aufbringen des Abdeckmaterials erfolgt in einem Schritt, da bereits beim einmaligen Besprühen die Oberfläche weitestgehend abgedeckt wird. Die unbedeckten Stellen konnten umgehend nachgebessert werden. Abbildung 28 zeigt das Auftragen des Materials mit dem Feinputzspritzgerät.

Bei der Beurteilung der Auswirkungen der Geräteeinstellungen auf das Spritzergebnis wurde festgestellt, dass sich ein höherer Flüssigkeitsdruck von 1 -1,5 bar im Gegensatz zu 0 - 0,5 bar nicht auf das Abdeckergebnis auswirkt.



Abbildung 28: Auftragen von Abdeckmaterial mit dem Feinputzspritzgerät

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 m²/Minute ermöglicht. Die Schlagkraft ist damit höher als beim Xtreme™ Mix-Gerät.
- 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 das Zwei-Komponenten-Lackiergerät.

Folgende Nachteile der Applikationstechnik mit dem Feinputzspritzgerät waren auffällig:

- Die erreichte Dosiergenauigkeit war nicht zufriedenstellend, da trotz der exakt eingestellten Pumpen das gewünschte Volumenverhältnis Ölphase zu wässriger Phase von 1 : 1,26 nicht erreicht wurde. Bei den Versuchen in „Versuchssiloanlage I“ mit Mais lag das Verhältnis im Durchschnitt bei 1 : 0,99.
- In der Exzentrerschneckenpumpe bildeten sich Koagulate, die während dem Pumpen der Latex-Komponente an der Mantelwand entstehen.
- Das eingesetzte Applikationssystem stellte eine Eigenentwicklung auf Basis marktverfügbarer Komponenten dar. Diesbezüglich muss noch Entwicklungsarbeit, beispielsweise im Bereich des automatisch geregelten Mischungsverhältnisses, geleistet werden.

5.2.3.2 Schaumdüse

Die Schaumbildung wird beeinflusst durch die Materialdurchflussmengen und die Luftmenge sowie durch die Reaktionszeit, die durch Zugabe von Beschleuniger und Verzögerer gesteuert werden kann. Bei der Verwendung der Schaumdüse konnte festgestellt werden, dass sich die Austrittslöcher langsam verstopfen, was auf eine ungleichmäßige Mischung der beiden Komponenten zurückzuführen war. Da im Forschungsprojekt andere Schwerpunkte gesetzt wurden, wurde die Schaumentstehung nicht weiter untersucht. Es besteht durchaus die Möglichkeit, dass ein Schaum bei einer abgestimmten Rezeptur (Beschleuniger und Verzögerer) und bei optimierter Materialdurchfluss- und Luftmenge hergestellt werden könnte.

5.2.4 Zusammenfassung

Die Versuche mit dem Zwei-Komponenten-Lackiergerät und dem Feinputzspritzgerät haben verschiedene Vor- und Nachteile zu Tage gebracht, die in Tabelle 12 zusammengefasst sind. Das Lackiergerät hat durch seine gute Mischgenauigkeit überzeugt. Da es jedoch gegenüber Agglomeraten störanfällig ist und durch die hohe Druckbeaufschlagung des Materials die Gefahr von Koagulation des Latex erhöht, scheint es weniger geeignet zu sein. Dagegen kommt das Feinputzspritzgerät mit Feststoffen bis 8 mm Korngröße zurecht und arbeitet bei Drücken bis maximal 30 bar. Allerdings ist beim Feinputzspritzgerät die Mischgenauigkeit nicht zufriedenstellend. In Anbetracht der Tatsache, dass mit dem Feinputzspritzgerät wesentlich größere Durchflussmengen möglich sind und es in der Anschaffung günstiger ist, ist es dem Lackiergerät vorzuziehen. Allerdings muss bezüglich der Förderung der Latex-Komponente noch untersucht werden, ob sich ein anderer Pumpenmantel bzw. eine andere Pumpe (Membranpumpe) besser eignet. Die Einstellung eines exakten Mischungsverhältnisses mithilfe von Durchflussmessern und automatischen Reglern scheint möglich. Bezogen auf die Schaumdüse ist die derzeitige Rezeptur nicht geeignet, da die Reaktionszeit genau auf den Materialdurchfluss und das zugeführte Luftvolumen abgestimmt werden muss. Außerdem müssen Verstopfungen der Austrittslöcher vermieden werden.

Bei den Versuchsdurchführungen ließ sich feststellen, dass eine vollständige Bedeckung der gesamten Oberfläche, ohne Fehlstellen, sehr schwierig ist. Die bereits besprühte Fläche konnte nicht betreten werden, so dass der Verarbeiter nur die Möglichkeit hatte, in eine Richtung zu agieren. Somit sind nicht vollständig bedeckte Bereiche, zum Beispiel hinter Unebenheiten, nicht zu erkennen und dadurch nachträglich schwer zu verschließen, da der Sprühstrahl aus gegenüberliegender Richtung geführt hätte werden müssen.

Tabelle 12: Zusammenfassende Bewertung der getesteten Applikationsgeräte

	Xtreme™ Mix	Strobot 406 S Pumpen	
	Airless-Spritzgerät	Feinputzspritzgerät	Schaumdüse
Maximale Förderleistung	ca. 11,6 l/min	ca. 30 l/min	ca. 30 l/min
Robuste Bauweise	--	+	0
Spritzbild	+	-	--
Spezifischer Energiebedarf	0	+	0
Anschaffungspreis	-	+	0

5.3 Silierversuche und Silagequalität

Um belastbares Datenmaterial zur Beurteilung der Silagequalitäten zu erhalten, wurden alle Versuchssilos mehrfach auf die entsprechenden Parameter untersucht. Die analysierten Gärsäuren und Rohnährstoffe sind in den folgenden Abschnitten den betreffenden Versuchssiloplanlagen zugeordnet, die Gehalte an Zink werden in Kapitel 5.4.9 gesondert betrachtet.

5.3.1 Laborsiloversuche

Die Laborsiloversuche lieferten bezüglich der pH-Wert-Absenkung sehr gute Ergebnisse. Anhand des Ausmaßes und der Geschwindigkeit der Absenkung des pH-Wertes konnte binnen kurzer Zeit auf die Sicherstellung eines für den Durchsäuerungsprozess wichtigen luftdichten Abschluss geschlossen werden. Dies wurde im Vorversuch mit Gras (nach 3 Tagen: durchschnittlicher pH-Wert von 4,8) und im Versuch mit Mais (nach 2 Tagen: durchschnittlicher pH-Wert von 4,15) bestätigt. Zum Vergleich lag bei der unbedeckten Variante (Gras) der pH-Wert im Mittel bei 6,11. Die gemittelten pH-Werte der Versuchsgläser sind jeweils in Anhang 2 und Anhang 3 aufgeführt. Vor allem bei den Laborsilogläsern, die mit Gras befüllt waren, war bereits vier Stunden nach Befüllen und Verschließen eine deutliche Gärgashaubenbildung festzustellen, wodurch schon früh auf die Dichtheit dieser Varianten geschlossen werden konnte.

Beim Langzeit-Vorversuch wurden über einen Zeitraum von 90 Tagen Gläser mit gegossener Schaumabdeckung gelagert, ein Glas davon im Klimaraum bei konstant 25 °C. Die

beiden anderen Gläser wurden ins Freiland gestellt. Das Laborsilo im Klimaraum wies am Ende der Lagerphase eine komplett abgetrocknete, verhärtete Oberfläche auf. Ein im Freien gelagertes Laborsiloglas ist aufgrund seines hohen Gehaltes an Buttersäure als fehlvergoren einzuordnen. Der nur noch sehr geringe Trockenmassegehalt der Freilandgläser von 22,8 % TM bzw. 21,9 % TM lässt darauf schließen, dass Feuchtigkeit in die Silage eingedrungen ist. Der Befund wird durch die festgestellte partielle Lösung der Abdeckungsmasse von der Glasinnenwand untermauert. Der hohe pH-Wert und die Milchsäure unter der Nachweisgrenze bei den Freilandgläsern verstärkten diesen Verdacht. Da es sich hierbei nur um zwei Gläser gehandelt hat, kann dies jedoch nur als Beobachtung gewertet werden (Daten siehe Anhang 4).

5.3.2 Versuchssiloanlage I

5.3.2.1 Erstes Versuchsjahr – Maissilage

Gärqualität

Bei der Darstellung der Gärparameter und des Futterwerts der Versuchssiloanlage I aus dem ersten Versuchsjahr (VJ-1) wurden die fortlaufend beprobten (ungerade Nummerierung) mit den einmalig bei der Auflösung beprobten (geradzahlig Nummerierung) Silovarianten zusammengefasst. Die Silovarianten 11 und 12 bildeten im ersten Versuchsjahr die folienabgedeckten Referenzsilos. Der Trockensubstanzgehalt bewegte sich bei diesen Silos auch nach fast 10 Monaten Lagerung immer noch auf dem Niveau des eingelagerten Grünguts, der pH-Wert blieb dauerhaft niedrig, was sich auch zumindest bei Silo 11 in gleichbleibenden Milchsäuregehalten ausdrückte. Zur Auflösung wies das Silo 12 einen Milchsäuregehalt im unteren erwünschten Bereich für eine stabile Silage auf. Sämtliche Varianten der Abdeckung wiesen im ersten Versuchsjahr bis zur Öffnung im April bzw. Juli einen abnehmenden Trockensubstanzgehalt auf. Einzig bei den Silos 3, 7 und 9, bei der Beprobung im unteren Silostockbereich (3_{HU}, 7_{HU}, 9_{HU}) war der Rückgang der Trockenmasse im speziell bei der Siloauflösung beprobten unteren Silostockbereich von geringerem Ausmaß. Die im Laufe der Lagerung abnehmende Trockenmasse war eindeutig durch Rissbildung auf der Silostockoberfläche und Ablösungen der Abdeckung von den Wänden der Kleinsilos zu begründen, wodurch Regenwasser und auch Sauerstoff eindringen konnte. Nach Erreichen der Mindestgärdauer von 7 Wochen war bis auf Silo 9 ein ausreichend tiefer pH-Wert erreicht. Mit zunehmender Lagerdauer wurde bei den mehrfach untersuchten Kleinsilos 1, 5 und 9 ein Anstieg des pH-Werts bis zum Tag 218 erfasst. Mit Ausnahme von Silo 9 lag auch eine Verbindung zum gleichzeitig abnehmenden Milchsäuregehalt vor. Die Proben aus den unteren Bereichen der Kleinsilos nach 218 Tagen wiesen durchweg Milchsäuregehalte über 30 g/kg TM aus, was in Verbindung mit den gleichzeitig gemessenen tieferen pH-Werten wiederum auf eine Schichtung der Maissilage unter der abbaubaren Abdeckung hinwies. Die gemessenen Gehalte der Essigsäure waren insgesamt eher niedrig, Propionsäure konnte in keiner Silage des Versuchsjahres 1 quantitativ nachgewiesen werden. Negativ zu bewerten war das Auftreten von Buttersäure in fast allen Silagevarianten mit Ausnahme von Silo 9 bzw. 10 und den folienabgedeckten Referenzsilos 11 und 12.

Während die Werte im April 2010 noch Buttersäuregehalte von knapp über beziehungsweise unterhalb des Grenzwertes von 0,3 % der TM gemessen wurden, bewegten sich die Werte im Juli bei den Silos 2 und 4 in einem nicht tolerablen Bereich. Die erhöhte Buttersäurebildung ließ sich analytisch mit rückläufigen Milchsäure- und Zuckergehalten in Verbindung bringen. Diese liefern Hinweise auf zunehmende Aktivität von Hefen und Clostridien. Auch anhand des tendenziell zunehmenden Alkoholgehalts war ein Anstieg der Hefepopulation festzustellen.

Positiv war bei allen Varianten der Maissilage (VJ-1) der geringe Ammoniak-Stickstoffgehalt am Gesamtstickstoff zu bewerten, der durchgehend unterhalb des Grenzwerts blieb, wenn auch mit ansteigender Tendenz. Der Vollständigkeit halber sind in Tabelle 13 auch die Silovarianten 13 und 14 aufgeführt, die als sogenannte Freigärhaufen ohne Bodenplatte angelegt wurden. Allerdings bereitete die Applikationstechnik bei der Abdeckung mit der Zwei-Komponenten-Mischung Schwierigkeiten, so dass zumindest bei Silo 13 mit einer sehr dünnen Abdeckungsschicht nicht von optimalen Gärungs- und Lagerungsbedingungen gesprochen werden konnte. Abzulesen war dieser Sachverhalt nach ca. 8 Monaten Lagerung an einem ungenügenden pH-Wert von 4,3 bei einem Trockensubstanzgehalt von gerade 24 %. Damit einher gingen einerseits ein sehr niedriger Milchsäuregehalt, andererseits ein mit 1,13 % der TM sehr hoher Wert für Buttersäure. Diese Silage war aus Sicht der Tierernährung nicht fütterungstauglich. Trotz der erheblich besseren analytischen Einstufung war auch die Silage 14 sensorisch nicht zufriedenstellend.

Tabelle 13: Zusammenstellung Gärparameter Versuchssiloanlage I (VJ-1)

Silo	Beprobung	TM (%)	pH-Wert an Tag					MS	ES	PS (% TM)	BS	ALK	ZU	NH ₃ -N (in % TN)
			54	89	155	218	299							
1	09.11.2009	28,8	3,9					3,01	0,76	<NWG	<NWG	0,4	0,8	3,1
1	14.12.2009	27,3		4,1				1,88	0,87	<NWG	<NWG	<NWG	0,5	1,7
1	18.02.2010	28,2			4,2			1,52	0,87	<NWG	<NWG	0,5	0,6	**
1	22.04.2010	29,7				4,3		1,44	0,97	<NWG	0,33	0,1	1,6	4,4
2	12.07.2010	27,1					4,1	0,90	1,00	<NWG	0,94	0,3	0,3	3,6
3	18.02.2010	32,5			4,3			1,95	0,56	<NWG	<NWG	<NWG	0,6	**
3	22.04.2010	27,8				4,3		1,92	1,52	<NWG	0,19	0,1	2,0	5,3
3 _{Hu}	22.04.2010	29,2				3,8		3,63	1,25	<NWG	<NWG	0,4	2,0	5,4
4	12.07.2010	30,4					4,0	2,04	1,11	<NWG	0,79	0,4	0,8	5,5
5	09.11.2009	32,3	3,8					3,11	1,02	<NWG	<NWG	0,4	0,7	3,2
5	14.12.2009	33,7		4,0				2,92	0,94	<NWG	<NWG	0,1	0,7	1,7
5	18.02.2010	30,5			4,1			2,07	0,89	<NWG	<NWG	<NWG	0,7	**
5	22.04.2010	29,8				4,1		2,95	1,08	<NWG	0,22	0,2	2,4	5,0
6	12.07.2010	32,4					3,8	3,21	0,87	<NWG	<NWG	0,4	1,3	4,5
7	18.02.2010	29,8			4,3			1,75	1,00	<NWG	<NWG	<NWG	0,8	**
7	22.04.2010	26,8				4,1		2,66	1,43	<NWG	<NWG	0,2	2,4	5,6
7 _{Ho}	22.04.2010	32,0				4,0		3,35	1,19	<NWG	<NWG	0,3	2,2	5,3
7 _{Hu}	22.04.2010	31,3				3,8		5,00	1,28	<NWG	<NWG	0,5	2,4	6,5
8	12.07.2010	29,4					4,0	2,19	0,99	<NWG	0,26	0,3	0,7	4,1
9	09.11.2009	30,2	4,1					1,84	0,79	<NWG	<NWG	0,1	0,4	2,3
9	14.12.2009	31,6		4,0				3,03	1,15	<NWG	<NWG	0,1	0,6	1,7
9	18.02.2010	30,3			4,1			2,12	1,34	<NWG	<NWG	0,2	0,7	**
9	22.04.2010	28,0				4,4		1,42	1,41	<NWG	<NWG	<NWG	1,8	4,3
9 _{Hu}	22.04.2010	30,7				3,9		3,23	1,03	<NWG	<NWG	0,3	1,9	4,2
10	12.07.2010	32,2					3,9	3,12	0,90	<NWG	<NWG	0,5	1,0	4,2
11	18.02.2010	35,7			3,8			4,05	1,01	<NWG	<NWG	0,2	1,1	**
11	22.04.2010	35,8				3,8		4,10	1,05	<NWG	<NWG	0,4	1,7	5,1
12	12.07.2010	35,7					3,8	3,09	0,85	<NWG	<NWG	0,5	1,0	4,0
13*	31.05.2010	24,0					4,3	0,63	0,52	<NWG	1,13	0,1	1,0	2,5
14*	31.05.2010	32,5					3,8	3,19	1,28	<NWG	<NWG	0,3	1,2	3,1

* Silos ohne Bodenplatte, geöffnet am 31.05.2010 nach 257 Tagen Lagerung ** NH₃-Werte 18.02.2010 nicht plausibel (Messfehler), < NWG = Gehalt unterhalb der Nachweisgrenze, o = oberer Silostockbereich, u = unterer Silostockbereich

Insgesamt war die Gärqualität der Versuchssilagen in der Versuchssiloanlage I aus den genannten Gründen nicht zufriedenstellend. Besonders der teilweise stark rückläufige Trockensubstanzgehalt und die Buttersäurenachweise waren von Nachteil für eine anzustrebende Verfütterungstauglichkeit. Dementsprechend ist nach den Ergebnissen dieses Versuches die Abdeckmasse für die Herstellung qualitativ hochwertiger Silagen als nicht geeignet einzustufen.

Futterwert

In Tabelle 14 sind die Ergebnisse zu den Trockenmasse- und Rohnährstoffgehalten und den Energiegehalten der Maissilagen aus dem Versuchsjahr I (2009) aus der Versuchsanlage I zu den jeweiligen Beprobungsterminen dargestellt. Die Energiebewertung [ME und NEL (MJ/kg TM)] der Silagen wurde auf Basis der Rohnährstoffe vorgenommen. Bei den Silos 13 und 14 kam zur Energiebewertung die Schätzformel der GfE für Maissilage [15] aus dem Jahr 2008 unter Einbeziehung der hierfür analysierten Parameter ELOS (Enzymlösliche organische Substanz) und NDF (Neutral-Detergenzien-Faser) zum Einsatz.

Tabelle 14: Zusammenstellung Futterwert Versuchssiloplanlage I (VJ-1)

Silo	Beprobung	TM %	XA	OS	XP (% TM)	XL	XF	ME MJ/kg TM	NEL
1	09.11.2009	28,8	6,2	93,8	6,0	9,5	20,7	10,5	6,3
1	14.12.2009	27,3	4,4	95,6	5,9	2,6	24,3	10,2	6,1
1	18.02.2010	28,2	4,9	95,1	5,7	4,5	21,7	10,5	6,3
1	22.04.2010	29,7	3,9	96,1	8,1	*	21,4	10,7	6,4
2	12.07.2010	27,1	4,4	95,6	4,6	3,0	21,5	10,6	6,3
3	18.02.2010	32,5	4,0	96,0	6,2	2,9	22,0	10,6	6,3
3	22.04.2010	27,8	4,1	95,9	7,9	*	22,8	10,5	6,2
3 _{Hu}	22.04.2010	29,2	3,6	96,4	6,5	*	21,9	10,6	6,3
4	12.07.2010	30,4	3,9	96,1	5,9	2,9	23,8	10,3	6,1
5	09.11.2009	32,3	4,1	95,9	6,4	3,1	20,0	10,8	6,5
5	14.12.2009	33,7	4,6	95,4	6,0	2,7	22,4	10,5	6,2
5	18.02.2010	30,5	4,1	95,9	6,3	2,8	23,9	10,3	6,1
5	22.04.2010	29,8	3,7	96,3	7,7	*	20,4	10,8	6,5
6	12.07.2010	32,4	4,0	96,0	6,5	2,9	18,3	11,1	6,7
7	18.02.2010	29,8	4,1	95,9	6,5	2,8	21,3	10,7	6,4
7	22.04.2010	26,8	3,4	96,6	7,1	*	22,3	10,6	6,3
7 _{Ho}	22.04.2010	32,0	3,3	96,7	6,9	*	21,9	10,7	6,4
7 _{Hu}	22.04.2010	31,3	3,5	96,5	6,7	*	20,3	10,9	6,5
8	12.07.2010	29,4	4,7	95,3	6,0	3,3	22,1	10,5	6,3
9	09.11.2009	30,2	5,7	94,3	6,6	8,9	20,0	10,7	6,4
9	14.12.2009	31,6	7,2	92,8	6,3	2,3	23,1	10,1	6,0
9	18.02.2010	30,3	3,7	96,3	6,2	2,3	24,0	10,3	6,1
9	22.04.2010	28,0	3,8	96,2	7,4	*	24,2	10,3	6,1
9 _{Hu}	22.04.2010	30,1	3,5	96,5	6,9	*	22,2	10,6	6,3
10	12.07.2010	32,2	4,9	95,1	6,3	2,9	19,6	10,8	6,5
11	18.02.2010	35,7	7,8	92,2	5,9	2,3	21,1	10,3	6,2
11	22.04.2010	35,8	3,4	96,6	7,0	*	20,5	10,8	6,5
12	12.07.2010	35,7	4,2	95,8	6,5	2,8	20,0	10,8	6,5
13	31.05.2010	24,0	3,8	96,2	5,6	3,2	25,6	11,1	6,7
14	31.05.2010	32,5	4,7	95,3	6,6	2,8	22,9	11,1	6,8

* = NIRS-Analytik, daher keine Rohfettgehalte, Energiebewertung auf Basis Schätzgleichung GfE 2008

Der Trockensubstanzgehalt bewegte sich für die Referenzsilagen 11 und 12 am oberen Rand des Idealbereichs. Einzelne Proben wiesen einen niedrigeren Trockensubstanzgehalt als empfohlen auf, wobei im Verlauf der Probenziehungen Schwankungen deutlich wurden. Ebenso wies der Rohaschegehalt größere Schwankungen auf, welche teils (Silo 1, 9 und 11) mit Verunreinigungen begründbar waren. Insgesamt waren die Rohaschewerte als eher hoch zu werten. Hier ist möglicherweise ein Zusammenhang mit Rezepturbestandteilen, die in den Probenhorizont durch eintretendes Wasser eingewaschen wurden, zu erkennen. Der Rohproteingehalt der Silagen wurde durchweg weit unterhalb der Orientierungswerte gefunden. Der extrem niedrige Rohproteinwert von Silo 2 am 12.07. beruht wohl auf einem Messfehler, wobei dieser Rohnährstoff in der NIRS-Analyse durchweg höhere Gehaltswerte im Normalbereich aufwies. Verglichen mit den Referenzsilagen konnten in den Versuchsvarianten zum Teil deutlich erhöhte Rohfasergehalte gemessen werden, die auf einen Abbau leichter löslicher Substanzen und somit eine Anreicherung der Rohfaserfraktion unter den gegebenen Gärungsbedingungen schließen ließen. Die analysierten Rohfettgehalte lagen im normalen Bereich, bei den Silos 1 und 9 konnte ein Eintrag von Resten des Abdeckmaterials in den Silageprobenkörper nicht ausgeschlossen werden, hierin könnte die Ursache für die beiden deutlich überhöhten Rohfettgehalte liegen. Der größte Teil der energetisch bewerteten Silagen aus dem ersten Versuchsjahr in den Kleinsilos erreichte die Vorgaben für die Umsetzbare Energie (ME > 10,8 MJ/kg TM) und die Netto-Energie-Laktation (NEL > 6,5 MJ/kg TM) nicht. Auch die Referenzsilage konnte die Zielwerte für einen guten Futterwert nur knapp erreichen.

Eine Sonderstellung nehmen in diesem Abschnitt die Silos 13 und 14 ohne Bodenplatte ein. Trotz der vor allem bei Silo 13 geringen Gärqualität wurden diese Silagen wegen der gültigen Energiebewertung für Maissilagen aufgrund der neben dem Rohfett in die Berechnung eingehenden Fraktionen ELOS und NDF energetisch höher eingestuft. Die relativ niedrigen Rohprotein- und hohen Rohfasergehalte ordneten sich aber dennoch gut in die Ergebnisse der Vergleichssilagen ein.

Die erreichte Verdichtung bewegte sich deutlich unterhalb der erforderlichen Werte. Am besten schnitt im Mittel aller Probenahmen das folienabgedeckte Kontrollsilos 11 mit erreichten 192 kg TM/m³, am schlechtesten das Kleinsilo 1 mit der dünnsten Schicht der neuartigen Abdeckmasse mit 140 kg TM/m³ ab. Die weiteren Kleinsilos waren im Durchschnitt der Proben auf Werte zwischen 167 und 186 kg TM/m³ verdichtet. Bei Maissilagen wird eine Mindestverdichtung von 250 kg TM/m³ als notwendig für eine gute Lagerstabilität und ausreichende aerobe Stabilität bei der Entnahme erachtet.

5.3.2.2 Zweites Versuchsjahr – Grassilage

Gärqualität

Bei den in den Kleinsiloplanzen erzeugten Grassilagen traten bereits während der Abdeckung des verdichteten Grünguts mit der Zwei-Komponenten-Mischung Probleme mit der Applikationstechnik auf. Das Sprühbild war nicht einheitlich. Dies und das praktisch

nicht stattgefundenen Anwelken des Wiesengrases vom 2. Schnitt ließen schon zu Beginn des Versuchs einen schwierigen Gärungsverlauf erwarten.

Aus Tabelle 15 gehen die bei der Öffnung der Grassilagevarianten ermittelten Gärparameter hervor. Der Versuch mit Grassilage wurde nach Überschreiten der empfohlenen Mindestgärdauer für eine stabile Silage von 49 Tagen nach DLG mit 57 Tagen beendet. Gründe hierfür waren die offensichtlich durch Absackung des sehr feuchten Silierguts nicht mehr gegebenen Verbindungen zwischen Silageabdeckung und Silowänden, erkennbare Risse in den Oberflächen der drei Kleinsilos und deutlich wahrnehmbarer, unangenehmer Silagefehlgeruch. Mit 19,7 % (vgl. Tabelle 15 und Tabelle 16) lag der Trockenmassegehalt des Ausgangsmaterials (AM) sehr niedrig und weit unterhalb der für Grassilage empfohlenen Werte (30 – 40 %). Bei der Grassilagevariante 1 wurden als Behelf gegen Sauerstoffzutritt im Bereich der Wände noch ca. 25 cm breite Streifen von herkömmlicher Silofolie im Randbereich angebracht, welche mit Sandsäcken beschwert wurden. Daher konnte bei dieser mit der Zitronensäurelösung abgesprühten Variante noch mit 18,1 % der höchste Trockenmassegehalt und mit 4,1 der niedrigste pH-Wert zu Versuchsende verzeichnet werden. Sichere Hinweise auf eine schlechte Gärqualität in Silo 1 lieferten aber trotz des sehr hohen Milchsäuregehalts (6,4 % TM) der über den Orientierungswerten von 0,3 % liegende Buttersäuregehalt und der deutlich überhöhte Anteil des Ammoniak am Gesamtstickstoff.

Tabelle 15: Gärparameter der Grassilagen VJ-2

Silo	Beprobung	TM	pH-Wert	MS	ES	PS	BS	ALK	ZU	NH ₃ -N
		(%)	57				(% TM)			(in % TN)
1	05.08.2010	18,1	4,1	6,4	1,1	<NWG	0,54	0,5	2,0	15,1
2	05.08.2010	13,0	5,1	1,4	0,7	<NWG	2,34	0,2	2,1	20,6
3	05.08.2010	16,9	4,5	4,5	1,4	<NWG	2,01	0,4	1,7	24,3

Das zur Reduktion der Oberflächenklebrigkeit mit Maisspindelgrieß bestreute Silo 2 wies den mit 13,0 % vergleichsweise niedrigsten Trockenmassegehalt bei dem mit 5,1 gleichzeitig höchsten pH-Wert auf. Deutlich über dem Grenzwert für optimale Silagequalität lag mit 23,4 g/kg TM auch der festgestellte Gehalt an Buttersäure, der auch deutlich olfaktorisch bei der Öffnung wahrnehmbar war. Weiterhin fielen bei der Variante 2 auch die niedrigen Milch- und Essigsäuregehalte sowie der hohe Anteil an Ammoniakstickstoff auf. Die mit einer Futterharnstofflösung besprühte Grassilagevariante 3 lag bei Beendigung des Grassilageversuchs im August 2010 zwischen den Varianten 1 und 2. Wiederrum fielen der pH-Wert mit 4,5 trotz eines hohen Milchsäureanteils bei einem Trockensubstanzgehalt von 16,9 %, der Buttersäuregehalt mit 2,01 % der TM und der Ammon-

iakstickstoffgehalt am Gesamtstickstoff mit 24,3 % eindeutig überhöht aus. Die insgesamt mangelhaften Ergebnisse der Grassilagevarianten bildeten sich auch in der ungenügenden Verdichtung ab, welche bei der Öffnung der Kleinsilos im Rahmen der Probenahme ermittelt wurde. Hierbei muss allerdings erneut auch der Hinweis auf eine Reduktion des Trockenmassegehalts durch eingedrungene Feuchtigkeit von außen gemacht werden. Anzustreben ist bei einer Grassilage mit einem Trockenmassegehalt von 20 % eine Lagerungsdichte von mindestens 160 kg TM/m³ Silage. Erreicht wurden in den Kleinsilos 1, 2 und 3 die Werte 104 kg TM/m³, 68 kg TM/m³ und 97 kg TM / m³. Aus Sicht der Gärbiologie und der Sensorik waren die drei Grassilagevarianten als nicht fütterungstauglich zu betrachten.

Futterwert

Der Futterwert der mit drei verschiedenen Behandlungsvarianten der Abdeckung erzeugten Grassilagen sowie des zugehörigen Ausgangsmaterials wird aus Tabelle 16 ersichtlich.

Tabelle 16: Rohnährstoff- und Energiegehalte der Grassilagen VJ-2

Silo	Beprobung	TM	XA	OS	XP	XL	XF	NfE	ME	NEL
		%	(% TM)						MJ/kg TM	
AM	14.06.2010	19,7	8,9	91,1	17,5	2,6	23,4	47,6	10,4	6,2
1	05.08.2010	18,1	9,8	90,2	17,6	2,9	24,3	45,3	10,2	6,1
2	05.08.2010	13,0	8,5	91,5	16,0	4,2	29,4	41,9	9,7	5,8
3	05.08.2010	16,9	12,3	87,7	16,2	3,7	25,3	42,5	9,6	5,7

Auffallend waren neben den schon vorausgehend erwähnten niedrigen Trockenmassegehalten auch die hohen Rohaschewerte, die auf eine Verschmutzung vermutlich durch zu tiefes Schwaden des jungen zweiten Schnitts zurückzuführen sind. Zum Beispiel wurde bei Silo 3 der Orientierungswert von 10 % XA überschritten.

Ein scheinbarer Widerspruch zum physiologisch jungen zweiten Schnitt tat sich beim Blick auf den Rohfasergehalt des Ausgangsmaterials (23,4 %) auf, die aber zumindest in Teilen mit der Artenzusammensetzung begründbar ist. Bei der Analyse der drei Silagevarianten war besonders auffällig, dass es zu einem Anstieg des Rohfasergehalts bei gleichzeitigem Rückgang der stickstofffreien Extraktstoffe (NfE) kam. Dieser Sachverhalt ist mit einem stärkeren Abbau vor allem der Zuckerfraktion innerhalb der NfE und einem damit verbundenen relativen Anstieg des Rohfasergehalts zu erklären. Bei Silo 1 wurde in der Grassilage ein um 0,9 % erniedrigter Gehalt an organischer Substanz (OS) gemessen. Der Rohprotein- und Rohfettgehalt wie auch der Energiegehalt dieser Silage

war vergleichbar dem Ausgangsmaterial. Bei den Grassilage 2 und 3 konnte ein deutlicher Rückgang des Rohproteingehalts um 1,5 bzw. 1,3 % gemessen werden.

Die Energiebewertung der Grassilagen wurde auf Basis der Rohnährstoffe durchgeführt. Die Energiegehalte aller drei Grassilagen waren sehr niedrig, allerdings waren höhere Werte auch aufgrund der sensorischen Bewertung nicht zu erwarten.

Die zum Zeitpunkt der Entnahme gemessene Verdichtung der Grassilage muss für einen erfolgreichen Silierprozess als unzureichend eingeordnet werden. Ursächlich hierfür war vermutlich das ungenügende Anwelken des angelieferten Grünguts beim Einsilieren.

5.3.2.3 Zweites Versuchsjahr – Maissilage

Gärqualität

Der Trockenmassegehalt des in den Versuchssiloplanzen am 23.09.2010 einsiliierten Grünmais belief sich auf 33,0 % und lag somit im Idealbereich. Die Hälfte der 12 Kleinsilos wurde analog der Vorgehensweise des Vorjahres (VJ-1) fortlaufend beprobt, 6 weitere Kleinsilos werden erst nach Ende des Berichtszeitraums beprobt. Es wurden vier Probenahmen durchgeführt (vgl. Tabelle 17). Das Silo 10 wurde konventionell mit Folie abgedeckt (Referenz). Silo 12 bildete nach der Einlagerung des Grünmais das Modell für das im Biogasbereich teilweise angewandte Silierverfahren ohne jegliche Abdeckung, so dass sich zur Probenahme je ein oberer (H_0) und ein unterer (H_u) Horizont mit unterschiedlichen analytischen Ergebnissen deutlich abzeichnete.

Die Kleinsilos aus dem zweiten Versuchsjahr zeigten während der fünfmonatigen Lagerdauer tendenziell einen leichten Rückgang der Trockensubstanz. Ein erster auffälliger Unterschied zum Vorjahr bei den Abdeckungsvarianten 2, 4, 6, und 8 war der über diesen Zeitraum langfristig stabile pH-Wert, der sich auch in einer wesentlich verbesserten Oberflächenbeschaffenheit und Randanbindung des Abdeckmaterials zeigte. Allerdings schwankten die Milchsäuregehalte trotz des weitgehend unveränderten pH-Werts. Tendenziell konnte ein Anstieg des Essigsäuregehalts und erstmals während der Projektphase auch Propionsäure in Silo 2 nachgewiesen werden. Die Alkohol- und Restzuckergehalte blieben weitgehend stabil. Der Ammoniak-Stickstoffgehalt war mit Ausnahme des Rottebereichs von Silo 12 H_0 (oberer Horizont) zwar ansteigend, aber dennoch immer unterhalb von 8 % des Gesamtstickstoffs.

In den Silos 2, 6, 12 H_0 und 12 H_u konnte bereits nach 132 Tagen Buttersäure in unterschiedlichen Anteilen nachgewiesen werden, wobei besonders der hohe Gehalt von Silo 2 gegenüber der unabgedeckten Schicht von Silo 12 überraschte. Bei der abschließenden Beprobung der Kleinsilos am 23.02.2011 wurde mit Ausnahme des Silos 12 deutlich mehr Milchsäure nachgewiesen. Der Gehalt der wichtigsten Gärsäure spiegelte sich auch in den stabilen pH-Werten nach 153 Tagen Lagerdauer der Maissilage in diesen Silos wider. In der Rotteschicht 12 H_0 wurde zum Abschluss ein pH-Wert von 6,4 bei gleichzeitig nicht nachweisbarer Milchsäuregehalte gemessen. Die Probeschicht 12 H_u hatte einen leicht erhöhten pH-Wert bei sehr geringem Gehalt an Milch- und Essigsäure.

Bei allen Kleinsilos waren am 23.02.2011 weder Propion- noch Buttersäure nachzuweisen.

Tabelle 17: Gärparameter der Versuchssiloanlage I – Maissilage (VJ-2)

Silo	Beprobung	TM (%)	pH-Wert an Tag				MS	ES	PS		BS	ALK	ZU	NH ₃ -N (in% TN)
			54	110	132	153			(% TM)					
2	16.11.2010	31,7	3,8				2,2	1,3	<NWG	<NWG	0,5	0,5	2,9	
2	11.01.2011	34,3		3,8			3,9	1,2	<NWG	<NWG	0,6	1,6	6,7	
2	02.02.2011	32,2			3,9		1,5	0,7	0,4	0,8	0,4	0,8	6,9	
2	23.02.2011	33,2				3,7	4,1	1,6	<NWG	<NWG	0,7	0,8	5,1	
4	16.11.2010	32,3	3,8				2,5	1,0	<NWG	<NWG	0,4	0,7	3,1	
4	11.01.2011	33,4		3,8			3,8	1,5	<NWG	<NWG	0,8	1,1	5,8	
4	02.02.2011	31,8			3,8		2,8	2,7	<NWG	<NWG	0,6	1,2	5,3	
4	23.02.2011	33,4				3,8	3,9	1,8	<NWG	<NWG	0,6	1,4	5,1	
6	16.11.2010	33,4	3,8				2,6	0,9	<NWG	<NWG	0,6	0,8	3,2	
6	11.01.2011	33,3		3,8			3,2	1,6	<NWG	<NWG	0,8	1,4	4,6	
6	02.02.2011	33,7			3,8		3,2	1,6	<NWG	0,1	0,8	1,4	5,7	
6	23.02.2011	34,0				3,9	3,3	1,5	<NWG	<NWG	0,7	1,2	4,8	
8	16.11.2010	32,6	3,8				2,6	0,9	<NWG	<NWG	0,7	0,6	3,4	
8	11.01.2011	33,1		3,8			3,8	1,6	<NWG	<NWG	0,9	1,4	5,3	
8	02.02.2011	33,1			3,9		3,2	1,4	<NWG	<NWG	0,8	1,3	6,8	
8	23.02.2011	33,2				3,9	3,6	1,7	<NWG	<NWG	0,7	1,3	4,8	
10	16.11.2010	32,9	4,0				1,6	0,6	<NWG	<NWG	0,5	0,5	2,1	
10	11.01.2011	34,8		3,8			3,6	1,2	<NWG	<NWG	1,0	1,3	5,3	
10	02.02.2011	33,8			4,1		2,8	1,5	<NWG	<NWG	0,4	0,8	6,1	
10	23.02.2011	34,4				3,8	3,4	1,1	<NWG	<NWG	0,8	0,8	4,5	
12 _{Ho}	16.11.2010	22,6	6,1				0,7	0,3	<NWG	<NWG	0,1	1,4	10,7	
12 _{Ho}	11.01.2011	16,9		7,3			<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	0,3	5,9	
12 _{Ho}	02.02.2011	17,9			7,1		3,8	1,6	<NWG	0,4	<NWG	0,4	15,6	
12 _{Ho}	23.02.2011	19,5				6,4	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG	0,4	3,8	
12 _{Hu}	16.11.2010	32,2	3,8				2,1	0,7	<NWG	<NWG	0,7	0,9	4,2	
12 _{Hu}	11.01.2011	27,8		4,3			2,1	0,7	<NWG	<NWG	0,5	0,9	5,7	
12 _{Hu}	02.02.2011	28,9			4,2		<NWG	0,2	<NWG	0,2	0,2	0,5	4,3	
12 _{Hu}	23.02.2011	27,5				4,4	0,9	0,3	<NWG	<NWG	0,2	0,1	2,4	

< NWG = Gehalt unterhalb der Nachweisgrenze, o = oberer Silostockbereich, u = unterer Silostockbereich

Die Alkohol- und Zuckergehalte bewegten sich auf vergleichbar niedrigerem Niveau wie zu den vorangegangenen Probenahmen, somit war zu diesem Zeitpunkt kaum Hefetätigkeit abzuleiten. Der Gehalt an Ammoniak-Stickstoff des Gesamtstickstoffs war rückläufig. Die während der fünfmonatigen Lagerung im Versuchsjahr 2 mit den verschiedenen Varianten der abbaubaren Abdeckung erzielten Gärqualitäten waren insgesamt gut. Leichte sensorische Abzüge wurden durch schwach wahrnehmbare Essigsäure oder alkoholartige Geruchsnoten gegeben. Es muss aber auch hier auf die Möglichkeit der

nachhaltigen und stärkeren gärbiologischen Veränderungen unter schwankenden äußeren klimatischen Einflüssen bei längerer Lagerdauer hingewiesen werden.

Futterwert

Die Tabelle 18 zeigt die Messwerte zu Trockenmasse, Rohnährstoffen und Energiegehalt der Maissilagen aus der Versuchssiloanlage I. Die dargestellten Werte beziehen sich auf die Maissilage 2010. Die Energiebewertung der untenstehenden Maissilagen aus dem zweiten Versuchsjahr wurde mit der im Jahr 2008 von der GfE [10] herausgegebenen Schätzformel vorgenommen, da die hierfür unter anderem erforderlichen Parameter NDF und ELOS bei den Proben erfasst wurden. Eine Ausnahme hiervon bildet Silo 12_{Ho} am 02.02.2011. Zu dieser Probenahme musste die Energiebewertung auf Basis Rohnährstoffe erfolgen, da nach Laborangaben keine geeignete Kalibrierung für derart verrottetes Material vorhanden war.

Tabelle 18: Futterwert der Versuchssiloanlage I – Maissilage (VJ-2)

Silo	Beprobung	TM %	XA	OS	XP	XL	XF	ST	ZU	NDF	ELOS	ME MJ/kg TM	NEL
		(% TM)											
2	16.11.2010	31,7	3,9	96,1	8,4	4,0	16,8	38,3	0,6	33,1	71,1	11,8	7,2
2	11.01.2011	34,3	3,5	96,5	7,9	3,6	17,4	38,3	2,2	33,9	71,9	11,6	7,1
2	02.02.2011	32,2	3,9	96,1	9,0	4,0	18,7	39,2	1,5	33,3	70,4	11,7	7,2
2	23.02.2011	33,2	3,6	96,4	7,8	3,0	17,8	38,3	2,1	33,8	68,8	11,3	6,8
4	16.11.2010	32,3	4,4	95,6	8,6	4,2	15,2	36,1	2,4	32,2	68,3	11,7	7,2
4	11.01.2011	33,4	3,8	96,2	8,5	3,9	14,4	37,0	2,5	33,6	70,5	11,7	7,2
4	02.02.2011	31,8	3,7	96,3	8,6	3,9	17,6	36,4	2,5	34,0	69,7	11,6	7,1
4	23.02.2011	33,4	3,8	96,2	8,1	3,7	17,4	37,3	3,2	33,0	69,0	11,5	7,0
6	16.11.2010	33,4	4,5	95,5	8,4	4,3	16,4	36,6	2,8	32,6	68,8	11,7	7,2
6	11.01.2011	33,3	3,8	96,2	7,9	3,5	16,8	34,1	3,0	37,1	68,1	11,3	6,9
6	02.02.2011	33,7	4,0	96,0	8,7	4,2	17,0	35,3	2,3	34,6	68,9	11,6	7,1
6	23.02.2011	34,0	3,5	96,5	7,8	3,5	17,1	38,9	2,4	33,5	71,4	11,6	7,1
8	16.11.2010	32,6	3,8	96,2	8,3	4,1	16,5	37,4	1,0	34,8	72,1	11,8	7,2
8	11.01.2011	33,1	4,1	95,9	8,3	3,9	17,6	38,0	1,9	34,2	71,9	11,7	7,2
8	02.02.2011	33,1	3,8	96,2	8,7	4,0	17,7	35,7	1,7	35,4	69,4	11,6	7,1
8	23.02.2011	33,2	3,7	96,3	7,8	3,5	18,0	36,0	2,7	35,4	69,3	11,4	6,9
10	16.11.2010	32,9	3,8	96,2	8,5	3,9	17,3	37,2	2,6	36,2	69,9	11,6	7,1
10	11.01.2011	34,8	3,6	96,4	8,0	3,5	16,4	38,6	2,4	33,3	72,1	11,6	7,1
10	02.02.2011	33,8	3,7	96,4	9,4	3,8	17,3	38,4	1,9	34,8	71,3	11,6	7,1
10	23.02.2011	34,4	3,5	96,5	8,0	3,7	16,8	36,7	3,1	34,2	68,4	11,5	7,0
12 _{Ho}	16.11.2010	22,6	7,6	92,4	15,5	2,9	19,5	23,9	<NWG	37,5	66,0	10,9	6,6
12 _{Ho}	11.01.2011	13,9	7,6	92,4	18,8	1,4	26,4	15,4	<NWG	38,3	57,6	9,9	5,9
12 _{Ho}	02.02.2011	17,7	6,3	93,7	16,6	1,7	25,0	*	*	*	*	9,9	5,8
12 _{Ho}	23.02.2011	19,5	4,4	95,6	11,5	2,0	24,0	27,9	0,2	43,9	57,1	9,9	5,9
12 _{Hu}	16.11.2010	32,2	3,6	96,4	8,5	3,8	15,6	40,3	2,4	31,6	73,1	11,8	7,3
12 _{Hu}	11.01.2011	27,8	4,2	95,8	8,5	3,4	18,4	36,3	3,8	38,3	69,5	11,3	6,9
12 _{Hu}	02.02.2011	28,9	3,4	96,6	8,2	3,4	19,9	39,2	2,3	36,8	70,0	11,4	6,9
12 _{Hu}	23.02.2011	27,5	2,9	97,1	6,5	4,0	19,0	41,7	1,5	39,1	69,9	11,5	7,0

* = nicht bestimmt, da keine geeignete Kalibrierung im Labor

kursiv: Energiewerte auf Basis Rohnährstoffe berechnet

Insgesamt wiesen die Kleinsilos 2 bis 8 mit diversen Varianten der abbaubaren Abdeckung sowie das Referenzsilo 10 einen Trockensubstanzgehalt im idealen Bereich auf. Die anhand der ersten Probenziehung ermittelten Trockenmassewerte der Kleinsilos 2, 4, 8 und 10 bewegten sich leicht unterhalb des bei den folgenden Probenahmen festgestellten Durchschnittswertes. Silo 6 hatte über alle Probenahmen einen einheitlichen Trockensubstanzgehalt. Abweichend davon konnte wie erwartet im oberen Horizont des nicht-abgedeckten Silo 12_{Ho} ein deutlich verringerter TM-Gehalt zu allen Probenahmen

gemessen werden. Der sehr niedrige Wert vom 11.01.2011 hängt mit offensichtlich in der Maissilage durch Schneedruck eingelagerten und anhaftenden Wasserkristallen zusammen. Im Beprobungsverlauf war für den unteren Horizont des Silo 12_{Hu}, ausgehend von einem mit den Silos 2 bis 10 vergleichbaren Wert, ein gerichteter Rückgang im Trockensubstanzgehalt festzustellen.

Der Rohaschegehalt bewegte sich für alle Silos (neuartige Abdeckung und Referenzsilo) mit Ausnahme von Silo 12_{Ho}, dem nicht abgedeckten Silo, auf gutem Niveau, bei jenem Silo 12_{Ho} spiegelte sich der geringere Gehalt an organischer Substanz in einem relativ erhöhten Rohaschegehalt wider. Die zu den ersten drei Terminen ermittelten Rohproteinwerte der Versuchsvarianten waren allesamt sehr hoch, wobei die Gehalte vom 02.02.2011 in den Silos 2 und 10 zu hinterfragen sind. Die Ergebnisse der letzten Entnahme lagen sichtlich unter den vorausgehend ermittelten Rohproteingehalten. Außerhalb des zuvor genannten Niveaus standen wiederum die Rohproteingehalte der verrotteten Schicht in Silo 12, allerdings stimmte die Tendenz des niedrigsten Wertes zur letzten Probenahme überein. Die erhöhten Werte lassen sich mit verstärkter mikrobieller Aktivität im verrottenden Horizont erklären. Die Rohfettgehalte betreffend ergaben sich bei den Silos 2, 4, 6, 8, 10 und 12_{Hu} keine Auffälligkeiten, für Silo 12_{Ho} wurden deutlich niedrigere Rohfettgehalte ermittelt.

Die gemessenen Restzuckergehalte lagen für alle Maissilagen der vier Versuchsvarianten und des Referenzsilos in einem annehmbaren Bereich, allerdings zeigten sich zum Teil größere Schwankungen. Die maximalen Stärkegehalte wurden in Silo 12_{Hu} ermittelt, das Silo 2 lieferte die geringsten Schwankungen diesbezüglich, die Versuchsvarianten in den Silos 4, 6, 8 und das Referenzsilo 10 lagen tendenziell etwas niedriger im Stärkegehalt. Die relativ geringen Stärke- und Restzuckergehalte in Silo 12_{Ho} ließen sich mit Abbau- und Umsetzungsvorgängen dieser leicht verfügbaren Nährstofffraktionen in der verrottenden, nicht abgedeckten Siloschicht erklären. Die gefundenen Werte für die Neutrale-Detergenzien-Faser (NDF) entsprachen nicht den Erwartungen an eine hochwertige Maissilage, anzustreben sind mehr als 400 g NDF/kg TM. Bei der enzymlöslichen organischen Substanz (ELOS) wurden für alle Versuchsvarianten und der Referenz Ergebnisse um den Richtwert >70 % der TM gefunden, allerdings ist der Maximalwert bei Silo 12_{Hu} vom 16.11.2010 zu hinterfragen. Die niedrigeren Gehalte an ELOS bei 12_{Ho} bestätigten die stofflichen Umsetzungen in diesem Silohorizont. Bei der energetischen Betrachtung schnitten die Silage 2 bis 10 überdurchschnittlich gut ab, obwohl es sich um keinen Hochschnitt handelte. Besonders einheitlich diesbezüglich war Silo 4. In allen vier Versuchsvarianten konnten teilweise nominell höhere Energiegehalte gegenüber der Referenzsilage 10 ermittelt werden. Somit konnte für diese Silagen eine hohe Futterqualität bis zum Zeitpunkt der Siloöffnung im Februar 2011 bescheinigt werden. Der obere Horizont des unabgedeckten Silos 12_{Ho} war eindeutig verrottet und wäre schon aus diesem Grund nicht fütterungstauglich, der untere Bereich dieses Silos wies tendenziell einen schlechteren energetischen Futterwert als die Versuchsvarianten auf.

Die in der Versuchssiloplanlage I im Versuchsjahr 2 erzielte Verdichtung war verglichen mit dem Vorjahr verbessert, erreichte aber wiederum nicht die Zielwerte. Im Durchschnitt aller Beprobungen war das mit herkömmlicher Silofolie abgedeckte Silo 10 mit 204 kg

TM/m³ am stärksten verdichtet, das unabgedeckte Vergleichssilo 12 am wenigsten. Hier wurde in der oberen Rotteschicht eine Verdichtung von nur 119 kg TM/m³ erfasst, der darunterliegende Horizont 12_{Hu} lag bei 150 kg TM/m³. An den weiteren Kleinsilos wurden Lagerungsdichten zwischen 185 und 194 kg TM/m³ gemessen.

5.3.3 Versuchssiloanlage II

5.3.3.1 Erstes Versuchsjahr

Öffnung – Maschinelle Entnahme

Zur Öffnung des Versuchssilos und Auslagerung der Maissilage wurden am 23.06.2010 drei verschiedene Maschinen-/Gerätetypen verwendet. Die eingesetzte Technik orientierte sich an praxisüblichen Verfahren. Mit diesem Versuchsteil sollte nach 275 Tagen Lagerdauer der Maissilage mit dem Abdeckmaterial überprüft werden, wie sich vor allem die Zwei-Komponenten-Mischung in Gegenwart von rotierenden und schneidenden Werkzeugen sowie unter ziehender und schiebender Belastung verhielt. Die Witterungsverhältnisse am Entnahmetag waren fröhsommerlich.



Abbildung 29: Zustand des Versuchssilos (VJ-1) direkt vor der Entnahme der Maissilage - auffällig starke Bedeckung mit Laub

Es standen ein Siloblockschneider, ein Futtermischwagen und ein Radlader mit Greifschaukel zur Beurteilung der maschinellen Silageentnahme bereit. Das Versuchssilo war im Sommer 2010 immer noch komplett mit einer fest anhaftenden Laubschicht überzogen. Das Laub stammte von einer direkt neben den Versuchssiloanlagen stehenden Buche und haftete seit Herbst 2009 auf der Oberfläche.

Maschinelle Entnahme – Siloblockschneider

Das gegenläufige Doppelmesser des Blockschneiders konnte bei jedem herausgetrennten Siloblock ohne Widerstand in den Silostapel mit der abbaubaren Abdeckung eintauchen und einen sauberen, nicht ausgefranzten Schnitt, auch in den beiden bauartbeding-

ten Bögen erzeugen (Abbildung 30). Das abbaubare Abdeckmaterial wurde im Bereich des Doppelmesserschnitts weder gestaucht, noch gedehnt.



Abbildung 30: Nachgezeichneter Schnittverlauf, herausgetrennter Siloblock samt Abdeckmaterial und Messerzustand nach Abschluss des Vorgangs

Auf Höhe der neuartigen Abdeckmasse konnten nach Beendigung des Schnitts mit dem Blockschneider nur minimale Anhaftungen festgestellt werden. Diese Spuren führten bei der Entnahme zu keinerlei Beeinträchtigungen des Entnahmegärts Siloblockschneider. Der Schnittvorgang selbst erzeugte keine deutlichen Lockerungen der Verbindung Maissilage - Abdeckmasse am verbleibenden Silostapel. Bei dieser Art der Silageentnahme bleibt das Abdeckmaterial in Größe des herausgetrennten Siloblocks erhalten. Im Falle einer Verfütterung müsste eine höchstwahrscheinlich manuelle Zerkleinerung der Auflage erfolgen, um mögliches selektives Fressverhalten zu unterbinden.

Maschinelle Entnahme - Fräsmischwagen

Das Abfräsen der neuartigen Abdeckmasse zusammen mit der darunterliegenden anhaftenden Maissilage konnte störungsfrei durchgeführt werden. Einzig die geringe Stapelhöhe des Silostocks war für diese Entnahmetechnik aufgrund der technisch notwendigen gegenläufigen Anlaufrichtung zu Fräsbeginn nachteilig. Weder an den Messern noch an der Fräsrolle konnten Verschmierungen oder nennenswerte Rückstände des Abdeckmaterials gefunden werden. Die in Abbildung 31 erkennbaren Anhaftungen an den Befestigungsmuttern der Fräsmesser bestanden nicht aus Abdeckmaterial, sondern waren ältere, bereits zuvor am Fräsmischwagen befindliche Futterreste.



Abbildung 31: Fräsbild, Messerzustand, abgefräste Abdeckung vor Mischung und Anschnittfläche Silostock nach Fräsvorgang im Juni 2010

Nach wiederholtem Fräsvorgang wurde der Inhalt des Mischbehälters vor Betätigung der Mischwalzen visuell auf Art und Größe der Teilstücke des Abdeckmaterials untersucht. Aufgrund der Färbung des Abdeckmaterials und der Zerkleinerungswirkung des rotierenden Werkzeugs konnte auch nach längerem Untersuchen nur eine geringe Anzahl kleiner Teilstücke (bis etwa zu 5 cm x 5 cm) gefunden werden. In Abbildung 31 ist das größte Teilstück vor der gründlichen Vermischung der Maissilage mit der abbaubaren Abdeckung aufgezeigt. Im Anschluss an den Mischvorgang und den Austrag des Mischguts wurde die Wirkung der horizontalen Mischschnecken geprüft. Dabei konnten keine größeren Teilstücke der Abdeckmasse wiedergefunden werden. Die Homogenisierung von Maissilage und Abdeckmaterial war somit gut gelungen. Als negative Auswirkung wurde eine zwischen 5 – 10 cm weite Lockerung der Verbindung Maissilage – Abdeckmaterial und ausgefransten Abdeckmasse am Anschnitt im Vergleich mit der sauberen Schnittkante des Blockschneiders beobachtet. Die Ablösung der Abdeckung könnte durch das Eindringen von Sauerstoff am Silostock die Nacherwärmung fördern und somit die aerobe Stabilität der erzeugten Silage herabsetzen. Ein entsprechender Vorschub durch tägliche Fräsvorgänge könnte hier bei einem denkbaren Praxiseinsatz im Biogas- oder Fütterungsbereich möglichen Problemen vorbeugen.

Maschinelle Entnahme - Greifschaufel

Die Entnahme mit der Greifschaufel wurde bei geringer Silostockhöhe durchgeführt. Eine Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse auf einen Teleskoplader ist denkbar.

Der Reichweite der Greifschaufel entsprechend wurde an das Versuchssilo herangefahren und mit der Kante der Schaufel durch Absenken ein Teilstück abgestochen (Abbildung 32). Bei gleichbleibendem Absenkdruck wurde das Teilstück in der Rückwärtsfahrt abgezogen.



Abbildung 32: Greifschaufel „auf Zug“

Beim nächsten Versuch (Abbildung 33) wurde die geöffnete Radladerschaufel an der Anschlussstelle Abdeckmaterial-Bodenfläche angesetzt und die neuartige Abdeckmasse, der Geometrie des Silostocks folgend, nach oben geschoben. Der Greifer wurde eingeklappt, das Abdeckmaterial somit durchstochen und das Teilstück abgenommen. Bei dieser sowie der vorgenannten Form der maschinellen Entnahme wird das Abdeckmaterial von der Silage getrennt.



Abbildung 33: Greifschaufel „auf Schub“

An Schaufelzinken und im Eckbereich der Greifschaufel wurden Anhaftungen des Abdeckmaterials gefunden (Abbildung 34). Das Einstecken der Zinken der Radladerschaufel führte zu einem ungleichmäßigen Abriss und einer damit einhergehenden Lockerung im Rissbereich des Abdeckmaterials.



Abbildung 34: Anhaftungen des Abdeckmaterials an der Greifschaufel, abgeschobenes Teilstück

Gärparameter

In Tabelle 19 werden die Gärparameter des Versuchssilos VJ-1 aus den elf Probenahmestellen zusammengefasst und jenen des Referenzsilos gegenübergestellt. Im Gegensatz zu diesem konnte eine Schichtung des Versuchssilos ausgemacht werden. Dabei konnte generell eine mäßige Gärqualität im oberen, etwa 30 cm starken Horizont festgestellt werden.

Die Bandbreite des Trockensubstanzgehalts bewegte sich zwischen 24,3 und 35,7 %. Die drei niedrigsten Werte wurden entlang einer zentralen Linie durch das Versuchssilo gefunden, nicht im Randbereich, wie aufgrund von sichtbaren Ablösungen zu erwarten gewesen wäre. Der pH-Wert lag im Mittel bei 4,2 bei einem durchschnittlichen Trockensubstanzgehalt von 29,5 %. Gerade bei derart niedrigen Trockensubstanzgehalten ist ein pH-Wert < 4,0 anzustreben. Die höchsten pH-Werte wurden dann in der Versuchssilage im Versuchsjahr 1 auch mit den geringsten Trockensubstanz- und Milchsäuregehalten gefunden. An einem Probenpunkt (mittig) war keine Milchsäure quantifizierbar, dafür konnte Essigsäure knapp über dem gärbilogisch erwünschten Gehalt nachgewiesen werden. Propionsäure war nicht oder nur in Spuren unterhalb der Nachweisgrenze zu messen. Dahingegen war Buttersäure im oberen Horizont im Bereich von 0,3 bis 1,4 % in gärbilogisch nicht tragbarem Ausmaß vorhanden. Höhere Alkohol- und Ammoniakstickstoffgehalte wurden ebenfalls meist im oberen Silostockbereich des Versuchssilos erfasst, hier wurden gleichzeitig niedrigere Restzuckerwerte gefunden.

Mit Blick auf Trockensubstanzgehalt, pH-Wert und Buttersäuregehalt der Versuchssilage VJ-1 muss von einer nicht optimalen Gärqualität bei mit der Kontrollsilage vergleichbarem Ausgangsmaterial gesprochen werden.

Tabelle 19: Gärparameter der Versuchssilos im ersten Versuchsjahr - Beprobung nach 275 Tagen

Probenort	TM %	pH-Wert 275	MS	ES	PS (% TM)	BS	ALK	ZU	NH ₃ -N (in % TN)
Versuchssilo									
vorne	24,7	4,3	1,0	2,9	<NWG	1,1	1,5	0,6	9,2
mittig	24,3	4,4	<NWG	3,1	<NWG	0,6	1,5	0,6	8,9
hinten	24,8	4,6	0,3	1,7	<NWG	1,4	1,5	0,6	5,5
Rand links vorne	29,9	4,3	0,5	1,3	<NWG	<NWG	1,2	0,3	<NWG
Rand links hinten	26,0	4,4	0,3	1,0	<NWG	0,8	1,4	0,5	2,3
Rand rechts vorne	33,8	4,2	3,5	1,7	<NWG	0,3	1,1	0,8	4,1
Rand rechts hinten	35,7	4,2	3,2	1,8	<NWG	<NWG	1,0	0,8	9,1
Scheitel v.o. links	30,7	4,0	3,5	1,5	<NWG	<NWG	1,2	0,8	7,3
Scheitel v.o. rechts	33,2	4,0	3,4	1,6	<NWG	<NWG	1,1	0,6	4,2
Scheitel v.u. links	32,4	3,9	4,2	1,3	<NWG	<NWG	1,1	1,1	7,2
Scheitel v.u. rechts	29,1	4,1	1,8	2,4	<NWG	<NWG	1,2	1,0	3,4
MW	29,5	4,2	2,0	1,8	0,0	0,4	1,3	0,7	5,6
MW oben	28,5	4,3	1,3	1,9	0,0	0,6	1,3	0,6	5,6
MW unten	30,8	4,0	3,0	1,9	0,0	0,0	1,2	1,1	5,3
min	24,3	3,9	0,3	1,0	0,0	0,0	1,0	0,3	0,0
max	35,7	4,6	4,2	3,1	0,0	1,4	1,5	1,1	9,2
Stabw	4,1	0,2	1,5	0,7	0,0	0,5	0,2	0,2	3,0
Stabw oben	4,7	0,2	1,5	0,8	0,0	0,5	0,2	0,2	3,7
Stabw unten	2,4	0,1	1,6	0,7	0,0	0,0	0,1	0,1	2,7
Referenzsilo									
vorne	39,3	3,9	4,1	0,9	<NWG	<NWG	0,6	0,7	8,8
mittig	41,9	4,0	3,4	0,9	<NWG	<NWG	0,5	0,6	7,5
hinten	40,3	3,9	3,9	0,8	<NWG	<NWG	0,6	0,7	7,3
Rand links vorne	39,0	3,9	4,3	0,9	<NWG	<NWG	0,5	0,7	7,9
Rand links hinten	39,4	3,9	3,9	0,9	<NWG	<NWG	0,6	0,7	8,1
Rand rechts vorne	42,2	4,0	3,7	0,8	<NWG	<NWG	0,5	0,8	7,5
Rand rechts hinten	39,9	3,9	4,0	0,8	<NWG	<NWG	0,6	0,7	8,0
Scheitel v.o. links	40,2	4,0	4,2	0,9	<NWG	<NWG	0,7	0,6	8,2
Scheitel v.o. rechts	39,3	3,9	4,1	0,9	<NWG	<NWG	0,6	0,7	8,2
Scheitel v.u. links	39,9	3,9	4,0	0,9	<NWG	<NWG	0,6	0,6	7,8
Scheitel v.u. rechts	38,5	3,9	4,3	0,9	<NWG	<NWG	0,5	0,8	8,5
MW	40,0	3,9	4,0	0,9	0,0	0,0	0,6	0,7	8,0
MW oben	40,3	3,9	3,9	0,9	0,0	0,0	0,6	0,7	7,9
MW unten	39,2	3,9	4,1	0,9	0,0	0,0	0,6	0,7	8,2
min	38,5	3,9	3,4	0,8	0,0	0,0	0,5	0,6	7,3
max	42,2	4,0	4,3	0,9	0,0	0,0	0,7	0,8	8,8
Stabw	1,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4
Stabw oben	1,3	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,5
Stabw unten	1,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,5

Zur Bildung von Mittelwerten, Standardabweichungen sowie Minima und Maxima wurde für "Werte unter der Nachweisgrenze" der Betrag der Nachweisgrenze des betreffenden Messverfahrens selbst angenommen.

Futterwert

Der Trockensubstanzgehalt der Versuchssilage VJ-1 mit dem neuartigen Abdeckmaterial lag im Durchschnitt bei 29,5 % (vgl. Tabelle 20) und damit im Vergleich zur Referenzsilage um 10,5 % darunter. Überraschend war, dass die drei niedrigsten Werte der Trockenmasse im Kernbereich des Silostocks ermittelt wurden, und nicht wie aufgrund von deutlichen, größeren Wandablösungen zu erwarten gewesen wäre, im Randbereich des Versuchssilos. Hier wurde bei der haptischen Begutachtung der Zuwachs an Wasser als Ursache ersten Grades für den starken Rückgang der Trockenmasse sehr deutlich. Analytisch konnte ein Nährstoffverlust nicht in gleichem Ausmaß festgestellt werden.

Am Probenpunkt „vorne“ wurde ein überhöhter Rohaschewert gemessen. An dieser Stelle fand sich gleichzeitig auch der geringste Stärkegehalt. Dass es sich hier um fortschreitende Abbauvorgänge und nicht um eine zufällige Verunreinigung handeln könnte, wurde auch durch die hohen Essig- und Buttersäuregehalte und geringen Milchsäurewerte bei unverändertem Rohfettgehalt untermauert. Im Weiteren waren mehrere eher unterdurchschnittliche Rohaschewerte auffällig. Auf Nährstoffabbau im Versuchssilo wies bei gleichem Ausgangsmaterial auch der sichtlich geringere Rohproteingehalt bei gleichzeitig erhöhtem Rohfasergehalt hin. Wie der Trockenmasse- so schwankte auch der Stärkegehalt im Versuchssilo (VJ-1) in starkem Maß, im Mittel wurde sogar mehr Stärke als im Referenzsilo analysiert. Die durchschnittlich niedrigeren gefundenen Werte an NDF und ELOS führten im Endeffekt zu einer leicht schlechteren energetischen Einstufung der Versuchssilage VJ-1 im Verhältnis zur Referenzsilage. Besonders auffällig war auch die große Spannweite (66,6 bis 80,7 % der TM) der gefundenen Werte der enzymlöslichen organischen Substanz.

Tabelle 20: Inhaltsstoffe und Energiebewertung der Versuchssilos im ersten Versuchsjahr - Beprobung nach 275 Tagen

Probenort	TM	XA	OS	XP	XL	XF	ST	NDF	ELOS	ME	NEL
	%					% TM				MJ/kg TM	
Versuchssilo											
vorne	24,7	8,8	91,2	8,1	3,8	20,4	28,8	41,3	66,6	11,2	6,9
mittig	24,3	2,9	97,1	7,9	3,9	20,6	32,2	43,3	68,9	11,3	6,8
hinten	24,8	3,2	96,8	9,4	3,9	21,0	30,1	42,5	67,4	11,2	6,8
Rand links vorne	29,9	1,9	98,1	5,4	3,7	19,0	41,5	40,1	77,4	11,8	7,2
Rand links hinten	26,0	2,4	97,6	6,5	3,9	22,5	33,4	44,5	73,1	11,5	7,0
Rand rechts vorne	33,8	3,0	97,0	6,8	3,0	17,9	39,2	38,5	80,1	11,8	7,2
Rand rechts hinten	35,7	3,5	96,5	7,5	3,4	16,5	41,0	36,2	80,7	12,0	7,4
Scheitel v.o. links	30,7	3,4	96,6	6,5	3,6	19,0	38,8	40,2	77,6	11,8	7,2
Scheitel v.o. rechts	33,2	3,4	96,6	7,4	3,7	17,4	37,2	38,6	78,1	11,9	7,3
Scheitel v.u. links	32,4	2,9	97,1	6,4	3,1	18,8	40,4	40,5	80,4	11,8	7,2
Scheitel v.u. rechts	29,1	2,8	97,2	6,4	3,3	19,1	38,5	42,6	77,2	11,6	7,1
MW	29,5	3,5	96,5	7,1	3,6	19,3	36,5	40,8	75,2	11,6	7,1
MW oben	28,5	3,7	96,3	7,4	3,7	19,7	35,2	40,9	73,4	11,5	7,1
MW unten	30,8	2,8	97,2	6,4	3,2	19,0	39,4	41,6	78,8	11,7	7,1
min	24,3	1,9	91,2	5,4	3,0	16,5	28,8	36,2	66,6	11,2	6,8
max	35,7	8,8	98,1	9,4	3,9	22,5	41,5	44,5	80,7	12,0	7,4
Stabw	4,1	1,8	1,8	1,1	0,3	1,7	4,5	2,4	5,3	0,3	0,2
Stabw oben	4,7	2,3	2,3	1,3	0,3	2,0	5,3	2,9	6,0	0,3	0,2
Stabw unten	2,4	0,1	0,1	0,0	0,2	0,2	1,4	1,5	2,2	0,1	0,1
Referenzsilo											
vorne	39,3	3,7	96,3	8,0	3,3	19,4	32,5	42,3	76,3	11,5	7,1
mittig	41,9	3,2	96,8	8,1	3,5	17,1	38,4	38,1	80,7	12,0	7,4
hinten	40,3	3,4	96,6	7,9	3,4	18,0	35,5	40,1	79,1	11,8	7,2
Rand links vorne	39,0	3,5	96,5	7,9	3,5	18,7	34,6	41,0	78,0	11,8	7,2
Rand links hinten	39,4	3,3	96,7	7,5	3,1	20,2	32,7	44,6	77,2	11,4	7,0
Rand rechts vorne	42,2	3,0	97,0	7,4	3,2	18,2	38,2	40,7	79,3	11,7	7,2
Rand rechts hinten	39,9	3,6	96,4	7,6	3,1	19,8	33,7	42,3	77,3	11,5	7,0
Scheitel v.o. links	40,2	3,5	96,5	7,7	3,2	20,4	32,1	44,9	77,5	11,5	7,0
Scheitel v.o. rechts	39,3	3,6	96,4	7,9	3,6	18,2	35,0	43,1	77,5	11,7	7,2
Scheitel v.u. links	39,9	3,0	97,0	7,5	3,2	18,9	35,9	42,3	79,3	11,7	7,1
Scheitel v.u. rechts	38,5	3,1	96,9	7,9	3,6	17,5	37,2	40,0	80,3	11,9	7,3
MW	40,0	3,4	96,6	7,8	3,3	18,7	35,1	41,8	78,4	11,7	7,2
MW oben	40,3	3,4	96,6	7,8	3,3	18,7	35,1	41,3	78,3	11,7	7,1
MW unten	39,2	3,1	96,9	7,7	3,4	18,2	36,6	41,2	79,8	11,8	7,2
min	38,5	3,0	96,3	7,4	3,1	17,1	32,1	38,1	76,3	11,4	7,0
max	42,2	3,7	97,0	8,1	3,6	20,4	38,4	44,9	80,7	12,0	7,4
Stabw	1,1	0,3	0,3	0,2	0,2	1,1	2,2	2,0	1,4	0,2	0,1
Stabw oben	1,3	0,2	0,2	0,3	0,2	1,1	2,4	2,0	1,5	0,2	0,1
Stabw unten	1,0	0,1	0,1	0,2	0,3	1,0	0,9	1,7	0,7	0,2	0,1

5.3.3.2 Zweites Versuchsjahr

Gärparameter

In der nachfolgenden Tabelle 21 sind die Gärparameter der Versuchssilos aus dem zweiten Versuchsjahr nach knapp fünfmonatiger Lagerung der Maissilage unter der neuartigen Abdeckung aufgeführt und jenen des Referenzsilos gegenübergestellt.

Der mittlere Trockensubstanzgehalt der Versuchssilage VJ-2 war mit 32,4 % gegenüber dem hier eingelagerten Grünmais mit 36,6 % um 4,2 % zur Entnahme und Beprobung nach 138 Tage verringert. Im Gegensatz zum Referenzsilo wurden beim Versuchssilo die niedrigeren Werte für die Trockensubstanz jedoch im oberen Silostockhorizont gefunden, was auf einen Wasserdurchtritt durch die neuartige Abdeckung hindeutet. Im Nahbereich des Punktes „Rand rechts vorne“ war bereits kurz nach dem Einsilieren eine ungefähr 25 cm lange Ablösung auszumachen, die eindeutig auf Betreten des Silos zurückzuführen war. An dieser Stelle war somit von Beginn an mit einem erniedrigten Trockensubstanzgehalt zu rechnen. Der pH-Wert lag im Mittel bei 4,1 und war gegenüber der Referenzsilage um 0,2 Punkte erhöht. Milchsäure konnte nur im Scheitelbereich in zufriedenstellender Menge (> 3 % TM) nachgewiesen werden. Essigsäure wurde in geringem, tolerierbarem Umfang ermittelt, Propionsäure wurde nicht erfasst. Buttersäure war nicht nachzuweisen. Für eine gute Silierung mit der Zwei-Komponenten-Mischung sprachen auch die geringen Alkohol-, Restzucker- und Ammoniakstickstoffgehalte, welche in der Versuchssilage nachgewiesen werden konnten.

Tabelle 21: Gärparameter der Versuchssilos im zweiten Jahr - Beprobung nach 138 Tagen

Probenort	TM %	pH-Wert 138	MS	ES	PS (% TM)	BS	ALK	ZU	NH ₃ -N (in % TN)
Versuchssilo									
vorne	31,2	4,1	1,9	0,5	<NWG	<NWG	1,3	0,5	4,3
mittig	31,7	4,2	2,4	0,6	<NWG	<NWG	1,7	0,6	4,8
hinten	30,5	4,3	1,9	0,4	<NWG	<NWG	1,1	0,4	3,8
Rand links vorne	34,8	4,1	3,2	0,8	<NWG	<NWG	1,6	0,6	6,0
Rand links hinten	32,3	4,1	2,7	0,7	<NWG	<NWG	0,4	0,5	5,4
Rand rechts vorne	31,3	4,1	2,8	1,0	<NWG	<NWG	1,3	0,6	5,2
Rand rechts hinten	31,4	4,2	2,5	1,3	<NWG	<NWG	1,0	0,7	5,5
Scheitel v.o. links	32,7	4,0	3,2	0,8	<NWG	<NWG	0,8	0,7	6,0
Scheitel v.o. rechts	34,1	3,9	3,5	0,8	<NWG	<NWG	2,2	0,6	6,1
Scheitel v.u. links	33,5	3,9	4,1	0,9	<NWG	<NWG	0,3	0,6	7,3
Scheitel v.u. rechts	32,7	3,9	4,2	0,9	<NWG	<NWG	1,9	0,6	6,8
MW	32,4	4,1	2,9	0,8	0,0	0,0	1,2	0,6	5,6
MW oben	31,9	4,1	2,5	0,8	0,0	0,0	1,2	0,6	5,0
MW unten	33,1	3,9	4,2	0,9	0,0	0,0	1,1	0,6	7,1
min	30,5	3,9	1,9	0,4	0,0	0,0	0,3	0,4	3,8
max	34,8	4,3	4,2	1,3	0,0	0,0	2,2	0,7	7,3
Stabw	1,3	0,1	0,8	0,2	0,0	0,0	0,6	0,1	1,0
Stabw oben	1,4	0,1	0,5	0,3	0,0	0,0	0,4	0,1	0,8
Stabw unten	0,6	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,1	0,1	0,4
Referenzsilo									
vorne	33,6	3,9	3,9	0,8	<NWG	<NWG	1,9	0,5	6,0
mittig	34,2	3,9	3,4	0,8	<NWG	<NWG	1,9	0,4	5,7
hinten	33,9	3,9	3,8	0,9	<NWG	<NWG	2,0	0,6	6,1
Rand links vorne	34,4	3,9	3,7	0,8	<NWG	<NWG	2,1	0,6	5,6
Rand links hinten	34,4	4,0	3,5	0,8	<NWG	<NWG	2,0	0,6	5,7
Rand rechts vorne	35,4	3,9	3,5	0,7	<NWG	<NWG	1,8	0,7	5,5
Rand rechts hinten	35,0	3,9	3,7	0,8	<NWG	<NWG	2,0	0,6	5,4
Scheitel v.o. links	34,0	3,9	4,0	0,8	<NWG	<NWG	2,0	0,7	5,9
Scheitel v.o. rechts	33,7	3,9	4,0	1,0	<NWG	<NWG	2,1	0,7	6,6
Scheitel v.u. links	31,8	3,9	4,7	7,9	<NWG	<NWG	2,2	0,8	7,4
Scheitel v.u. rechts	31,4	3,9	5,2	8,5	<NWG	<NWG	2,4	0,9	8,2
MW	33,8	3,9	3,9	2,2	0,0	0,0	2,0	0,6	6,2
MW oben	34,4	3,9	3,6	0,8	0,0	0,0	2,0	0,6	5,7
MW unten	31,6	3,9	5,0	8,2	0,0	0,0	2,3	0,9	7,8
min	31,4	3,9	3,4	0,7	0,0	0,0	1,8	0,4	5,4
max	35,4	4,0	5,2	8,5	0,0	0,0	2,4	0,9	8,2
Stabw	1,2	0,0	0,5	3,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,9
Stabw oben	0,6	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3
Stabw unten	0,3	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0	0,1	0,1	0,6

Zur Bildung von Mittelwerten, Standardabweichungen sowie Minima und Maxima wurde für "Werte unter der Nachweisgrenze" der Betrag der Nachweisgrenze des betreffenden Messverfahrens selbst angenommen

Diese Werte lagen im Niveau noch unter der Kontrollsilage bei vergleichbaren Streuungen mit Ausnahme des Alkohols. Unter dem Gesichtspunkt einer im Vergleich zum Vorjahr wesentlich kürzeren Lagerdauer (5 versus 9 Monate) konnte eine in der Gärqualität der Referenzsilage gleichwertige Versuchssilage mit der neuartigen Abdeckung hergestellt werden.

Futterwert

Verglichen mit den Ergebnissen des Versuchsjahres 1 konnten unter Verwendung der abbaubaren Siloabdeckung im Versuchsjahr 2 bessere Ergebnisse erzielt werden. Zu berücksichtigen ist jedoch der kürzere Beobachtungszeitraum 138 im Vergleich zu 275 Tagen. Die Schwankungen bezüglich des Trockensubstanzgehalts fielen in der Versuchssilage VJ-2 mit rund 4 % wesentlich geringer aus als im Versuchsjahr 1. Der mittlere Trockenmassegehalt bewegte sich bei 32,4 % und war als gut einzustufen (Tabelle 22).

Der gemittelte Rohaschegehalt lag bei 3,9 % der TM, es wurden drei teils deutlich erhöhte Werte gefunden. Ebenso wie bei der Referenzsilage 2010 wurden auch in der Versuchssilage stark schwankende Rohproteingehalte (5,5 bis 7,2 % der TM) analysiert, allerdings war bei der Versuchssilage das Niveau nach unten verschoben. Der Rohfettgehalt der Versuchssilage war vergleichbar, wenn auch ein Ausreißer (6,1 % der TM) bei den Proben zu finden war. Eine Verunreinigung mit Abdeckmaterial ist allerdings eher unwahrscheinlich, da dieses vor der Probenahme komplett von der Maissilage getrennt wurde. Der mittlere Rohfasergehalt war im oberen Silostockhorizont tendenziell höher, als in der unteren Schicht, insgesamt jedoch auf gleichem Niveau wie die Referenzsilage. Der Mittelwert der Stärke in der Versuchssilage lag mit 40,9 % der TM um ein Prozent über der Referenzsilage, allerdings war die bei der Versuchssilage gefundene Streuung breiter. Der NDF- und der ELOS-Gehalt der Versuchssilage waren insgesamt leicht unter den Orientierungswerten. Allerdings führte der etwas höhere NDF-Gehalt der Versuchssilage zusammen mit dem im Mittel ebenfalls leicht höherem Rohfettgehalt bei gleichem Anteil an ELOS zu einem um 0,1 MJ/kg TM erhöhtem NEL-Gehalt. Insgesamt konnte der Versuchssilage nach fünfmonatiger Lagerdauer ein hoher Futterwert bescheinigt werden. Bei der Versuchssilage wurde eine mittlere Verdichtung von 190 kg TM/m³ (von 175 bis 198 kg TM/m³) erreicht. Diese ist weit unter dem anzustrebenden Verdichtungswert für Maissilage von ≥ 250 kg TM/m³ angesiedelt. Die Referenzsilage erreichte einen Durchschnittswert bezüglich der Verdichtung von 208 kg TM/m³ (Minimum 183 kg TM/m³, Maximum 237 kg TM/m³). Diese Variante lag somit gleichfalls deutlich unter dem anzustrebenden Wert für eine optimal verdichtete Maissilage und schnitt nur leicht besser als die Versuchssilage ab.

Die Gegenüberstellung der Lagerungsverluste im Versuchsjahr 2 in den Siloanlagen ergab zum Zeitpunkt der Öffnung nach 138 Tagen für das Referenz- und das Versuchssilo vergleichbare Trockensubstanzminderungen. Das Versuchssilo schnitt mit 8,2 % TM-Verlust noch leicht besser ab als das Referenzsilo mit 8,6 %. Betrachtet man den reinen Rückgang des Trockensubstanzgehalts der beiden Silagen zwischen der Einlagerung und der Auslagerung, so fällt jener bei der Versuchssilage mit 4,2 % doppelt so hoch aus wie bei der Referenzsilage mit 2,0 %. In der Gesamtbetrachtung fallen die la-

gerungsbedingten Trockenmasseverluste beider Varianten über die knapp fünfmonatige Lagerungsdauer (138 Tage) unter Berücksichtigung mit der gemessenen Verdichtung und Literaturwerten [1] relativ gering aus.

Tabelle 22: Inhaltsstoffe und Energiebewertung der Versuchssilos im zweiten Jahr - Beprobung nach 138 Tagen

Probenort	TM %	XA	OS	XP	XL % TM	XF	ST	NDF	ELOS	ME MJ/kg TM	NEL
Versuchssilo											
vorne	31,2	4,6	95,4	5,5	6,1	17,8	43,7	37,5	67,9	12,2	7,6
mittig	31,7	2,9	97,1	6,3	3,5	18,3	39,0	39,9	69,1	11,3	6,8
hinten	30,5	2,8	97,2	6,5	3,5	19,2	41,6	38,7	70,3	11,4	6,9
Rand links vorne	34,8	3,1	96,9	7,1	3,2	17,7	42,6	37,1	71,5	11,4	6,9
Rand links hinten	32,3	9,3	90,7	6,5	3,2	17,4	41,9	36,9	70,5	11,3	7,0
Rand rechts vorne	31,3	3,1	96,9	6,5	3,7	17,2	41,8	36,8	70,8	11,5	7,0
Rand rechts hinten	31,4	4,9	95,1	6,2	4,2	19,3	39,8	37,4	68,9	11,6	7,1
Scheitel v.o. links	32,7	3,2	96,8	6,6	3,2	19,0	38,8	39,8	68,6	11,1	6,7
Scheitel v.o. rechts	34,1	2,8	97,2	6,8	3,2	17,0	41,7	37,1	70,3	11,3	6,8
Scheitel v.u. links	33,5	3,0	97,0	7,2	3,8	16,0	42,8	32,7	72,7	11,8	7,2
Scheitel v.u. rechts	32,7	3,1	96,9	7,2	3,6	18,4	36,3	39,7	68,5	11,3	6,8
MW	32,4	3,9	96,1	6,6	3,7	17,9	40,9	37,6	69,9	11,5	7,0
MW oben	31,9	4,4	95,6	6,4	3,9	18,1	41,5	37,8	69,9	11,5	7,0
MW unten	33,1	3,1	96,9	7,2	3,7	17,2	39,5	36,2	70,6	11,5	7,0
min	30,5	2,8	90,7	5,5	3,2	16,0	36,3	32,7	67,9	11,1	6,7
max	34,8	9,3	97,2	7,2	6,1	19,3	43,7	39,9	72,7	12,2	7,6
Stabw	1,3	1,9	1,9	0,5	0,9	1,0	2,2	2,0	1,4	0,3	0,2
Stabw oben	1,4	2,3	2,3	0,5	1,0	0,9	1,6	1,1	1,3	0,3	0,2
Stabw unten	0,6	0,1	0,1	0,0	0,1	1,7	4,6	5,0	2,9	0,4	0,3
Referenzsilo											
vorne	33,6	3,0	97,0	7,7	3,2	19,0	38,1	38,5	68,9	11,2	6,8
mittig	34,2	2,8	97,2	8,6	3,4	17,1	40,3	37,4	71,1	11,4	6,9
hinten	33,9	2,7	97,3	8,0	3,6	17,0	40,7	35,7	70,5	11,5	7,0
Rand links vorne	34,4	2,7	97,3	7,8	3,6	17,4	40,4	37,9	70,3	11,4	6,9
Rand links hinten	34,4	2,8	97,2	6,7	3,5	17,7	40,3	37,2	69,1	11,3	6,9
Rand rechts vorne	35,4	2,7	97,3	6,4	3,6	17,2	42,2	36,3	71,7	11,5	7,0
Rand rechts hinten	35,0	2,8	97,2	6,5	3,6	17,9	41,3	37,6	70,9	11,5	7,0
Scheitel v.o. links	34,0	2,8	97,2	6,6	3,2	17,9	39,1	38,5	68,2	11,1	6,7
Scheitel v.o. rechts	33,7	2,9	97,1	7,1	4,1	17,2	39,0	36,4	69,8	11,6	7,1
Scheitel v.u. links	31,8	3,0	97,0	7,0	3,6	18,3	38,4	37,6	68,3	11,3	6,9
Scheitel v.u. rechts	31,4	3,0	97,0	7,4	3,7	17,9	39,6	36,5	70,0	11,5	7,0
MW	33,8	2,8	97,2	7,3	3,5	17,7	39,9	37,2	69,9	11,4	6,9
MW oben	34,4	2,8	97,2	7,4	3,5	17,6	40,5	37,2	70,4	11,4	6,9
MW unten	31,6	3,0	97,0	7,2	3,7	18,1	39,0	37,1	69,1	11,4	6,9
min	31,4	2,7	97,0	6,4	3,2	17,0	38,1	35,7	68,2	11,1	6,7
max	35,4	3,0	97,3	8,6	4,1	19,0	42,2	38,5	71,7	11,6	7,1
Stabw	1,2	0,1	0,1	0,7	0,2	0,6	1,2	0,9	1,1	0,1	0,1
Stabw oben	0,6	0,1	0,1	0,9	0,1	0,7	1,3	1,0	1,0	0,1	0,1
Stabw unten	0,3	0,0	0,0	0,3	0,1	0,3	0,8	0,8	1,3	0,1	0,1

5.4 Beurteilung der Siloabdeckung

5.4.1 Chemische und physikalische Eigenschaften

Untersuchung der Probekörper hergestellt mit dem Applikationsgerät Xtreme™ Mix (Versuchsreihe II)

Die Probekörper wurden auf ihre mechanischen und chemischen Eigenschaften hin geprüft.

- Gelierzeit
- Quellfähigkeit (10 min, 1 h, 5 h, 24 h, 48 h, 72 h)
- Temperatureinfluss (-18 °C, 8 °C, 21 °C)
- Zugversuche (-18 °C, 8 °C, 21 °C, gequollen, UV-Licht)
- UV-Behandlung
- Hafteigenschaft

Gelierzeit

In der Tabelle 23 sind die Gelierzeiten in Abhängigkeit der Konzentration des Kaliumhydroxides dargestellt.

Tabelle 23: Gelierzeit in Abhängigkeit des Volumenanteils der 20%igen KOH-Konzentration (n=10)

Volumenanteil der 20%igen KOH in ml/kg Abdeckmaterial	Gelierzeit In h ± 0,5 h
3,2	7
1,6	2
0,8	4

In Abbildung 35 sind die Gelierzeiten der Versuchsreihe I und II vergleichend gegenübergestellt. Aus der grafischen Darstellung (Abbildung 35) ist zu entnehmen, dass es eine weitere Verkürzung der Gelierzeit der Versuchsreihe I zu der Versuchsreihe II von mehr als 90 % gibt. Dabei wurden drei verschiedene Volumenanteile des Verzögerers KOH untersucht. Alle drei Varianten liegen unter den Gelierzeiten der Versuchsreihe I. In der Grafik ist erkennbar, dass bei der Versuchsreihe II mit dem Applikationsgerät eine „optimale“ Gelierzeit identifiziert wurde, welche bei Verwendung von 1,6 ml KOH pro 1 kg Abdeckmaterial ($\pm 0,2$ ml KOH/ 1 kg Abdeckmaterial) identifiziert wurde. Diese Ergebnisse stimmen mit der Versuchsreihe I sehr gut überein.

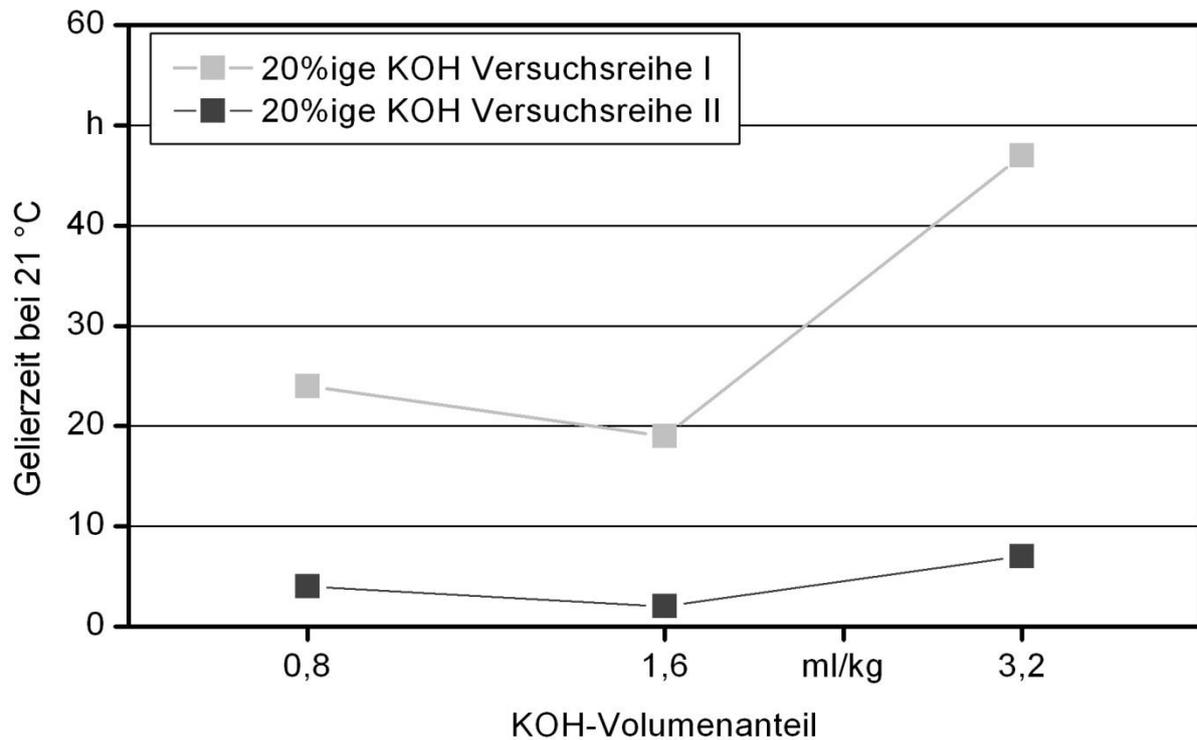


Abbildung 35: Gelierzeit in Abhängigkeit des Kaliumhydroxid-Volumenanteils pro 1 kg Abdeckmaterial (n= 5)

Mit dem gewählten Zwei-Komponenten-Applikationssystem „X-treme Mix“ und der gewählten Dosierung des Verzögerers (20%ige KOH) wird die Gelierzeit um mehr als 90 % gegenüber der Versuchsreihe I verkürzt.

Masseverluste nach der Applikation

Nach der Applikation wurden die hergestellten Proben bei Raumtemperatur (21 °C \pm 2 °C) gelagert. Bei der Lagerung wurden Schrumpfungerscheinungen über einen Zeitraum von 4 Wochen beobachtet. Weiterhin wurden Gewichtsveränderungen in den ersten 14 Tagen festgestellt. Die Proben wurden am Herstellungstag nach 4, 8 und 14 Tagen jeweils gewogen und die Ergebnisse protokolliert.

Abbildung 36 zeigt die Gewichtveränderung des Abdeckmaterials während der Lagerung bei 21 °C (\pm 2 °C).



Abbildung 36: Masseverlust der hergestellten Sprühapplikationsproben (n=20)

Die erste Messung erfolgte am Herstellungstag, nachdem die Gelierung abgeschlossen war. Vier Tage später erfolgte die zweite Messung, dabei ist eine Gewichtsabnahme von 10 - 20 % zu vermerken. Die Gewichtsabnahme von 10 - 20 % sank bei der dritten und vierten Messung zu den jeweilig davor gemessenen Werten nochmal um 2 - 3 %. Die Gewichtsreduzierung in den ersten Tagen lässt auf die Verdunstung des Wassers schließen, dass sich in den hergestellten Proben befand.

Prüfung der Materialeigenschaften

Im nächsten Abschnitt werden verschiedene Materialeigenschaften des Abdeckmaterials geprüft, um abschätzen zu können, wie sich das Abdeckmaterial bei den späteren Versuchen verhalten könnte.

Quellfähigkeit

Das Abdeckmaterial wurde auf die Wasseraufnahmefähigkeit (Quellfähigkeit) hin geprüft. Dabei wurde ein definiertes Probestück in Wasser gelegt. Nach 10 Minuten, nach 1 Stunde und nach 5 Stunden, kam es weder zu einer Gewichtszunahme noch zu einer Größenänderung. Somit wurden die Quellzeiten erhöht und es erfolgten Messungen nach 24, 48 und 72 Stunden.

In Abbildung 37 ist die Quellfähigkeit der Proben dargestellt. Diese wurde bei drei definierten Höhen (3, 6 und 9 mm) getestet. Werden die Höhen miteinander verglichen, so ist erkennbar, dass die 3 mm dicke Probe das meiste Wasser aufgenommen hat und somit die höchste Quellfähigkeit besitzt. Die geringste Quellfähigkeit weist die 9 mm dicke Probe auf. Der Grund, dass die Quellfähigkeit bei den dickeren Proben geringer ist,

kann auf das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen zurückzuführen sein. Bei den hergestellten Probekörpern kam es aufgrund der Quellung zu Volumenänderungen. Es kam zu einer Volumenänderung von 2 - 30 %.

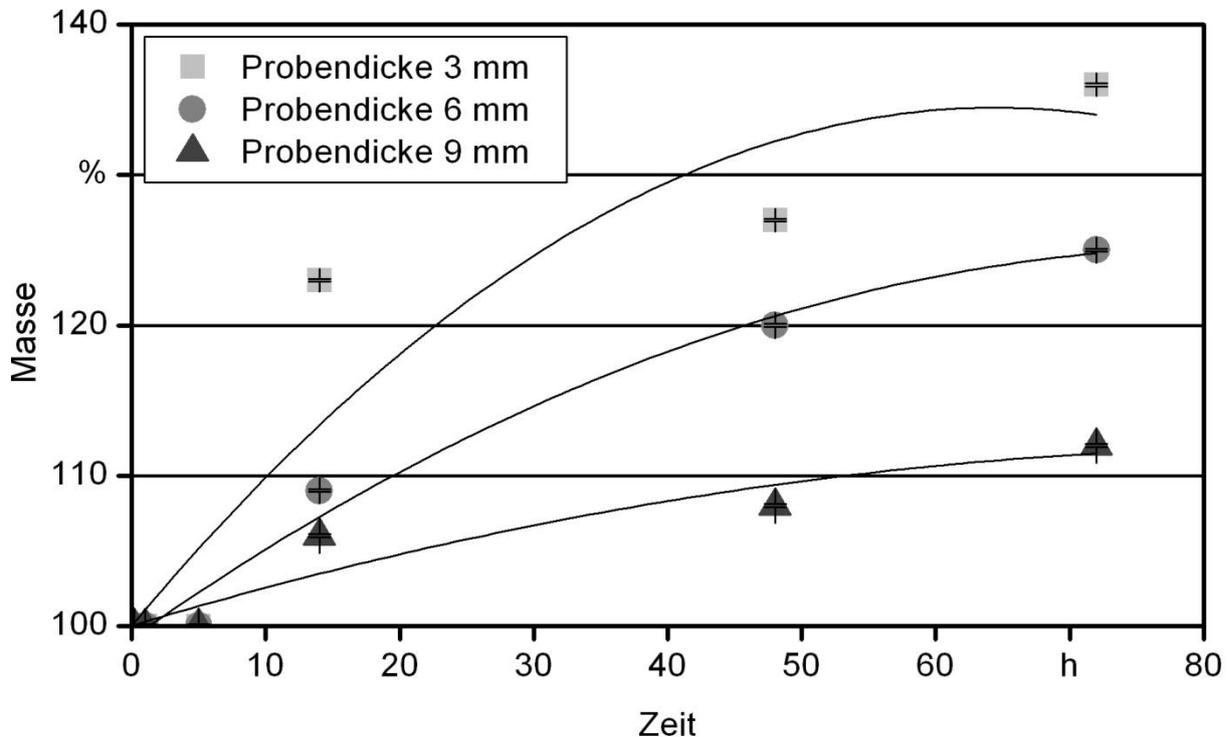


Abbildung 37: Änderungen der Masse der Probekörper nach Lagerung in Wasser im zeitlichen Verlauf ($n=3$)

Alterungsbeständigkeit unter UV-Licht

Das Kriterium der Alterung unter Sonneneinstrahlung wurde modellhaft mit Hilfe einer UV-Bestrahlung untersucht. Das Abdeckmaterial wurde unter UV-Licht 5 Wochen lang gelagert. Dabei wurden optische Veränderungen protokolliert und abschließend mechanische Tests (Zugfestigkeit) durchgeführt. Nach 24 Stunden waren bereits optische Veränderungen feststellbar. Die bestrahlten Proben nahmen an Festigkeit zu und die Verformbarkeit der Proben ließ im Vergleich zur Referenz nach. Des Weiteren entstand ein klebriger Ölfilm auf der Oberseite der Proben, (Abbildung 38).

Nachdem die Proben fünf Wochen lang unter dem UV-Licht exponiert waren, zeigte sich ein gelblicher Ölfilm auf den Proben. Diese Klebrigkeit führte dazu, dass Insekten daran haften blieben (Abbildung 39 schwarze Punkte). Durch die weitere Bestrahlung verfestigte sich der Ölfilm teilweise.



Abbildung 38: Proben nach 24 h Bestrahlung mit UV-Licht



Abbildung 39: Proben unter UV-Licht nach 5 Wochen Bestrahlung

Insgesamt wurde ein leichter Masseverlust bei den Proben festgestellt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 24 zusammengestellt. Der Masseverlust ist auf die restliche Verdunstung von Wasser zurückzuführen. Ein weiterer Grund könnte das ausgetretene Öl sein, welches sich nicht nur auf der Probe befand sondern teilweise auch die Unterlage benetzte.

Tabelle 24: Masseänderung des Abdeckmaterials nach Bestrahlung mit UV-Licht

Versuchsbezeichnung	Masse vor UV-Bestrahlung in g	Wartezeit in Tagen	Masse nach UV-Bestrahlung in g	Masseverlust in g	Masseverlust in %
10	14,16	1	13,56	0,60	4,2
12	18,52	1	17,78	0,74	4,0
20	9,94	1	9,71	0,23	2,3
5	22,40	5	20,64	1,76	7,9
6	41,80	5	36,91	4,89	11,7
19	27,07	5	23,56	3,51	13,0
8	34,88	7	30,78	4,10	11,8
15	24,09	7	20,29	3,80	15,8

Zugfestigkeit

Mit diesem Prüfverfahren wurden Festigkeits- und Verformungskennwerte ermittelt. In Abbildung 40 ist ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm für das Abdeckmaterial dargestellt, welches zuvor bei 21 °C über sechs Wochen gelagert wurde. Anfangs ist bei den drei Kurven eine Dehnung zu erkennen, die der Spannung annähernd proportional ist. Danach erfolgt der Einschnürungsbeginn, an der die Masse anfängt zu reißen, bis es dann zum vollständigen Bruch (Abriss) kommt.

In der Abbildung 41 werden F-max und F-Bruch von unterschiedlich konditionierten Probekörpern (-18 °C, 8 °C, 21 °C, Wasser, UV-Licht) zusammengefasst. Die ersten Versuche erfolgten nach einer Lagerungszeit von 2 - 3 Wochen unter den oben genannten Bedingungen.

F-max [N/mm²] = maximale Zugkraft

F-Bruch [N/mm²] = Bruchdehnung

Der höchste Wert der maximalen Zugkraft war bei der Probe, welche bei -18 °C gelagert wurde, zu verzeichnen. Er lag bei 0,09 N/mm². Bei den Proben, die einer Lagerungstemperatur von 8 °C und 21 °C ausgesetzt waren, wurde eine maximale Zugkraft von 0,06 und 0,07 N/mm² ermittelt. F-max war bei den in Wasser gelagerten und UV-Licht bestrahlten Proben fast identisch zu den Proben, die bei 21 °C gelagert wurden.

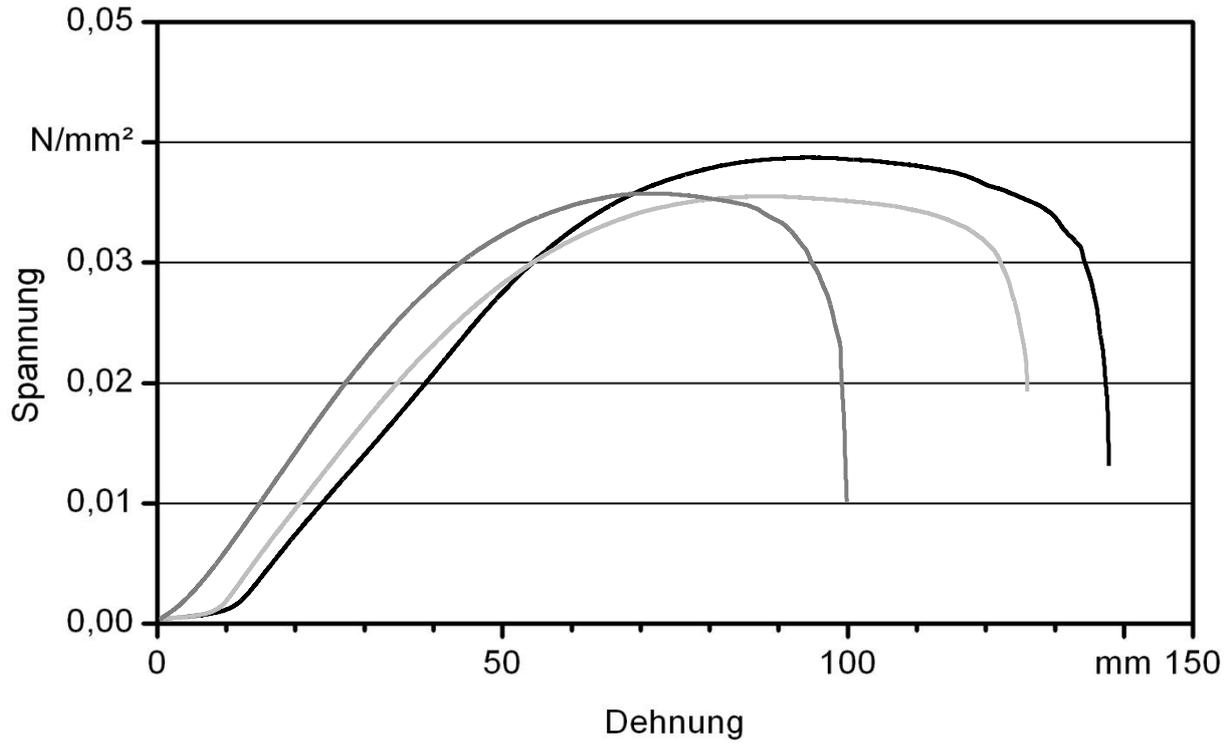


Abbildung 40: Spannungs-Dehnungs-Diagramm des Abdeckmaterials (21 °C, 6 Wochen lang gelagert)

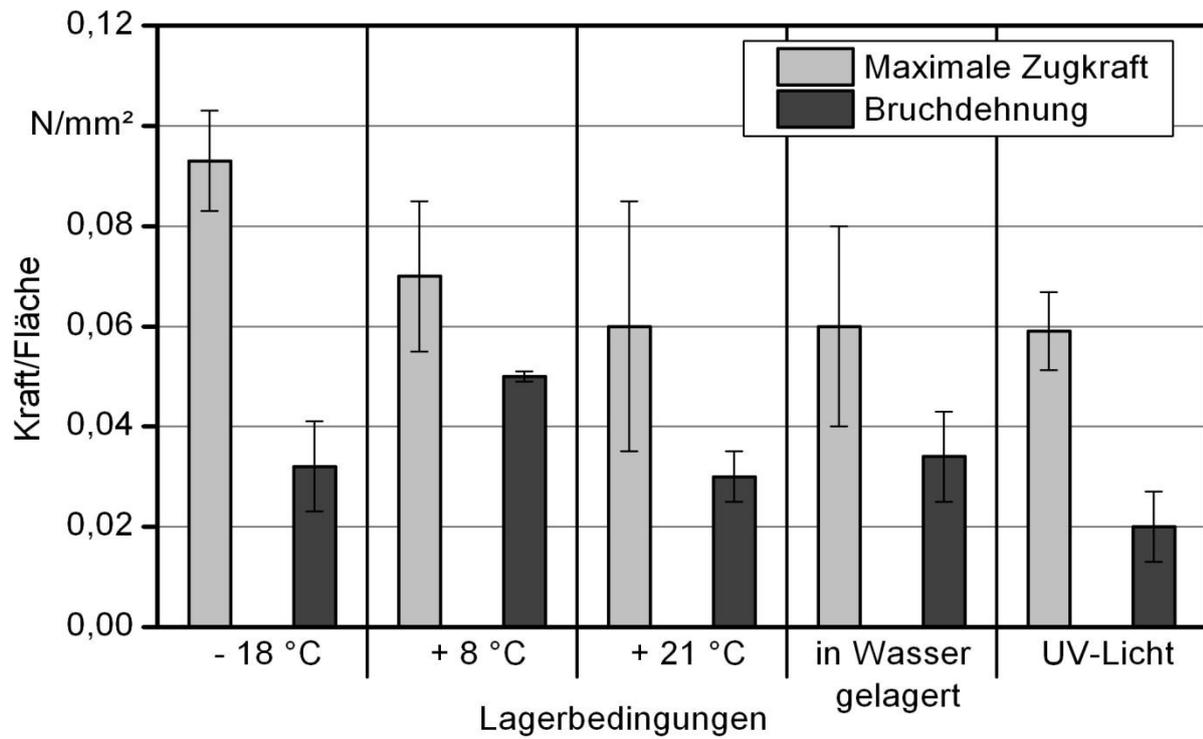


Abbildung 41: F-max und F-Bruch des Abdeckmaterials in Abhängigkeit der Lagerungseigenschaften (n=3)

Als Ergebnis der Zugversuche kann die Aussage getroffen werden, dass bei geringeren Temperaturen die Proben eine höhere Festigkeit besitzen und die Elastizität geringer ausfällt. Daher fällt die maximale Zugkraft bei diesen Proben höher aus. Derselbe Versuchszyklus wurde nochmals nach 5 - 6 Wochen Lagerung durchgeführt. Dabei kam es zu vergleichbaren Resultaten wie nach 2 - 3 Wochen Lagerung.

Als Resultat kann die Aussage getroffen werden, dass die Elastizität der Proben mit der Zeit geringer wird, aber die Festigkeit der Probe zunimmt.

Bei den mit UV-Licht bestrahlten Proben konnten nach 5 - 6 Wochen Lagerung keine Zugversuche durchgeführt werden, da diese beim Einspannen in die Backen der Zugmaschine zerfielen. UV-Licht lässt anscheinend das Material porös werden.

Haftfähigkeit

Um die Haftfähigkeiten des frischen Materials zu untersuchen, wurde eine Folie mit markierten Stellen an eine senkrechte Fläche angebracht und das Abdeckmaterial durch Aufspritzen appliziert.

Die Fließneigung sowie die Haftfähigkeit konnte mit sehr gut beurteilt werden. Das Abdeckmaterial haftete sehr gut an der Folie. Ein „Wegfließen“ der Masse war nicht zu erkennen. Auch während des Gelierprozesses wurden keine Veränderungen festgestellt.

5.4.2 Zusatz von Struktol

Durch den Zusatz von Struktol LS 109 als Stabilisator in Komponente B konnte das Entstehen von Latex-Koagulaten beim Pumpen der Mischung merklich reduziert werden. Als ein zusätzlicher sehr positiver Effekt zeigte sich, dass das Material eine bessere Verarbeitbarkeit aufweist und die gelierte Abdeckmasse scheinbar verbesserte elastische Eigenschaften hat.

5.4.3 Zusatz von Fasern

Um eine Reduzierung der Rissbildung und Schrumpfung zu erreichen sowie teure Materialkomponenten einzusparen, wurden der Basismischung ausgewählte Fasern zugesetzt. Faserarten und Mengenverhältnisse sind unter Kapitel 4.1.1 und 4.1.2 beschrieben. Die Fasern wurden mit dem Feststoffgemisch in Komponente A gegeben. Dabei war bei allen Fasertypen ein Einmischen unproblematisch möglich.

Nach dem Zusammenbringen der beiden Komponenten A und B zeigte sich durch den Faseranteil ein etwas beschleunigter Gelierprozess im Vergleich zur reinen Basismischung. Weiterhin wurde eine geringere Klebeneigung der Oberfläche festgestellt. Nachteil bei allen Faservarianten war eine erhöhte Schrumpfung des Materials. Möglicherweise haben die Faser durch eine vergrößerte Oberfläche der Mischung Wasser entzogen. Abbildung 42 zeigt exemplarisch die Basismischung (unten) und drei Varianten mit ARBOCEL-Fasern. Deutlich erkennbar ist die ebenere Oberfläche der Basismischung.



Abbildung 42: Versuch zum Einmischen von Fasern – ganz rechts: Basismischung, links: drei Varianten mit ARBOCEL-Fasern (JRS)

5.4.4 Zusatz von Silikagel

Durch den teilweisen Ersatz von Natriumalginat durch das Silikagel „Trisyl“ zu 25 %, 50 % bzw. 75 % wird eine Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften sowie der Elastizität der Abdeckmasse angestrebt.

Bereits bei der Substitution von 25 % Natriumalginat durch Silikagel ist ein etwas langsamerer Gelierprozess zu beobachten. Dabei erscheint die Mischung flüssiger und lässt sich besser verarbeiten. Werden 75 % Natriumalginat durch Silikagel ersetzt, verlängert sich die Gelierzeit auf ein unerwünschtes Maß. Nach dem Mischen zeigt sich eine gelartige Masse, die nach dem Gießen uneben bleibt und keine geschlossene Oberfläche bildet. Bei Ausübung von Druck tritt aus der Masse Wasser aus.

Die Untersuchungen zeigten, dass etwa 50 % des Alginats durch Silicagel ersetzt werden können, ohne dass es zur signifikanten Verlängerung der Gelierzeit mit unerwünschtem Austritt von Wasser kommt. In nachfolgender Tabelle 25 sind die Beobachtungen während der Umweltsimulation der Vorzugsvariante mit gleichen Anteilen an Alginat und Silicagel zusammengefasst.

Tabelle 25: Umweltsimulation - Probekörper einer Rezepturvariante bei der Natriumalginat zu 50 % durch Silikagel substituiert wurde (Umweltsimulation)

Versuchstag	Abbildung	Beschreibung der Probe
1. Tag		<ul style="list-style-type: none"> - ebene Oberfläche - geringfügige Schrumpfung (< 1 mm) - hellbraune Farbe der Probe - winzige Poren in Probenoberfläche - Oberfläche klebt leicht
3. Tag		<ul style="list-style-type: none"> - Wasser der Benetzung vom zweiten Tages nach 24 h verschwunden - feuchte Oberfläche - teilweise helle Verfärbungen der Probe durch Wassereinwirkung
5. Tag		<ul style="list-style-type: none"> - geringe Vergrößerung einiger Poren - Schrumpfung ca. 3 mm - Probe wirkt etwas dunkler - flächiger Ölaustritt - stellenweise Bläschenbildung
10. Tag		<ul style="list-style-type: none"> - wässrige u. ölige Pfützen auf der Probe - Oberfläche leicht angelöst - weiße „Haut“ nach Auftauen an Oberfläche - helle Färbung der Probe durch Wassereinwirkung
12. Tag		<ul style="list-style-type: none"> - dünne, kleine Risse in der Oberfläche - einige Poren wirken vergrößert - vereinzelt minimale Schrumpfung (<1 mm) - Probe etwas dunkler - Ölaustritt verhältnismäßig gering
19. Tag		<ul style="list-style-type: none"> - weitere Schrumpfung auf 2 mm - Probe deutlich dunkler (gelblich-braun) - starker Ölaustritt - Oberfläche angelöst

5.4.5 Abstreuen der Oberfläche

Durch Abstreuen der Oberfläche sollte die Klebeneigung der Vorzugsvariante mit Silikagel vermindert werden. Der Einsatz von Harnstoff zeigte dabei keinen positiven Effekt. Durch Abstreuen mit Futterkalk allerdings stellte sich wie gewünscht eine klebefreie Oberfläche ein, die auch Tage und Wochen nach Herstellung der Proben erhalten blieb. Abbildung 43 zeigt eine solche mit Futterkalk abgestreute Probe.



Abbildung 43: Mit Futterkalk abgestreute Probe der Vorzugsrezeptur

5.4.6 Umweltsimulation

Die Simulation von Umwelteinflüssen wie Wasser, Sonne und Wärme sowie Kälte wurde im Labormaßstab unter den in Kapitel 4.4.1 beschriebenen Bedingungen durchgeführt. Nachfolgende Tabelle 26 zeigt die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchung. Als Fazit ergibt sich, dass ausschließlich mit Futterkalk abgestreute Proben nach mehr als 80 Tagen keinen Ölaustritt und keine Risse aufweisen. Außerdem zeigen abgestreute Proben die geringste Schrumpfung.

Tabelle 26: Zustand der wichtigsten Rezepturvarianten nach Simulation von Umwelteinflüssen im Labormaßstab

	Basismischung	Probe mit Faserzusatz (Arbocel R)	Abgestreute Probe	Probe mit 50 % Silikagel
Bewitterungsdauer	89 Tage	48 Tage	82 Tage	89 Tage
Oberflächenänderung	Ölaustritt in der 1. Woche, Ausbildung von Rissen in der 2. Woche	Ölaustritt in der 1. Woche, keine Rissbildung	kein Ölaustritt, keine Risse, keine klebrige Oberfläche	gleiche Änderung wie Basismischung
Schrumpfung	5,8 %	3,7 %	3,7 %	4,1 %
Weitere Änderungen	Wasserrückstand, angelöste Oberfläche	geringerer Wasserrückstand, angelöste Oberfläche	Verfestigung des Kalkes	kein Wasserrückstand, angelöste Oberfläche
Probe am ersten (links) und letzten Tag (rechts) der Lagerung				

5.4.7 Beobachtungen aus den Praxisversuchen

Die gegossenen Varianten der Laborsiloversuche sowie sämtliche aufgespritzten Varianten der Versuchssiloanlagen I und II lassen eine intensive und dauerhafte Verbindung von Abdeckmaterial und Futterkonserve erkennen. Dies ist im Sinne der Versuchsanstellung positiv zu bewerten.

5.4.7.1 Spritzversuche

Mit den Spritzversuchen wurde der Einfluss verschiedener Parameter wie Temperatur, Druck und Rezeptur auf das Aushärteverhalten und die Qualität der Abdeckmasse sowie auf das Applikationssystem untersucht.

Optische Beurteilung

Die Wiederholungen innerhalb einer Variante unterschieden sich bei der optischen Beurteilung zum Teil sehr stark voneinander. Insbesondere unterschieden sich die Proben bezüglich der Klebrigkeit der Oberfläche innerhalb der Probekörper.

Mischungsverhältnis

Das Mischungsverhältnis lag im Durchschnitt aller Varianten bei 1 : 1,11 von Rapsöl- zur Latexkomponente. Das Ziel des Mischungsverhältnis liegt bei 1 : 1,13. Besonders auffällig war, dass die drei Wiederholungen der Variante „höherer Druck“ im Mittel bei einem Verhältnis von 1 : 0,88 lag. Somit war bei höherem Druck durchweg zu wenig Latexkomponente in der Mischung. Folgende Mischungsverhältnisse lagen bei den einzelnen Varianten vor: „KOH-Zugabe“ 1 : 1,01, „Mit Kreide“ 1 : 1,22, „Niedrige Temperatur“ 1 : 1,16,

„Statikmischer“ 1 : 1,14; „Referenz“ 1 : 1,17. Mit dem gewählten Versuchsaufbau konnte das Mischungsverhältnis in der angestrebten Genauigkeit nicht eingestellt werden.

Penetrometermessungen

Die Ergebnisse der Penetrometermessungen sind in Abbildung 44 als Kraftzunahme pro Millimeter Eindringtiefe dargestellt. Dabei wurde der Mittelwert, Minimum und Maximum für die verschiedenen Varianten sowie der Mittelwert, Minimum und Maximum aller Varianten der einzelnen Chargen (Charge 1, Charge 2, Charge 3) aufgeführt. Analog dazu wird in Abbildung 45 die Abnahme der von der Probe auf den Prüfkörper wirkende Kraft beim Herausbewegen des Prüfkörpers gezeigt. Mit zunehmender Zeit steigt die Kraftzunahme, weil die Proben langsam aushärten und somit mehr Kraft pro Millimeter Eindringtiefe zum Eindringen notwendig wird (Abbildung 44). Umgekehrt nimmt die Kraft pro Millimeter Aushub des Prüfkörpers aus der Probe schneller ab, da die härteren Proben weniger elastisch sind (Abbildung 45). Beim Vergleich der einzelnen Varianten untereinander zeigt sich, dass sie sich nicht signifikant unterscheiden. Auch lässt sich keine Systematik erkennen, dass Proben die bei der 3 Minuten-Messung weicher bzw. elastischer sind, auch nach 30 Minuten bzw. 24 Stunden weicher sind als andere. Nur bei der Materialcharge aus dem Gras-Silier-Versuch (siehe Kapitel 4.3.2 und 5.1.4) sind die Werte im Vergleich zu den anderen immer niedriger. Bei der Betrachtung der Mittelwerte über alle Varianten für die einzelnen Chargen zeigt sich, dass die Unterschiede zwischen den Chargen (1 - 3) größer ausfallen als bei den einzelnen Varianten. Es lässt sich also erkennen, dass die Verwendung einer anderen Charge größeren Einfluss auf das Aushärteverhalten und die Elastizität der Proben hat als die Variation der oben genannten Parameter (Temperatur, Rezeptur, Druck, usw.).

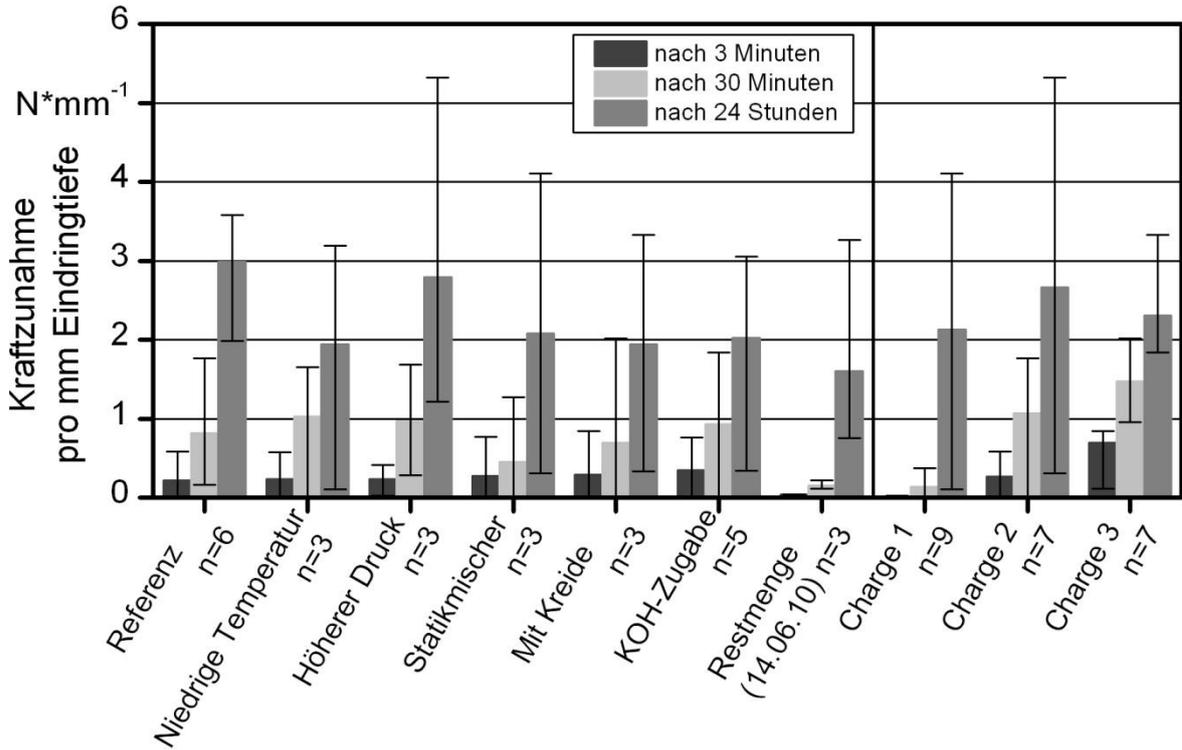


Abbildung 44: Kraftzunahme pro Millimeter Eindringtiefe bei gespritzten Proben

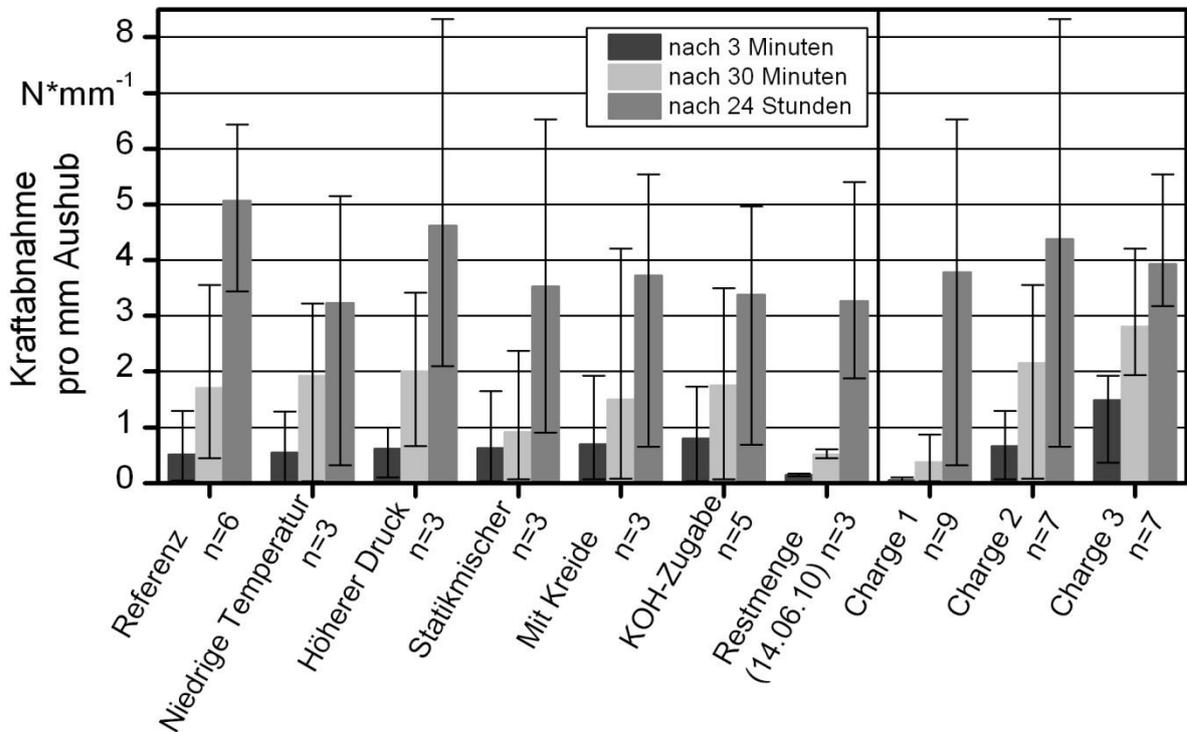


Abbildung 45: Kraftabnahme pro Millimeter Aushub bei gespritzten Proben

Untersuchung Statikmischer

Bei allen Varianten konnten keine Ablagerungen der Abdeckmasse im Statikmischer festgestellt werden mit Ausnahme der Materialcharge aus dem Gras-Silier-Versuch. Diese zeigte deutlich erste Verstopfungserscheinungen.

Koagulate

Während des Pumpens der Latex-Komponente bilden sich Koagulate an der Mantelwand der Exzentrerschneckenpumpe. Diese schieben sich nach und nach Richtung Ende der Exzentrerschneckenpumpe (vgl. Kapitel 5.1.3). Ein Einfluss der verschiedenen Varianten konnte nicht festgestellt werden.

Homogenität

Die Homogenität der Mischungen wurde ebenfalls mit den Spritzversuchen beurteilt. Der Latexkomponente wurde ein blauer Farbstoff zugegeben. Bei den hergestellten Prüfkörpern war keine Marmorierung zu erkennen. Die Mischungen waren homogen. Als Nebeneffekt konnte gezeigt werden, dass das Abdeckmaterial problemlos eingefärbt werden könnte, und damit der Umwelt angepasst werden könnte.

5.4.7.2 Versuchssiloanlage I

Bei der Versuchssiloanlage I wurden speziell die Oberflächen-, die Wandanschluss- sowie die Bodenabschlussbeschaffenheit untersucht. Bei den Silos konnte nach jedem Besprühen festgestellt werden, dass die Farbe der Abdeckung mit dem Aushärten und Trocknen etwas dunkler wird. Abbildung 46 zeigt ein frisch abgedecktes Modell-Silo, dessen Abdeckung an der Wand (vor allem rechts) bereits getrocknet ist. Außerdem ist zu erkennen, wie sich die Abdeckmasse mit der Oberfläche des Häckselguts verbindet, anpasst und diese dann nachformt. Bei allen Varianten, die nicht mit Futterkalk abgestreut wurden, ist die Oberfläche nach der Aushärtung klebrig geworden. Dadurch bleiben Insekten, Blätter und sonstiger Schmutz haften. Es besteht die Gefahr, dass Vögel und Kleinsäuger zu Schaden kommen. Bei den mit Futterkalk bestreuten Proben ist die Oberfläche anfangs nicht klebrig. Erst nach über drei Monaten scheint sich an vereinzelten Stellen eine leichte Klebrigkeit einzustellen. Auffällig ist, dass die Klebrigkeit an der Oberfläche bei den Silos nicht an allen Stellen gleich ist. Die Klebrigkeit nahm etwa fünf Monate nach Versuchsbeginn langsam ab. Jedoch war selbst beim Auflösen der ersten Silos nach zehn Monaten die Abdeckungsoberfläche noch klebrig.

Bereits eine Woche nach dem Silierzeitpunkt war bei jedem Silo, ausgenommen die bestreuten Silos, an der Oberfläche ein Austritt von Öl zu beobachten, wie in Abbildung 47 (links) zu sehen ist. In beiden Versuchsjahren konnte nach sieben und acht Wochen nach dem Silieren festgestellt werden, dass durch Regen, der auf der Oberfläche auftrifft und abläuft, Material ausgewaschen wird. Die Flüssigkeit sammelt sich und läuft in Rinnalen ab. Dies war bei den abgestreuten Varianten nicht zu beobachten.



Abbildung 46: Frisch mit dem Abdeckmaterial verschlossenes Versuchssilo (Variante mit Rückwand, VJ-1)

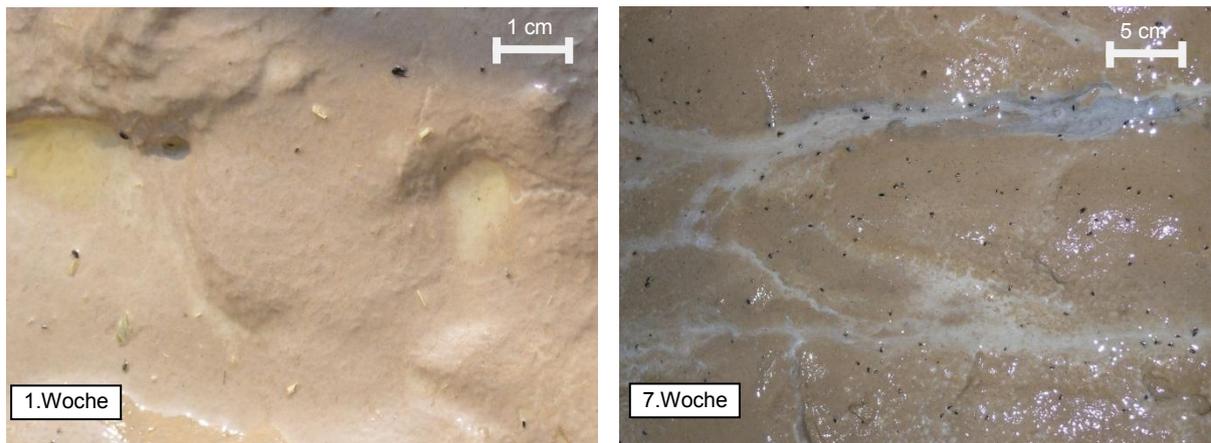


Abbildung 47: Zustand des Abdeckmaterials nach Bewitterung - Ölaustritt (nach einer Woche) (links); Rinnsale aus Regenwasser mit ausgewaschenem Material (rechts)

Teilweise wurde Schimmelbildung auf der Oberfläche des Abdeckmaterials festgestellt, meist etwa sieben Wochen nach Versuchsbeginn. Besonders auffallend war, dass die mit Maisspindelgrieß und die mit Futterkalk bestreuten Abdeckungsvarianten zuerst betroffen waren. Die erhoffte biozide Wirkung des Abstreuens mit Futterkalk hat sich nicht gezeigt. Die nicht-abgestreuten Varianten schienen erst eine Woche später von einem Befall betroffen zu sein. In Abbildung 48 ist die Entwicklung einer mit Schimmel befallenen Fläche in einer zeitlichen Abfolge dargestellt. Im Teilbild links oben sind erste Anzeichen von Schimmelbefall erkennbar und zwei Wochen später (rechts oben) hat der Befall stark zugenommen. Wiederum zwei Wochen danach scheint der Schimmel sich nur

noch langsam auszubreiten. Deutlich später scheint sich der Schimmel kaum mehr zu vergrößern. Eine Schimmelbildung auf dem Abdeckmaterial sollte möglichst vermieden werden.

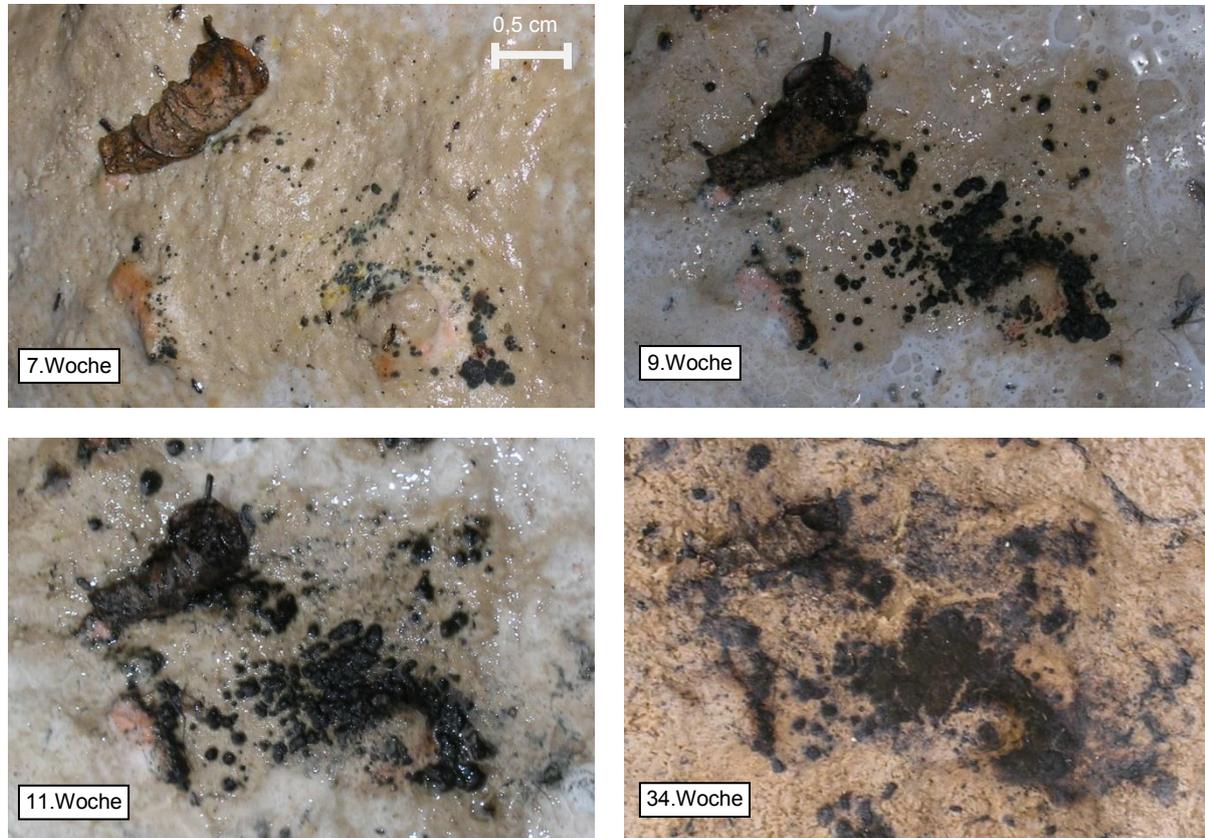


Abbildung 48: Schimmelbildung in zeitlicher Abfolge Versuchssiloanlage I (VJ-1)

Auf den Oberflächen konnte nach unterschiedlichen Zeiträumen kleine Risse festgestellt werden. Im Versuchszeitraum 2009/10 (VJ-1) war eine erste Rissbildung im März erkennbar. Im zweiten Versuchszeitraum 2010/11 (VJ-2) konnten bei einer Wiederholung der Variante „Vorzugsrezeptur nicht abgestreut“ erste Risse an einer Stelle bereits drei Wochen nach Versuchsbeginn festgestellt werden, was in Abbildung 49 dargestellt ist. Da bei der Wiederholung sowie bei den anderen Silos zu diesem Zeitpunkt noch keine Anzeichen zur Rissbildung festzustellen waren, kann davon ausgegangen werden, dass die frühe Rissbildung nicht typisch ist. Bei den restlichen Silos traten ab Januar kleine Risse an der Oberfläche auf.

Unterschiedliche Einflüsse auf die Oberfläche der einzelnen Varianten lassen sich nur auf die abgestreuten bzw. nicht-abgestreuten Versuchssilo beobachten. In Bezug auf die restlichen Varianten in VJ-1 (z. B. „Dick“, „Dünn“, „An-der-Wand-zuerst“ siehe Tabelle 3) und den Varianten der Rezeptur VJ-2 (Rezeptur aus Projektphase 1, Rezeptur mit ARBOCEL R oder ohne ARBOCEL R siehe Tabelle 4) lassen sich keine Vorzüge feststellen.

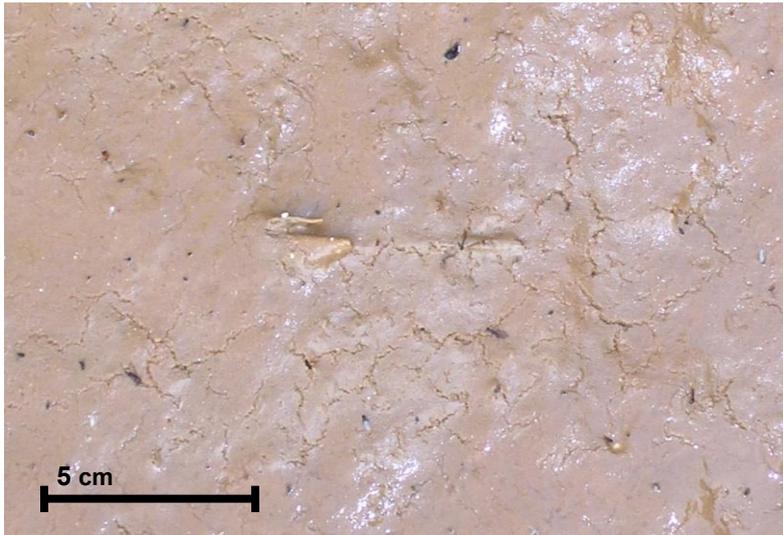


Abbildung 49: Erste Risse auf der Abdeckungsfläche (3. Woche, VJ-2)

Neben den Veränderungen der Oberfläche wurde die Entwicklung des Wandanschlusses kontrolliert. Eine Hebung durch eine Gasbildung innerhalb der ersten Tage, die laut einschlägiger Literatur zu erwarten gewesen wäre, konnte bei der Versuchssiloanlage I nicht festgestellt werden. Der Silostock hat sich während beiden Versuchszeiträumen im Durchschnitt bei der Maissilage um einen Zentimeter gesenkt. Im ersten Versuchszeitraum (VJ-1) haben sich nach zwei Wochen erste Spalten zwischen Wand und Abdeckungsmaterial gebildet. Zunächst trat die Schrumpfung überwiegend an der mit Sonne beschienene Seite auf – später an der Schattenseite. Vor allem haben sich die Spalten von der zweiten bis vierten Woche entwickelt. Danach haben sie sich nur noch langsam vergrößert. Ein Beispiel hierfür ist in Abbildung 50 dargestellt, die Ausschnitte zeigen das Silo aus Abbildung 46. Dagegen waren im zweiten Versuchszeitraum 2010/11 fast keine Spalten festzustellen. Besonders bemerkenswert ist, dass die Variante „Rezeptur aus Projektphase 1“ die Wiederholung der Versuchsanstellung des Jahres 2009 darstellt und zum Stand Februar 2011: 19. Woche noch keine Spalten vorzuweisen hat. Bei der Grassilage hat sich der Silostock durchschnittlich 18 cm gesenkt, was die Abdeckung an dieser Stelle reißen ließ. Dadurch konnte Sauerstoff in die Silage gelangen, der sich negativ auf die Silagequalität ausgewirkt hat.

In Hinblick auf den Wandanschluss lassen sich bei den verschiedenen Varianten VJ-1 (z. B. „Dick“, „Dünn“, „An-der-Wand-zuerst“) und den Varianten der Rezeptur VJ-2 (Rezeptur aus Projektphase 1, Vorzugsrezeptur mit ARBOCEL R oder ohne ARBOCEL R) keine Präferenzen feststellen. Es war jedoch auffällig, dass im Jahr 2010 wesentlich weniger Spalten, zwischen Abdeckungsfläche und Silowandung als im Jahr davor festzustellen waren. Dies kann entweder an unterschiedlichen Witterungsbedingungen, am Siloanstrich oder an der Applikation liegen.



Abbildung 50: Beispiel für die Spaltenbildung am Wandanschluss in zeitlicher Abfolge im Versuchszeitraum 2009/10 (VJ-1)

Der luftdichte Abschluss beim Bodenanschluss zwischen Abdeckung und Bodenplatte des Versuchssilos scheint bei allen Versuchen über den ganzen Versuchszeitraum gewährleistet zu sein.

Bei der konventionellen Abdeckung kann durch Schäden der Silofolien Sauerstoff in den Stock eindringen, was die Qualität der Silage beeinträchtigt. Solche Schäden werden zum Beispiel durch Nager, Vögel oder andere Tieren verursacht. In den bisherigen Versuchszeiträumen konnten keinerlei Fraßschäden an der neuartigen Siloabdeckung beobachtet werden.

5.4.7.3 Versuchssiloanlage II

Entgegen den bisher gewonnenen Erfahrungen unter Laborbedingungen ergab sich bei den außen gelagerten Siliergläsern sowie bei der Versuchssiloanlage II zu keinem Zeitpunkt nach der Abdeckung der Futtersubstanz mit der Zwei-Komponenten-Mischung eine komplett abgetrocknete und nicht klebende Oberfläche. Dadurch kam es, dass Kleintinsekten (z. B. Fliegen, Schmetterlinge, Tausendfüßler) und herabfallendes Laub an der Oberfläche kleben blieben. Außerdem war ein Austreten von Flüssigkeiten, welche als Öl

und auch als Latexmilch identifiziert wurden zu beobachten. Das zuerst stattgefundenene „Ölausschwitzen“ war erkennbar an der gelblichen Färbung und der ölig-schmierigen Flüssigkeit, die sich in den Mulden der Oberfläche ansammelte. Nach etwa zwei Wochen verfärbte sich die Flüssigkeit von gelb nach weiß. Einerseits steht dieser Farbumschlag sicher im Zusammenhang mit dem Tau-/Regenwasser im Sinne eines Verdünnungseffekts. Zum anderen kann auch ein geringfügiger Latexaustritt nicht ausgeschlossen werden. Im VJ-1 war noch wenige Wochen lang ein geringer Ammoniakgeruch wahrnehmbar. Dies war im VJ-2 nicht mehr feststellbar.

Optischer Eindruck im Versuchsverlauf, Mykologie VJ-1

Als erste Auffälligkeit konnte keine Gärgashaube an den Versuchssiloanlagen II ausgemacht werden. Zum einen lag dies am Verhältnis der Befüllungshöhe zur bedeckten Bodenfläche der beiden Versuchssiloanlagen. Zum anderen spielte hier sicher das Eigengewicht der Zwei-Komponenten-Mischung eine ausschlaggebende Rolle. Im Versuchsjahr 1 trocknete die Oberfläche der neuartigen Abdeckung zu keiner Zeit ab. Bis zum Zeitpunkt der vollständigen Bedeckung des Versuchssilos mit (festklebendem) Laub konnten ausgeschwitzte Ölschlieren beobachtet werden. Die aufgebrachte Zwei-Komponenten-Mischung blieb bis zum Wintereintritt unter der „Schutzschicht Laub“ elastisch. Unter dem Laub bildete sich ein Mikroklima aus, das die Schimmelbildung förderte. Im Frühjahr konnte nach Abschmelzen der Schneeeauflage eine weitere Schimmelbildung in diesem Bereich und das Verrotten des anhaftenden Laubs auf der neuartigen Abdeckung ausgemacht werden (siehe Abbildung 51).



Abbildung 51: Von Laub befreiter Ausschnitt des Abdeckmaterials und erkennbare Verrottung auf der Oberfläche der Versuchssiloanlage II im VJ-2

Ab April 2010 waren auf der nicht mit Kunstharzlack bestrichenen Hälfte der Traunsteiner Silowand Ablösungen feststellbar. Bedingt durch die flächendeckende Laubauflage konnte auf der Oberfläche des Versuchssilos keine Rissbildung beobachtet werden. Allerdings wurden bei der Siloöffnung nicht nur im Bereich der vom Rand abgelösten Abdeckung, sondern auch an anderen Stellen direkt unterhalb der Abdeckung verrottete Silage und Pilzmyzele festgestellt (siehe Abbildung 52). Auf den untersuchten Abschnitten der beim Öffnen im Versuchsjahr 1 entnommenen mykologischen Proben der neuar-

tigen Abdeckung konnte ein Besatz mit *Botrytis cinerea* und *Fusarium solani* attestiert werden.



Abbildung 52: Randablösung, verrottete Maissilage und Pilzmycel unter der abbaubaren Abdeckung

Optischer Eindruck im Versuchsverlauf, Mykologie – VJ-2

Im zweiten Versuchsjahr konnte wiederum keine Gärgashaube festgestellt werden. Um Einflüsse auf die Oberflächenbeschaffenheit des neuartigen Abdeckmaterials weitgehend zu vermeiden, wurde die frisch aufgesprühte Masse mit Futterkalk abgestreut und zusätzlich gegen Laubfall mit einer Netzkonstruktion zeitlich begrenzt bewehrt. Wie aus Abbildung 53 zu ersehen ist, konnte in relativ kurzer Zeit ein massiver Befall mit verschiedenen Pilzspezies festgestellt werden.



Abbildung 53: Veränderung des Oberflächenzustands im zeitlichen Verlauf (06.10.2010, 09.11.2010, 19.01.2011)

Die großflächige Ausbreitung der Mykoflora war Anlass zur intensiven Beprobung. Die Oberflächen-Tupferproben wurden hierzu auf Sabouraud-Agar angezchtet und mikroskopisch mittels Tesafilmabklatschpräparat semiquantitativ identifiziert. Es wurden vor allem Hefen (*Rhodotorula* sp., *Geotrichum* sp.), *Dematiaceae* (umgangssprachlich Schwärzepilze, z. B. der Gattung *Cladosporium*) sowie *Mucoraceae* und *Fusarium* spp. mit geringem bis massenhaftem Auftreten erfasst. Cladosporien und Mucoraceaeen fin-

den sich häufig auf faulendem Laub und Pflanzen bzw. auf in Zersetzung befindlichen Früchten und Getreide sowie bei der Kompostierung. *Geotrichum* sp. leben als Saprophyten auch auf sauren Lebensmitteln. Fusarien gelten eher als Feldpilze.

Von Seiten der Tierernährung und Futterwirtschaft sind alle Bemühungen auf die Erstellung hygienisch einwandfreier Silagen ausgerichtet. Ein Abdeckmaterial, das per se zu einer massiven Verpilzung neigt, kann dementsprechend nicht in der Praxis zur Silagebereitung eingesetzt werden.

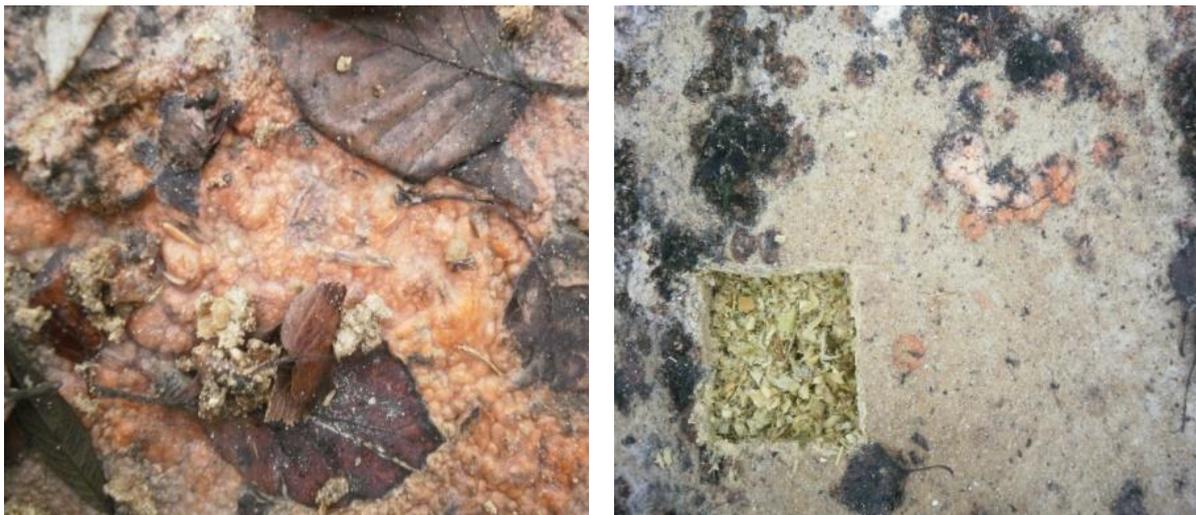


Abbildung 54: *Rhodotorula*-Kolonie (links), div. Schwärzepilze neben Probenausschnitt (rechts)

Die Öffnung des Versuchssilos lieferte eine optisch bis auf wenige Stellen einwandfreie Maissilage direkt unter der abgerollten Abdeckung (Abbildung 54). Im Randbereich gab es nur einzelne gering verfärbte Stellen. Das verpilzte Abdeckmaterial wurde getrennt von der darunter befindlichen Maissilage entsorgt.

Das Abdeckmaterial wurde einer mykotoxikologischen Untersuchung unterzogen. Die Analyse umfasste Trichothecene des Typs B sowie Zearalenon. Im Untersuchungsmaterial konnten entsprechende Mykotoxine nachgewiesen werden, was aufgrund der bereits beschriebenen mykologischen Ergebnisse nachvollziehbar erscheint.

5.4.8 Ernährungsphysiologische Prüfung

Im Rahmen der ernährungsphysiologischen Prüfung war ein Akzeptanzversuch mit Hammeln geplant. Ziel war es, abzuklären, ob das Abdeckmaterial allein oder in Kombination mit Silage von Wiederkäuern überhaupt akzeptiert und gefressen wird. Da das Abdeckmaterial bisher weder als Futtermittel noch als Futterzusatzstoff eindeutig eingestuft werden kann bzw. zugelassen ist, ist eine Voraussetzung für solch einen Versuch die Genehmigung durch die zuständige Behörde. Ein entsprechender Antrag wurde bei

der Regierung von Oberbayern eingereicht. Bis zum Zeitpunkt des Projektendes konnte weder ein positiver noch ein negativer schriftlicher Bescheid erwirkt werden. Telefonische Gespräche mit der Regierung von Oberbayern haben ergeben, dass die Behörde bei der Einordnung des Abdeckmaterials erhebliche rechtliche Schwierigkeiten sieht und eine Genehmigung des Akzeptanzversuches auch nach Abschluss des Gesamtprojektes eher unwahrscheinlich ist. Problematisch wurde von der Regierung von Oberbayern vor allem der Sachverhalt betrachtet, dass es sich beim Naturlatex in der Zwei-Komponenten-Mischung nicht mehr um den reinen Naturstoff, sondern um ein bereits konserviertes Produkt handelt. Die Zulage eines geringen Anteils Ammoniak und des Latexstabilisators Struktol LS 109 (lebensmittelrechtliche Zulassung vorhanden) ist jedoch aus Gründen der Konservierung des empfindlichen flüssigen Naturlatex und der weiteren Verarbeitung als Bestandteil der Rezeptur unumgänglich. Für eine potentielle Einstufung des Naturlatex als technologischen Zusatzstoff oder als Silierhilfsmittel sieht die Regierung von Oberbayern keine Chancen. In beiden Fällen wäre im weitesten Sinne eine Wirkung des Naturlatex durch die Matrixbildung abzuleiten, aufgrund derer die anaeroben Bedingungen für eine Silierung geschaffen werden könnten.

Alternativ erscheint ein Fütterungsversuch im Rahmen eines anzeigepflichtigen Tierversuches möglich (zuständig sind hier die Veterinärbehörden). Die Durchführung eines Versuches unter diesen Voraussetzung, der einem schweren Eingriff an lebenden Tieren gleichzusetzen ist, erscheint allerdings im Hinblick auf die Zielsetzung, lediglich ein verfütterbares unbedenkliches Abdeckmaterial herzustellen, von sich aus unsinnig.

Unbeschadet dieser genannten rechtlichen Voraussetzungen bleibt festzuhalten, dass das Abdeckmaterial in der gegenwärtigen Zusammensetzung auf Grund des Zn-Gehaltes (siehe Kapitel 5.4.9.4) aber auch auf Grund der Anfälligkeit für mykologische Belastungen aus Sicht der Tierernährung für die Verfütterung nicht in Frage kommt. Dementsprechend muss die Rezeptur vor ihrer Einsetzbarkeit in ihrer Zusammensetzung grundlegend geändert werden.

5.4.9 Eignung als Futtermittel und gesetzliche Anforderungen

Die nachfolgenden Abschnitte fassen für das Projekt wichtige rechtsverbindliche Sachverhalte zusammen.

5.4.9.1 Eignung als Futtermittel und Futtermittelrecht

Die futtermittelrechtlich verbindlichen Grundlagen zur Einordnung der einzelnen Bestandteile der Zwei-Komponenten-Mischung liefern die Futtermittelverordnung [3], die Futter-Zusatzstoffverordnung [12] und die Verordnung zur Erstellung eines Katalogs der Einzelfuttermittel [9].

Die meisten Bestandteile der Zwei-Komponenten-Mischung erweisen sich als futtermittelrechtlich unbedenklich. Der derzeit gültige Katalog der Einzelfuttermittel enthält nur die beiden Bestandteile Calciumcarbonat (in Form von Kreide) und Pflanzenöl (in der Zwei-

Komponenten-Mischung aus Raps). Die Futtermittel-Zusatzstoffverordnung weist folgende Rezepturbestandteile aus: Calciumcarbonat, Calciumsulfat, Trinatriumphosphat, Natriumalginat, Kieselgur, Kaliumhydroxid und Zinkoxid. Die Positivliste für Einzelfuttermittel [9] führt zusätzlich als Einzelfuttermittel Pflanzenöl, Calciumcarbonat, Calciumsulfat, Trinatriumphosphat und Wasser an. Dabei gelten Calciumcarbonat, Calciumsulfat und Trinatriumphosphat sowohl als Einzelfuttermittel wie auch als Zusatzstoff (vgl. Tabelle 27). Zu beachten ist aber der nicht rechtsverbindliche Charakter der Positivliste für Einzelfuttermittel.

Tabelle 27: Einordnung der Rezepturbestandteile

Komponente	Bestandteile	Katalog der Einzelfuttermittel Nummer [9]	EG-Nr. Zusatzstoffe	gelistet in Positivliste Einzelfuttermittel
A	Natriumphosphat		E 339 iii	ja
	Silikagel		E 551 b	nein
	Natriumalginat		E 401	nein
	Calciumsulfat		E 516	ja
	Kieselgur		E 551 c	nein
	Kreide	11.01	E 170	ja
	Rapsöl	2.18		ja
B	Zinkoxid		E 6	nein
	Naturlatex-Lsg. (60 %)			nein
	Struktol LS 109		E 470	nein
	Wasser			ja
	KOH-Lösung (20 %)		525	nein

Einzelne Komponenten (Calciumsulfat) beziehungsweise die Elemente Jod (im Natriumalginat) und Zink (Zinkoxid) unterliegen dabei eines nach der Futterzusatzstoff-Verordnung zu berücksichtigenden Höchstgehaltes, ausgewiesen in mg/kg Trockenmasse im Alleinfutter.

Für Calciumsulfat ergab die Berechnung mit den Daten der Versuchssiloanlage II in VJ-2 bei einem Mischungsanteil von 0,97 % einen Gehalt von 1.325 mg/kg TM in der Mais-silage. Um bei dem gegebenen Verhältnis Oberfläche zu Volumen in den Versuchssilo-anlagen II den Grenzwert von 30.000 mg Calciumsulfat pro kg TM zu erreichen, wäre ein Mischungsanteil dieser Substanz von 22 % erforderlich. In einem Berechnungsbeispiel mit realistischem Verhältnis von abgedeckter Oberfläche zu darunter lagerndem Silage-volumen ergäbe sich bei rezepturgleichen 0,97 % ein Calciumsulfatanteil von 216 mg/kg TM. Um in diesem Fall den Grenzwert zu überschreiten, wäre ein unrealistischer Anteil von 135 % Calciumsulfat nötig. Daher kann bezüglich des Calciumsulfat bei sachgemä-ßer Anwendung der Rezeptur, eine Überschreitung der zulässigen Höchstgrenze nach der Futterzusatzstoff-Verordnung [12] ausgeschlossen werden.

Das Element Jod stellt bei den Berechnungen einen Sonderfall dar, da es kein explizit auszuweisender Rezepturbestandteil ist. Als ein Bestandteil des Natriumalginats gelangt es jedoch in die Mixtur und muss begründet durch die gültigen Rechtsvorschriften daher auch Berücksichtigung finden. Da Natriumalginat aus Braunalgen (Meeresalgen) gewon-nen wird, findet auf diesem Weg ein Jodeintrag statt. Aufgrund dieser Sachlage wurde eine Jodanalytik des verwendeten Natriumalginats in Auftrag gegeben, die einen Wert (48 mg/kg TM Natriumalginat) weit unterhalb der zu beachtenden Höchstmengen nach Hochrechnung auf ein Beispielsilo ergab. Eine Überschreitung des zulässigen Maximal-werts beim Spurenelement Jod ist daher beim eingesetzten Rezepturanteil des Natri-umalginats nicht zu erwarten.

Für Naturkautschuk beziehungsweise Naturlatex, wie er in der Zwei-Komponenten-Mischung zur Verwendung kommt, liegt keinerlei Listung vor. Die Sichtung der Literatur erbrachte keinen Hinweis auf einen bisher vorgenommenen Einsatz des Naturlatex ge-wonnen aus dem Milchsaft des tropischen Gummibaums (*Hevea brasiliensis*) in der Füt-terung von Wiederkäuern oder Monogastriden. Beim in der Rezeptur eingesetzten Natur-latex handelt es sich um ein pflanzliches, prinzipiell ungiftiges Produkt. Daher wurden einleitende Schritte zur Prüfung der Verfütterungseignung der Silageabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen auf den Weg gebracht.

Nach intensivem Austausch zwischen LfL ITE und dem Bayerischen Landesamt für Ge-sundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) erfolgte eine Bewertung der Zwei-Komponenten-Mischung (Rezepturzusammensetzung Stand Herbst 2010) durch das LGL. Aus dieser gesundheitlichen Bewertung der Zwei-Komponenten-Mischung geht hinsichtlich einer oralen Aufnahme im Rahmen eines Akzeptanzversuchs eine toxikologi-sche Unbedenklichkeit hervor. Insbesondere für den Naturlatex ist nach der derzeitigen Erkenntnislage zufolge keine Gesundheitsgefährdung bei Wiederkäuern zu erwarten. Der Originaltext des Bewertungsschreibens des Landesamtes für Gesundheit und Le-bensmittelsicherheit ist als Anlage im Anhang eingefügt (Anhang 5).

Sofern eine Beibehaltung des Zinkoxids als biozider Konservierungsstoff weiterhin ange-strebt wird, ist eine drastische Reduktion des Zinkoxidgehalts aufgrund der Höchstmen-genregelung zu empfehlen, sollen neue grundlegende Versuche zur Rezeptur angestellt

und in der derzeitigen Dosierung zu erwartendes Konfliktpotential im Voraus ausgeschlossen werden.

In diesem Zusammenhang sollte allerdings auch die durch die mykologischen Untersuchungen bestätigte, zeitlich begrenzte Wirksamkeit des Zinkoxids beachtet werden und gegebenenfalls ein völliger Verzicht auf Zinkoxid in Betracht gezogen werden. Zum gegenwärtigen Stand wird nochmals darauf hingewiesen, dass das Abdeckmaterial auf Grund des überhöhten Zinkgehaltes nicht als an Wiederkäuer verfütterbare Siloabdeckung in Betracht kommt. Auch die Verfütterung in Kombination mit der konservierten Maissilage führt dabei bei realistischem Mischungsverhältnis von Abdeckmaterial zu Silage zu Zinkgehalten, die die futtermittelrechtlichen Vorgaben überschreiten, so dass ein diesbezüglicher Einsatz aus Sicht der Tierernährung nicht möglich ist.

Der Zinkgehalt der Maissilagen wurde im zweiten Versuchsjahr zum Ende der Versuchsphasen in den Versuchssiloanlagen I und II analysiert. In den folgenden beiden Abschnitten sind die Ergebnisse hierzu angeführt.

5.4.9.2 Zinkgehalt Versuchssiloanlage I (VJ-2)

Im Ausgangsmaterial der homogenisierten Grünmais-Mischprobe (AM) wurde ein mittlerer Zinkgehalt von 22,5 mg/kg TM festgestellt. Dieser Wert liegt deutlich unterhalb des Erwartungswerts von 35 mg/kg TM Zink in Grünmais zum Silieren.

Die beiden letzten Probenahmen des zweiten Versuchsjahres ergaben in der Versuchssiloanlage I die in Tabelle 28 den verschiedenen Abdeckungsvarianten zugeordneten Zinkgehalte in den betreffenden Maissilagen. Die Werte wurden in der reinen Maissilage bestimmt. Das bei jeder Probebohrung mit entnommene Abdeckmaterial wurde sorgfältig von den entsprechenden Maissilagen getrennt und verworfen.

Sämtliche Varianten der Abdeckung mit der Zwei-Komponenten-Mischung in den Silos 2, 4, 6 und 8 ergaben weit überhöhte Zinkgehalte in den Maissilagen (bis zu 40-fach höherer Zinkgehalt (Silo 8, 02.02.2011) gegenüber dem nativen Gehaltswert und dem Referenzsilo (Silo 10)). In Zusammenhang mit dem tendenziell rückläufigen Trockensubstanzgehalt im Verlauf der Probenziehungen wurde auch beim zweiten Untersuchungstermin mit Ausnahme des Referenzsilos in allen Kleinsiloanlagen ein vergleichsweise niedriger Zinkgehalt ermittelt, der aber immer noch durchgängig weit über dem zulässigen Höchstgehalt, selbst bei Einbeziehung des originären Zinkgehalts des in allen Kleinsilos verwendeten Ausgangsmaterials, lag. Es wird davon ausgegangen, dass durch Regen eindringendes Wasser in die Abdeckschicht das Zink gelöst und dadurch mobilisiert wird und schließlich in die Silage eindringt.

Tabelle 28: Zinkgehalte der Kleinsiloanlagen der Versuchsanlage I im Ausgangsmaterial und zu Versuchsende (VJ-2)

Silo	Beprobung	Zink mg/kg TM	MW mg/kg TM	Stabw
AM	23.09.2010		22,5	4,7
2	02.02.2011	311,2		
2	23.02.2011	261,5	286,4	35,1
4	02.02.2011	570,9		
4	23.02.2011	499,0	535,0	50,8
6	02.02.2011	608,1		
6	23.02.2011	495,0	551,5	79,9
8	02.02.2011	891,8		
8	23.02.2011	652,2	772,0	169,4
10	02.02.2011	22,6		
10	23.02.2011	25,1	23,9	1,8
12 _{Ho}	02.02.2011	43,9		
12 _{Ho}	23.02.2011	31,6	37,8	8,7
12 _{Hu}	02.02.2011	25,9		
12 _{Hu}	23.02.2011	23,0	24,5	2,1

5.4.9.3 Zinkgehalt Versuchssiloanlage II (VJ-2)

Wie schon bei der Versuchssiloanlage I konnte auch in der Versuchsanlage II ein breit gestreuter, aber erhöhter Zinkübergang in der oberen Schicht des Silostocks gemessen werden. Die Probenahme erfolgte im oberen Silohorizont durch eine senkrecht gesetzte Bohrung mit maximal 32 cm Tiefgang, so dass auch hier von einer Verlagerung bedingt durch Auswaschung des Zinkoxids aus der Abdeckungsschicht in tiefer liegende Schichten des Maissilagestocks gesprochen werden kann. Die Proben im Scheitelbereich der beiden Silostöcke in Grub wurden horizontal gesetzt, etwa 30 cm über der Bodenfläche und ca. 30 cm unter dem höchsten Punkt des Silostocks (siehe Tabelle 29 und Abbildung 55). In der Maissilage des Referenzsilos konnte ein mittlerer Zinkgehalt von 23,0 mg/kg TM bei Schwankungen zwischen 19,4 und 25,7 mg/kg TM gemessen werden. In diesem Wertebereich konnte beim Versuchssilo VJ-2 mit 25,1 mg/kg TM nur ein einzelner Messwert aus dem unteren Silostockhorizont ermittelt werden.

Tabelle 29: Zinkgehalte der Maissilage aus der Versuchssiloanlage II zur Probenahme am 15.02.2011 (VJ-2)

Probenort	Referenzsilo	Versuchssilo
	Zink mg/kg TM	
vorne	20,3	715,6
mittig	25,2	253,2
hinten	19,4	392,0
Rand links vorne	21,9	178,5
Rand links hinten	25,2	285,4
Rand rechts vorne	23,6	119,2
Rand rechts hinten	25,7	315,4
Scheitel v.o. links	22,2	35,3
Scheitel v.o. rechts	25,0	32,1
Scheitel v.u. links	23,4	30,3
Scheitel v.u. rechts	20,9	25,1
MW	23,0	216,5
MW oben	23,0	322,7
MW unten	22,2	27,7
min	19,4	25,1
max	25,7	715,6
Stabw	2,2	210,9
Stabw oben	2,5	194,8
Stabw unten	1,8	3,6

Die weiteren drei horizontal im Kernbereich des Versuchssilos gezogenen Proben lagen bereits 5 bis 10 mg/kg TM über dem Minimalwert des Versuchssilos bei identischem Ausgangsmaterial wie das Referenzsilo. Die Zinkmessungen ließen keinen eindeutigen Schluss auf eine lokale Anreicherung zu. Der Maximalgehalt an Zink lag mit 715 mg/kg TM im Versuchssilo um das 31-fache über dem mittleren Vergleichswert des Referenzsilos. Die Ergebnisse der weiteren Probenahmestellen bewegten sich zwischen 119 und

392 mg/kg TM zwar auf einem etwas niedrigeren Niveau, aber damit ebenfalls weit über dem zulässigen Höchstwert.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich offensichtlich eine beachtliche Menge an Zn aus dem Abdeckmaterial löst und in die Silage übergeht. Dies kann in den Silagen zu Zn-Gehalten führen, welche die futtermittelrechtlich vorgeschriebenen Höchstgehalte deutlich überschreiten. Dementsprechend ist die verwendete Abdeckung für die Fütterung auch unter der Voraussetzung nicht geeignet, wenn die Abdeckung nicht mit verfüttert werden soll.



Abbildung 55: Linksseitige horizontale Probenahmestellen am Versuchssilo in der Versuchssiloanlage II

5.4.9.4 Berechneter Zinkgehalt (Erwartungswert) und fiktiver Zinkgehalt

Unter den Voraussetzungen des zweiten Versuchsjahres wurde der erwartete Zinkgehalt in der Versuchssiloanlage I berechnet. Es wurde mit einem im Vergleich zum ersten Versuchsjahr um 1,4 kg auf 14,3 kg Abdeckmasse/m² abgedeckter Silofläche reduziertem Materialbedarf kalkuliert. Weiterhin wurde mit 10 Tonnen eingelagerter Mais-Frischmasse bei einem TM-Gehalt von 36,6 % gerechnet. Der Massenanteil an Zinkoxid wurde mit 0,81 % unverändert für die Berechnungen beibehalten. Daraus ergab sich ein theoretischer Erwartungswert für elementares Zink von 888,8 mg/kg TM in der Versuchssilage I 2010. Zu beachten ist hierbei aber, dass der theoretische Erwartungswert voraussetzt, dass das Abdeckmaterial komplett in die darunterliegende Silage eingemischt und somit homogen verteilt ist. Dem gegenüber stehen die unter 5.4.9.2 und 5.4.9.3 gemessenen hohen Werte, die ohne die Einmischung von Abdeckmaterial in die analysierte Maissilage festgestellt wurden. Wird die Dimensionierung des Versuchssilos unter der Prämisse des maximal zulässigen Zink-Höchstgehalts betrachtet und wird hiervon ein mit 40 mg/kg TM leicht höherer nativer Zinkgehalt für Maissilage abgezogen, ergibt sich ein maximaler Mischungsanteil des Zinkoxids von 0,1 %.

Zur besseren Einschätzung der vorgefundenen Ergebnisse wurde eine Beispielrechnung mit einem praxisgängigen Verhältnis bezüglich der für notwendig befundenen Menge an Abdeckmaterial zu abgedeckter Futtermenge angestellt. Die hohe Aufwandmenge der

zum Berichtszeitpunkt aufgebrauchten Mischung ist mit der angewandten Applikationstechnik zur Sicherstellung der sauerstofffreien Gärung zwingend notwendig. Unter Berücksichtigung der Höchstmengen im Falle einer Verfütterung des mit der neuartigen Abdeckung erzeugten Grobfutters ist aber wiederum auch der Verdünnungseffekt durch bedarfsergänzende Konzentratfuttermittel zu beachten. Um in einem fiktiven praxisähnlich dimensionierten Vergleichssilo unter Berücksichtigung des originären Zinkgehalts von Maissilage sicher unterhalb des Grenzwerts zu bleiben, wäre bei gleichem Trockensubstanzgehalt und ebensolcher Materialaufwandmenge wie im Versuchssilo eine Begrenzung auf höchstens 0,61 % erforderlich.

5.4.9.5 Düngeverordnung (DüV)

Eine Schwierigkeit bei der Verwertung der während der Projektlaufzeit weiter entwickelten Siloabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen stellt die Verwendung des Füllstoffs Kieselgur dar. Unabhängig von der Verwertungsrichtung über den Tiermagen oder eine Biogasanlage beziehungsweise bei einer Trennung der Abdeckung von der Silage und anschließender Verwertung der Abdeckung in einer Kompostierungsanlage stünde zum derzeitigen Stand eine Ausbringung der mehr oder minder weit abgebauten Abdeckmasse mit Gülle beziehungsweise mit dem Gärrest auf landwirtschaftliche Nutzflächen an. Unter § 8 Anwendungsbeschränkungen und Anwendungsverbote, Absatz 3, Satz 1 der Düngeverordnung [3] steht:

„Die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten oder Pflanzenschutzmitteln, zu deren Herstellung Kieselgur verwendet wurde, ist auf bestelltem Ackerland, Grünland, im Feldfutterbau sowie auf Flächen, die für den Gemüse- oder bodennahen Obstanbau vorgesehen sind, verboten.“

Die zwingenden Vorgaben der Düngeverordnung verbieten daher eindeutig den Einsatz von Kieselgur als Füllstoff in der Rezeptur der Zwei-Komponenten-Mischung. Als Konsequenz aus diesem Sachverhalt ergibt sich eine durchzuführende Überarbeitung der Rezeptur der Zwei-Komponenten-Mischung. Unabhängig davon ist die Verwendung von Kieselgur als Zusatzstoff (E551 c) in der Tierernährung in der Kategorie 11 für Bindemittel, Fließhilfsstoffe und Gerinnungshilfsstoffe [12] bei allen Tierarten oder Tierkategorien und für alle Futtermittel zum Einsatz zugelassen.

Dieser im Laufe des Projekts aufgedeckte Widerspruch zwischen genereller Verfütterbarkeit des reinen Naturstoffs Kieselgur (nicht als Filtrationshilfsmittel) als Inputfaktor und des Verbots der Ausbringung des letztendlich entstehenden Outputs nach Passage des Verdauungstraktes als Gülle oder der Biogasanlage als Gärrest auf landwirtschaftliche Nutzflächen ist an anderer Stelle zu klären.

5.4.9.6 Düngemittelverordnung (DüMV)

Mit Blick auf die Endverwertung des neuartigen Abdeckmaterials als Gärrest, als Wirtschaftsdünger in Form von Gülle oder als Fermentationsprodukt einer Kompostierung begrenzt sich der Gehalt an Zink in der Rezeptur laut Anlage 1, Abschnitt 4 der Düngemittelverordnung (DüMV, [4]) auf 0,5 % der Trockenmasse. Somit ist auch unter diesem Gesichtspunkt eine Reduktion des Rezepturbestandteils Zinkoxid unter den derzeitigen Gehaltswert von maximal 0,81 % der TM geboten, um den rechtlich verbindlichen Höchstgehalt nicht zu überschreiten.

Zwischenfazit aus Sicht der Tierernährung

Die Rezeptur der neuartigen Abdeckmasse müsste aufgrund rechtlicher Gegebenheiten umgestaltet werden. Die Problemstoffe Zinkoxid und Kieselgur müssten bei einer Überarbeitung der Rezeptur nach Möglichkeit ersetzt werden.

Mit der Rezeptur der Zwei-Komponenten-Mischung des zweiten Versuchsjahres konnten qualitativ zufriedenstellende Maissilagen erzeugt werden. Allerdings besitzt diese Aussage nur eine zeitlich auf fünf Monate begrenzte Gültigkeit. Die Gesamtheit der Untersuchungen weist darauf hin, dass insbesondere bei längerer Lagerdauer mit einem unerwünschten Wassereintritt durch die Abdeckung hindurch zu rechnen ist und eine nur unbefriedigende Silagequalität zu erzielen ist.

Die Untersuchungen haben zudem gezeigt, dass das Abdeckmaterial unter bestimmten Umständen zu einer starken Verpilzung neigt. Da das Ziel der Silagebereitung die Herstellung von hygienisch einwandfreien Produkten zur Verfütterung sein muss, ist bei einer etwaigen Änderung der Rezeptur unbedingt darauf zu achten, die Möglichkeit der Entstehung eines Pilzbesatzes zu vermeiden.

5.4.10 Verhalten in Biogasanlagen – anaerober Abbau

Die neuartige Abdeckung wurde in einen Kleingärbehälter gegeben, um das Abbauverhalten dieses Substrats in der Biogasanlage zu simulieren. In beiden Ansätzen bildeten sich sehr ähnliche Abbauperläufe ab. Anfangs scheinen sich die Abdeckungsstücke zügig abzubauen. Abbildung 56 zeigt, dass nach ca. 15 Wochen 70 - 80 % der Ausgangsmasse abgebaut wurden. Im Verlauf bildete sich nach gut zehn Wochen ein sichtbarer, krustiger, nicht abspülbarer Belag auf den Stücken. Dabei scheint es sich um eine Kalkablagerung zu handeln, da diese im Test mit Salzsäure (HCl) aufschäumte.

Die mittlere Verweilzeit von Substrat liegt in den meisten Anlagen bei 90 - 100 Tagen. Somit wäre der maximale Abbau innerhalb von 15 Wochen ausreichend. Jedoch gibt es auch Anlagen mit deutlich kürzerer Verweilzeit in dieser Zeit wie zum Beispiel 50 Tage, so dass nur ein 50%iger Abbau stattfinden könnte.

Durch das Abspülen mit Wasser wurden außenanhaftende wasserlösliche Bestandteile an der Abdeckung nicht mehr in den Fermenter eingebracht, sondern abgespült. Die gezielte Platzierung in der Kapsel hat ein mögliches Aufschwimmen oder Absinken des Abdeckmaterials verhindert. Ein Absinken, aber auch ein Aufschwimmen, hätte den Ab-

bau verschlechtert. Möglicherweise beschleunigt die mechanische Belastung im Fermenter (z. B. Rühren, Verteilen) den Abbau der Abdeckung. Ein solcher Effekt zwischen Abbaugrad und Rührbelastung konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht werden. Da in der Realität vermutlich die Stücke der Abdeckung wesentlich größer sein werden als im Versuch, müsste der Einfluss der Stückgröße untersucht werden. Des Weiteren bedarf es einer Untersuchung des Abbaurestes auf seine chemische Zusammensetzung bzw. dessen Abbaubarkeit im Boden.

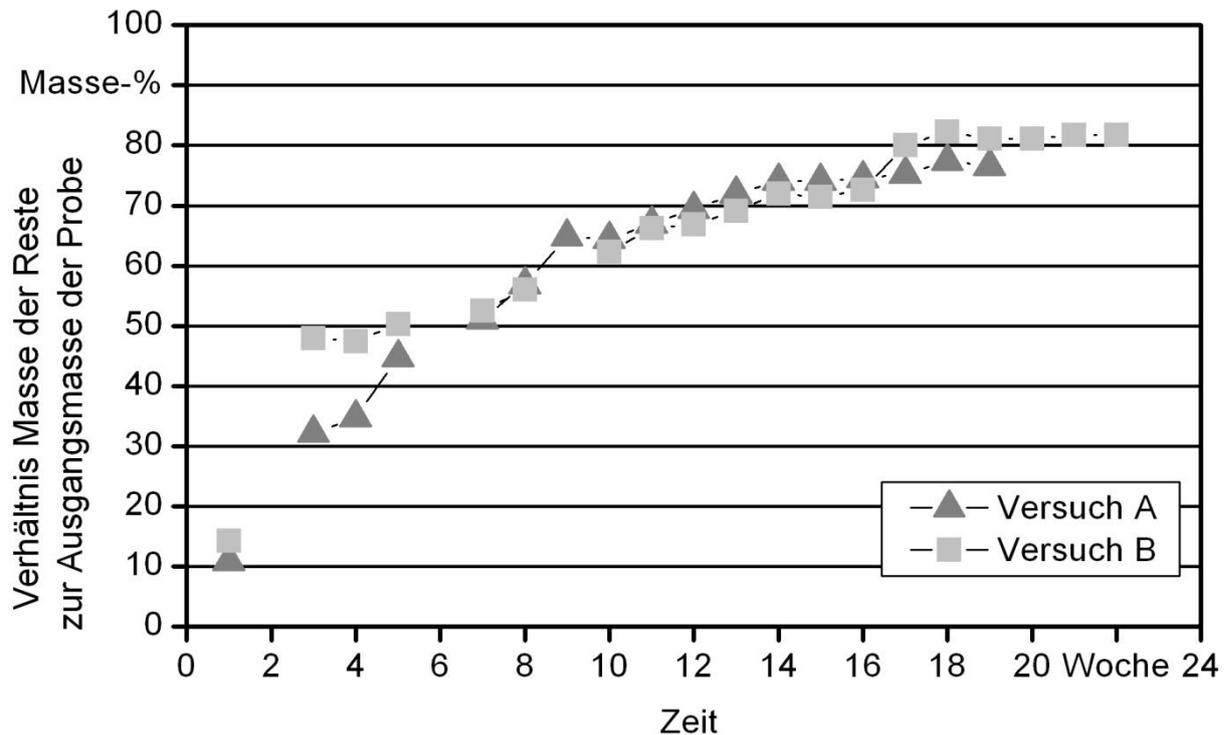


Abbildung 56: Abbau der Siloabdeckung im Gärbehälter

5.4.11 Kompostierungseigenschaften – aerober Abbau

Der aerobe Abbau der Abdeckungsstücke in beiden Varianten – der Biotonnen- und der Grüngutline – verlief ähnlich. Das Abdeckmaterial verklebte beim Kompostieren mit dem umgebenden Kompostsubstrat, so dass sich schließlich größere Klumpen gebildet haben. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich in beiden Fällen ähnlich viel Substrat angelagert hat. Während aus den ursprünglichen acht Stücken bei der Grüngut-Variante im Durchschnitt 28 Abdeckungsteilstücke entstanden, sind es bei der Biotonnengut-Variante durchschnittlich 17 Stück.

In Abbildung 57 und Abbildung 58 ist ein aufgeschnittenes und ein auseinander gebrochenes Abdeckungsstück dargestellt. Das Abdeckungsstück aus der Biomüllkompostierung weist eine deutlichere Marmorierung auf als das entsprechende Stück, das im Grüngut kompostiert wurde. Die Elastizität ist beim Abdeckungsstück aus der Kompostierungsline Grüngut etwas höher.

In beiden Fällen war das angelagerte Material um die Abdeckung, solange es in der heißen Miete war, elastisch und weich. Somit wurde Kompostsubstrat beim Wenden in die Abdeckungsmasse gedrückt. Sobald die Proben aus der Miete entnommen wurden, kühlten diese ab und wurden fester.

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass ein kleiner Anteil zersetzt wird oder mechanisch abgetragen wird. Allerdings hat die Kompostierungsdauer zur kompletten Zersetzung nicht ausgereicht, obwohl mit sechs Wochen ein längerer Zeitraum gewählt wurde als ursprünglich vorgesehen. Die Kompostierung über einen längeren Zeitraum und unter anderen Bedingungen sollte noch untersucht werden, denn Naturlatex in Reinform ist biologisch abbaubar.



Abbildung 57: Reste von Abdeckmaterial nach der Kompostierung (Biomüll-Substrat)



Abbildung 58: Reste von Abdeckmaterial nach der Kompostierung (Grüngutlinie)

5.4.12 Entsorgung von Resten (Komponenten A und B sowie Abdeckmaterial)

Es empfiehlt sich, die flüssigen Reste der Komponenten oder der Mischung zu sammeln, in Blöcken auszuhärten und mit dem Restmüll zu entsorgen. Das Spülwasser sollte gesammelt werden. Im Spülwasser können sich Klumpen bilden, hauptsächlich aus der Rapsölkomponente. Diese können abgeschöpft werden. Im restlichen Spülwasser lag die Latexkomponente in einer Dispersion vor. Durch die mehrmalige Zugabe von Essigessenz im Abstand mehrere Tage reagierte der Latex zu einer Fäden ziehenden Masse, die ebenfalls abgeschöpft werden konnte. Latex koaguliert in saurem Milieu vergleichsweise schnell. Die abgeschöpften Klumpen sowie die abgeschöpfte Latexmasse konnten nach einem weiteren Entwässern bzw. Abtropfen mit dem Hausmüll entsorgt werden. Das restliche Spülwasser wurde über die städtische Kläranlage entsorgt. Wichtig ist zu beachten, dass Latex nicht über das Abwasser entsorgt werden darf, da durch Koagulate Rohre verstopfen können.

Da das Trennen des Spülwassers aufwändig ist, sollte der Anfall großer Mengen Spülwasser verhindert werden. Idealerweise könnte auf Wasser als Spülwasser für die Schläuche verzichtet werden und stattdessen die Rapsölkomponente als Spülsubstanz verwendet werden. Die „Rapsöl-Spülsubstanz“ könnte dann in Biogasanlagen verwertet oder in die Güllegrube abgeleitet werden.

5.5 REACH

Nach REACH würde ein künftiger Hersteller für die neuartige Siloabdeckung als nachgeschalteter Anwender gelten. (Es besteht grundsätzlich auch die Möglichkeit, dass die Firma, die die Abdeckung herstellt, auch als Importeur in die EU agiert.) Da der Hersteller des Stoffes, der Lieferant bzw. der Importeur in die EU den Ausgangsstoff bereits registriert hat, braucht dieser nicht vom nachgeschalteten Anwender registriert werden. Als nachgeschalteter Anwender müssen die empfohlenen Risikominderungsmaßnahmen angewendet werden und Informationen an Lieferanten und vor allem an Kunden weitergeleitet werden. Eine Firma, die die Abdeckung herstellt, muss als nachgeschalteter Anwender unter Umständen einen Stoffsicherheitsbericht ausarbeiten. Der Stoffsicherheitsbericht ist eine Beurteilung, die den gesamten Lebenszyklus des Stoffes von der Herstellung und Verwendung durch nachgeschalteter Akteure bis zur Beseitigung umfasst. Wenn vom Lieferanten ein Sicherheitsdatenblatt vorgelegt wird, in dem mögliche Verwendungen für den Stoff aufgezählt sind und die spezielle Verwendung nicht aufgezählt ist, muss der nachgeschaltete Anwender aktiv werden und den Lieferanten/Hersteller darüber informieren. Somit müsste der künftige Hersteller der beiden Komponenten für das Abdeckmaterial die Lieferanten darüber informieren, was mit den eingekauften Stoffen gemacht wird. Sobald der Lieferant bereit ist den Stoffsicherheitsbericht zu aktualisieren und die Verwendung in dem Sicherheitsdatenblatt zu übernehmen, besteht für den nachgeschalteten Anwender kein Handlungsbedarf. Bei den eingesetzten Rohstoffen und Chemikalien dürfte dies keine Schwierigkeiten bereiten.

Grundsätzlich sind nicht alle Stoffe von REACH betroffen. Von der Registrierung ausgenommen sind beispielsweise Polymere, Stoffe in der Human- und Tiermedizin, Stoffe im Lebensmittel- und Futtermittelbereich oder auch Pflanzenschutz- und Biozidwirkstoffe. Da diese über andere Verordnungen oder ähnliches geregelt sind. Sobald die Abdeckung durch das Futtermittelrecht abgedeckt wäre, würde REACH nicht mehr gelten. Dies hängt jedoch von den Einzelkomponenten ab und kann zum derzeitigen Stand noch nicht beurteilt werden.

Auch sind Stoffe von der Registrierung ausgenommen, die für produkt- und prozessorientierte Forschung und Entwicklung eingesetzt werden. So sind Stoffe, die über einen Zeitraum von bis zu fünf Jahren nur in diesem Bereich eingesetzt werden, lediglich der ECHA mitzuteilen. Auf diese Weise könnte auf das Registrierungsverfahren inklusive der Kosten für fünf Jahre verzichtet werden und es genügt, nur wenige Angaben zu dem Stoff an die Chemikalienagentur zu übermitteln.

5.6 Gefährdungs- und Risikoanalyse

Eine Gefährdungs- und Risikoanalyse wurde für die Verfahren der konventionellen und der neuartigen Abdeckung durchgeführt. Anschließend wurden die Verfahren miteinander verglichen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 30 nebeneinander gestellt. Außerdem sind in der Spalte rechts die jeweiligen Schutzmaßnahmen gezeigt, wobei jedoch die technischen und organisatorischen Vorkehrungen in der Regel nicht aufgeführt sind.

Ohne genaues Wissen über das Aussehen, die Eigenschaften und die Komponenten der Maschine zum Aufbringen der neuartigen Abdeckung gestaltet sich eine Risiko- und Gefährdungsbeurteilung noch sehr vage. Deswegen wurden bei der neuartigen Abdeckung lediglich die Tätigkeiten „Bestücken der Maschine mit den nötigen Medien“ und „Aufbringen der Abdeckung mittels Spritzgerät“ betrachtet. Gefährdungen bei Transport und Lagerung der Komponenten sowie beim Reinigen der Geräte und der Entsorgung des Spülwassers sowie von Komponentenresten wurden nicht bearbeitet. Gleiches gilt für das Verfahren der konventionellen Abdeckung. Auch hier wurden nur die Aufbringung der Abdeckung und das Entfernen vor der Silageentnahme betrachtet.

Die hauptsächlich auftretenden Risiken sind bei beiden Varianten die **mechanischen Gefährdungen**. In beiden Fällen müssen Lasten mit einem Schlepper, Gabelstapler oder ähnlichem bewegt werden. Im Falle der Folienabdeckung sind dies die Folienrollen und die Sandsäcke. Bei der neuartigen Abdeckung werden Behälter (Größenordnung 1000 I-IBC oder größer) der beiden Komponenten transportiert. Hierbei kann es wie in Tabelle 30 dargestellt zu Gefahren für Maschinisten zuarbeitenden Personen kommen. Bei der konventionellen Abdeckung kommen zusätzlich noch mechanische Verletzungsgefahren durch Ausrutschen, Stolpern, Stürzen und Abstürzen hinzu, was in der Praxis auch die häufigste Unfallart bei Arbeiten im Silo nach Angaben der Land- und forstwirtschaftlichen Berufsgenossenschaft Niederbayern/Oberpfalz und Schwaben [23] darstellt. Bei der neuartigen Abdeckung entfallen diese Gefahren zum Großteil, da die Silage zum

Abdecken nur mit einer Maschine befahren wird und zur Entnahme die Abdeckung nicht vorher manuell entfernt werden muss. Nur im Störfall muss der Fahrer die Maschine verlassen und bewegt sich frei. Allerdings kommen bei der neuartigen Abdeckung noch mechanische Gefahren hinzu, welche vom Sprühstrahl des Spritzgerätes und den unter Druck stehenden Schläuchen ausgehen. Auch beim Betrieb und bei der Wartung bzw. Instandhaltung des Spritzgerätes ergeben sich **mechanische und elektrische Gefahren**, welche beim konventionellen Abdeckverfahren in dieser Art nicht auftreten.

Die beiden Komponenten der Abdeckung sind zwar prinzipiell keine **Gefahrstoffe**, werden sie jedoch unter hohem Druck verspritzt, so kann unter Umständen vom entstehenden Sprühnebel eine Gefährdung ausgehen. Ebenso verhält es sich beim Hautkontakt mit den einzelnen Komponenten bzw. dem fertig gemischten aber noch nicht ausgehärteten Abdeckmaterial, insbesondere bei Personen mit Latexallergie. Beim Betrieb des Spritzgerätes können unter Umständen auch Gefährdungen durch den entstehenden **Lärm (Gefährdung durch spezielle physikalische Einwirkungen)** auftreten, was bei der konventionellen Abdeckung weniger der Fall ist.

Bei den **Gefährdungen durch Arbeitsumgebungsbedingungen** können bei beiden Varianten ohnehin vorhandene Gefährdungen durch das Wetter (Regen) oder bei eintretender Dunkelheit erhöht werden. Allerdings ist bei der konventionellen Abdeckung die Erhöhung des Risikos durch die glatte Oberfläche der Folie und der größeren Anzahl von Personen größer als bei der neuartigen Abdeckung. **Physische Belastungen** durch schwere oder einseitige dynamische Arbeit treten nur bei der konventionellen Abdeckung beim Heben von Folienrollen und der Sandsäcke auf.

Weitere Risiken von Gefährdungen wie biologische Gefährdungen, Brand- und Explosionsgefährdungen, thermische Gefährdungen, psychische Faktoren und sonstige Gefährdungen lassen sich bei der gewählten Betrachtungsweise für beide Varianten nicht einschätzen bzw. treten nicht auf.

Tabelle 30: Vergleich der Gefährdungen bei Anwendung eines konventionellen und eines neuartigen Abdeckverfahrens nach [3]

Gefährdung	Folienaufbringung		Neuartige Abdeckung		Schutzmaßnahmen
Mechanische Gefährdungen					
Schneiden, Quetschen, Stoßen an ungeschützten Maschinenteilen	<ul style="list-style-type: none"> •Kraftheber/ Frontlader beim Handling der Folie und Sandsäcke 	CII	<ul style="list-style-type: none"> •Kraftheber/ Frontlader beim Handling der Behälter •Drehende Zapfwelle des Applikationsgerätes •Wartungs- und Reinigungsarbeiten am Applikationsgerät 	BII DII DI	auf intakte Schutzrichtungen achten; Bei Wartung Maschine außer Betrieb setzen bzw. sichern
Bewegliche Transport- und Arbeitsmittel	<ul style="list-style-type: none"> •Überfahren von Personen durch Schlepper oder Stapler beim Handling von Folie oder Sandsäcken 	CIV	<ul style="list-style-type: none"> •Überfahren von Personen durch Arbeitsmaschine •Umkippen des Spritzgerätes 	CIV DIII	Aufenthalt im Gefahrenbereich ist zu unterbinden; Sicherer Umgang mit Arbeitsmaschinen
Unkontrolliert bersende und umherfliegende Teile			<ul style="list-style-type: none"> •Verletzung am Spritzstrahl beim Besprühen •Bersten eines Schlauches 	CIII DII	Schutzbrille und Schutzkleidung
Ausrutschen, Stolpern, Umknicken	<ul style="list-style-type: none"> •Sandsäcke und Folien ablegen bzw. entfernen •Beim Absteigen von Transport- und Arbeitsmaschinen 	AI AI	<ul style="list-style-type: none"> •beim Absteigen von Transport- und Arbeitsmaschinen 	AI	auf guten Stand achten; Arbeitsplatz, Tritte usw. sauber halten
Absturz vom Silo seitlich	<ul style="list-style-type: none"> •Sandsäcke und Folien ablegen bzw. entfernen 	BIII -			Geländer
Absturz vorne (am Anschnitt)	<ul style="list-style-type: none"> •Entfernung von Sandsäcken und Folien bei der Silageentnahme 	CII -			auf guten Stand achten; evtl. mobiles Geländer
Elektrische Gefährdungen					
Elektrischer Schlag			<ul style="list-style-type: none"> •Wartungsarbeit Applikationsgerät 	DI	Gerät vor Wartung stromlos schalten; Wartung nur durch geschultes Personal

Fortsetzung der Tabelle auf der folgenden Seite

Gefährdung	Folienaufbringung		Neuartige Abdeckung		Schutzmaßnahmen
Gefahrstoffe					
Aerosole	-		•Einatmen von Sprühnebel je nach Applikationsgerät	DI	Schutzmaske
Flüssigkeiten	-		•Hautkontakt mit Komponenten (evtl. allergische Reaktion auf Naturlatex)	AI	Schutzbrille, evtl. Schutzkleidung
Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen					
Lärm	-		•Lärmentstehung durch Spritzgerät (Luftaustritt am Sprühkopf)	AI	ggf. Gehörschutz
Gefährdungen durch Arbeitsumgebungsbedingungen					
Klima	•Arbeit im Freien •Erhöhung des Sturzrisikos bei Regen (s. o.)	BII	•Arbeit im Freien	BI	Schutz gegenüber Witterungseinflüssen
Beleuchtung/Licht	•Erhöhung des Sturzrisikos bei Dämmerung/ Dunkelheit	BII	•Erhöhung des Sturzrisikos bei Dämmerung/ Dunkelheit	BI	auf sicheren Tritt achten; Arbeitsplatz ausleuchten
Physische Belastungen					
Schwere dynamische Arbeit	•Heben der schweren Silofolienrolle und der Sandsäcke	AI			Ergonomie beachten
Einseitige dynamische Arbeit	•Sandsäcke auf Folie positionieren und entfernen	AI			Ergonomie beachten

5.7 Ökonomische Betrachtung

5.7.1 Kostenabschätzung des Materials

Die Kosten für die Einzelkomponenten der Siloabdeckung auf Basis nachwachsender Rohstoffe wurden bei den Herstellern und Händlern für gestaffelte Bezugsmengen angefragt. Tabelle 31 zeigt die Bestandteile der Rezeptur und die Kosten zu Großhandelspreisen sowie deren Kostenverteilung in Prozent. Hieraus geht hervor, dass Naturlatex (54 %), Rapsöl (27 %) und Natriumalginat (13 %) in Summe einen Anteil von 94 % von den Gesamtkosten ausmachen. Bei den eingeholten Rohstoffpreisen, die im Zeitraum von Dezember 2010 bis Januar 2011 erhoben wurden, ergibt sich ein Materialpreis (Summe der Rohstoffkosten) von ca. 1,07 €/kg Abdeckmaterial. Jedoch wirken sich Preisschwankungen vor allem von Naturlatex stark auf den Materialpreis aus. Wenn sich beispielweise die Kosten für Naturlatex um 50 % erhöhen, steigen die Materialkosten um ca. ein Viertel. Das Preisniveau von Naturlatex lag zu Projektbeginn im Mai 2009 noch bei 30 % des derzeitigen Preises (vom Dezember 2010/Januar 2011; siehe Anhang 1), wodurch die Kosten für die Abdeckmasse 0,67 €/kg betragen würde. Somit wären die Rohstoffkosten der Abdeckung vor zwei Jahren noch um 37 % geringer als zum Zeitpunkt Dezember 2010/Januar 2011 gewesen.

Tabelle 31: Rezeptbestandteile und deren Kostenanteile in der Gesamtmischung von einer Abnahmemenge von 500 bis 25.000 Tonnen

Rezeptbestandteil	Massenanteil	Kosten in €/kg Mischung	Anteilige Kosten
Rapsöl	32,64 %	0,2909	27,09 %
Wasser	32,25 %	0,0004	0,04 %
60 % Naturlatex-Lösung	20,64 %	0,5754	53,57 %
Kieselgur	5,32 %	0,0186	1,73 %
Futterkalk	5,32 %	0,0013	0,12 %
Calciumsulfat	0,97 %	0,0006	0,06 %
Zinkoxid	0,81 %	0,0267	2,49 %
Natriumalginat	0,73 %	0,1437	13,38 %
Silikagel Trysil 300	0,73 %	0,0124	1,16 %
Natriumphosphat	0,32 %	0,0035	0,33 %
Kaliumhydroxid	0,19 %	0,0004	0,04 %
Struktol	0,08 %	0,0024	0,22 %
Summe	100 %	1,07 €/kg	100 %

Bezogen auf die gestaffelt angefragten Bezugsmengen konnte ermittelt werden, dass es zwar Kostendegressionen gibt, diese jedoch bei den anteilig höchsten Kostenpositionen kaum Wirkung zeigen.

Naturlatex ist ein Agrarprodukt, das weltweit gehandelt wird. Es wird meist zum Tagespreis verkauft bzw. als Termingeschäft abgewickelt. Kostendegressionen bei größeren Einkaufsmengen sind beim börsennotierten Produkt Naturlatex kaum möglich. Nur kleinere Mengen unter 1 Tonne, wie sie für das Forschungsvorhaben verwendet wurden, weisen deutlich höhere spezifische Kosten auf als handelsübliche Mengen. Bezogen auf Preisschwankungen ist Naturlatex mit Naturkautschuk gekoppelt, da aus dem Milchsaft der Kautschukbäume je nach Bedarf entweder Festkautschuk oder flüssiger Latex hergestellt wird. Aussagen zu den künftigen Weltmarktpreisen von Naturkautschuk und -latex sind kaum zu treffen, da diese eine sehr hohe Volatilität besitzen. Anfang des Jahres 2011 liegen die Preise relativ hoch, weil beim weltweiten Wirtschaftsaufschwung der Verbrauch an Naturkautschuk und -latex stark angestiegen ist. Die Preise haben sich von Januar 2009 bis Februar 2011 fast vervierfacht (siehe Anhang 1). Laut Aussagen von Händlern werden wohl von den Firmen in den Ursprungsländer die Preise teilweise durch Verknappung künstlich hoch gehalten. Auch kann die Volksrepublik China als das Land, das 2009 38 % des weltweit erzeugten Naturkautschuks und -latex verbraucht hat, mit wirtschaftlich gesteuerten Impulsen den Verbrauch und somit den Preis besonders beeinflussen. Dies bedeutet schließlich, dass bei Naturlatex ähnlich große Unsicherheiten über die zukünftige Preisentwicklung wie zum Beispiel bei Mineralöl herrschen.

Der **Rapsölpreis** ist in erster Linie an den Rapspreis gekoppelt, der von dem weltweiten Angebot und der weltweiten Nachfrage abhängt. In den vergangenen Jahren hat sich gezeigt, dass auch hier große Preissprünge möglich sind, wodurch eine langfristige Kalkulation des Abdeckmaterials mit großen Unsicherheiten behaftet ist.

5.7.2 Kostenvergleich mit anderen Siloabdeckverfahren

Zum Kostenvergleich wurden zwei Silos mit unterschiedlichen Größen (Grundfläche: 100 m²; 500 m²) betrachtet. Für jede Silogröße wurden das konventionelle und das neuartige Abdeckverfahren miteinander verglichen, die Ergebnisse sind in Tabelle 32 dargestellt. Im Vergleich zur konventionellen Abdeckung mit Folie ist die alternative Abdeckung unter den gewählten Vorgaben um den Faktor acht bis elf teurer. Beim derzeitigen Verbrauch liegt die Aufwandsmenge bei 15,85 kg/m², was reine Materialkosten von 16,96 €/m² (ohne Herstellung, Zinsen, Transport ...) ergeben. Beim modellhaft angenommenen Silo mit 500 m² Grundfläche sind unabhängig von der Abdeckvariante im Vergleich zum kleinen Silo mit 100 m² erwartungsgemäß Kostenvorteile vorhanden. Beim herkömmlichen Verfahren liegt der Kostenunterschied bei 0,60 €/m² und beim neuartigen Verfahren bei 0,94 €/m². Dies bedeutet, dass unter den Modellannahmen die Kostendegression für das neuartige Verfahren höher ist.

Das Verfahren der neuartigen Abdeckung im Vergleich zum konventionellen Verfahren verursacht wesentlich höhere Kosten. Der Hauptkostenpunkt bei den getroffenen Annahmen sind die Materialkosten, die beim kleineren Silo mit der Abdeckung auf Basis nachwachsender Rohstoffe bei ca. 93 % und beim größeren bei ca. 97 % liegen. Im Vergleich dazu machen die Materialkosten für die Folienabdeckung beim konventionellen Silo lediglich 47 % bzw. 46 % aus. Die Arbeitszeitkosten (Abdecken, Entfernen der Folie, Entsorgen) sind beim konventionellen Verfahren höher. Beim Entfernen der Folien und Sandsäcke im Modellsilo 100 m² wird davon ausgegangen, dass für das Freilegen der Silage von ca. 1,1 m vom Anschnitt an ca. 6,6 min Zeit in Anspruch genommen werden. Hochgerechnet werden für das Modellsilo 100 m² somit nahezu 2 h benötigt (18x Entfernen). Beim Modellsilo 500 m² werden für das Freilegen der Silage von 2,3 m vom Anschnitt an ca. 18 min angenommen, was in Summe 4,3 h ausmacht (14x Entfernen). Im Vergleich zu den Arbeitskosten sind die Maschinenkosten des neuartigen Abdeckverfahrens höher als beim herkömmlichen. Die Entsorgungskosten pro Quadratmeter herkömmlicher Abdeckung sind gering.

Eine Sensitivitätsanalyse bei den Kosten der neuartigen Abdeckung zeigt, dass die Materialkosten aufgrund ihres hohen Anteils die größten Kostenunterschiede verursachen. Die Maschinen-, Arbeits- und Entsorgungskosten fallen kaum ins Gewicht und beeinflussen die Gesamtkosten wenig.

Tabelle 32: Kosten zweier Verfahren zur Abdeckung von Modellsiloanlagen unterschiedlicher Grundflächen (siehe Anhang 7 und 8) nach [8]

Kostenart/Beschreibung	Modellsilo 100 m ²		Modellsilo 500 m ²		Modellsilo 2500 m ²
	Folie in €/m ²	Neuartige Abdeckung in €/m ²	Folie in €/m ²	Neuartige Abdeckung in €/m ²	Neuartige Abdeckung in €/m ²
Abdecken des Silos	1,39	22,63	0,90	21,69	21,61
Materialkosten*	0,94	21,14	0,66	21,00	20,96
Arbeitszeitkosten	0,21	0,31	0,10	0,13	0,10
Maschinenkosten	0,24	1,19	0,14	0,56	0,55
Entfernen der Folie	0,33	0	0,41	0	0
Arbeitszeitkosten	0,22	0	0,09	0	0
Maschinenkosten	0,11	0	0,31	0	0
Entsorgung	0,31	0	0,12	0	0
Entsorgungskosten	0,04	0	0,04	0	0
Arbeitszeitkosten	0,16	0	0,04	0	0
Maschinenkosten	0,10	0	0,04	0	0
Gutschrift für Energiegehalt der Abdeckung	-0,00	-5,52	-0,00	-5,52	-5,52
Gesamtkosten €/m²	2,02	17,11	1,42	16,17	16,09

*inklusive Bezugskosten und Zinsen sowie Benutzungsgebühr Tanks (bei neuartiger Siloabdeckung)

In einem weiteren Kostenvergleich werden die Unterschiede zwischen einem nicht abgedeckten Silo und dem neuartigen Verfahren betrachtet. In Tabelle 33 ist der Vergleich eines Silos mit einer Grundfläche von 2.500 m² dargestellt. Hierbei werden die Gesamtkosten des neuartigen Verfahrens auf 2.500 m² hochgerechnet. Die angenommenen Gesamtkosten für das Silo sind ebenfalls in Tabelle 32 dargestellt. Zudem wird davon ausgegangen, dass bei nicht abgedeckter Silage die obersten Schichten verdorben sind. Nach NURBAUM [28] wird von einem Verlust von mindestens 15 % ausgegangen. Da jedoch davon ausgegangen wird, dass die Verluste bei einem größeren Silo etwas geringer sind, wird dieser Verlust mit 10 % angenommen. Aus den Berechnungen geht hervor, dass ein mit der vergleichsweise teuren neuartigen Abdeckung verschlossenes Silo immer noch kostengünstiger abschneidet als ein nicht abgedecktes Silo unter Berücksichtigung der Silageverluste. Bei der nicht abgedeckten Variante schlägt der angenommene Materialschwund mit 56.850 € zu Buche, wohingegen die Kosten für die Siloabdeckung auf Basis nachwachsender Rohstoffe in diesem Falle rund 40.225 € betragen. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Abdeckung eines Silos immer lohnenswert ist gegenüber einer nicht abgedeckten Variante und dass ein vergleichsweise teures Abdeckverfahren immer noch Vorteile gegenüber der nicht abgedeckten Variante hätte.

Tabelle 33: Kostenvergleich des Verfahrens der Siloabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen zu einem nicht abgedeckten Silo mit 2.500 m² Grundfläche

Annahme/Kostenart	Einheit	
Kosten Maissilage Biogas	€/dt (FM)	5
Volumen (6 x 25 x 100) m ³	m ³	15.000
Lagerungsdichte ¹	kg FM/m ³	758
Mais Masse	dt FM	113.700
Gesamtkosten	€	568.500
		Nicht abgedecktes Silo
Kosten pro m ² (Grundfläche) ²	€/m ²	16,09
Grundfläche	m ²	2.500
Kosten Abdeckung	€	40.225
Verlust nicht abgedeckt 10 %	€	56.850

¹⁾ 250 kg TM/m³; 33 % TM

²⁾ siehe Tabelle 32

Die Wirtschaftlichkeit der neuartigen Abdeckung muss differenziert betrachtet werden. Auf der einen Seite ist das neuartige Abdeckverfahren im Vergleich zum konventionellen Verfahren mit Folie, und den Berechnungen zu Grunde gelegten Rohstoffpreisen für die neuartige Abdeckmasse vom Dezember 2010 bzw. Januar 2011, wesentlich teurer. Selbst bei den Preisen von vor zwei Jahren, als Naturlatex noch wesentlich günstiger war, wäre die Abdeckung trotzdem noch etwa um den Faktor 4,5 (100 m²) bzw. 5,8 (500 m²) teurer als das konventionelle Verfahren (siehe Anhang 9). Auf der anderen Seite hat die vergleichsweise teure neuartige Abdeckung wirtschaftliche Vorteile gegenüber einem, zum Beispiel aus Gründen des Arbeitsschutzes, nicht abgedeckten Silagehaufwerk. Damit ein neuartiges Abdeckverfahren eine Chance am Markt hat, muss dieses einen wirtschaftlichen Vorteil gegenüber dem herkömmlichen Abdeckverfahren aufweisen. Da dies derzeit nicht immer der Fall ist, müssen Möglichkeiten der Kostenreduktion untersucht werden. Die Materialkosten nehmen einen extrem hohen Anteil an den Gesamtkosten ein, deshalb muss vor allem hier angesetzt werden. Es besteht einerseits die Möglichkeit, dass Material über Schäumung bzw. ein geringere Schichtdicke eingespart wird. Auf der anderen Seite ist es möglich, dass einzelne Komponenten der Rezeptur ausgetauscht werden. Hier müsste vor allem der Naturlatex ersetzt werden, da dieser 54 % der Rohstoffkosten ausmacht.

5.8 Bewertung der Chancen zur Markteinführung

Grundvoraussetzung für eine Markteinführung eines neuen Abdeckverfahrens ist, dass die Abdeckung eine Bereitstellung eines qualitativ hochwertigen Futters oder Biogasanlagensubstrat ermöglicht. Bei der Abwägung der Chancen für eine Markteinführung des neuartigen Abdeckmaterials sind verschiedene Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Insbesondere muss die Wirtschaftlichkeit bei der Verwendung der neuartigen Abdeckung als die wichtigste Voraussetzung für die Akzeptanz beim Kunden gegeben sein. Darauf wird im Kapitel Ökonomische Bewertung näher eingegangen.

Vorteile des neuartigen Verfahrens

- **Arbeitszeit:** Durch das einfache Aufsprühen der Siloabdeckung in einem Arbeitsgang wird wenig Personal benötigt. Beim konventionellen Verfahren mit Silofolien, bei dem meist drei Folien und zusätzlich Sandsäcke verwendet werden, sind mehr Arbeitskräfte erforderlich als bei dem neuartigen Verfahren. Aus diesem Grund ergibt sich eine Zeiteinsparung. Vor allem durch die Vereinfachung der Arbeitsabläufe bei der Siloentnahme bietet die Abdeckung für den Landwirt täglich Zeiteinsparungspotenzial, denn der Landwirt kann das neue Abdeckmaterial mitverwenden und muss nicht mehr die Folien und Sandsäcke des konventionellen Verfahrens von Hand entfernen.
- **Arbeitssicherheit:** Beim Bedecken von Silos mit dem neuartigen Verfahren und vor allem beim Aufdecken des Silos kann das Risiko einer Gefährdung im Sinne der Arbeitssicherheit verringert werden. Es besteht vor allem bei hohen Silos die Gefahr, dass das Personal beim Entfernen der Silosäcke und der Silofolie abrutscht und am Silageanschnitt nach unten fällt und sich schwer verletzt.
- **Umweltfreundlichkeit:** Bei der Umweltfreundlichkeit muss der gesamte Lebenszyklus eines Produktes berücksichtigt werden. Dadurch ergeben sich bei der neuartigen Siloabdeckung Ansatzpunkte zur Senkung des Rohstoff- und Energieverbrauchs wie zum Beispiel das Einsparen von Rohöl bzw. Energie beim Herstellen der konventionellen Folien. Außerdem entfällt bei der neuen Siloabdeckung die Entsorgung.
- **Kaskadennutzung:** Die Siloabdeckung kann nach der ersten Nutzung einerseits als Futter für Tiere und andererseits als Biogassubstrat verwertet werden. Die nachgeschaltete Verwertung der Abdeckung durch Verfütterung oder Einbringung in Biogasanlagen stellt somit einen weiteren positiven Effekt dar.
- **Schöneres Landschaftsbild:** Durch den Einsatz der neuartigen Abdeckung kann sich ein schöneres Landschaftsbild ergeben.

Nachteile:

- **Verfügbarkeit nachwachsender Rohstoffe:** Naturlatex als nachwachsender Rohstoff wird nicht innerhalb kürzester Zeit in großen Mengen zur Verfügung stehen. Ein langsamer Produktionsanstieg ist hier zu erwarten. Weltweit wurden im Jahr 2009 laut Firma Weber & Schaer 9.686.000 Tonnen Naturkautschuk und Naturlatex in Summe gewonnen. Die Nachfrage nach Latex auf dem Weltmarkt

könnte durch die Vermarktung als Materialkomponente für die neuartige Siloabdeckung durchaus beeinflusst werden

- **Neues Verfahren/Innovation:** Dieses neue Verfahren erfordert ein spezielles Wissen und den Einsatz neuer technischer Geräte. Neben den Investitionen stellt eine natürliche Skepsis der Kunden gegenüber Neuerungen ein Hemmnis zur Marktdurchdringung dar.
- **Höhere Kosten:** Mit der derzeitigen Rezeptur und bei der derzeitigen Aufbringungsmenge sind keine Kostenvorteile gegenüber der herkömmlichen Folienabdeckung zu erwarten.

Spätestens bei der Markteinführung steht die grundsätzliche Entscheidung über die **Preishöhe** an. Die Preissetzung für Produkte bewegt sich im Spannungsfeld dreier Einflussgrößen: Die Preise sollten die Selbstkosten des Herstellers in absehbarer Zeit übersteigen, das Preisniveau der Konkurrenzprodukte muss im Auge behalten und die Zahlungsbereitschaft der Landwirte kalkuliert werden [35]. Die Produktkosten sind im Vergleich zur konventionellen Folie höher, jedoch sind geringere Kosten durch Arbeitszeiteinsparung und Vermeidung von Entsorgungskosten möglich. Arbeitszeit wird häufig im Vergleich zu den Produktkosten nicht als Kostenfaktor deutlich wahrgenommen. Es empfiehlt sich den Preis anfangs niedrig zu halten, um eine ausreichende Marktdurchdringung zu schaffen. Mehr zu der Kostenkalkulation der Siloabdeckung wird im Kapitel 5.7 Ökonomische Betrachtung dargestellt.

Aufgabe der **Distributionspolitik** ist es, ein geeignetes Absatzsystem bereitzustellen, damit die physische Distribution von den Produkten an den Verbraucher gewährleistet ist. Von Vorteil wäre die Nutzung bereits etablierter Verteilerschienen im Landwirtschaftssektor [24]. Traditionelle landwirtschaftliche Handelsunternehmen könnten für den Vertrieb der Maschinen und Materialien sorgen. Dass sich einzelne Großlandwirte solch eine Applikationsmaschine kaufen ist genauso möglich wie ein Gemeinschaftskauf. Es bietet sich besonders an, dass sich eine Maschinengemeinschaft bildet, bei der sich Landwirte zusammenschließen, um sich dann gemeinschaftlich die Arbeitsmaschine und das Material zu kaufen. Dabei kann sich die Maschinengemeinschaft absichern, indem sie einerseits die Landwirte vertraglich an das Abdecksystem bindet und andererseits beim Handel gute Einkaufskonditionen erreicht. Eine Maschinengemeinschaft könnte sich auch über den Maschinenring organisieren, was die zeitliche Einteilung und die Abrechnung erleichtert. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass sich Lohnunternehmer die Applikationsmaschine kaufen. Dabei sollte das Serviceangebot als Teil der **Produktpolitik** gut durchdacht sein. Hierbei könnte der Lohnunternehmer verschiedene Leistungen anbieten. Beispielsweise kann dieser nur die Maschine mit Fahrer bereitstellen und das Material muss vom Landwirt selbst organisiert werden oder er bietet Maschine, Fahrer und Material mit an. Auch wäre ein kompletter Service denkbar, der die gesamte Kette der Silagebereitung (Häckseln, Transportieren, Verdichten u. a.) und das Abdecken mit dem neuen Material beinhaltet. Denkbar ist auch, dass Landwirte sich Geräte leihen. Allerdings muss hier besonders darauf geachtet werden, dass die Arbeitssicherheitsbestimmungen eingehalten werden und dass das Gerät wieder sauber an die Entleiher zurückgeht.

Da es sich bei der neuartigen Siloabdeckung um ein innovatives Produkt handelt, kommt bei der Produkteinführung vor allem den **Kommunikationsmaßnahmen** eine wichtige Bedeutung zu. Anfangs sollten Kunden, Absatzmittler und Multiplikatoren auf das Produkt aufmerksam gemacht werden. Dabei kann die Kaufmotivation schon vor der Verfügbarkeit der Produkte im Handel bereits aufgebaut werden.

Folgende Maßnahmen können zur Kundengewinnung und Kundenbindung dienen:

- **Veröffentlichungen in verschiedenen wissenschaftlichen Medien und Praxiszeitschriften:** Es sollte die Chance genutzt werden, in wissenschaftlichen Beiträgen und Veranstaltungen das Produkt anfangs bekannt zu machen. Auch sollten internationale, nationale und regionale Fachzeitschriften des Landwirtschaftssektors genutzt werden.
- **Referenzanwendungen:** Um das neue Abdecksystem dem potenziellen Kunden vorzustellen, kann dies in Anwendungen zum Beispiel in staatlichen Betrieben wie den Lehr- und Versuchsanstalten der Länder oder an Veranstaltungen wie dem „Tag der offenen Tür“ oder den „Feldtagen“ präsentiert werden.
- **Innovationspreis/Auszeichnungen:** Werden solche Auszeichnungen einer Innovation zugesprochen, kann der Bekanntheitsgrad vor allem zu Beginn der Markteinführung gesteigert werden.
- **Verkaufsunterlagen:** Ansprechende Prospekte, Folder, Broschüren sind zu erstellen.
- **Messeauftritt:** Landwirtschaftsausstellungen und Verbrauchermessen steigern den Bekanntheitsgrad eines Produktes.
- **Internet:** Im Internet sollte eine „Produkt-Seite“ mit einer übersichtlichen Produktinformation gestaltet sein. Auch könnten über landwirtschaftliche Internet-Plattformen/-Gemeinschaften aktiv Werbung betrieben werden.
- **Anzeigenwerbung:** Von der Anzeigenwerbung kann in Fachzeitschriften Gebrauch gemacht werden.
- **Verbandswerbung:** Durch den Maschinenring oder den Bauernverband kann zielgerichtete und preisgünstigere Aufklärungsarbeit geleistet werden.
- **Multiplikatoren:** Lagerhausmitarbeiter, Maschinenringtechniker oder Landwirtschaftsberater haben persönliche Kontakte zu Landwirten, kennen deren Betriebsstruktur und können diese gezielt vor Ort ansprechen. Auch können Verbände wie Bauernverband oder biologische Anbauverbände ihre Mitglieder informieren.

Folgende Akteure sollten bei den Kommunikationsmaßnahmen berücksichtigt werden:

- Landwirte
- Biogasanlagenbetreiber
- Landhandel
- Lohnunternehmer
- Landwirtschaftliche Berater (Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Kammern)
- Journalisten/Autoren von Fachzeitschriften

5.9 Diskussion

Im Vorhaben „Entwicklung einer Siloabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen“ wurden die Zusammensetzung des Abdeckmaterials optimiert und Untersuchungen zu den Eigenschaften der Abdeckung und Silierversuche mit Gärgläsern sowie mit speziellen Versuchssilos durchgeführt.

Es zeigte sich, dass die Abdeckung zunächst über mehrere Wochen einen luftdichten Abschluss ermöglicht, allerdings nach einigen Monaten ihre gewünschte Funktion verliert. Trotz Rezepturänderungen konnte bislang keine Rezeptur für die Abdeckung gefunden werden, die eine Gasdichtheit über die Dauer eines Jahres aufweist. Bei der Suche nach möglichen Rezepturkomponenten stellt vor allem das Ziel der Verfütterbarkeit große Herausforderungen. Es empfiehlt sich vorab Berechnungen anzustellen, welche theoretischen Höchstmengen an Inhaltsstoffen möglich sind, so dass die jeweiligen Grenzwerte im Futtermittel nicht überschritten werden. Als besonders problematisch erweist sich der Zinkoxid-Gehalt in der Abdeckung. Der Zinkgehalt überschreitet selbst in einer Mischung aus Abdeckmaterial und Maissilage die Grenzwerte für die Verwendung als Futtermittel in der Wiederkäuerfütterung. Außerdem war die biozide Wirkung des Zinkoxids begrenzt, da es auf dem Abdeckmaterial zu Pilzbesatz kam. Deshalb sollte ein anderer Stoff mit biozider Wirkung eingesetzt werden. Auch erscheint die Verwendung des Füllstoffs Kieselgur problematisch, denn die rechtlichen Vorgaben der Düngeverordnung verbieten den Einsatz von Kieselgur, unabhängig ob das Düngemittel aus dem Tiermagen oder einer Biogasanlage beziehungsweise Kompostierungsanlage stammt. Die Komponente „Naturlatex“, die zu 20 % in der Abdeckungsmasse enthalten ist, trägt derzeit über 50 % zu den Rohstoffkosten bei. Die Preise von Naturlatex haben sich von Januar 2009 bis Februar 2011 fast vervierfacht, was während der Projektlaufzeit zu einer vorher nicht abschätzbaren Verteuerung des Abdeckmaterials führte. Wurde zu Beginn des Vorhabens von nur geringfügig höheren Kosten der neuartigen Abdeckung gegenüber der konventionellen Folienabdeckung ausgegangen, wurden anhand der Rohstoffkosten im Januar 2011 mindestens achtfach höhere Kosten pro m² abgeschätzt. Die Minimierung des Materialaufwands ist deshalb eine wichtige Option der Kostensenkung. Außerdem traten Schwierigkeiten durch die frühzeitige Koagulation der Latex-Komponente in den Pumpen auf. Naturlatex ist zudem nicht als Einzelfuttermittel gelistet. Es empfiehlt sich daher, den Latex-Anteil in der Rezeptur weiter zu reduzieren, beziehungsweise komplett zu ersetzen.

Abdeckmaterial und Applikationstechnik wurden im Vorhaben fortlaufend weiterentwickelt und aufeinander abgestimmt. So konnte die Zwei-Komponenten-Rezeptur und das Applikationsgerät den jeweiligen neuen Begebenheiten angepasst werden. Die Option, das Abdeckmaterial zu schäumen, und dadurch eine Volumenvergrößerung und ggf. eine Kosteneinsparung zu erreichen, wurde nicht erschöpfend untersucht, da damit eine umfangreiche Rezepturvariation erforderlich gewesen wäre. Besonders auffällig war, dass sich das Abdeckmaterial aus jeweils identischen Chargen der Komponenten A und B sowohl bei Wiederholungen an einem Tag als auch bei Wiederholungen an verschiedenen Tagen heterogen verhielt, obwohl die beiden Komponenten offensichtlich in homogener Mischung vorlagen. Anzumerken ist, dass mit den gewählten Versuchsaufbauten

nicht in jedem Falle das Mischungsverhältnis exakt in der angestrebten Genauigkeit der Vorzugsvariante eingestellt werden konnte. Unklar bleibt, ob das Mischungsverhältnis in der Vorzugsvariante aus den Laborversuchen auch das beste Ergebnis unter Praxisbedingungen erbracht hätte.

Die Ergebnisse aus den Labortests lassen keine eindeutigen Rückschlüsse auf die Eignung des Materials unter Praxisbedingungen zu, da Umwelt- und Witterungseinflüsse nicht eindeutig simuliert werden können. Deshalb sind aufwändige Praxistests unabdingbar. Gärglasversuche eignen sich vor allem für eine schnelle Einschätzung der Gasundurchlässigkeit der Abdeckung. Die Eignung des Materials unter natürlichen Witterungsbedingungen wurde anhand der Silagequalität der Versuchssiloanlagen beurteilt. Die Analytik erfolgte anhand der Weender Parameter („Erweiterte Weender Futtermittelanalyse“). Hierbei handelt es sich um eine Konventionsanalyse, wobei das Rohprotein über eine Verbrennungsanalyse und nicht über die herkömmliche nasschemische Kjeldahl-Methode erhoben wird. Das Rohfett wird durch Etherextraktion und die Rohfaser durch Säure-/Laugenaufschluss ermittelt.

Die für dieses Vorhaben speziell entwickelten Versuchssilos mit einer Grundfläche von 2 m² waren zum Test einer größeren Anzahl Rezepturvarianten der neuartigen Siloabdeckung geeignet sehr gut. Die größere Versuchssiloanlage mit einer Grundfläche von 26 m² lieferte hingegen realistischere Daten zum Materialverbrauch und zum Arbeitszeitbedarf beim Aufspritzen des Materials. Die angestrebte optimale Verdichtung der Silage wurde jedoch in beiden Versuchssiloanlagen nicht erreicht, was jedoch bei der Versuchsfragestellung nur eine untergeordnete Rolle spielte. Da Mais schneller siliert, während des Silierprozesses weniger Gärgase gebildet werden und eine gleichmäßigere Oberfläche im Vergleich zu Grassilage aufweist, scheint Mais zur Durchführung von Silierversuchen mit dem neuartigen Abdeckmaterial besonders geeignet.

Die Gesamtheit der Untersuchungen weist darauf hin, dass insbesondere bei längerer Lagerdauer mit einem unerwünschten Sauerstoff- und Wassereintritt durch die Abdeckung hindurch zu rechnen ist und dann eine nur unbefriedigende Silagequalität zu erzielen ist. Es ist zu beachten, dass die vergleichsweise sehr guten Silagequalitäten im zweiten Versuchsjahr nach einer Lagerdauer von rund fünf Monaten ermittelt wurden. Eine Beprobung zu einem noch späteren Zeitpunkt war aufgrund der vorgegebenen Projektlaufzeit nicht möglich. Mit der gewählten Versuchsanstellung war es nicht möglich den genauen Tag und die Umstände zu erfassen, die zu einer Änderung der Gasdurchlässigkeit geführt haben. Eine Verkürzung der Beprobungsintervalle hätte nicht wesentlich mehr dazu beigetragen, Zeitpunkt und Umstände genauer zu bestimmen. Für künftige Untersuchungen wird vorgeschlagen, parallel zu den Silierversuchen, die Änderung der Gasdurchlässigkeit unter dem Einfluss der natürlichen Witterung getrennt zu beobachten. Hierzu könnten beispielsweise kubische, nach oben offene Gefäße, zum Beispiel Gastro-Norm-Behälter, zum Einsatz kommen, die mit der neuartigen Abdeckung, die auf ein Stützgewebe aufgebracht wird, verschlossen werden. Das umschlossene Volumen könnte dann beispielsweise mit Stickstoff gespült werden und ein Sauerstoffzutritt aufgrund einer Gasundichtigkeit der Abdeckung mit Hilfe einer Sauerstoffsonde detektiert werden. Ebenso könnte das Eindringen von Wasserdampf sehr schnell erkannt wer-

den. Auf diese Weise können möglicherweise eine größere Anzahl an Versuchsvarianten unabhängig von der Saison untersucht werden. Somit könnte die Rezepturoptimierung deutlich beschleunigt erfolgen.

Im Rahmen der ernährungsphysiologischen Prüfung war ein Futter-Akzeptanzversuch mit Hammeln geplant. Da das Abdeckmaterial bisher weder als Futtermittel noch als Futterzusatzstoff eindeutig eingestuft werden kann bzw. zugelassen ist, ist eine Voraussetzung die Genehmigung des Versuchs durch die zuständige Behörde. Ein entsprechender Antrag wurde bei der Regierung von Oberbayern eingereicht. Bis zum Zeitpunkt des Projektendes konnte weder ein positiver noch ein negativer schriftlicher Bescheid erwirkt werden. Somit konnte innerhalb der Projektlaufzeit keine Aussage getroffen werden, ob das Abdeckmaterial allein oder in Kombination mit Silage von Wiederkäuern überhaupt akzeptiert und ggf. gefressen würde. Alternativ wäre ein Fütterungsversuch im Rahmen eines anzeigepflichtigen Tierversuches unter Einbezug der Veterinärbehörden denkbar gewesen. Die Durchführung eines Tierversuchs erschien jedoch, nachdem das Ziel einer dauerhaften Konservierung nicht erreicht wurde, nicht verhältnismäßig und verantwortbar.

Bei der Verwertbarkeit der Siloabdeckung wurden neben der Verfütterbarkeit auch die Eignung als Biogassubstrat und die Kompostierbarkeit untersucht. Bei der Verwendung als Biogassubstrat kommt es zwar zu einer weitgehenden Zersetzung, aber es stellt sich die Frage, ob der Abbaurest, der wohl überwiegend aus Naturlatex besteht, ausgebracht mit dem Gärsubstrat, im Boden vollständig abgebaut werden kann. Auch gibt es Unklarheit in Bezug auf das Absinken oder Aufschwimmen des Abdeckmaterials im Fermenter. Bei den Versuchen zur Kompostierbarkeit wurde Zersetzung eines Teils des Materials nachgewiesen. Die biologische Abbaubarkeit über einen längeren Zeitraum der Abdeckungsreste nach der Biogasanlage sowie nach der Kompostierung sollte noch untersucht werden. Naturlatex in Reinform gilt als biologisch abbaubar. Eine Biogastauglichkeit sowie eine Kompostierbarkeit des Abdeckmaterials sind derzeit noch nicht gänzlich bewiesen.

Die durchgeführte Risiko- und Gefährdungsanalyse darf nicht als abgeschlossen bewertet werden, da genaues Wissen über das Aussehen, die Eigenschaften und die Komponenten der Maschine zum Aufbringen der neuartigen Abdeckung noch nicht bekannt sind. Auch wäre eine quantitative Gegenüberstellung des Risiko- und Gefährdungspotenzials für eine klare Schlussfolgerung hilfreich. Auf einen quantitativen Vergleich der Gefährdungen zwischen dem konventionellen und dem neuartigen Verfahren des Siloabdeckens wurde jedoch zu diesem frühen Stadium bewusst verzichtet, da eine Gegenrechnung von Unfällen mit kleinem Schadensausmaß aber hoher Eintrittswahrscheinlichkeit mit Unfällen mit hohem Schadensausmaß aber niedriger Eintrittswahrscheinlichkeit zu einer Verzerrung des Gesamtbildes führen würde. Nach vorliegenden Erkenntnissen wird davon ausgegangen, dass sich die Unfallwahrscheinlichkeit bei Anwendung des neuartigen Abdeckverfahrens deutlich verringert.

Für die wirtschaftliche Betrachtung der Abdeckverfahren wurden vier Silovarianten auf zwei Betrieben untersucht. Die Arbeitszeitanalyse wurde auf Plausibilität geprüft. Den-

noch muss berücksichtigt werden, dass im Einzelfall der Arbeitszeitaufwand auch deutlich von den hier dokumentierten Beispielfällen abweichen kann. Die durchgeführte Literaturrecherche zeigte, dass eine detaillierte Kostenaufstellung für das Verfahren der Silobereitstellung insbesondere für das Auf- und Abdecken nicht vorliegt. Es ist zu beachten, dass die Rentabilität des vorgestellten neuen Verfahrens stark abhängig ist von den der Kalkulation zugrunde gelegten Arbeitskraftkosten. Im Vergleich zur konventionellen Abdeckung mit Folie ist die alternative Abdeckung unter den gewählten Vorgaben um den Faktor acht bis elf teurer. Wie bereits zuvor erwähnt, tragen die in den letzten beiden Jahren unverhältnismäßig gestiegenen Preise für Naturlatex wesentlich zur Verteuerung bei. Es besteht neben dem Austauschen von Einzelkomponenten, wie Naturlatex, auch die Möglichkeit, dass Material über Schäumung bzw. ein geringere Schichtdicke einzusparen.

Eine abschließende Einschätzung der Nutzung der neuartigen Abdeckung ergibt Vorteile beim Arbeitszeitaufwand, bei der Vermeidung von Folien-Abfällen oder beim Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen anstelle von fossilen Ressourcen. Allerdings ist eine Nutzung des neuartigen Abdeckmaterials derzeit nicht empfehlenswert, da das Material die gewünschte Funktionsfähigkeit nicht aufweist und vergleichsweise zu teuer ist. In Tabelle 33 sind die Entwicklungsziele für das neuartige Abdeckmaterial und die Einschätzung des gegenwärtigen Entwicklungsstandes dargestellt.

Während der Projektbearbeitung wurde ein sehr großes Interesse am Ziel des Vorhabens, eine neuartige Siloabdeckung zu entwickeln, bei Landwirten, bei Beratern aber auch bei Wissenschaftlern festgestellt. Im Vorhaben konnten zwar nicht alle avisierten Ziele erreicht werden, aber es konnte gezeigt werden, dass eine neuartige Abdeckung mit den Zielen der Verwendung in der Verfütterung beziehungsweise als Biogassubstrat durchaus realisierbar sein könnte.

Deshalb sollte das Ziel, eine neuartige Siloabdeckung zu entwickeln, weiter verfolgt werden. Hierzu ist zunächst eine Überarbeitung der Rezeptur bzw. die Entwicklung einer neuen Rezeptur erforderlich. Mit den Erfahrungen aus dem vorangegangenen Vorhaben, kann die Entwicklung effizient vorangetrieben werden. Für weitere aussagekräftigere Tests der Abdeckung auf Umwelteinflüsse, die eine schnellere Beurteilung der Materialqualität ermöglichen, liegen bereits Ansätze vor. Es ist sicherlich lohnenswert und für die Landwirtschaft sinnvoll, das Projektziel weiter zu verfolgen.

Tabelle 34: *Entwicklungsziele für das neuartige Abdeckmaterial und Einschätzung des gegenwärtigen Entwicklungsstandes*

Entwicklungsziele für das neuartige Abdeckmaterial	Einschätzung des gegenwärtigen Entwicklungsstandes
Siloabdeckung durch Aufsprühen eines selbsthärtenden Materials in einem Arbeitsgang	Applizieren ist möglich, jedoch noch nicht vollständig ausgereift ✓
Weitgehend gasdichter Abschluss des Silostocks	Gasdichter und wasserdichter Abschluss kann nur für einige Monate gewährleistet werden ✗
Intensiver Kontakt zwischen Abdeckmaterial und Futteroberfläche	Intensiver Kontakt zwischen Abdeckmaterial und Futteroberfläche ist gegeben ✓
Eigenhaftung des Materials, damit keine Beschwerung erforderlich ist	Eigenhaftung des Materials ist so gut, dass keine Beschwerung erforderlich ist ✓
Ersatz eines Produkts aus fossilen durch nachwachsende Rohstoffe	Neuartige Siloabdeckung wird aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt ✓
Vermeidung von Folien-Abfällen	Folien-Abfälle können vermieden werden ✓
Verwertung der Abdeckung durch Verfütterung	Die Verfütterbarkeit der Abdeckung ist zum derzeitigen Stand nicht nachgewiesen ✗
Verwertung der Abdeckung durch Einbringung in Biogasanlagen	Die Eignung als Biogassubstrat ist zum derzeitigen Stand nicht in vollem Umfang nachgewiesen ✗/✓
Verringerung des Arbeitsaufwands bei der Abdeckung und bei der Entnahme der Silage	Der Arbeitsaufwand wird verringert ✓
Arbeitssicherheit des neuartigen Verfahrens wird erhöht	Die Arbeitssicherheit wird erhöht ✓
Kosteneinsparung durch die Verwendung der neuartigen Abdeckung	Derzeit kann von einer Kosteneinsparung nicht ausgegangen werden ✗

Zusammenfassung

Die Silagebereitung hat in der Landwirtschaft zur Konservierung von Nutztierfutter und Biogassubstrat einen hohen Stellenwert. Flachsiloanlagen, die vorwiegend eingesetzt werden, werden meist mit Kunststofffolien abgedeckt. Das Verschließen und Öffnen des Silos ist arbeitsaufwändig. Aus Kosten-, Arbeits- sowie aus Umweltschutzgründen ist es wünschenswert, ein Verfahren zur Siloabdeckung zu entwickeln, das einen Verzicht auf die konventionelle Silofolie ermöglicht. Diese neuartige Siloabdeckung soll nach Möglichkeit mit der Silage entnommen werden können, verfütterbar sein und als Biogassubstrat eingesetzt werden können.

In vorangegangenen Arbeiten wurde ein selbsthärtendes Abdeckmaterial aus nachwachsenden Rohstoffen entwickelt, das aus zwei Komponenten A und B gemischt und aufgetragen wird. Die Zwei-Komponenten-Rezeptur besteht aus einer öligen Phase A und einer wässrigen Phase B. Die ölige Phase A setzt sich aus 32,7 % Rapsöl, 5,3 % Kreide, 5,3 % Kieselgur, 1,5 % Natriumalginat, 1,0 % Calciumsulfat und 0,3 % Natriumphosphat zusammen. Die Phase B besteht aus 32,2 % Wasser, 20,7 % Naturlatex, 0,2 % Kaliumhydroxid und 0,8 % Zinkoxid. Die Gemeinschaftserfindung „Abdeckmaterial für Biomasse und Verfahren zu dessen Herstellung“ wurde zum Patent (DE102006014862A1, EP000001998955A1, WO002007112799A1) angemeldet. Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, das neue Abdeckverfahren weiterzuentwickeln und dessen Praxistauglichkeit zu überprüfen.

Nach Versuchen im Labormaßstab wurde das Abdeckmaterial aus nachwachsenden Rohstoffen unter Witterungseinflüssen auf ihre Eignung hin untersucht. Hierzu wurden an zwei verschiedenen Standorten Versuche an Freiland-Siloanlagen durchgeführt. Bei den Siloanlagen handelte es sich um speziell für dieses Vorhaben entwickelte Versuchssilos mit einer Grundfläche von 2 m² und einem Versuchssilo mit einer Grundfläche von 26 m². Als Applikationsgeräte zum Aufspritzen des Materials wurden ein Zwei-Komponenten-Lackiergerät sowie ein Feinputzspritzgerät eingesetzt, wobei sich das Feinputzspritzgerät als besser geeignet erwies. Die neuartige Siloabdeckung gewährleistet einen intensiven Kontakt zwischen Abdeckmaterial und Futteroberfläche und haftet sehr gut auf der Oberfläche, so dass auf Beschwerungsmaterial verzichtet werden kann. In den Versuchen zeigte sich, dass ein gas- und wasserdichter Abschluss des Futterstocks mit der gewählten Rezeptur für einige Wochen, beziehungsweise maximal fünf Monate sicher gestellt werden konnte. Auch wenn das Ziel der Bereitstellung hoher Silagequalität über ein ganzes Jahr mit dem neuartigen Abdeckmaterial nicht erreicht wurde, so konnte das Potenzial dieses Verfahrens eindrucksvoll demonstriert werden. Ursache für den Gaszutritt waren Risse im Material, die möglicherweise durch Schrumpfungsvorgänge hervorgerufen wurden. Um der Rissbildung entgegen zu wirken, wurde versucht die Rezeptur abzuändern, was jedoch während des Untersuchungszeitraums nicht zum Erfolg führte. Neben der Beurteilung der Silagequalität wurden parallel weitere Eigenschaften des Abdeckmaterials untersucht, um die Praxistauglichkeit zu prüfen.

Die maschinelle Entnahme der Silage bzw. des Abdeckmaterials mit einem Siloblockschneider, einem Futtermischwagen und einem Radlader mit Greifschaukel wurde geprüft und war mit allen drei Geräten sehr gut möglich.

Um der Anforderung der Verfütterbarkeit des Abdeckmaterials gerecht zu werden, müsste die Zusammensetzung aufgrund von gesetzlichen Vorgaben geändert werden, obwohl sich die meisten Bestandteile der Zwei-Komponenten-Mischung als futtermittelrechtlich unbedenklich erweisen. Als problematisch erweist sich Zinkoxid im Futtermittel, dessen Konzentration Höchstmengen nicht überschreiten darf. Zudem war die angestrebte biozide Wirkung des Zinkoxids nicht ausreichend, um einem Pilzbefall auf der Oberfläche des Abdeckmaterials entgegenzuwirken. Eine eindeutige Einordnung von Naturlatex unter futtermittelrechtlichen Gesichtspunkten ist gegenwärtig auch noch nicht gegeben. Eine einstweilige Bewertung hat das Bayerische Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) vorgenommen. Obwohl bei Naturlatex nach der derzeitigen Erkenntnislage bei Wiederkäuern hinsichtlich einer oralen Aufnahme im Rahmen eines Akzeptanzversuchs keine Gesundheitsgefährdung zu erwarten ist, konnte im Untersuchungszeitraum keine Genehmigung für einen Futter-Akzeptanzversuch erlangt werden. Der Rezepturbestandteil Kieselgur ist hinsichtlich der Düngeverordnung als kritisch einzustufen, da dessen Einsatz in Düngemitteln nicht gestattet ist, obwohl aber die Verwendung von Kieselgur als Zusatzstoff für Futtermittel bei allen Tierarten oder Tierkategorien zum Einsatz zugelassen ist.

Erste Versuche zur Vergärbarkeit des neuartigen Abdeckmaterials in Biogasanlagen und zur Kompostierbarkeit wurden durchgeführt. Es scheint, dass in beiden Fällen ein Teilabbau stattgefunden hat. Jedoch blieb jeweils eine vollständige Zersetzung im jeweiligen Versuchszeitraum aus. Ab welchem Zeitraum vor allem der Naturlatex-Anteil der Abdeckung biologisch abgebaut wird ist unklar. Hierzu müssten weitere Untersuchungen angeschlossen werden. Vor allem bei der Verwendung als Biogassubstrat müssten das Verhalten im Gärbehälter, die Gärrestbeschaffenheit sowie deren Auswirkungen untersucht werden.

Eine erste Gefährdungs- und Risikoanalyse wurde für das Verfahren der neuartigen Siloabdeckung im Vergleich zur konventionellen Abdeckung durchgeführt. Es wird davon ausgegangen, dass sich beim neuen Verfahren die Unfallwahrscheinlichkeit verringert.

Bei einer abschließenden ökonomischen Betrachtung wurde festgestellt, dass durch die hohen Preisschwankungen vor allem für den Bestandteil Naturlatex eine Prognose für die Rentabilität des Verfahrens problematisch ist. Allein die Kosten für Naturlatex stiegen innerhalb zweier Jahre um das Vierfache. Die Einsparungen bei den Arbeitskosten machen wohl die Mehrkosten für das Material nicht wett. In den Modellkalkulationen mit den aktuellen (hohen) Rohstoffpreisen, ist das neuartige Verfahren um den Faktor acht bis elf teurer als das konventionelle Verfahren. Optionen zur Kostenreduktion durch Minimierung des Materialaufwands beziehungsweise durch den Ersatz teurer Rezepturkomponenten sind gegeben.

Im Vorhaben konnten zwar nicht alle avisierten Ziele erreicht werden, aber es wurde gezeigt, dass ein Abdeckverfahren mit einem spritzbaren Material aus nachwachsenden Rohstoffen und den Zielen der Verwendung in der Verfütterung beziehungsweise als Biogassubstrat durchaus realisierbar sein könnte. Es erscheint lohnenswert und sinnvoll, das Projektziel weiter zu verfolgen.

Abstract

Silage is mainly used as animal forage or as biogas feedstock. Bunkers, trenches or clamps are mainly covered with plastic foils. Covering and the frequently uncovering such silage storages is expensive in labour costs. The developing of an innovative 'edible' silage covering system would be very interesting for reasons like cost reductions, labour protection and ecological protection. Such innovative silage covering should be usable for both, animal forage as well as biogas plants. It was the aim of a research project, conducted by the TFZ in co-laboration with LFL ITE and FEP financed by Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Land- und Forstwirtschaft to develop an innovative covering based on renewable raw materials and to assess its suitability for practice.

Within the project duration of two years a self-curing covering material, based on renewable raw materials was developed. It is a mixture out of two components, namely an oily blend A and a watery blend B. The oily blend A is composed of rapeseed oil (32.7 %), lime (5.3 %), diatomaceous earth (5.3 %), sodium alginate (1.5 %), calcium sulphate (1.0 %) and sodium phosphate (0.3 %). Blend B consists of water (32.2 %), natural latex (20.7 %), calcium hydroxide (0.2 %) and zinc oxide (0.8 %). It is very important, that the blending of the two components is done immediately before application. The invention "Covering Materials for Biomass and Process for its Preparation" is applying for a patent (DE102006014862A1, EP000001998955A1, WO002007112799A1).

The analysis of relevant properties of the innovative silage covering in laboratory scale showed first promising results. After analysis in laboratory scale the innovative covering was tested under climatic influences. For this examination several outdoor silage storage plants at two different locations and sizes (2 and 26 m²) were established. For the application of the material a two-components-varnish-system and a fine-plaster-spray-application-machine were tested. For the innovative covering material the fine-plaster-spray-application-system had shown better results. The innovative covering material guarantees an intensive contact between the covering material and the silage surface. Since the adherence on the silage surface is very good no further covering or weigh down materials like silo bags etc. are necessary. Further results showed that the innovative covering material was gas- and waterproof for a maximum of five months. Although the aim of producing high quality silage, which can be preserved over a whole year is not achieved, the potential of this new process could be demonstrated impressively. The reason for the early gas inlet were clefts in the covering material. These clefts could eventually be caused by contraction. To avoid these clefts different mixtures were tested, but without any success within the given time. In addition the silage with the innovative covering was unloaded by a silo block cutter, a silo unloader and a front loader shovel with picking option. All these three possibilities are practicable.

The recipe of the covering material has to be changed to fulfil the requirement as animal feeding because of legal guidelines, although most components are harmless themselves. Zinc oxide in feeding materials is problematical, because of the legal upper limit. Furthermore the biocidal effect of zinc oxide was not enough to avoid fungal decay on the surface of the innovative covering. Currently for nature latex a classification in laws

and provisions with regard to feeding stuff does not exist. A temporary evaluation is done by the Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL – Bavarian State Office for Health and Food Safety). During the research project it was not possible to get permission for a fodder-acceptance examination. Furthermore the component diatomaceous earth is not allowed as manure pursuant to the European manure regulation (Düngeverordnung), even though its usage as animal feed is allowed.

In some trials, the innovative covering material was fermented in a biogas plant and was put in a compost pile. It seems that a partial conversion took place in both cases. However, a totally degradation could not be observed. It is unclear so far how long the residuals (mainly nature latex) require for entire biological degradation. Further investigation is also necessary to examine the innovative covering as biogas feedstock, because its behaviour in the fermentation tank is still unclear.

A hazard analysis regarding occupational safety of the innovative covering silo system and the conventional way of foil covering was compared. First results showed a lower hazard potential for the biomass based covering than for the conventional system with plastic foils. As expected the accident probability of the innovative covering system is likely to be reduced.

High price fluctuations of the used raw materials make it very difficult to give a first profitability outlook. Especially the price of nature latex increased to fourfold within two years. However, presently the decreasing labour costs for the new covering are lesser than the additional costs for the covering material. In a calculation of a silo sample, assuming actually high raw material prices, the innovative covering system is eight to eleven times more expensive than the conventional system. Further investigation should aim on reducing the costs by minimising the amount of (expensive) ingredients by savings in material mass or substitution by other (cheaper) components.

Within this project not all tasks could be executed, sufficiently, but it could be shown, that innovative silage coverings, made of renewable raw materials are basically feasible for silage preparation and the subsequent co-utilisation as animal forage or biogas feedstock.

Quellenverzeichnis

- [1] BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (2010): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2009, 53. Jahrgang. Hrsg.: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz -, Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, 644 Seiten. ISBN 978-3-86509-981-5
- [2] BUNDESARBEITSKREIS FUTTERKONSERVIERUNG (2006): Praxishandbuch Futterkonservierung, 7. Aufl., Frankfurt am Main: DLG-Verlag, 353 Seiten. ISBN 3-7690-0677-1
- [3] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2007): Futtermittelverordnung (FuttMV 1981) in der Fassung der Bekanntmachung vom 24. Mai 2007 (BGBl. I, S. 770), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 20. Dezember 2010 (eBAnz 2010 AT135 V1) geändert worden ist. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 22, S. 770-892
- [4] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2009): Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung - DüMV) vom 16.12.2008, die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 14. Dezember 2009 (BGBl. I, S. 3905) geändert worden ist. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 60 , S. 2524-2581
- [5] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2009): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV) vom 27. Februar 2007, die zuletzt durch Artikel 18 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I, S. 2585) geändert worden ist. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 7, S. 222-240
- [6] DEUTSCHE GESETZLICHE UNFALLVERSICHERUNG (DGUV) (2009): Gefährdungs- und Belastungs-Katalog – Beurteilung von Gefährdungen und Belastungen am Arbeitsplatz. BGI/GUV-I8700. Ausgabe Dezember 2009, Bochum: Verlag Technik & Information e. K., 72 Seiten
- [7] Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) (2000): DLG-Richtlinien für die Prüfung von Siliermittel auf die DLG-Gütezeichen-Fähigkeit. Frankfurt am Main: DLG, unveröffentlichtes Manuskript
- [8] EDBAUER, T. (2011): Vergleich der Wirtschaftlichkeit zweier Siloabdeckverfahren. Diplomarbeit. Weihenstephan: Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Land- und Ernährungswirtschaft, , 119 Seiten, unveröffentlicht
- [9] ENGLING, F.-P.; PEWSDORF, I.; BAUM, M.; LÜPPING, W.; MEYER, A.; RADEWAHN. P.; SCHENKEL, H.; STAUDACHER, H.; STEUER, G. (2010): Positivliste für Einzelfuttermittel (Futtermittel-Ausgangserzeugnisse. (Hrsg.): Zentralausschuss der Deutschen Landwirtschaft (ZDL) 8. Aufl.. Normenkommission für Einzelfuttermittel. Berlin: ZDL 68 Seiten
- [10] EUROPÄISCHE KOMMISSION (2010): Verordnung (EU) Nr. 242/2010 der Kommission vom 19. März 2010 zur Erstellung eines Katalogs der Einzelfuttermittel . Amtsblatt der Europäischen Union, Ausgabe vom 24.3. 2010, Heft L 77, S. 17-32

- [11] EUROPÄISCHES PARLAMENT; EUROPÄISCHER RAT (2005): Verordnung (EG) Nr. 1831/2005 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 12. Januar 2005 mit Vorschriften für die Futtermittelhygiene . Amtsblatt der Europäischen Union, Ausgabe vom 8.2. 2005, Heft L 35, S. 1-22
- [12] EUROPÄISCHES PARLAMENT; EUROPÄISCHER RAT (2003): Verordnung (EG) Nr. 1831/2003 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 22. September 2003 über Zusatzstoffe zur Verwendung in der Tierernährung . Amtsblatt der Europäischen Union, Ausgabe vom 18.10. 2003, Heft L 268, S. 29-43
- [13] EUROPÄISCHES PARLAMENT; EUROPÄISCHER RAT (2007): Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission. Berichtigung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission (Amtsblatt der Europäischen Union L 396 vom 30. Dezember 2006). Amtsblatt der Europäischen Union, Ausgabe vom 29.5. 2007, Heft L 136, S. 3-280
- [14] GEDEK, B. (1974): Möglichkeiten und Grenzen der mykologischen Futtermittelkontrolle. Wiener Tierärztliche. Wochenschrift, Jg. 81, S. 37-40
- [15] GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (GFE) (2008):. Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen. Communications of the Committee for Requirement Standards of the Society of Nutrition Physiology - New Equations for Predicting Metabolisable Energy of Grass and Maize Products for Ruminants, Proceedings of the Society of Nutrition Physiology, Jg. 17, S. 191-198
- [16] GRACO BVBA (2006): Airless Düsen Auswahlleitfaden – Die Wahl der richtigen Düse für den jeweiligen Anwendungsfall ist entscheidend. Revision A 07/06. Maasmechelen, Belgien, 6 Seiten
- [17] GRACO BVBA (2004): Xtreme™ Mix – Mehrkomponenten – Spritzgeräte Materialien. Einfach zu bedienende Mehrkomponenten-Spritzgeräte mit innovativer Regelung der Mischverhältnissenauigkeit. Revision C 09/04. Maasmechelen, Belgien, 8 Seiten
- [18] GROSS, D. (2009): Kennen Sie Ihre Erzeugungsdaten? DLZ-Agrarmagazin, Jg. 60. ., Nr. 9, S. 103
- [19] HAMM, U. (1991): Landwirtschaftliches Marketing. 1. Aufl. Stuttgart: Ulmer 331 Seiten, ISBN 3-8001-2636-2
- [20] KAHLSTATT, J. (1999): Feld- und Laborversuche zum Auftreten von Silageabwässern aus Flachsiloanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Umweltverträglichkeit. Dissertation. Forschungsbericht Agrartechnik (VDI-MEG), Nr. 346. Freising: Technische Universität München, Institut für Landtechnik, 183 Seiten

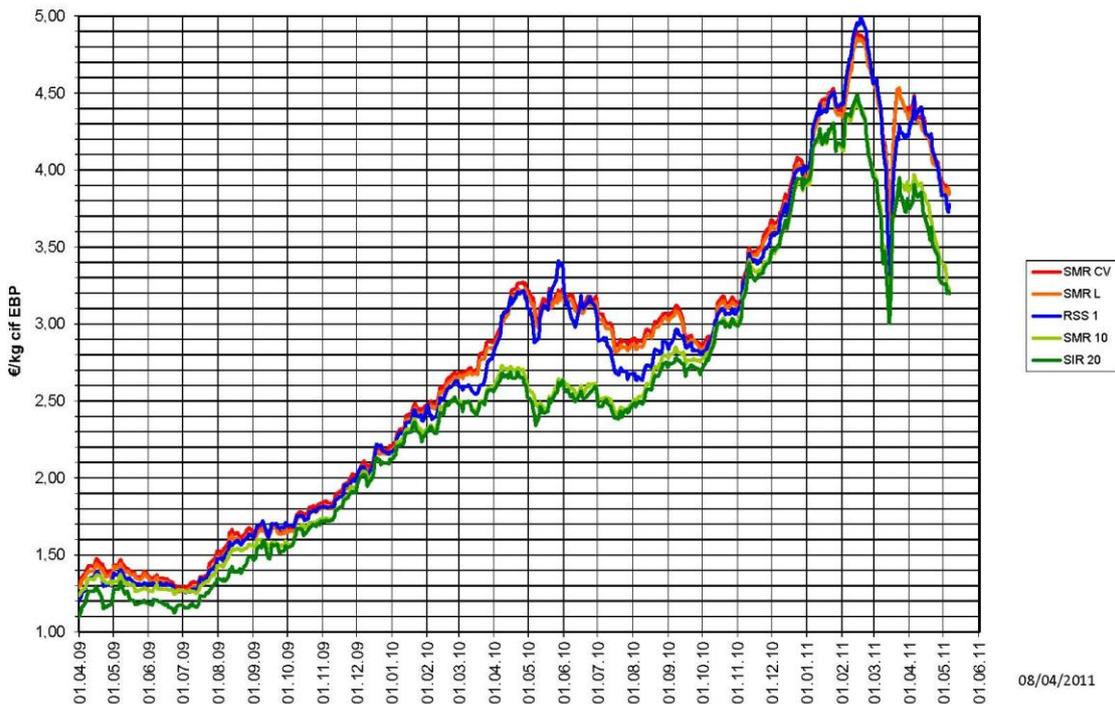
- [21] KÖNIG, H. (2008): Maschinen im Baubetrieb – Grundlagen und Anwendung. 2. Aufl. . Wiesbaden: Vieweg + Teubner 353 Seiten, ISBN: 978-3-8351-0250-7
- [22] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E. V. (KTBL) (2009): Faustzahlen für die Landwirtschaft. Schriftleitung: Helmut Döhler. 14. Aufl. Darmstadt: KTBL, Yara-Verlag 1180 Seiten, ISBN 978-3-939371-91-5
- [23] LAND- UND FORSTWIRTSCHAFTLICHE BERUFGENOSSENSCHAFT, ALTERSKASSE, KRANKENKASSE, PFLEGEKASSE NIEDERBAYERN/OBERPFALZ UND SCHWABEN (2011): Informationen zu den gemeldeten Unfällen im Unfallbereich „Fahrsilo“ während des Jahres 2010 vom 31. Januar 2011. Landshut: Landwirtschaftliche Sozialversicherung, s. p.
- [24] MOSER, F. (2003): Märkte und Vermarkten. Die Landwirtschaft. Band 7, 1. Aufl., München: BLV Verl.-Ges., 384 Seiten, ISBN 3-405-16440-0
- [25] MÜLLER, K.-P. (1995): Praktische Oberflächentechnik, Vorbehandeln, Beschichten, Beschichtungsfehler, Umweltschutz. 4., überarb. Aufl. . Wiesbaden: Vieweg , 548 Seiten, ISBN 3-528-36562-5
- [26] NAUMANN, C.; BASSLER, R.; SEIBOLD, R.; BARTH, C. (1976): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. In: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.): Methodenbuch. Band III. 3. Aufl. .Speyer: VDLUFA-Verlag, 1850 Seiten, ISBN 3-922712-14-2
- [27] NUSSBAUM, H. (2010): Damit Luft und Regen nicht dran kommen. In: Badische Bauern Zeitung, Ausgabe vom 24.04.2010
- [28] NUSSBAUM, H. (2008): Folienlose Abdeckung von NaWaRo-Silagen: Auswirkungen auf die Silagequalität. In: Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE): 62. GfE-Tagung, 1.-3. April, Univ.Göttingen, Geisteswissenschaftliches Zentrum (GWZ). Workshop 6: Verlustarme Konservierung von Wiesenfutter.. Frankfurt am Main: GfE, S. 238-241
- [29] REFA VERBAND FÜR ARBEITSGESTALTUNG, BETRIEBSORGANISATION UND UNTERNEHMENSENTWICKLUNG E. V. (1997): Datenermittlung. Methodenlehre der Betriebsorganisation, 1. Aufl. München: Hanser, 456 Seiten, ISBN 3-446-19059-7
- [30] RÖDER, O.; REMMELE, E.; GASSNER, T. (2007): Entwicklung einer Siloabdeckung aus verfütterbaren Rohstoffen, Abschlussbericht der Projektphase 1. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, 73 Seiten, unveröffentlicht
- [31] SCHUCHMANN, H. P.; SCHUCHMANN, H. (2005): Lebensmittelverfahrenstechnik. Rohstoffe, Prozesse, Produkte. 1. Aufl. Weinheim Wiley-VCH Verlag, 398 Seiten, ISBN 978-3-5273-1230-6
- [32] SPIEKERS, H.; ATTENBERGER, E. (2009): Silagesickersaft und Gewässerschutz – Anfall und Verwertung von Silagesickersaft aus Futtermitteln und Biomasse für Biogasanlagen. (Hrsg.): BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL); BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, Freising-Weißenstephan, Augsburg: LfL, LfU, 25 Seiten
- [33] STROBL BESCHICHTUNGSTECHNIK GMBH (2008): STROBL-Katalog 2008-2009; STROBL-Produkte und Zubehör für Maler und Stuckateure; Putzmeister Mörtelmaschinen. Biberach: Strobl-Putzmeister, 59 Seiten

- [34] THOMET, P.; MENZI, H.; ISSELSTEIN, J. (2008): Effiziente Nutzung von Grünland als Ressource für die Milch- und Fleischproduktion. Referate und Poster der 52. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften vom 28. bis 30. August 2008, Zollikofen, Schweiz. Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Feldfutterbau. Band 9. Bern: AGRIDEA , 345 Seiten, ISBN 978-3-033-01702-3
- [35] XANDER, H. K. (2003): Marketing-Mix-Strategien in umweltfreundlich-differenzierten Märkten. Betriebswirtschaftslehre für Technologie und Innovation, Nr. 43., Wiesbaden: Dt. Univ.-Verlag, 315 Seiten, ISBN 3-8244-7790-4

Anhang

Anhang 1: Preiskurve von Naturkautschuk bzw. -latex von Januar 2009 bis April 2011
 Die jeweilige aktuelle Preiskurve befindet sich unter www.weberschaer.com

Price Development Chart for Natural Rubber



08/04/2011

Anhang 2: Gemittelte pH-Werte nach 3 Tagen im Vorversuch

Variante	MW pH-Wert	SD
Glasdeckel (Standard)	4,79	0,05
normale Füllhöhe, Schaumdeckel dick	4,79	0,04
normale Füllhöhe, Schaumdeckel dünn	4,81	0,04
hohe Füllhöhe, Schaumdeckel dick	4,79	0,012
Siloschaum gegossen mit Klemmring	4,79	0,03
Siloschaum gegossen ohne Klemmring	4,85	0,04
unabgedeckt	6,11	0,08
Mittelwert aller abgedeckten Varianten	4,80	

n = 3 pro Variante, insgesamt 21 Gläser

Anhang 3: pH-Werte der Laborsilogläser am 2. Tag, Mais

Variante	pH-Wert, 2. Tag	Mittelwert	SD
neuartig	4,13		
neuartig	4,15	4,15	0,02
neuartig	4,16		
konventionell	4,21		
konventionell	4,23	4,22	0,01
konventionell	4,23		

Anhang 4: Vorversuch, Laborsiloversuch nach 90 Tagen, Gärparameter in Grassilage

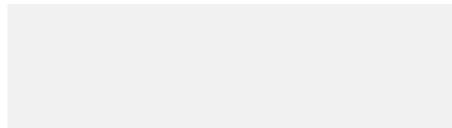
Glas	Standort	TM	pH 90	MS	ES	PS	BS
		%					
70	außen	22,8	5,3	< NWG	0,87	< NWG	0,87
71	außen	21,9	5,8	< NWG	0,59	< NWG	< NWG
72	Klimaraum	41,9	4,5	5,28	0,97	< NWG	< NWG

Anhang 5: Bewertung der Abdeckmasse durch das LGL, Seite 1

Bayerisches Landesamt für
Gesundheit und Lebensmittelsicherheit



Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit
Veterinärstr. 2, 85764 Oberschleißheim



Ihre Nachricht Unser Aktenzeichen Ansprechpartner/E-Mail: Durchwahl und Fax: Datum
30.3.2011

Gesundheitliche Bewertung eines Stoffgemisches hinsichtlich der oralen Aufnahme im Rahmen eines Akzeptanzversuchs

Sehr geehrte Frau [Redacted]

bezüglich Ihrer Anfrage zur gesundheitlichen Bewertung des Einsatzes eines Stoffgemisches, das als Silageabdeckung dienen soll, im Rahmen eines Akzeptanzversuches an Hammeln, nehmen wir wie folgt Stellung:

Das Gemisch, das in einem Akzeptanzversuch zur oralen Aufnahme mehreren Tieren (hier: Hammeln, Durchschnittsgewicht 100 kg) vorgelegt werden soll, setzt sich nach Ihren Angaben aus folgenden Komponenten zusammen:

Natriumphosphat	0.32%
Silikagel	0.73%
Natriumalginat	0.73%
Calciumsulfat	0.97%
Kieselgur	5.32%
Kreide	5.32%
Rapsöl	32.64%
Zinkoxid	0.81%
Naturlatex-Lsg. (60%)	20.64%
Struktol	0.08%
Wasser	32.25%
KOH-Lösung (20%)	0.19%

Das Gemisch soll dabei in Dosen zwischen 0,42 und 5 g pro kg Körpergewicht und Tag mit einem Grundfuttermittel (hier: Maissilage) verabreicht werden.

Bis auf die Komponente Naturlatex-Lösung sind alle Stoffe entweder gemäß Richtlinie 70/524/EWG und VO (EG) Nr. 1831/2003 als Futterzusatzstoffe oder gemäß

Dienstort: LGL Eggenreuther Weg 43 91058 Erlangen	Diese Dienststelle schreibt Ihnen: LGL, Dienststelle Oberschleißheim Veterinärstr. 2 85764 Oberschleißheim	E-Mail und Internet poststelle@lgl.bayern.de www.lgl.bayern.de	Seite 1 von 2 Bankverbindung Bayerische Landesbank Kto. 1279280 BLZ 700 500 00
Telefon: 09131/764-0 Telefax: 09131/764-102	Telefon: 089/31560-0 Telefax: 089/31560-425	Anfahrtskizze im Internet Bahn: S1 Oberschleißheim Bus: 282 Sonnenstraße Haltestelle: Veterinärstr.	

Anhang 6: Bewertung der Abdeckmasse durch das LGL, Seite 2

Positivliste für Einzelfuttermittel der Normenkommission als Einzelfuttermittel einzustufen. Die Stoffe, die als Futtermittelzusatzstoffe zugelassen sind, sind zwar nicht alle auch für Wiederkäuer zugelassen. Aufgrund der Einstufung der EFSA bei der Zulassung ist aber davon auszugehen, dass von diesen Stoffen kein gesundheitliches Risiko für Wiederkäuer ausgeht.

Für Naturlatex ist aufgrund der vorliegenden Daten kein gesundheitliches Risiko für Wiederkäuer bei oraler Aufnahme der angegebenen Mengen im Rahmen eines Akzeptanzversuchs unter kontrollierten Bedingungen zu erwarten.

Somit ist der Einsatz des fraglichen Stoffgemisches in den angegebenen Dosierungen in einem Akzeptanzversuch mit Hammeln unter den angegebenen Bedingungen aus unserer Sicht möglich.

Begründung:

Naturlatex (Natur-Kautschuk) wird hauptsächlich aus dem weißen Milchsaft (Latex) bestimmter in tropischen Gegenden wachsender Pflanzenarten gewonnen. Er besteht im Wesentlichen aus Polyisopren.

Für Naturlatex wird bei der Toxizität eine orale LD50 von > 3.200 mg/kg KG (Ratte) angegeben, das bedeutet höhere Dosierungen wurden aufgrund der geringen Toxizität nicht mehr geprüft. Somit ist dieser Stoff als nicht bis nur sehr geringgradig toxisch einzustufen. Die Dosierungen, die in diesem Akzeptanzversuch eingesetzt werden sollen, liegen mit 50 bis 600 mg Naturlatex/kg KG und Tag (berechnet aus dem Latexanteil des Stoffgemisches) deutlich unterhalb dieser toxikologischen Grenzen.

In der wissenschaftlichen Literatur liegen für Wiederkäuer nur Untersuchungen für die orale Gabe von Latex aus toxisch einzustufende Pflanzen (*Calotropis procera*, Familie Hundsgiftgewächse) vor. Bei den dabei festgestellten Erscheinungen handelte es sich in erster Linie um Veränderungen von laborchemischen Blutparametern (z.B. Leberenzyme), die auf die toxikologischen Eigenschaften der Pflanze und nicht auf die grundsätzliche Verabreichungsform als Latex zurückzuführen sind [1, 2].

Naturlatex gilt als biologisch abbaubar, somit ist davon auszugehen, dass er auch durch die Pansenbakterien einem gewissen Abbauprozess unterliegt bzw. nicht im Pansen abgebaute Bestandteile dann über die Fäces ausgeschieden werden. Aus den oben zitierten Versuchen liegen auch keine Hinweise auf ein gegenteiliges Abbau- oder Ausscheidungsverhalten vor.

Mit freundlichen Grüßen

gez.

[1] el Sheikh HA, Ali BH, Homeida AM, Hassan T, Idris OF, Hapke HJ (1991): The activitie of drug-metabolizing enzymes in goats treated orally with the latex of *Calotropis procera* and the influence of dieldrin pretreatment. *J Comp Pathol.*;104 (3):257-268.

[2] el Badwi, Samia MA, Adam SE, Shigidi MT, Hapke HJ.(1998): Studies on laticiferous plants: toxic effects in goats of *Calotropis procera* latex given by different routes of administration. *Dtsch Tierarztl Wochenschr.*;105(11):425-427
Für rückfragen stehe ich selbstverständlich jederzeit zur Verfügung.

Anhang 7: *Kostenrechnung für die Abdeckung von Silos unterschiedlicher Flächen mit neuartiger Abdeckung nach [8]*

Kostenart/Beschreibung	Modell 100 m ²	Modell 500 m ²	Modell 2500 m ²
	Kosten in €		
Materialkosten gesamt	2.113,92	10.502,01	52.411,55
Rohstoffkosten	2.035,14	10.175,70	50.878,50
Benutzungsgebühr Tanks	10,27	53,35	237,73
Bezugskosten	17,00	17,00	17,00
Zinsen	51,51	255,96	1.278,33
Arbeitszeitkosten gesamt	30,62	63,21	243,47
Rüstzeiten	13,01	13,01	13,01
Arbeitskosten zum Abdecken	6,51	39,10	219,36
Aufräumarbeiten	11,10	11,10	11,10
Maschinenkosten gesamt	118,61	279,47	1.380,00
Applikationsgerät	88,61	249,47	1.350,00
Anfahrt/Transport	30,00	30,00	30,00
Kosten gesamt	2.263,15	10.844,69	54.035,05
Kosten pro Quadratmeter	22,63	21,69	21,61
Gutschrift Energiegehalt der Abdeckung	-5,52	-5,52	-5,52
Kosten pro Quadratmeter	17,11	16,17	16,09

Anhang 8: Kostenrechnung für die Abdeckung von Silos unterschiedlicher Flächen mit herkömmlicher Silofolie nach [8]

Kostenart/Beschreibung	Modell 100 m ²	Modell 500 m ²
	Kosten in €	
Abdeckkosten gesamt	132,65	448,52
Materialkosten Abdecken	94,04	328,23
Arbeitskosten Abdecken	21,00	47,91
Maschinenkosten Abdecken	23,61	72,37
Entfernen der Folie gesamt	32,53	203,92
Arbeitskosten zum Entfernen der Folie	21,78	47,06
Maschinenkosten zum Entfernen der Folie	10,75	156,86
Entsorgungskosten gesamt	30,52	59,45
Entsorgungskosten Silofolie	3,99	20,21
Arbeitskosten für die Entsorgung	16,20	19,20
Maschinenkosten Auto + Anhänger Schlepper + Anhänger (Entsorgung)	10,33	20,04
Kosten für Siloabdeckung	201,70	711,89
Kosten pro Quadratmeter	2,02	1,42

Anhang 9: *Kostenvergleich der Silos unterschiedlicher Flächen mit den Rohstoffkosten von 0,67 €/kg für die neuartige Abdeckmasse nach [8]*

Kostenart/Beschreibung	Modellsilo 100 m ²		Modellsilo 500 m ²		Modellsilo 2500 m ²
	Folie in €/m ²	Neuartige Abdeckung in €/m ²	Folie in €/m ²	Neuartige Abdeckung in €/m ²	Neuartige Abdeckung in €/m ²
Abdecken des Silos	1,39	14,83	0,90	13,89	13,82
Materialkosten*	0,94	13,34	0,66	13,21	13,17
Arbeitszeitkosten	0,21	0,31	0,10	0,13	0,10
Maschinenkosten	0,24	1,19	0,14	0,56	0,55
Entfernen der Folie	0,33	0	0,41	0	0
Arbeitszeitkosten	0,22	0	0,09	0	0
Maschinenkosten	0,11	0	0,31	0	0
Entsorgung	0,31	0	0,12	0	0
Entsorgungskosten	0,04	0	0,04	0	0
Arbeitszeitkosten	0,16	0	0,04	0	0
Maschinenkosten	0,10	0	0,04	0	0
Gutschrift für Energiegehalt der Abdeckung	-0,00	-5,52	-0,00	-5,52	-5,52
Gesamtkosten €/m²	2,02	9,31	1,42	8,37	8,30

Berichte im Rahmen dieser Schriftenreihe

Berichte aus dem TFZ:

1	Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich Projektphase 1: Erhebung der Ölqualität und Umfrage in der Praxis
2	Erprobung der Brennwerttechnik bei häuslichen Holzhackschnitzelheizungen mit Sekundärwärmetauscher
3	Daten und Fakten zur dezentralen Ölgewinnung in Deutschland
4	Untersuchungen zum Feinstaubausstoß von Holzzentralheizungsanlagen kleiner Leistung
5	Qualität von kaltgepresstem Rapsöl als Speiseöl und Festlegung eines Qualitätsstandards
6	Entwicklung einer Prüfmethode zur Bestimmung der Cetanzahl von Rapsölkraftstoff
7	Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Rapsöl als Kraftstoff und dem Motorenöl in pflanzenöлтаuglichen Motoren
8	Wärmegewinnung aus Biomasse – Begleitmaterialien zur Informationsveranstaltung
9	Maize as Energy Crop for Combustion – Agricultural Optimisation of Fuel Supply
10	Staubemissionen aus Holzfeuerungen – Einflussfaktoren und Bestimmungsmethoden
11	Rationelle Scheitholzbereitstellungsverfahren
12	Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich Technologische Untersuchungen und Erarbeitung von Qualitätssicherungsmaßnahmen
13	Getreidekörner als Brennstoff für Kleinfeuerungen – Technische Möglichkeiten und Umwelteffekte –
14	Mutagenität der Partikelemissionen eines mit Rapsöl- und Dieselmotoren betriebenen Traktors
15	Befragung von Betreibern dezentraler Ölsaatenverarbeitungsanlagen
16	Schnellbestimmung des Wassergehaltes im Holzsplit
17	Untersuchungen zum Einsatz rapsölbetriebener Traktoren beim Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Ökologischen Landbau und Tierhaltung Kringell
18	Miscanthus als nachwachsender Rohstoff – Ergebnisse aus bayerischen Forschungsarbeiten
19	Miscanthus: Anbau und Nutzung – Informationen für die Praxis
20	Prüfung der Eignung von Verfahren zur Reduktion ablagerungs- und aschebildender Elemente in Rapsölkraftstoff bei der dezentralen Erzeugung

21	Kleine Biomassefeuerungen – Markt Betrachtungen, Betriebsdaten, Kosten und Wirtschaftlichkeit
22	Partikelemissionen aus Kleinf Feuerungen für Holz und Ansätze für Minderungsmaßnahmen
23	Bewertung kostengünstiger Staubabscheider für Einzelfeuerstätten und Zentralheizungskessel
24	Charakterisierung von Holzbriketts
25	Additivierung von Rapsölkraftstoff – Auswahl der Additive und Überprüfung der Wirksamkeit
26	Status quo der dezentralen Ölgewinnung – bundesweite Befragung
27	Entwicklung einer Siloabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen

