

Vor- und Nachteile von biologischen Silostarterkulturen

M. NEUREITER

Einleitung

Silagebereitung wird in der Landwirtschaft als Verfahren zur Futtermittelkonservierung eingesetzt. Vorteile des Silierens gegenüber anderen Verfahren wie z.B. der Heubereitung sind geringerer Arbeitsaufwand, größere Unabhängigkeit von der Witterung, sowie ein geringerer Nährstoffverlust. Siliert werden können Pflanzen bzw. Pflanzenteile mit einem ausreichendem Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten, einer eher niedrigen Pufferkapazität und einem Trockensubstanzgehalt über 20 %. Die Anwendungen sind vielfältig, als Beispiele seien hier Gras, Mais, Leguminosen, Rübenblätter, Rübenschnitzel angeführt.

Infolge der zunehmenden Verwendung von Pflanzenmaterial zur Biogaserzeugung gewinnt auch hier das Silieren als Haltbarmachungsprozess an Bedeutung. Es ist zu erwarten, dass die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen zur Biogaserzeugung - in Abhängigkeit von der künftigen Gesetzeslage, Förderungen, sowie auch vom Erfolg der bereits laufenden Projekte - weiter zunehmen wird. Der Einfluss des Silierprozesses auf die Biogaserzeugung wurde bisher noch nicht eingehend untersucht, obwohl davon auszugehen ist, dass die während des Silierens ablaufenden biochemischen Prozesse Auswirkungen auf die spätere Vergärbarkeit haben können. Siliermittel wurden bisher in erster Linie hinsichtlich der Futterqualität optimiert. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob für die energetische Nutzung von Silage dieselben Prioritäten gelten.

Anforderungen an den Silierprozess

Voraussetzung für einen optimalen Silierprozess sind anaerobe Bedingungen. Unter Abschluss von Sauerstoff setzen sich die natürlich auf den Pflanzen vorkommenden Milchsäurebakterien durch und fermentieren die vorhandenen Zucker zu Milchsäure. Dadurch kommt es

zu einer Absenkung des pH-Wertes (in den Bereich von pH 4 und darunter). Die Abwesenheit von Sauerstoff verhindert das Wachstum aerober Verderbsorganismen (Hefen, Schimmelpilze), während durch die rasche Absenkung des pH-Wertes anaerobe und fakultativ anaerobe Mikroorganismen (Clostridien, Enterobakterien) in ihrem Wachstum gehemmt werden.

Die Qualität einer Silage wird üblicherweise anhand bestimmter Bewertungsschemata evaluiert. Ein Beispiel dafür ist der DLG-Bewertungsschlüssel von WEISSBACH und HONIG (1997). Bewertet werden hierbei nach einem Punktesystem Parameter wie Buttersäuregehalt, Essigsäuregehalt, Gehalt an Ammoniumstickstoff, pH-Wert.

Wie man aus der *Tabelle 1* erkennen kann, sind die Anforderungen für Tierernährung und Biogaserzeugung im wesentlichen ähnlich. Für beide Anwendungen ist daher die Einhaltung der üblichen Qualitätsanforderungen von Vorteil.

Wesentliche Einflussfaktoren auf die Silagequalität sind der richtige Erntezeitpunkt, Erntetechnik, der Trockensubstanzgehalt, eine ausreichende Verdichtung des Siliergutes und ein luftdichter Abschluss.

Siliermittel dienen dazu, die Silagequalität zu verbessern. Man unterscheidet zwischen zuckerhaltigen Produkten (Melasse, etc.) chemischen Produkten (Salze, organische Säuren) und biologischen Mitteln (Milchsäurebakterien, zum Teil in Kombination mit Enzymen).

Tabelle 1: Anforderungen an Silage für Tierernährung und für die Biogaserzeugung

	Tierfutter	Biogas
geringe Gärverluste	x	x
sensorisch einwandfrei	x	(x)
aerobe Stabilität	x	(x)
gesundheitlich unbedenklich	x	
erhöhte Futteraufnahme	x	
Verdaulichkeit	x	
Vergärbarkeit des Materials		x

Bei entsprechendem Ausgangsmaterial und Einhaltung der empfohlenen Maßnahmen können auch ohne Siliermittel ausgezeichnete Silagen erzielt werden. Durch den Einsatz von Siliermitteln kann das Ergebnis verbessert werden. Fehler bei der Ernte oder der Siliertechnik können jedoch üblicherweise nicht wettgemacht werden.

Silagestarterkulturen

Die in Silagestarterkulturen eingesetzten Mikroorganismen sind homo- oder heterofermentative Milchsäurebakterien. Homofermentative Stämme bilden aus den vorhandenen Zuckern ausschließlich Milchsäure (siehe auch *Tabelle 2*) und bewirken so eine rasche pH-Wertabsenkung. Heterofermentative Milchsäurebakterien bilden neben Milchsäure auch Essigsäure und Ethanol, sowie CO₂. Da insbesondere die Essigsäure das aerobe Wachstum von Hefen und Schimmelpilzen unterdrücken kann, sind heterofermentative Stämme nur in Produkten zur Steigerung der aeroben Stabilität enthalten.

Die Produkte werden entweder in flüssiger Form oder fest als Pulver oder Granulat aufgetragen. Die Preise betragen im Schnitt 1 - 2 Euro/t Frischmasse. Zusätzlich fallen noch Investitionskosten für das Dosiergerät (Euro 400 - Euro 1.200) an.

Im Folgenden soll auf mögliche Vorteile von biologischen Siliermitteln für die Biogaserzeugung eingegangen werden.

Gärverluste

Zwischen der Befüllung des Silos und der Entnahme kann ein Verlust an Trockensubstanz auftreten. Die Verluste entstehen in erster Linie durch mikrobiellen Stoffwechsel, wobei einerseits gasförmige Produkte entstehen, die entweichen können, andererseits aber auch Produkte mit niedrigerem Energieinhalt entstehen können. *Tabelle 2* zeigt einen groben Überblick über die Stoffwechselre-

Autor: Markus NEUREITER, Universität für Bodenkultur, IFA-Tulln/Umweltbiotechnologie, Konrad Lorenz Straße 40, A-3430 TULLN

Tabelle 2: Mikrobielle Stoffwechselreaktionen in Silage und Verluste (nach MacDONALD et. al., 1991)

	TS	Verluste Energie
Milchsäurebakterien		
<i>homofermentative</i>		
Glucose (Fructose) + 2 ADP + 2 P _i → 2 Lactat + 2 ATP + 2 H ₂ O	0	0,7
2 Citrat + ADP + P _i → Lactat + 3 Acetat + 3 CO ₂ + ATP	29,7	+1,5
Malat → Lactat + CO ₂	32,8	+1,8
<i>heterofermentative</i>		
Glucose + ADP + P _i → Lactat + Ethanol + CO ₂ + ATP + H ₂ O	24,0	1,7
3 Fructose 2 ADP + 2 P _i → Lactat + Acetat + 2 Mannitol + CO ₂ + 2 ATP + H ₂ O	4,8	1,0
Clostridien		
2 Lactat + ADP + P _i → Butyrat + 2 CO ₂ + 2 H ₂ + ATP + H ₂ O	51,1	18,4
Enterobakterien		
Glucose + 3 ADP + 3 P _i → Acetat + Ethanol + 2 CO ₂ + 2 H ₂ + 3 ATP + 2 H ₂ O	41,1	16,6
Hefen		
Glucose + 2 ADP + P _i → 2 Ethanol + 2 CO ₂ + 2 ATP + 2 H ₂ O	48,9	0,2

aktionen, die in der Silage ablaufen können.

Beim Wachstum von homo- und heterofermentativen Milchsäurebakterien treten zwar Verluste der Trockensubstanz auf, die Energieverluste sind aber minimal (McDONALD et al., 1991). Bedeutende Energieverluste treten jedoch beim Wachstum von Clostridien, Enterobakterien und Hefen auf. Um möglichst viel Energie aus dem Siliergut bereitzustellen, ist daher auch für den Biogasbereich eine einwandfreie Silage, in der Milchsäurebakterien vorherrschen, von Vorteil.

Verhinderung der aeroben Nacherwärmung

Beim Öffnen des Silos kommt das Gut wieder mit Sauerstoff in Berührung und das Wachstum von aeroben Mikroorganismen, vor allem von Hefen und Schimmelpilzen, kann auftreten. Dadurch kommt es zum Verderb der Silage und teilweise zur Bildung von toxischen Metaboliten (Mykotoxine). Durch den aeroben Abbau kommt es allerdings auch zu weiteren Verlusten von Inhaltsstoffen, die von den Mikroorganismen veratmet werden. Als Maßnahme empfiehlt sich einerseits der rasche Verbrauch nach Öffnen des Silos, andererseits sind mittlerweile Produkte auf dem Markt, die den aeroben Verderb hintanhaltend können. Dabei handelt es sich üblicherweise um Starterkulturen, die heterofermentative Milchsäurebakterien enthalten. In Versuchen hat sich gezeigt, dass die von diesen Kulturen gebildete Essigsäure

hauptverantwortlich für die erhöhte Stabilität solcher Silagen ist (DANNER et al., 2003).

Hydrolyse und Säurebildung

Es ist bekannt, dass manche Milchsäurebakterien höhermolekulare Verbindungen wie Polysaccharide abbauen können. Der Abbau von Fruktanen, Hemicellulosen und Stärke in Silage lässt sich unter anderem auf die Stoffwechselaktivitäten von Milchsäurebakterien zurückführen. So geht die Entwicklung im Bereich der Silagestartekulturen zum Teil auch in diese Richtung. Durch die zusätzliche Freisetzung von Mono- und Disacchariden aus Polysacchariden soll auch bei Ausgangsmaterialien mit geringen Konzentrationen an wasserlöslichen Kohlenhydraten eine schnelle Einsetzen der Milchsäurebildung garantiert werden. Neben dem Einsatz von Mikroorganismen, die diese Enzyme selbst bilden können, werden auch Enzyme, wie Cellulasen, Hemicellulasen, Amylasen, in Kombination mit Milchsäurebakterien angeboten. Da vor allem Cellulasen in der Produktion noch eher teuer sind, werden die Enzyme oft in geringen Mengen zugesetzt, wodurch nicht immer eine Wirkung feststellbar ist.

Eine teilweise Hydrolyse des Pflanzmaterials kann für Anwendungen im Biogasbereich durchaus von Interesse sein, weil dadurch schon vor der Befüllung des Biogasreaktors ein größerer Teil des Substrates in Form von niedermolekularen Verbindungen vorliegt und schneller verwertet werden kann.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Ziele von Futterkonservierung und Biogaserzeugung aus Silage sind grundsätzlich sehr ähnlich, da das Ziel bei beiden Anwendungen die bestmögliche Erhaltung des Energieinhaltes ist.

Da beim Silierprozess biochemische Prozesse ablaufen, die die anschließende Vergärbarkeit beeinflussen können, sollte das Silieren nicht nur als Konservierungsmethode sondern auch als Vorbehandlungsschritt gesehen werden. Durch den gezielten Einsatz von Starterkulturen ist nicht nur eine Verringerung der Gärverluste möglich, sondern auch ein enzymatischer Aufschluss des Materials, der zu einer verbesserten Vergärbarkeit führen kann.

Die Entwicklung spezieller Starterkulturen für Anwendungen im Biogasbereich ist derzeit noch eher utopisch, was aber auch daran liegt, dass hinsichtlich der Anforderungen an Silage für den Biogasbereich noch Forschungsbedarf gegeben ist.

Literatur

- DANNER H., M. HOLZER, E. MAYRHUBER und R. BRAUN, 2003: Acetic acid increases stability of silage under aerobic conditions. Applied and Environmental Microbiology 69(1), 562-567
- McDONALD, P., A.R. HENDERSON und S.J.E. HERON, 1991: The Biochemistry of Silage. Second Edition. Chalcombe Publications, Aberystwyth
- WEISSBACH, F. und H. HONIG, 1997: DLG-Schlüssel zur Beurteilung von Grünfuttersilagen auf der Basis der chemischen Untersuchung. Deutsche Landwirtschaftliche Gesellschaft e.V. - am 02. 07. 1997 vom Ausschuss „Futterkonservierung“ beschlossene Fassung.