

Neue Entwicklungen und Strategien im Bereich der Silierzusätze

W. KRAMER

Die Bedeutung der Silagebereitung hat in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen und heute wird in Europa bezogen auf Trockenmasse schon mehr Silage produziert als Heu.

Eine gute Grundfutterqualität bietet die beste Basis für erfolgreich wirtschaftende Betriebe. Entscheidend für das Gelingen einer Qualitätssilage ist neben einem möglichst hochwertigen Pflanzmaterial vor allem ein perfektes Siliermanagement. Sind diese Voraussetzungen gegeben, kann durch die Verwendung eines geeigneten biologischen Siliermittels die Silagequalität verbessert und die Sicherheit des Erfolges insgesamt erhöht werden. Die Qualität eines biologischen Siliermittels hängt letztlich von den Eigenschaften der einzelnen Milchsäurebakterien und deren Kombination im Produkt ab.

Die meisten kommerziell erhältlichen Produkte haben ihren Wirkungsschwerpunkt in der Verbesserung des Gärverlaufes und der tierischen Leistung. Diese Produkte bestehen hauptsächlich aus homofermentativen Milchsäurebakterien und sind für einen breiten Einsatz in der Praxis geeignet. Die Erfahrungen in den letzten Jahren haben aber gezeigt, dass es in der Praxis häufig Situationen gibt, die spezielle Produkte erfordern. Die Verfolgung neuer Strategien und die Entwicklung von Spezialprodukten stellen einen erheblichen Aufwand und eine große Herausforderung für die Hersteller von Siliermitteln dar, da hierbei oft konservative Wege verlassen werden und fest eingeprägte Vorstellungen in einem anderen Licht neu überdacht werden müssen.

Bei allen Überlegungen über mögliche neue Strategien und Entwicklungen ist man auf die natürliche genetische Vielfalt der Mikroorganismen angewiesen. Letztlich endet jede neue Idee mit der Suche nach dem geeigneten Naturstamm, wobei das Wunschdenken, mit

einem Stamm alle Bereiche abzudecken, nicht erfüllbar ist. Eine gezielte gentechnische Veränderung und damit Anpassung der Stämme an verschiedenste Bedingungen ist derzeit im Bereich der Siliermittel aufgrund der breiten Ablehnung in der Bevölkerung und der gesetzlichen Bestimmungen kein Thema. Außerdem können sich veränderte Stämme in einer natürlichen Umgebung kaum in der direkten Konkurrenz mit den Naturstämmen behaupten.

Das ist Grund genug, sich noch einmal Gedanken über die grundlegenden Eigenschaften von Milchsäurebakterien zu machen. Eine der wichtigsten Eigenschaften der Milchsäurebakterien ist ihre Unbeweglichkeit. Eine inhomogene Verteilung läßt sich aus diesen Gründen auch nicht durch eine hohe Impfdosis ausgleichen, deshalb ist eine ausgereifte Dosier-technik Grundvoraussetzung für den Einsatz von biologischen Siliermitteln.

Betrachtet man den Stoffwechsel der Milchsäurebakterien, so kann man drei große Gruppen unterscheiden:

- Obligat homofermentativ (nur Hexosen werden fermentiert)
- Fakultativ heterofermentativ (Hexosen werden homofermentativ, Pentosen heterofermentativ fermentiert)
- Obligat heterofermentativ

Eine exakte Zuordnung einzelner Milchsäurebakterienstämme zu diesen Gruppen ist sehr schwierig, da die Stoffwechselwege von den vorhandenen Nährstoffen abhängen und vielfach noch nicht exakt aufgeklärt sind. Die meisten heute kommerziell erhältlichen Siliermittel werden als homofermentativ bezeichnet enthalten aber Milchsäurebakterien (z.B. *Lactobacillus plantarum*), die in die Gruppe 2 (fakultativ heterofermentativ) fallen.

Bei der Entwicklung von Siliermitteln konzentrierte man sich anfangs hauptsächlich auf Kombinationen von (fakul-

tativ) homofermentativen Milchsäurebakterien, die den Gärverlauf beschleunigen sollten. In den letzten Jahrzehnten wurden mehrfach Anforderungsprofile publiziert, die von Milchsäurebakterien in Siliermitteln erfüllt werden sollten. Als wichtigste Eigenschaften wurden gefordert:

- Schnelles Wachstum und erfolgreiche Konkurrenz mit der natürlichen Mikroflora
- Homofermentative Verwertung der Zucker und rasche Produktion von Milchsäure
- Säuretoleranz
- Verwertung möglichst vieler verschiedener Zucker
- Keine Produktion von Mannitol aus Fructose
- Kein Abbau von organischen Säuren
- Wachstum oder zumindest Überleben bei Temperaturen bis 50° C
- Gutes Wachstum bei sehr trockenen Bedingungen
- Günstige Eigenschaften bei der Herstellung und Stabilität im formulierten Produkt (Granulat oder Pulver)

Neben biologischen Anforderungen sind natürlich auch die technologischen Aspekte für einen erfolgreichen kommerziellen Einsatz von Milchsäurebakterien von Bedeutung, denn die einzelnen Stämme müssen in großen Mengen herstellbar und das fertig formulierte Produkt lagerstabil sein.

Hauptprobleme bei der Silagebereitung - Ansatzpunkte für neue Strategien

Erstes Ziel bei der Silagebereitung ist die möglichst verlustarme Erzeugung eines lagerfähigen Konservates. Im Vordergrund steht dabei eine möglichst rasche Absenkung des pH-Wertes unter Luftabschluß, um unerwünschte Enzymreaktio-

Autor: Dr. Walter KRAMER, Lactosan Starterkulturen GmbH, Industriestraße West 5, A-8605 KAPFENBERG

nen und das Wachstum von Gärerschädlingen zu minimieren. Durch ein gutes Siliermanagement und den Einsatz von homofermentativen Milchsäurebakterien kann diese Grundanforderung heute in den meisten Fällen erfüllt werden. Dennoch gibt es in Abhängigkeit von den jeweiligen Bedingungen immer wieder große Probleme, die hauptsächlich die anaerobe und die aerobe Instabilität von Silagen betreffen.

Aerobe Stabilität

Gerade gut vergorene Qualitätssilagen zeichnen sich durch eine hohe Energiedichte aus und bei sehr zuckerreichem Pflanzenmaterial kann trotz einwandfreier Gärparameter eine relativ hohe Restzuckerkonzentration erhalten bleiben - besonders dann, wenn (oft ungewollt) zu stark angewelkt wird. Kommen dann noch erschwerende Bedingungen wie ein zu geringer Vorschub und mangelnde Verdichtung (besonders bei hoher TS) dazu sind Probleme mit Nacherwärmungen durch starkes Hefewachstum an der Anschnittfläche vorprogrammiert. Dabei hängt das Ausmaß der Nacherwärmung maßgeblich von zwei Faktoren ab

- Wie hoch ist die Konzentration der Hefe in der Silage zum Zeitpunkt des Öffnens ?
- Kann sich die Hefe an und hinter der Anschnittfläche ungebremst vermehren ?

Der erste Punkt wird unter anderem sehr stark von der Vermehrung der Hefe bei der Einlagerung und damit vom Siliermanagement abhängen. Auch wenn der Hefe durch Verbrauch des Sauerstoffes und Absenkung der Zuckerkonzentration in weiterer Folge die Wachstumsgrundlage entzogen wird, so stirbt sie im Normalfall nur sehr langsam ab, da auch relativ hohe Milchsäurekonzentrationen über längere Zeit toleriert werden können.

Der zweite Punkt ist natürlich auch wieder eine Frage des Managements. Bei hoher TS, ungenügender Verdichtung, rohfasereichem und schlecht zerkleinertem Pflanzenmaterial kann die Luft sehr tief in den Silostock eindringen. Damit ist die Basis für eine rasche Hefevermehrung gelegt besonders dann, wenn aufgrund der Gär säurezusammensetzung keine effektive Hemmung auf das Hefe-

wachstum ausgeübt wird. Eine Reaktionskette, die auf diese Weise in Gang gekommen ist, läßt sich meist auch durch die Erhöhung des Vorschubes nicht mehr unterbrechen. Das eigentliche Problem der durch Hefe verursachten Nacherwärmung kann also nicht auf isolierte Parameter zurückgeführt werden, sondern ist eine komplexer vernetzter Vorgang.

Neue Wege: Biologische Siliermittel zur Erhöhung der aeroben Stabilität

Es ist schon sehr lange bekannt, dass das Gär säuremuster einen großen Einfluß auf die aerobe Stabilität von Silagen hat. Vor allem durch Clostridien fehlvergorene Silagen mit einem hohen Anteil an Buttersäure und auch Essigsäure erwiesen sich aerob als sehr stabil. Dies zeigt, dass Hefen empfindlich auf Fettsäuren reagieren. Milchsäure hat erst bei sehr hohen Konzentrationen (je nach pH-Wert 4-5%) einen deutlich hemmenden Einfluß auf das Hefewachstum.

Propionsäure

Die Wirkung der Propionsäure als konservierende Säure für Futtermittel ist hinlänglich bekannt. Mehrfach wurde auch versucht, Propionsäure gezielt durch die Zugabe von Propionsäurebakterien in Silagen zu erzeugen. Propionsäurebakterien sind jedoch nicht in der Lage, sich in Silagen durchzusetzen, da ihr hochspezifischer Stoffwechsel sehr stark pH-Wert abhängig ist und bei tieferen pH-Werten zum Erliegen kommt. Aber es handelt sich dabei um einen äußerst interessanten Ansatz, denn der Stoffwechsel der Propionsäurebakterien bietet einige Besonderheiten. Propionsäurebakterien sind in der Lage, oberhalb eines bestimmten pH-Wertes Milchsäure in die stärker konservierende Propionsäure umzubauen. Für einen Einsatz in der Praxis müssten allerdings Stämme gefunden werden, die diese Reaktion auch im stärker sauren Bereich durchführen können.

Essigsäure: Viel diskutiertes Stoffwechselprodukt

Die Essigsäure war bisher in der Silagebereitung mit einem negativen Beigeschmack versehen. Erhöhte Essigsäurewerte werden vielfach in fehlvergorenen,

buttersäurereichen Silagen gefunden, wobei das Verhältnis Essigsäure zu Buttersäure sehr stark von den übrigen Nährstoffbedingungen in der Silage beeinflusst wird.

Es wurde aber schon um 1970 z.B. von Bucher und Beck festgestellt, dass es auch eine "buttersäurefreie" Produktion von Essigsäure in Silagen gibt. Schon bald wurde ein Zusammenhang mit dem Auftreten bestimmter heterofermentativer Milchsäurebakterien wie *L. brevis* und *L. buchneri* erkannt, die sich mit längerer Silierdauer scheinbar immer mehr durchsetzten. Der exakte Mechanismus war nicht bekannt, aber es wurde vermutet, dass diese Bakterien Milchsäure anaerob weiter vergären können. Der entsprechende Stoffwechselweg von *L. buchneri* wurde erst 1996 aufgeklärt und es stellte sich heraus, dass in einer gekoppelten Reaktion aus Milchsäure neben Essigsäure auch 1,2-Propandiol entsteht.

Der Stoffwechsel von *L. buchneri* zeigt starke Analogien zum Stoffwechsel der Propionsäurebakterien, mit dem Unterschied, dass *L. buchneri* auch noch bei sehr tiefen pH-Werten aktiv ist. Durch diesen Stamm ist es möglich, gezielt höhere Mengen an Essigsäure in Silagen herzustellen, ohne dass dabei unerwünschte Nebenprodukte auftreten. Vor diesem Hintergrund muß das Auftreten von Essigsäure in Silagen neu bewertet werden. Eine Essigsäurekonzentration von ca. 1 % i. FM bewirkt eine Steigerung der aeroben Stabilität von Silagen und hat keinen negativen Einfluß auf die Futteraufnahme. Die Steigerung der aeroben Stabilität beruht auf den oben angesprochenen Prinzipien, also einer Abnahme der Hefekeimzahl während der Lagerung und einer Hemmung des Hefewachstums an der Anschnittfläche durch die produzierte Essigsäure. Verstärkt wird dieser Effekt durch eine ausreichende Konzentration an Milchsäure, da die Essigsäure bei einem tieferen pH-Wert zu einem stärkeren Teil in der wirksamen, nicht dissoziierten Form vorliegt. Aus diesem Grund soll die Silage auch nicht heterofermentativ dominiert werden, sondern eine starke homofermentative Basis aufweisen, damit am Beginn der Silierung der pH-Wert möglichst rasch abgesenkt und die Gärverluste minimiert werden. Die weitere Produk-

tion der Essigsäure läuft dann in einer anaerob schon ausreichend stabilisierten Silage - durch den besonderen Stoffwechsel von *L. buchneri* - ab.

Heterofermentativer Stoffwechsel - Energievernichtung ?

In der Literatur finden sich vielfältige Angaben zum Trockenmasse- und Energieverlust bei verschiedenen Stoffwechselwegen von Milchsäurebakterien. Unter Laborbedingungen gibt es bei einer rein homofermentativen Milchsäuregärung aus Glucose und Fructose zumindest theoretisch kaum TM-Verluste und einen Energieverlust von ca. 0,7 %. Diese Werte sind aber nicht in die Praxis übertragbar, da hier in jedem Fall zusätzliche Verluste durch Restatmung und durch die Produktion von Gärgasen durch unerwünschte Mikroorganismen entstehen, auch wenn die Silage im weiteren Verlauf "homofermentativ" dominiert wird. Selbst unter besten Bedingungen treten daher TM-Verluste von ca. 3-6 % auf (in Abhängigkeit von der jeweiligen TS).

Bei den heterofermentativen Milchsäurebakterien werden meistens Stoffwechselwege angeführt, bei denen TM-Verluste bis 24 % auftreten, wobei die reinen Energieverluste nur wenig über denen der homofermentativen liegen. Diese Verluste sind jedoch auf das Ausgangssubstrat z.B. Glucose berechnet und relativieren sich sehr stark, wenn sie auf die Verhältnisse in einer Silage mit z.B. 10 % Zucker in der TS umgerechnet werden. In der Praxis stellt sich die Situation noch weit weniger dramatisch dar, da es weder eine rein homofermentative noch eine rein heterofermentative Milchsäuregärung gibt.

Bei der Zugabe eines Siliermittels, das z.B. aus einer Kombination von homofermentativen und heterofermentativen Milchsäurebakterien mit *L. buchneri* besteht, wird die erste Phase - und das ist auch erwünscht - von den homofermentativen Milchsäurebakterien dominiert und der Silierverlauf ist kaum von dem eines rein homofermentativen Siliermittels zu unterscheiden. Im Verlauf der Gärung wird ein Teil der Milchsäure durch *L. buchneri* in Essigsäure und Propandiol umgewandelt. Nimmt man an, dass die Essigsäurekonzentration im

Vergleich zu einem homofermentativen Siliermittel um 1-1,5 % (bez. auf TS) zunimmt, ergibt sich eine theoretische Erhöhung des TM-Verlustes in der Silage von ca. 0,7-1 % und praktisch kein Energieverlust. Diese Werte für die TM-Verluste bei teilweiser heterofermentativer Gärung werden auch immer wieder durch Silierversuche bestätigt und stehen in keiner Relation zu den Verlusten, die durch eine Nacherwärmung hervorgerufen werden können. Bei einer Diskussion um mögliche Verluste muß also immer differenziert werden. Die Wahl des Siliermittels sollte sich mehr an den Anforderungen in der Praxis - in Abhängigkeit vom Management, der Trockensubstanz, des Vorschubes etc. - orientieren.

Problembereich anaerobe Stabilität

Neben der Nacherwärmung sind durch Clostridien verursachte Fehlgärungen das größte Problem bei der Silagebereitung. Clostridien haben die Fähigkeit, Sporen als stabile Dauerformen zu bilden. Diese Fähigkeit führt dazu, dass sich in bestimmten Fällen ein ungünstiger Vermehrungskreislauf über Düngung und Ernte ausbilden kann. Besonders ungünstig wirkt sich in diesem Zusammenhang die Ausbringung von Geflügelkot als Dünger aus. Durch Clostridien verursachte Fehlgärungen führen durch den Abbau von Zuckern, Milchsäure und Eiweiß sowie dem Anhäufen von unerwünschten Stoffwechselprodukten wie Buttersäure, Ammoniak und Aminen zu starken Energieverlusten und Qualitätsminderungen bis hin zur Unbrauchbarkeit der Silage. Art und Ausmaß der Umsetzungen hängen davon ab, welche Stämme der saccharolytischen bzw. proteolytischen Arten sich durchsetzen. Die unterschiedlichen Ausgangsbedingungen bei der Herstellung von Silagen erlauben es aber nicht, eine verlässliche Prognose über die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer durch Clostridien verursachten Fehlgärung abzugeben.

Aus der Kenntnis der spezifischen Eigenschaften und Besonderheiten ihres Stoffwechsels lassen sich Maßnahmen ableiten, um die Clostridien in ihrem Wachstum zu hemmen. Dabei bieten sich folgende wesentliche Eigenschaften der Clostridien an:

- Obligat anaerobes Wachstum
- Wachstumsoptimum bei hohem pH-Wert und hohen Temperaturen.
- Geringe Osmotoleranz, brauchen hohe Wasseraktivität (hohen aw-Wert)
- Empfindlichkeit gegenüber verschiedenen Stoffwechselprodukten

Die wesentlichsten Ansatzpunkte liegen dabei im Entzug günstiger Vermehrungsbedingungen. Clostridien lieben feuchte Umgebungen, einen pH-Wert im neutralen Bereich und hohe Temperaturen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass es nicht genügt bei einzelnen Punkten anzugreifen sondern, dass es auf die Kombination mehrerer hemmender Faktoren ankommt. Dies wird z.B. durch den Vergärbarkeitskoeffizient berücksichtigt, der Trockensubstanz, Zuckergehalt und Pufferkapazität des Pflanzenmaterials kombiniert. Aber in bestimmten Fällen kommt es trotz eines ausreichenden Vergärbarkeitskoeffizienten im Bereich von 45 zu Buttersäurefehlgärungen, wenn das Pflanzenmaterial z.B. von extensiv genutzten Flächen stammt und einen geringen Nitratgehalt aufweist.

Die "Schwachpunkte" im Stoffwechsel der Clostridien eröffnen auch Möglichkeiten für die Entwicklung von biologischen Siliermitteln zur Bekämpfung von Fehlgärungen. Der wichtigste Faktor ist sicherlich eine möglichst rasche Absenkung des pH-Wertes, um das Clostridienwachstum schon frühzeitig zu unterbinden bzw. zu bremsen. Hier sind vor allem homofermentative Stämme gefragt, die unter den Bedingungen in Feuchtsilagen eine möglichst effiziente Vergärung des Zuckers in Milchsäure gewährleisten. Vielfach kann aber aufgrund der vorherrschenden Bedingungen nur eine ungenügende pH-Wert Absenkung erreicht werden. In diesen Fällen wäre es wünschenswert, wenn Milchsäurebakterien einen Teil der Strukturkohlenhydrate zu fermentierbaren Zuckern abbauen könnten. Die entsprechenden Enzyme müssten allerdings z.B. durch eine Inaktivierung bei tieferen pH-Werten ihre Wirkung verlieren, da weder ein übermäßiger Abbau von Struktur noch die Anhäufung von Restzucker erwünscht sind. Diese Strategien sind jedoch nur über gezielte gentechnische Manipulationen durchführbar.

Neben Milchsäure können von natürlichen Milchsäurebakterien verschiedenste Substanzen gebildet werden, die in der Lage sind andere Mikroorganismen in ihrem Wachstum zu inhibieren. Meist sind diese Stoffe gegen eng verwandte Bakterien gerichtet, haben aber in einigen Fällen auch eine gute Wirkung gegen Clostridien und andere in Silage vorkommende Schadorganismen wie z.B. Listerien. Die ersten Ergebnisse zeigen, dass es Möglichkeiten gibt, Clostridien gezielt durch den Einsatz von bestimmten Milchsäurebakterienstämmen zu hemmen. Für die erfolgreiche Umsetzung zu einem fertigen Produkt müssen jedoch noch viele Details abgeklärt werden. Ein wesentlicher Punkt ist natürlich die Dauerhaftigkeit der Hemmung bzw. die Stabilität der gebildeten Hemmstoffe in der Silage. Vieles deutet darauf hin, dass auch in diesem Bereich ein Kombinationsprodukt die größten Chancen hat.

Weitere Perspektiven

Eine der zukünftigen Herausforderungen ist sicherlich auch eine stärkere Spezialisierung auf bestimmte Pflanzen. Man muß sich aber im klaren sein, dass diese Strategien in der Praxis nur schwer umzusetzen sein werden, da es große Vorlieben für Universalmittel gibt.

Im Zentrum der Betrachtungen muß aber immer der Nutzen der verschiedenen Strategien für die Praxis stehen, denn nur dann können sich Neuentwicklungen auch dauerhaft durchsetzen. Der eigentliche Nutzen ist in der Gesundheit und in der Leistungsfähigkeit der Tiere zu sehen. Aber gerade hier ist noch viel Grundlagenarbeit zu leisten, um die gemessenen Verbesserungen im Detail erklären zu können. Ein interessanter und immer öfter diskutierter Ansatz in diesem Bereich ist sicherlich die Analyse der Proteinqualität und des freien Anteils an verfügbaren Aminosäuren in den Silagen.

Die angeführten Entwicklungen zeigen, dass sich bei den biologischen Siliermitteln ein Trend zur Spezialisierung abzeichnet. Hier konnte in den letzten Jahren z.B. im Bereich der Verbesserung der aeroben Stabilität von Silagen schon sehr viel erreicht werden. In einigen Bereichen wird man sich von gewohnten Denkmustern lösen müssen, da viele Ansätze nicht mehr mit den ursprünglichen Anforderungen an Siliermittel bzw. Milchsäurebakterienstämmen vereinbar sind. Das bedeutet nicht, dass die derzeit verwendeten biologischen Siliermittel ihren Stellenwert verlieren werden, sondern dass es zusätzliche Erweiterungen für spezifische Anforderungen geben wird. Wir stehen dabei erst ganz am Anfang dieser Entwicklung, die durch die vielfältigen Ausgangsbedingungen - verursacht durch unterschiedliches Pflanzenmaterial, klimatische Bedingungen und technologische Voraussetzungen - äußerst schwer zu vereinheitlichen ist.