



2021 | KTBL

Ernte- und Silomanagement – Silagequalität verbessern und Verluste verringern

Inhalt

1	Einleitung.....	3
2	Mögliche Verluste erkennen und vermeiden	3
3	Erntezeitpunkt.....	7
4	Siliereignung.....	7
5	Siliermittel.....	8
6	Einlagerung ins Fahrsilo.....	9
7	Siloabdeckung	11
8	Entnahme aus dem Fahrsilo.....	13
9	Weiterführende Literatur	14
10	Schlussbetrachtung	15
	Literatur	15
	Autorinnen	16

1 Einleitung

Biogasanlagen lassen sich ökologisch und ökonomisch nur mit hohen Gaserträgen nachhaltig betreiben. Die Gasausbeute wird dabei nicht nur von der Art der Biogassubstrate bestimmt, sondern auch von deren Qualität. Eine gute Konservierung der Energiepflanzen trägt ihren Teil dazu bei. Dies hat die KTBL-Arbeitsgruppe „Gaserträge in landwirtschaftlichen Biogasanlagen“ bei der Vorstellung ihrer Ergebnisse nochmals betont.

Qualitativ hochwertiges Grundfutter ist ebenfalls eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Milch- oder Fleischproduktion. Neben den Inhaltsstoffen spielt auch der Silierverlauf eine entscheidende Rolle für die anschließende Qualität der zu verfütternden Silage. Mit hochwertigen Silagen wird eine höhere Futtermittelaufnahme erreicht, was von zentraler Bedeutung für die Gesundheit und Leistungsfähigkeit eines Tieres bzw. einer Herde ist.

Susanne Ohl, Mitglied der KTBL-Arbeitsgruppe „Ringversuch Biogas“ und Mitautorin der KTBL-Schrift „Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen“, und Luise Prokop, Mitglied des Bundesarbeitskreises der Fütterungsreferenten der DLG, fassen zusammen, wie sich Energiepflanzen für die Biogaserzeugung und Futterpflanzen für die Wiederkäuerfütterung richtig konservieren lassen und worauf beim Silomanagement zu achten ist.

2 Mögliche Verluste erkennen und vermeiden

Um nachwachsende Rohstoffe und Futterpflanzen ganzjährig für den Einsatz in der Biogasanlage oder für die Wiederkäuerfütterung verfügbar zu haben, werden diese konserviert, üblicherweise siliert. Bei der Silierung wandeln Milchsäurebakterien unter Luftabschluss Pflanzenzucker in organische Säuren um, im Idealfall wird der pH-Wert zügig abgesenkt und dadurch die Aktivität von Schadkeimen unterdrückt. Da es sich um einen biologischen Prozess handelt, bei dem Stoffumsetzungen stattfinden, ist er mit Verlusten an Trockenmasse (TM) bzw. organischer Trockenmasse (oTM) verbunden.

Auf dem Weg vom Feld bis zum Fermenter oder Futtertisch treten an verschiedenen Stellen Verluste auf:

- Bröckel- und Atmungsverluste auf dem Feld, insbesondere bei der Herstellung von Anwelksilagen (z. B. Gras, Luzerne)
- Atmungsverluste bei der Einlagerung ins Silo bis zur Schaffung von anaeroben Bedingungen
- Sickersaft
- unvermeidbare Umsetzungsverluste in Abhängigkeit vom Gärverlauf (Silierverluste)
- vermeidbare Verluste durch Fehlgärungen (z. B. Buttersäurebildung und Proteinabbau durch Clostridien, alkoholische Gärung durch Hefen)
- Atmungsverluste durch Aktivität aerober Mikroorganismen nach der Siloöffnung (z. B. Nacherwärmung durch Hefen, Schimmelbildung)

Nach einer Untersuchung von Köhler et al. (2013) liegt der Orientierungswert für unvermeidbare TM-Verluste bei der Silierung im Fahrsilo bei 8 % – unabhängig von der Futterpflanzenart. Je nach Silomanagement wurden jedoch auch deutlich höhere Verluste festgestellt (26 % bei Gras, 19 % bei Mais und 15 % bei Luzerne). Dabei besteht ein negativer Zusammenhang zwischen der Höhe der Verluste und dem wöchentlichen Vorschub oder der erreichten Verdichtung.

In Tabelle 1 ist für die Biogaserzeugung anhand von drei Szenarien die Maissilierung bei einer Einlagerungsmenge von 1.000 t TM dargestellt. Die beispielhaften Szenarien zeigen, welche Auswirkungen sich durch das Silomanagement auf den Methanertrag einer Biogasanlage ergeben würden. Während für

Szenario 1 davon ausgegangen wird, dass bei sehr gutem Silomanagement für das komplette Silo nur die unvermeidbaren Verluste zum Tragen kommen und die Maissilage eine spezifische Methanproduktion von 355 l_N/kg oTM (N = Normbedingungen: 0 °C und 1.013 mbar) hat (KTBL 2021), werden diese Annahmen bei den anderen Szenarien nur für den Kernbereich des Silos (2/3 der Einlagerungsmenge) getroffen.

Tab. 1: Beispielberechnung zu Höhe und Auswirkung von Verlusten während der Maissilierung für einen Biogasbetrieb¹⁾

	Einheit	Szenario 1	Szenario 2 ²⁾		Szenario 3 ²⁾	
		sehr gut	Silomanagement/Verdichtung		schlecht	
			komplettes Silo (3/3)	Kernbereich (2/3)	Randbereich + oben (1/3)	Kernbereich (2/3)
TM Frischmais eingelagert	t	1.000	667	333	667	333
TM-Verluste	%	8	8	12	8	20
	t	80	93		120	
Fläche „umsonst“ angebaut	ha	4,6	5,3		6,9	
Folgen für den Biogasbetrieb						
TM verbleibend	t	920	613	293	613	267
oTM verbleibend	t	874	583	279	583	253
Spezifische Methanausbeute	m ³ _N /t oTM	355	355	320	355	320
Methan aus Silage	m ³ _N	310.270	296.020		287.913	
Nicht erzeugtes Methan	m³_N	0	20.995		22.357	
	%	0	4,6		7,2	

TM = Trockenmasse; oTM = organische Trockenmasse; FM = Frischmasse; Index „N“ = Normbedingungen

¹⁾ Annahmen: 57 ha Fläche mit 50 t FM/ha und 35 % TM-Gehalt, insgesamt 1.000 t Mais eingelagert.

²⁾ Für Szenario 2 und 3 wird für die typischen Problembereiche eines Silos von höheren TM-Verlusten ausgegangen.

In der Praxis stellen gerade die Randbereiche und das obere Silodrittel Problemzonen in Bezug auf die Verdichtung dar – hier ist häufig aerober Verderb zu beobachten. Insofern wird im Beispiel für ein Drittel des Silos, den weniger gut verdichteten Randbereichen und oberen Silageschichten, von höheren Verlusten ausgegangen. Auch die Qualität der Silage und damit die spezifische Methanproduktion werden durch aeroben Verderb verringert. In Folge höherer Verluste steigt einerseits der Flächenbedarf, andererseits steht weniger Silage zur Verfügung, um in der Biogasanlage Methan zu produzieren. Je nach Höhe der Verluste können im gewählten Beispiel bis zu 22.357 m³_N, also 7,2 %, nicht erzeugt werden (Szenario 3), weil es die entsprechende Maismenge gar nicht bis in den Fermenter geschafft hat. Versäumnisse und Fehler während der Konservierung und Lagerung der pflanzlichen Substrate haben somit einen entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage.

Aber auch in der Wiederkäuerfütterung können Fehler bei der Futterkonservierung und im Silomanagement schwerwiegende und langanhaltende Folgen nach sich ziehen. Fehlgärungen wie z. B. eine Buttersäuregärung und Nacherwärmung führen nicht nur zu TM-Verlusten, sondern immer auch zu Energie-

verlusten (Tab. 2). Zudem geht Nacherwärmung oft mit Schimmelpilzwachstum einher. Schimmelpilze produzieren Giftstoffe, die die Gesundheit und die Fruchtbarkeit der Tiere negativ beeinflussen können. Infolgedessen resultieren aus der Fütterung einer nacherwärmten Silage neben einer verminderten Futtermittelaufnahme und Milchleistung höhere Behandlungs- und Reproduktionskosten in der gesamten Herde.

Tab. 2: Energieverluste durch Nacherwärmung in Mais (Hein 1993, verändert)

Temperaturerhöhung im Futterstock in °C							
5	10	15	20	25	30	35	40
Verluste an Nettoenergie je Tag in %							
0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0

Allerdings widerspricht die Fütterung nacherwärmter – also aerob verdorbener – Silage sowohl den Anforderungen der guten fachlichen Praxis als auch Artikel 10 des Europäischen Übereinkommens zum Schutz von Tieren in landwirtschaftlichen Tierhaltungen, nach dem „... alle Tiere täglich angemessenen Zugang zu geeignetem, nahrhaftem, hygienisch einwandfreiem und vollwertigem Futter (...) haben müssen“ (BML 2000).

Nichtdestotrotz ist es auf vielen landwirtschaftlichen Betrieben gängige Praxis, erwärmte Silage, die visuell keinen Schimmelbefall aufweist, zu verfüttern. In Tabelle 3 sind analog zum obigen Beispiel die Folgen einer solchen Vorgehensweise für einen Milchviehbetrieb dargestellt. Auch hier werden wieder die drei Szenarien mit höheren Verlusten in den weniger gut verdichteten Randbereichen und oberen Silageschichten in Szenario 2 und 3 verglichen. Einerseits steht eine geringere Menge Silage für die Fütterung zur Verfügung, andererseits weist die verbliebene Silage eine geringere Energiedichte als unter idealen Bedingungen (Szenario 1) auf. So stehen im Vergleich 210.347 MJ NEL bzw. 435.200 MJ NEL weniger zur Verfügung, die definitiv nicht zur Milchproduktion genutzt werden können (NEL = Nettoenergie Laktation). Davon ausgehend, dass eine Milchkuh – ohne den Anteil für den Erhaltungsbedarf – 3,3 MJ NEL für die Produktion von 1 Kilogramm Energie korrigierter Milch (ECM) benötigt (Kirchgeßner et al. 2014), hätte dies zur Folge, dass 63.741 kg ECM bzw. 131.879 kg ECM nicht erzeugt werden könnten. Entsprechend des aktuellen Milchpreises müsste ein Betrieb die finanziellen Einbußen in Kauf nehmen oder aber das Energiedefizit durch vermehrten Kraftfuttereinsatz, im gewählten Beispiel durch den Zukauf von Körnermais, ausgleichen. Insofern lässt sich auch auf tierhaltenden Betrieben die Wirtschaftlichkeit durch Verbesserungen des Ernte- und Silomanagements positiv beeinflussen.

Tab. 3: Beispielberechnung zu Höhe und Auswirkung von Verlusten während der Maissilierung für einen Milchviehbetrieb¹⁾

	Einheit	Szenario 1	Szenario 2 ²⁾		Szenario 3 ²⁾	
		sehr gut	Silomanagement/Verdichtung			
			mittel		schlecht	
			Silobereiche			
komplettes Silo (3/3)	Kernbereich (2/3)	Randbereich + oben (1/3)	Kernbereich (2/3)	Randbereich + oben (1/3)		
TM Frischmais eingelagert	t	1000	667	333	667	333
TM-Verluste	%	8	8	12	8	20
	t	80	93		120	
Fläche „umsonst“ angebaut	ha	4,6	5,3		6,9	
Folgen für den Milchviehbetrieb						
TM übrig als Futter	t	920	613	293	613	267
Zusätzlicher Verlust an NEL durch Nacherwärmung ³⁾	%	-	-	6	-	9
NEL der Silage	MJ/kg TM	6,8	6,8	6,4	6,8	6,2
NEL im Silo	MJ	6.256.000	6.045.653		5.820.800	
Verlust NEL durch Nacherwärmung	MJ	0	210.347		435.200	
	%	0	3,4		7,0	
Nicht erzeugte Milch ⁴⁾	kg ECM	0	63.741		131.879	
Verlust durch nicht erzeugte Milch ⁵⁾	€	0	21.991		45.498	
Alternativ Zukauf Körnermais zum Ausgleich der Verluste						
Zukauf Körnermais ⁶⁾	t	28,5			59,0	
Kosten Zukauf Körnermais⁷⁾	€	7.582			15.686	

TM = Trockenmasse; oTM = organische Trockenmasse; NEL = Nettoenergie Laktation; ECM = Energie korrigierte Milch (4 % Fett, 3,4 % Protein); FM = Frischmasse

¹⁾ Annahmen: 57 ha Fläche mit 50 t FM/ha und 35 % TM-Gehalt, insgesamt 1.000 t Mais eingelagert.

²⁾ Für Szenario 2 und 3 wird für die typischen Problembereiche eines Silos von höheren TM-Verlusten ausgegangen.

³⁾ Annahmen: Nacherwärmung 6 Tage 10 °C bzw. 15 °C entspricht 6 % bzw. 9 % Verlust an NEL (Hein 1993).

⁴⁾ Energiebedarf der Milchkuh beträgt 3,3 MJ NEL/kg ECM (Kirchgeßner et al. 2014).

⁵⁾ Annahme: Milchpreis 0,345 €/kg ECM (Lehrke 2021).

⁶⁾ Körnermais 7,38 MJ NEL/kg Frischmasse bei 88 % TM (Lfl 2020).

⁷⁾ Annahme: Kosten für Körnermais geschrotet 266 €/t FM (Preisabfrage Landhandel Schleswig-Holstein Juli 2021).

Um qualitativ hochwertige Silagen herzustellen und die Verluste zu minimieren, sind die Regeln der guten fachlichen Praxis einzuhalten. Verglichen mit üblichen Futterbaubetrieben sind Siloanlagen auf Biogasbetrieben häufig deutlich größer dimensioniert (Abb. 1). Die Größe der Anschnittsfläche hängt von der Silobreite und der Füllhöhe ab. Es ist ratsam, diese so zu bemessen, dass sowohl im Sommer als auch im Winter ein wöchentlicher Vorschub von 2,5 m gewährleistet ist.



Abb. 1: Das Verhältnis von Silobreite zu Füllhöhe sowie der tägliche Futterbedarf entscheiden über den wöchentlichen Vorschub (© L. Prokop (links), S. Ohl (rechts))

3 Erntezeitpunkt

Die Wahl des richtigen Erntezeitpunktes ist häufig ein Kompromiss aus Zusammensetzung der Inhaltsstoffe und TM-Ertrag sowie Witterung oder Befahrbarkeit des Standortes. Allerdings steigt mit dem physiologischen Alter der Pflanzen neben dem TM-Gehalt auch der Rohfasergehalt und der Lignifizierungsgrad nimmt zu. Grundsätzlich führen höhere Rohfaser- und TM-Gehalte zu einer Verschlechterung der Verdichtbarkeit von Silagen. Hier kann mit einer Verringerung der Häcksellängen reagiert werden, da sich kleinere Partikel besser verdichten lassen. Moderne Feldhäcksler sind bereits häufig mit der NIRS-Technik ausgestattet, so dass variierende TM-Gehalte direkt erfasst werden und somit spezifische Anpassungen der Häcksellänge möglich sind. Bei feuchtem Erntegut (< 30 % TM) tritt Sickersaft aus dem Silo aus, bei hohen Stapelhöhen auch noch bis etwa 35 % TM. Die Einspeisung des anfallenden Sickersaftes in die Biogasanlage ist sinnvoll, um das Gasbildungspotenzial der darin gelösten Inhaltsstoffe auszunutzen, während dieser auf rein tierhaltenden Betrieben nicht genutzt werden kann.

4 Siliereignung

Futterpflanzen unterscheiden sich in ihrer Siliereignung. Während Mais aufgrund der hohen Anteile an leicht vergärbaren Kohlenhydraten als leicht silierbar gilt, sind Grasbestände je nach Artzusammensetzung und Anwelkgrad als schwer, mittelschwer oder leicht silierbar einzustufen; Klee und Luzerne sind schwer silierbar.

Die Siliereignung wird maßgeblich vom Zuckergehalt und der Pufferkapazität beeinflusst. Proteine, mineralische Bestandteile und Schmutzeintrag sind puffernde Substanzen, die einer zügigen Ansäuerung entgegenstehen. Vor diesem Hintergrund sind bei Anwelksilagen Feldliegezeiten unter 24 Stunden anzustreben, da sowohl pflanzliche Zellen als auch epiphytische – also auf Pflanzen wachsende – Mikroorganismen Atmung betreiben und den meist ohnehin schon gering verfügbaren Pflanzenzucker verbrauchen.

Über die Wahl der Schnitthöhe lässt sich der Schmutzeintrag minimieren (Ackergras 7 cm, Dauergrünland 5 cm, Hochschnitt bei Mais). Der Schmutzeintrag ins Erntegut birgt noch ein zusätzliches Risiko: Durch darin enthaltene Schadkeime steigt die Gefahr von Fehlgärungen, die mit erheblichen Verlusten verbunden sind (Tab. 4). So vergären beispielsweise Clostridien Pflanzenzucker oder alternativ auch Milchsäure zu Buttersäure, darüber hinaus werden Proteine abgebaut. Dies führt zu anaerob instabilen Silagen.

Tab. 4: Berechnete TM-Verluste ausgewählter Gärungstypen ergänzt nach McDonald (1981), Rooke und Hatfield (2003)

Organismen	Ausgangsstoff (Anzahl Moleküle)	Fermentationsprodukte (Anzahl Moleküle)	TM-Verlust %
Milchsäurebakterien _{ho}	1 Glukose	2 Milchsäure	0
Milchsäurebakterien _{he}	1 Glukose	1 Milchsäure, 1 Ethanol, 1 Kohlendioxid	24
	3 Fruktose	1 Milchsäure, 1 Essigsäure, 2 Mannitol, 1 Kohlendioxid	5
Enterobakterien	2 Glukose	2 Milchsäure, 1 Essigsäure, 1 Ethanol, 2 Kohlendioxid	17
Clostridien	1 Glukose	1 Buttersäure, 2 Kohlendioxid, 2 Wasserstoff	-
	2 Milchsäure	1 Buttersäure, 1 Kohlendioxid, 2 Wasserstoff	51
Hefen	1 Glukose	2 Ethanol, 2 Kohlendioxid	49

- = keine Angabe; ho = homofermentativ; he = heterofermentativ

Beispiele für Silagen mit erhöhter Gefahr für Buttersäuregärung sind Grassilagen, die entweder aufgrund von kalter Witterung vor dem Schnitttermin keinen ausreichenden natürlichen Besatz an Milchsäurebakterien aufweisen oder unter schlechten Anwelkbedingungen (typische Herbstsilagen) erzeugt werden. Untersuchungen im Rahmen der „Reifeprüfung Grünland“ an fünf verschiedenen Standorten in Schleswig-Holstein zeigten kurz vor dem ersten Schnitt 2021 einen sehr geringen epiphytischen Besatz mit Milchsäurebakterien von durchschnittlich 8.250 koloniebildenden Einheiten (KBE)/g Frischmasse (350 bis 20.000 KBE/g FM). Für diese niedrige Besatzdichte waren wahrscheinlich die langanhaltenden niedrigen Temperaturen verantwortlich. Für eine schnelle pH-Wert-Absenkung, wodurch die Aktivität von Clostridien und anderen Schadkeimen gehemmt wird, sind jedoch mindestens 100.000 KBE/g FM silieraugliche Milchsäurebakterien erforderlich.

Buttersäuregehalte von über 3 g/kg TM führen bei Wiederkäuern zu einer Reduktion der Futteraufnahme in Höhe von 0,4 kg TM pro Gramm Buttersäure in der TM, das wären dann 1,2 kg TM, die nicht aufgenommen werden und somit nicht für den Leistungsbedarf zur Verfügung stehen.

Um Fehlgärungen zu vermeiden und eine gute Gärqualität zu sichern, bietet sich der Einsatz von gezielt ausgewählten Siliermitteln an. Ein Verzicht auf Siliermittel heißt, sich bewusst dafür zu entscheiden, das Ergebnis der Silierung dem Zufall zu überlassen.

5 Siliermittel

Siliermittel werden eingesetzt, um die Gärqualität der Silagen zu sichern und Nacherwärmung zu vermeiden. Darüber hinaus können Siliermittel die Verdaulichkeit der Silage und damit die daraus erzielbare Leistung positiv beeinflussen. Für den erfolgreichen Einsatz ist die richtige Auswahl, Dosierung und homogene Verteilung im Futterstrom wichtig. Außerdem ist die Einhaltung einer Mindestlagerdauer der behandelten und geschlossenen Silage unabdingbar, damit die zugesetzten Präparate ihre Wirkung entfalten können.

Für beide Zielrichtungen – Sicherung der Gärqualität und Verbesserung der aeroben Haltbarkeit – können sowohl biologische Siliermittel in Form von Milchsäurebakterien als auch chemische Zusätze wie Siliersalze oder Siliersäuren eingesetzt werden. Die Zusammensetzung der Mittel ist je nach Wirkungsrichtung unterschiedlich.

Bei den Milchsäurebakterien wird in homo- und heterofermentative Milchsäurebakterien unterschieden (Tab. 4). Bei der homofermentativen Milchsäuregärung werden pflanzliche Zucker ausschließlich in Milchsäure umgesetzt, der pH-Wert wird zügig abgesenkt und Gärschädlinge gehemmt. Dadurch sind die Gärver-

luste gering. Diese Präparate werden hauptsächlich zur Vermeidung von Fehlgärungen eingesetzt, haben aber gelegentlich den Nachteil, dass das Risiko für aerobe Instabilität steigt.

Bei der heterofermentativen Milchsäuregärung treten neben der Milchsäure als weitere Produkte u. a. Essigsäure, Ethanol und 1,2-Propandiol auf. Die Essigsäure wirkt bei ausreichend niedrigem pH-Wert hemmend auf Hefen.

Biologische Siliermittelmischungen bestehen sowohl aus homo- als auch aus heterofermentativen Milchsäurebakterien. Unter Kombinationsprodukten sind Mischungen aus Milchsäurebakterien und chemischen Wirkstoffen zu verstehen.

Grundlage für die Auswahl des richtigen Siliermittels ist die Kenntnis um die Vergärbarkeit der Grünfütterpflanzen und zum benötigten Wirkungseffekt. Auf dem Markt ist eine Vielzahl von Siliermitteln verfügbar. Siliermittel, die das DLG-Gütezeichen tragen, wurden unabhängig nach genau festgelegten Richtlinien geprüft (DLG Testservice GmbH 2020), und haben ihre Wirksamkeit in mehreren Versuchen gezeigt. Je nach Wirkungsweise wird unterschieden in:

- Wirkungsrichtung 1: Verbesserung des Gärverlaufs
 - 1a: schwer vergärbare Futterpflanzen
 - 1b: mittelschwer bis leicht vergärbare Futterpflanzen im unteren TM-Bereich
 - 1c: mittelschwer bis leicht vergärbare Futterpflanzen im oberen TM-Bereich
- Wirkungsrichtung 2: Verbesserung der aeroben Stabilität
- Wirkungsrichtung 3: Reduzierung des Gärtaftanfalles (derzeit keine Mittel verfügbar)
- Wirkungsrichtung 4: Indirekte Verbesserung von Futterwert und damit auch der Leistung
 - 4a: Verbesserung des Futteraufnahmewertes
 - 4b: Verbesserung der Verdaulichkeit
 - 4c_{Mast/Milch}: Verbesserung des Fleisch- bzw. Milcherzeugungswertes
- Wirkungsrichtung 5: Zusätzliche Wirkungen
 - 5a: Verhinderung der Vermehrung von Clostridien-Endosporen
- Wirkungsrichtung 6: Verbesserung des Methanerzeugungswertes von Silagen
 - 6a: Reduzierung von Gärverlusten
 - 6b: Vermeidung von Nacherwärmung (derzeit verfügbare Mittel ohne Zulassung für die Tierernährung)

Um die Auswahl des geeigneten Siliermittels zu erleichtern, steht eine Entscheidungshilfe der DLG zur Verfügung (<https://siliermittel.dlg.org>, Zugriff am 06.10.2021).

6 Einlagerung ins Fahrsilo

Das Ziel bei der Einlagerung im Fahrsilo ist es, in allen Silobereichen eine hohe Verdichtung, also ein möglichst geringes Porenvolumen zwischen den Partikeln, zu erreichen. Einerseits sinkt dadurch der Restsauerstoff im Silostock und aerobe Prozesse kommen schneller zum Erliegen, andererseits wird die Eindringtiefe des Sauerstoffs nach der Siloöffnung verringert, was zu einer Erhöhung der aeroben Stabilität der Silage führt. Neben der Bauart des Silos – ohne Wände, gerade Wände, Traunsteiner Silo – und den Eigenschaften des zu silierenden Materials – Art, Faser-, TM-Gehalt, Häcksellänge – wird die Verdichtung maßgeblich von der Arbeit des Walzschleppers beeinflusst (Abb. 2). Hier gelten folgende Empfehlungen (DLG 2012):

- Schichtdicke maximal 20 cm
- Bergeleistung auf Walzleistung abstimmen, maximal 15–20 t TM/h und Walzfahrzeug



Abb. 2: Ein nach zwei Seiten hin offenes Fahrsilo ermöglicht ein Überfahren der Transportfahrzeuge und damit ein Abladen über die gesamte Silolänge.

Links: Während ein Schlepper mit Verteilerwalze für gleichmäßig dünne Schichten sorgt, übernimmt ein zweiter Schlepper die eigentliche Walzarbeit. Rechts: Da das Silo im Verhältnis zum Volumen des Lade-wagens zu kurz ist, führt ein Abladen des gesamten Inhalts während nur einer Überfahrt zu mächtigeren Schichten. Eine zweite Überfahrt zum Abladen wäre hier zielführender. (© S. Ohl)

- Walzgewicht = 1/3 der Bergeleistung (t FM/h)
- Reifendruck 2,0–3,5 bar
- mindestens 3 Überfahrten je Schicht
- optimale Walzgeschwindigkeit 2,5 km/h
- 0,5 h nachwalzen

Zu langes Nachwalzen führt möglicherweise zu einem Austritt von bereits gebildetem Kohlendioxid aus dem Silostock.

Die verschiedenen in der Praxis eingesetzten Verteil- und Verdichtungsfahrzeuge eignen sich für die einzelnen Arbeitsschritte unterschiedlich gut. Eine ausführliche Beschreibung der Unterschiede, Vor- und Nachteile sind der KTBL-Schrift 498 (KTBL 2013) und eine Bewertung der Tabelle 5 zu entnehmen.

Tab. 5: Bewertungsmatrix für Verteil- und Verdichtungsmaschinen (KTBL 2013)

Kriterien	Radlader	Standardtraktor, Systemtraktor, Knicklenker	Traktor mit Bandlaufwerk	Pistenraupe	Vibrationswalze
Verteilen	++	++	++	+++	---
Verdichten	++	++	++	++	+++
Steigfähigkeit	+	+	++	+++	-(+) ¹⁾
Kippstabilität	+	+	++	+++	-(+) ¹⁾
Straßentransport	++	++	+	--	--
Mechan. Belastung von Silowänden	0	0	0	0	-(+) ¹⁾
Kosten	++	++	0	+	++

Erfüllung der Kriterien: +++ sehr gut, ++ gut, + befriedigend, 0 ausreichend, - mangelhaft, -- schlecht, --- sehr schlecht

¹⁾ Bei Ausrüstung mit Doppelbereifung, modifizierter Antriebsregelung und Noppenbandage.

Um zügig anaerobe Bedingungen zu schaffen, ist es erforderlich, das Silo sofort nach Fertigstellung bzw. bei Befüllpausen gasdicht abzudecken. Eine verzögerte Abdeckung ermöglicht die Vermehrung aerober Mikroorganismen u. a. von Hefen. Da Hefen unter anaeroben Verhältnissen auf alkoholische Gärung umschalten und auch tiefe pH-Werte tolerieren, kann ein hoher Hefebesatz während der Silierung zur Bildung von Alkoholen, Estern und anderen flüchtigen organischen Verbindungen führen und damit erhöhte TM- und Energieverluste nach sich ziehen. In Untersuchungen an Maissilagen von Weiß et al. (2019) wurde in Laborversuchen ein Zusammenhang von verzögerter Abdeckung und erhöhten Konzentrationen von Alkoholen und Estern nachgewiesen. In Untersuchungen der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein wurden erhöhte Gehalte an Estern in den Silageschichten eines Maissilos beobachtet, die während einer nächtlichen Befüllpause ohne Abdeckung der Luft ausgesetzt waren (Weiß et al. 2021). Die Auswirkungen von Estern und weiteren flüchtigen organischen Verbindungen in der Tierernährung, z. B. Rückgang der Futteraufnahme, Tiergesundheit, sind noch nicht vollständig wissenschaftlich geklärt.

7 Siloabdeckung

Für die Siloabdeckung bei Fahrsiloanlagen hat sich eine Kombination aus Unterziehfolie (Saugfolie) und Silofolie bewährt. Wandfolien erhöhen die Dichtigkeit der Abdeckung. Silofolien der neuen Generation weisen eine höhere Anzahl an Lagen auf, sodass bei ihrer Verwendung gegebenenfalls auf die Unterziehfolie verzichtet werden kann. Für die Wahl der Folie sind die Qualitätseigenschaften entscheidend, besonders wichtig sind u. a. die Eigenschaften UV-Beständigkeit, Durchstoßfestigkeit, Reißfestigkeit und Dehnung sowie eine geringe Sauerstoffdurchlässigkeit. Folien, die das DLG-Qualitätssiegel tragen, werden kontinuierlich geprüft.

Intakte Vogelschutznetze sorgen für einen zusätzlichen Schutz. Löcher im Schutzgewebe werden von Vögeln schnell lokalisiert, die diese Schwachstellen nutzen, durch die Folie picken und durch den Sauerstoffeintritt aeroben Verderb auslösen. Dementsprechend sind Silofolien regelmäßig zu kontrollieren und bei Bedarf zu reparieren.

Als Beschwerungsmaterial eignen sich am besten mit Rollkies gefüllte Rieselsäcke (Körnung 4 bis 8 mm, maximal zu 2/3 befüllt), die sowohl in den Randbereichen als auch etwa alle 5 m quer in Doppelreihen dachziegelartig versetzt positioniert werden (Abb. 3). Weit verbreitet ist zudem die Beschwerung der Silooberfläche mit Vollreifen oder Reifenscheiben, die möglichst dicht gelegt werden und keinesfalls die Kiessäcke an den Randbereichen ersetzen können.

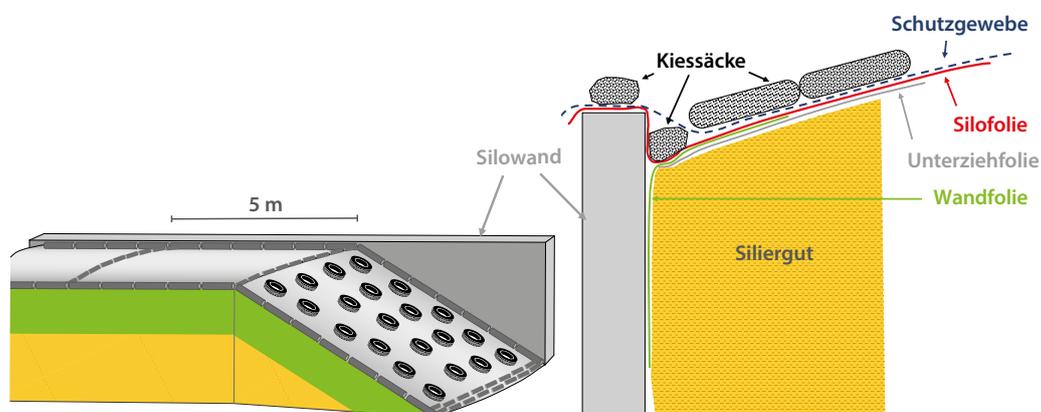


Abb. 3: Aufbau einer Siloabdeckung am Flachsilo (© KTBL; Quelle: C. Maack, verändert)



Abb. 4: Maissilo mit einem erheblichen Schaden durch aeroben Verderb, verursacht durch Weglassen der Unterziehfolie, zu geringe Überlappung der Silofolie an den Nahtstellen und mangelnde Beschwerung (© S. Ohl)

Bei größeren Fahrsiloplanlagen oder freien Silos, die quer abgedeckt werden, ist an „Nahtstellen“ auf eine ausreichende Überlappung der Folien und Beschwerung zu achten, damit die Gasdichtigkeit über die gesamte Lagerdauer gewährleistet ist (Abb. 4). Für eine größere Sicherheit können die Folien im Überlappungsbereich mit Sprühkleber aneinander fixiert werden.

Darüber hinaus bieten verschiedene Hersteller Abdeck- und Beschwerungssysteme an, die insofern eine Arbeitserleichterung darstellen können, indem teilweise oder ganz auf Kiessäcke oder Reifen verzichtet werden kann (Abb. 5).



Abb. 5: Beim Abdecksystem Agritec Silage Safe (HUESKER) werden die Silowände vor der Befüllung mit 2,5 m breiten Gewebebahnen ausgestattet (links), die nach Siloschluss miteinander verzurrt werden und die Folie so auf die Silageoberfläche drücken. Nach dem „Setzen“ des Silos ist ein Nachspannen der Gurte erforderlich, um den Druck auf die Folie aufrechtzuerhalten (rechts). (© S. Ohl)

Nachdem der Restsauerstoff im Silostapel verbraucht ist, setzen die Gärprozesse ein. Dabei wird Kohlendioxid gebildet, häufig ist dabei die Ausbildung einer Gashaube zu beobachten, die ein Zeichen für eine gelungene, gasdichte Abdeckung ist (Abb. 6). Vom Ablassen der Gase ist unbedingt abzuraten, da auch die gesundheitsschädlichen nitrosen Gase (Stickstoffdioxid und -monoxid) enthalten sein können. Bei Hautkontakt oder beim Einatmen können diese bei Mensch und Tier schwere Verätzungen verursachen. Darauf hat auch der Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen in seinem „Öko-Fax“ vom Mai 2021 nochmals ausdrücklich hingewiesen (Sprenger 2021).



Abb. 6: Die Ausbildung einer Gashaube ist ein Zeichen für eine gelungene gasdichte Abdeckung, ein Ablassen der Gase muss unterbleiben. Nach dem Absinken der Gashaube sollte die Siloabdeckung kontrolliert und die Folie bei Bedarf nachgespannt werden. (© S. Ohl)

Nitrose Gase entstehen durch die Aktivität von Enterobakterien während der ersten Tage der Silierung, die das im Erntegut enthaltene Nitrat abbauen. Sie sind rotbraun-orange gefärbt, von stechendem Geruch und schwerer als Luft. Für den Silierprozess hat ihr Auftreten den positiven Nebeneffekt der Clostridien hemmenden Wirkung. Im Laufe der Silierung werden die Stickoxide weiter zu unschädlichen Stickstoffverbindungen abgebaut.

Nach dem Absinken der Gashaube sollte die Abdeckfolie, falls erforderlich, nachgespannt und das Beschwerungsmaterial neu positioniert werden.

Die Siloreifezeit beträgt 6 bis 8 Wochen. Wurden Siliermittel auf Basis heterofermentativer Milchsäurebakterien eingesetzt, ist das Silo mindestens 8 Wochen geschlossen zu halten. Wenn aufgrund von Substrat- bzw. Futterknappheit eine frühere Öffnung erforderlich ist, können schnellwirkende Siliermittel den Siliererfolg sichern.

8 Entnahme aus dem Fahrsilo

Nach dem Öffnen ist die Silage dem Einfluss des Luftsauerstoffs ausgesetzt, aerobe Mikroorganismen, insbesondere Hefen, werden wieder aktiv. Die Hefeaktivität führt zum Abbau noch vorhandenen Restzuckers. Wenn dieser verbraucht ist, wird Milchsäure abgebaut, wodurch der pH-Wert ansteigt. Dieser aerobe Verderb wird zunächst sichtbar in Form einer messbaren Temperaturerhöhung (Nacherwärmung), außerdem setzt Schimmelpilzwachstum und gegebenenfalls auch Fäulnis ein (Abb. 7).

Zur Vermeidung von Nacherwärmung kommt folgenden Maßnahmen ein großer Stellenwert zu:

- mehrmals je Woche kleinere Bereiche aufdecken
- Barriere aus Kiessäcken zur Fixierung der Folie an der Anschnittsfläche (Abb. 8)
- keine auflockernde Entnahmetechnik
- Einsatz von Siliermitteln der Wirkungsrichtung 2 während der Ernte



Abb. 7: Aerober Verderb am Maissilo im Bereich der Flanken – oben etwa 30 cm dicke Fäulnisschicht mit Pilzwachstum (Fruchtkörperbildung), darunter etwa 20 cm dicke Schimmelschicht. Ursachen: mangelnde Beschwerung, keine Barriere aus Kiessäcken an der Anschnittsfläche zur Fixierung der Folie, Silo zu weit aufgedeckt. (© S. Ohl)



Abb. 8: Die Entnahme der Maissilage erfolgt hier mithilfe der Fräse am Futtermischwagen. Es ist nur ein kleiner Bereich aufgedeckt, die Folie ist mit Kiessäcken über die gesamte Silobreite beschwert. (© S. Ohl)

9 Weiterführende Literatur

Um tiefer in die Thematik der Futter- und Substratkonservierung einzusteigen, ist folgende Literatur empfehlenswert:

- Praxishandbuch „Futter- und Substratkonservierung“ (DLG 2012)
- KTBL-Heft 108 „Grassilage – Spitzenqualität erzeugen“ (KTBL 2015)
- KTBL-Schrift 498 „Logistik rund um die Biomasse“ (KTBL 2013)

10 Schlussbetrachtung

Gerade in den letzten futtermangelnden Jahren ist auf vielen Betrieben erkannt worden, dass das Thema Verluste bei der Silierung und Lagerung nicht länger missachtet werden darf. Schließlich liegt in den Silos die Futterernte eines ganzen Jahres, also der Vorrat, der bis zur nächsten Ernte reichen muss. Fehler im Ernte- und Silomanagement, die dazu führen, dass Mikroorganismen wie unerwünschte Bakterien, Hefen und Schimmelpilze die Anstrengungen im Futterbau in Kohlendioxid „auflösen“, sind vor dem Hintergrund einer möglichst ressourcenschonenden und emissionsarmen Betriebsweise zu vermeiden, zumal es sich auch gravierend auf die Wirtschaftlichkeit auswirkt. Aber auch unter ökologischen Gesichtspunkten sind Ernte- und Silierverluste zu vermeiden, denn Anbau, Ernte und Einlagerung verursachen durch Maschinen-, Diesel- und anderen Betriebsmitteleinsatz nicht unerhebliche Treibhausgasemissionen, denen kein „Gegenwert“ in Form eines Produkts (Milch, Energie) gegenübersteht.

Auf tierhaltenden Betrieben, die parallel auch eine Biogasanlage betreiben, wird häufig das Argument vorgebracht: „Der aerobe Verderb in den Randbereichen ist nicht so schlimm, diese Silage kommt nur in die Biogasanlage“. Gut, dass erkannt wird, dass verdorbene Silage kein Futter für Tiere ist. Aber in der Biogasanlage resultieren daraus deutlich geringere Methanerträge als aus guten Silagen.

Die Beispielberechnungen zu den Auswirkungen von Silier- und Lagerungsverlusten machen deutlich, welches Potenzial möglicherweise ungenutzt bleibt. Maßnahmen, wie ein gezielter Siliermitteleinsatz, Investitionen in bessere Abdeck- oder Entnahmetechniken, die zur Reduzierung von Verlusten führen, sodass am Ende des Jahres mehr Netto vom Brutto übrig bleibt, rechnen sich.

Literatur

- BML (2000): Europäisches Übereinkommen zum Schutz von Tieren in landwirtschaftlichen Tierhaltungen - Empfehlung für das Halten von Rindern. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Tiere/Tierschutz/Gutachten-Leitlinien/eu-haltung-rinder.pdf?__blob=publicationFile&v=2, Zugriff am 06.10.2021
- DLG (2012): Futter- und Substratkonservierung. Praxishandbuch, Frankfurt am Main, DLG-Verlag, 8. Auflage
- DLG Testservice GmbH (2020): DLG-Prüfrichtlinien für die Verleihung und Führung des DLG-Gütezeichens für Siliermittel. https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/tests/guetezeichen/DLG_Pruefrichtlinien_Siliermittel_DE_kurz_2018.pdf, Zugriff am 06.10.2021
- Hein, W. (1993): Qualitätskriterien von Maissilagen insbesondere in Grenzlagen des Silomaisanbaues. BAL-Bericht über die „Österreichweite Silagetagung“ am 13. und 14. Januar 1993. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft Wien (Hg.), Irding, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, S. 71–80
- Kirchgeßner, M.; Stangl, G.; Schwarz, F. J.; Roth, F. X.; Südekum, K.-H.; Eder, K (2014): Tierernährung. Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis. Frankfurt am Main, DLG-Verlag, 14. Auflage
- Köhler, B.; Diepolder, M.; Ostertag, J.; Thurner, S.; Spiekens, H. (2013): Dry matter losses of grass, lucerne and maize silage in bunker silos. *Agricultural and Food Science* (22), pp. 145–150
- KTBL (2021): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Potenziale, Erträge, Einflussfaktoren. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- KTBL (2015): Grassilage - Spitzenqualität erzeugen. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.

- KTBL (2013): Logistik rund um die Biogasanlage. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- Lehrke, H. (2021): Ergebnisse der Vollkostenauswertung der Rinderspezialberatungsringe in Schleswig-Holstein – Auswertungsjahr 2019/20. https://www.lksh.de/fileadmin/PDFs/Landwirtschaft/Tier/Rinder-report_2019-20.pdf, Zugriff am 06.10.2021)
- LfL (2020): Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Schafe, Ziegen. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/gruber_tabelle_fuetterung_milchkuehe_zuchtrinder_schafe_ziegen_lfl-information.pdf, Zugriff am 06.10.2021
- McDonald, P. (1981): The Biochemistry of Silage. Chichester (England), John Wiley & Sons
- Rooke, J. A.; Hatfield R. D. (2003): Biochemistry of Ensiling. Silage Science and Technology, Agronomy Monograph no. 42: pp 95–139
- Sprenger, J. (2021): Gärgashauben niemals anstecken oder das Gas ablassen. <https://lh.hessen.de/unternehmen/technik-energie-und-bauen/verfahrenstechnik-und-energie/gaergashauben-niemals-anstecken-oder-das-gas-ablassen>, Zugriff am 06.10.2021
- Weiß, W.; Rühl, E.; Ohl, S. (2021): Silomaisernte – Einsilierung so schnell wie möglich. mais - Die Fachzeitschrift für Spezialisten, Ausgabe 4/2021 (48. Jg.), Bonn, Hg. Deutsches Maiskomitee e.V. (im Druck)
- Weiß, K.; Kroschewski, B.; Auerbach, H. (2019): Formation of volatile organic compounds during the fermentation of maize as affected by sealing time and silage additive use. Archives of Animal Nutrition, DOI: 10.1080/1745039X.2019.1694357

Autorinnen

Dr. Susanne Ohl, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Blekendorf

Dr. Luise Prokop, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Blekendorf

**Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)**
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt
Telefon: +49 6151 7001-0
E-Mail: ktbl@ktbl.de | www.ktbl.de

Eingetragen im Vereinsregister beim Amtsgericht Darmstadt,
Aktenzeichen 8 VR 1351
Vereinspräsident: Prof. Dr. Eberhard Hartung
Geschäftsführer: Dr. Martin Kunisch
Verantwortlich im Sinne des Presserechts: Dr. Martin Kunisch

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Text das generische Maskulinum verwendet.

© KTBL 2021