

Über die Vorhersage und Steuerung des Gärungsverlaufs bei der Silierung von Grünfütter aus extensivem Anbau

FRIEDRICH WEISSBACH und HANS HONIG

Institut für Grünland- und Futterpflanzenforschung

Einleitung

Hohe tierindividuelle Milchleistungen und gute Milchqualität setzen fehlgärungsfreie Silagen voraus. In Anbetracht der Tatsache, daß Grünfüttersilagen die entscheidende Futtergrundlage der Milchviehfütterung im Winterhalbjahr sind und daß sie neuerdings zunehmend auch während der Sommerstallhaltung eingesetzt werden, hat ihr Futterwert große Bedeutung für die ökonomische Effizienz der Milchproduktion. Gute Silagen werden in größerer Menge gefressen und haben eine höhere Energiekonzentration als andere. Sie ermöglichen es deshalb, hohe Milchleistungen aus dem Grundfutter zu erreichen. Für Silagen, die Fehlgärungen durchlaufen haben, trifft das nicht zu. Ihr schlechter hygienischer Status und Stoffwechselstörungen, die von diesen Silagen verursacht werden können, führen außerdem zu erheblichen Risiken für die Qualität der erzeugten Milch.

Während in der Praxis die Energiekonzentration der Grassilagen vor allem infolge frühen Schnittes im Mittel schon ein relativ hohes Niveau erreicht hat, läßt die Gärqualität noch oft zu wünschen übrig. Repräsentative Erhebungen zur Gärqualität von Grassilagen, die von Grob und Rutzmoser (1986, 1989) in Bayern und von Weißbach et al. (1995) in Niedersachsen durchgeführt worden sind, haben ein überwiegend unbefriedigendes Ergebnis gebracht. Im Durchschnitt wurde nach der 5stufigen Bewertungsskala nur Note 3,4 bzw. 3,5 erreicht, und etwa die Hälfte der untersuchten Silagen mußte mit Note 4 und 5 als für die Erzeugung von Qualitätsmilch ungeeignet eingestuft werden.

Dieses Ergebnis ist insofern überraschend, als bisher angenommen worden war, daß zweckmäßige Siliertechnik vorausgesetzt, allein durch ausreichendes Anwelken des Grases Fehlgärungen in den Silagen zuverlässig vermeidbar seien (Zimmer u. Wilkins 1984) und daß deshalb nach der durchgängigen Einführung des Verfahrens der Welksilagebereitung Qualitätsprobleme dieser Art in der Praxis nicht mehr bestünden. Auf diese, wie die umfangreichen Erhebungen zeigen, ungerechtfertigte Annahme ist es auch zurückzuführen, daß in Deutschland der Einsatz von Siliermitteln bisher von der landwirtschaftlichen Officialberatung kaum empfohlen wurde. In einer Reihe anderer europäischer Länder ist dagegen die Anwendung von Siliermitteln zur Sicherung der Gärqualität seit langem in großem Umfang üblich, und er wird dort auch bei der Bereitung von Welksilagen praktiziert (Wilkinson 1991).

Hinweise auf die Ursachen dafür, daß das Verfahren der Welksilagebereitung in der Praxis nicht immer zu fehlgärungsfreien Silagen führt und deshalb ziemlich oft versagt, können die Erfahrungen liefern, die inzwischen mit der Silierung von Gras aus der extensiven Grünlandnutzung gesammelt worden sind. Entgegen den Erwartungen erwies sich nämlich, daß extensiv

erzeugtes Gras nicht etwa leichter, sondern schwerer zu silieren ist als konventionell angebautes (Weißbach et al. 1993). Unser Kenntnisstand über die Abhängigkeit des Gärungsverlaufs im Silo von der Beschaffenheit des Grünfütters und die dementsprechenden Erwartungen beruhen aber fast ausschließlich auf Versuchen mit konventionell erzeugtem, d. h. reichlich mit Stickstoff gedüngtem Grünfütter. Bei weniger intensiv erzeugtem Grünfütter gelten offenbar noch andere Gesetzmäßigkeiten für den Gärungsverlauf als bisher berücksichtigt wurden. Daß es in der Praxis so viele schlecht vergorene Grassilagen gibt, dürfte u. a. daraus resultieren, daß dort auch bisher schon bei weitem nicht nur intensiv gedüngtes Gras siliert worden ist. Der Anteil von Silagen aus der extensiven Grünlandnutzung wird künftig mit der weiteren Reduktion der Stickstoffdüngung noch zunehmen. Um so notwendiger erscheint es, das Wissen über die Ursachen der Fehlgärungen sowie über die Möglichkeiten zur Steuerung des Gärungsverlaufs zu erweitern und die Empfehlungen für die Praxis entsprechend zu korrigieren.

Im folgenden wird der bisherige Kenntnisstand über die Zusammenhänge zwischen Ausgangsmaterial und Gärungsverlauf bei der Grünfüttersilierung zusammengefaßt und werden neuere Versuchsergebnisse mit dem Ziel ausgewertet, besser als bisher das materialabhängige Fehlgärungsrisiko abschätzen und über den Einsatz von Siliermitteln zur Sicherung einer guten Gärqualität entscheiden zu können.

Vergärbarkheit von Grünfütter aus konventionellem Anbau

Voraussetzung für das Entstehen einer buttersäurefreien Silage ist zunächst eine genügende Verfügbarkeit von Gärsubstrat, um durch Milchsäuregärung den pH-Wert der Silage so weit absenken zu können, daß Buttersäurebakterien nicht mehr wachsen können. Die dafür erforderliche Menge an Milchsäure und folglich die erforderliche Menge an Gärsubstrat hängen vom Widerstand des Pflanzenmaterials gegen seine Ansäuerung ab. Als Gärsubstrat kommt die Summe aller wasserlöslichen und aus Hexosen bestehenden Kohlenhydrate in Betracht, im folgenden vereinfachend als Zucker (Z) bezeichnet. Der Widerstand gegen die Ansäuerung wird Pufferkapazität des Siliergutes (PK) genannt und ist als diejenige Menge an Milchsäure definiert, die zur Ansäuerung des Grünfütters auf pH 4,0 benötigt wird.

Sowohl der Zuckergehalt als auch die Pufferkapazität des Siliergutes variieren in weiten Bereichen. Ob der Zuckergehalt im gegebenen Fall genügt, um einen bestimmten Ansäuerungsgrad zu erreichen, kann nur unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Pufferkapazität beurteilt werden. Zu diesem Zweck wird der Quotient aus Zuckergehalt und Pufferkapazität (Z/PK-Quotient) berechnet. Der Z/PK-Quotient besagt, das Wievielfache des

Trocken- massegehalt %	Wasseraktivität a_w	kritischer pH-Wert
15	0,985	4,10
20	0,980	4,20
25	0,975	4,35
30	0,971	4,45
35	0,966	4,60
40	0,961	4,75
45	0,956	4,85
50	0,952	5,00

Tabelle 1: Kritische pH-Werte zur Unterdrückung der Buttersäuregärung (Weißbach 1968)

Milchsäurebedarfs das Grünfütter an Gärsubstrat enthält. Er kann damit als Maß für das Säuerungspotential des Grünfütters dienen, soweit dieses durch seine chemische Zusammensetzung bestimmt wird (Weißbach 1968).

Allein aus der Kenntnis des Z/PK-Quotienten läßt sich jedoch auch noch keine Prognose für den Gärungsverlauf treffen, denn das erforderliche Ausmaß der Ansäuerung hängt vom Trockenmassegehalt (TM) des Grünfütters ab. Die Buttersäurebakterien sind um so säureempfindlicher, je niedriger die Wasseraktivität ist. Mit steigendem TM-Gehalt wird die Wasseraktivität eingeschränkt und ist deshalb ein weniger tiefer pH-Wert erforderlich, um Buttersäurebakterien am Wachstum zu hindern (Wieringa 1958). Diese kritischen pH-Werte wurden experimentell ermittelt und sind in Tabelle 1 dargestellt. Sie lassen erwarten, daß die Anforderungen an das Säuerungspotential eines Siliergutes mit steigendem TM-Gehalt abnehmen. Auch diese Frage wurde in umfangreichen Versuchen geprüft und dafür der in Abbildung 1 dargestellte Zusammenhang gefunden. Im dunkelsten Feld des Diagramms treten ganz überwiegend buttersäurehaltige

Vergärbarkeits- koeffizient	Anteil der buttersäurehaltigen Silagen an der Gesamtzahl der Silagen	
	Intensivgras	Extensivgras
VK		
<35	50 %	67 %
35...45	20 %	85 %
46...55	0	82 %
>55	0	67 %

Tabelle 2: Häufigkeit buttersäurehaltiger Silagen aus intensiv und extensiv erzeugtem Gras (Weißbach, Honig und Kaiser 1993)

Silagen auf. In den heller schraffierten Bereichen kommen buttersäurefreie neben buttersäurehaltigen Silagen vor, und zwar je heller um so mehr. Oberhalb des schraffierten Bereiches sind fast nur noch buttersäurefreie Silagen zu finden.

Für praktische Zwecke ist es notwendig, die Bedingungen zu beschreiben, unter denen mit hoher Sicherheit buttersäurefreie Silagen erwartet werden können. Das ist durch Angabe des Mindest-TM-Gehaltes (TM_{min}) in Abhängigkeit vom Z/PK-Quotienten in Form einer Funktion möglich, die den Bereich des Auftretens buttersäurehaltiger Silagen nach oben begrenzt (Weißbach et al. 1974):

$$TM_{min} [\%] = 45 - 8 Z/PK$$

Diese Funktion besagt, daß auch aus Grünfütter mit niedrigem Säuerungspotential buttersäurefreie Silagen gewonnen werden können, wenn sein TM-Gehalt durch Anwelken angehoben wird, wobei der notwendige Welkgrad um so höher sein muß, je niedriger der Z/PK-Quotient ist.

Die potentiellen Effekte von Zuckergehalt, Pufferkapazität und TM-Gehalt auf das Gärergebnis lassen sich aber auch in einer einzigen Zahl (Schmidt et al. 1971), nämlich dem Vergärbarkeitskoeffizienten (VK), zusammenfassen:

$$VK = TM [\%] + 8 Z/PK$$

Der Vergärbarkeitskoeffizient erlaubt ebenso wie der Vergleich von TM_{min} mit dem tatsächlichen TM-Gehalt eine Aussage darüber, ob das Grünfütter bei gegebenem Säuerungspotential ausreichend stark angewelkt worden ist, um mit einiger Sicherheit buttersäurefreie Silage erwarten zu können. Das ist bei $VK \geq 45$ gegeben. Er gestattet aber nicht nur diese Alternativausage, sondern auch eine Abschätzung des Fehlgärungsrisikos, das mit zunehmender Unterschreitung des Sollwertes anwächst. Damit wird es möglich, von einander getrennte Vergärbarkeitsbereiche mit unterschiedlichem Risiko für das Entstehen buttersäurehaltiger Silagen zu definieren.

Sillereignung von Futter aus der extensiven Grünlandnutzung

Alle bisher beschriebenen Zusammenhänge gelten für Pflanzenmaterial aus dem konventionellen Anbau. Sie lieferten eine scheinbar hinreichende Erklärung für das unterschiedliche Verhalten des Grünfütters bei der Silierung und begründeten die praktische Anleitung zur Bereitung von Welksilage. Neuere Untersuchungen zeigten dann aber, daß dieses Konzept für extensiv erzeugtes, d. h. wenig oder nicht mit Stickstoff gedüngtes und/oder später als sonst geschnittenes Gras, nicht gültig ist (Weißbach et al. 1993). Ein derartiges Grünfütter enthält in aller Regel weniger Rohprotein und mehr Zucker, es sollte deshalb ein höheres Säuerungspotential als konventionell erzeugtes haben und sich deshalb leichter silieren lassen. Eine entsprechende Auswertung ergab aber das Gegenteil (Tabelle 2). Während sich an den in diese Auswertung einbezogenen Grassilagen aus dem herkömmlichen Anbau die Erwartungen voll bestätigten und oberhalb eines Vergärbarkeitskoeffizienten

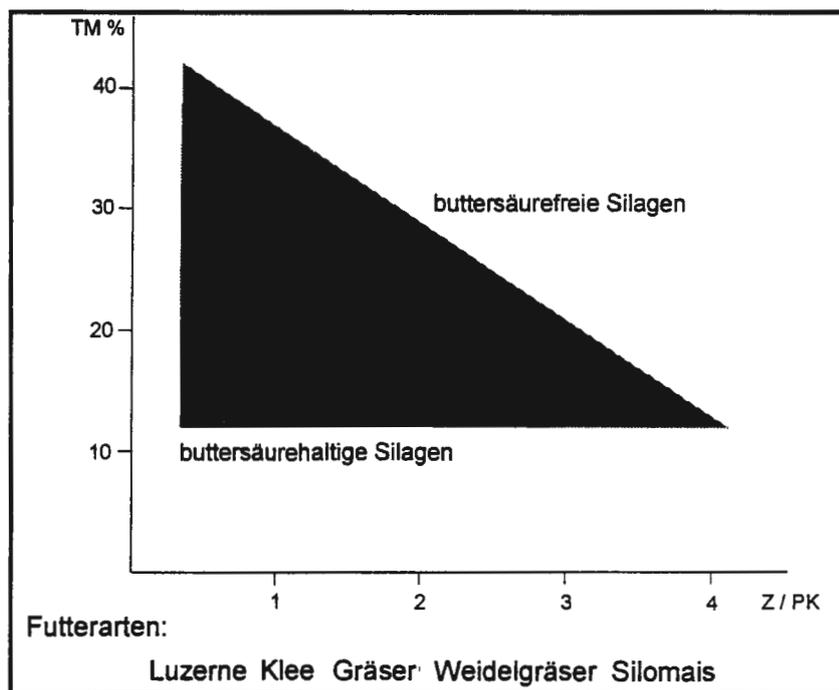


Abbildung 1: Häufigkeit buttersäurefreier Silagen in Abhängigkeit von Z/PK-Quotient und TM-Gehalt (nach Versuchsdaten von Weißbach et al. 1974). Zunehmender Helligkeitsgrad der Schraffur zeigt wachsende Häufigkeit an

von 45 keine Buttersäure gefunden wurde, mißlangen viele Silagen aus extensiven Grünlandaufwüchsen trotz hoher Vergärbarkeitskoeffizienten. Dieses Fehlgärungsrisiko läßt sich offenbar auch nicht durch stärkeres Anwelken einschränken.

Als Ursache für das abweichende Verhalten von extensiv erzeugtem Grünfutter konnte sein äußerst geringer Nitratgehalt erkannt werden. Hinweise auf Fehlgärungen bei der Silierung von praktisch nitratfreiem Futter gibt es seit langem (Wieringa 1966, Hein 1970, Kaarli u. Lemming 1974, Hein u. Weißbach 1977, Kaiser 1981, Spoelstra 1983). Vor einigen Jahren konnte auch das zunächst unerwartete Auftreten

Futterart	Anzahl Silagen	Ausgangsmaterial	
		TM % von...bis	VK von...bis
Gras, intensiv	31	18...46	24...84
Gras, halbintensiv	52	14...44	28...84
Gras, extensiv	112	15...49	25...94
Leguminosen einschließlich Gemischen mit Gras	38	15...40	26...49
Grünroggen	12	14...18	29...37
Gersteganzpflanzen	25	28...47	49...85
Silomais	25	19...38	53...89
Summe	295	14...49	24...94

Tabelle 3: Einbezogene Futterarten sowie TM- und VK-Bereiche

von Buttersäure in Silagen aus Getreideganzpflanzen mit der Tatsache erklärt werden, daß diese in der Regel kein Nitrat enthalten (Weißbach u. Haacker 1988).

Das Versagen des Anwelkens als Maßnahme zur Vermeidung von Buttersäuregärung bei nitratarmem Grünfutter ist durch eine zu langsame Ansäuerung zu erklären. Sie bewirkt, daß bereits in der Zeit, die bis zum Erreichen des kritischen pH-Wertes vergeht, Buttersäure gebildet wird. Die Mengen an Buttersäure, die in solchen Silagen gefunden werden, sind zwar regelmäßig kleiner, als wenn die Silage den stabilen Zustand gar nicht erreicht. Aber sie genügen, um die Gärqualität und den hygienischen Status der Silagen deutlich herabzusetzen. Enthält das Grünfutter dagegen genügend Nitrat, was bei reichlich mit Stickstoff gedüngtem jungen Gras immer zu unterstellen ist, so werden die Buttersäurebakterien durch das in den ersten Gärphasen aus dem Nitrat entstehende Nitrit unterdrückt, und die Silage bleibt trotz langsamer Ansäuerung buttersäurefrei. Durch Zusatz von Nitrat oder Nitrit bei der Silierung von nitratarmem Grünfutter konnte dieser Zusammenhang eindeutig nachgewiesen werden (Kaiser 1981, Weißbach u.

Haacker 1988).

Die Einführung des Verfahrens der Welksilagebereitung vor einigen Jahrzehnten lief parallel zur Intensivierung des Futterbaus. Damit war ein gewisser Nitratgehalt im Grünfutter, mindestens in dem, das für die damals durchgeführten Versuche verwendet wurde, immer gegeben. Nachträglich stellt sich nun heraus, daß dieser Nitratgehalt des Siliergutes eine notwendige Bedingung für das Funktionieren des Verfahrens, d. h. für die Bereitung von Welksilage ohne Zusätze war. Die fehlende Kenntnis dieser Bedingung führte dann offenbar zu den genannten Problemen mit der Gärqualität von Silagen bei reduzierter N-Düngung, wenn das Verfahren unverändert beibehalten worden ist.

Nitrat und epiphytische Milchsäurebakterien

Wie oben beschrieben ergibt sich der positive Effekt des Nitrats auf die Gärung in der Silage aus der Tatsache, daß die Ansäuerung, besonders bei hohem TM-Gehalt des Siliergutes, oft zu langsam verläuft. Daraus folgt, daß eine Beschleunigung der Ansäuerung durch Zusatz von leistungsfähigen Milchsäurebakterien (MSB) zum gleichen Ergebnis führen müßte. Auch dieser Nachweis konnte eindeutig geführt werden (Kalzendorf 1992, Weißbach et al. 1993). Der Mangel an Nitrat in einem Siliergut kann deshalb potentiell durch Anwendung geeigneter Impfkulturen kompensiert und auf diese Weise buttersäurefreie Welksilage auch aus extensiv erzeugtem Grünfutter hergestellt werden.

Im Hinblick auf die Abschätzung des materialabhängigen Fehlgärungsrisikos einer ohne Zusätze bereiteten Silage und der Erfolgchancen eines Silierrmittelinsatzes ergibt sich aber die

VK		Anzahl der Silagen		
von...bis	\bar{x}	insgesamt	BS-haltig	Anteil BS-haltig
bis 35	31	51	26	51 %
36...45	41	63	29	46 %
46...55	50	63	26	41 %
56...65	61	58	17	29 %
über 65	77	60	26	43 %
Summe		295	124	42 %

Tabelle 4: Anzahl der Silagen aus Grünfutter unterschiedlicher VK-Stufen und Anteil buttersäurehaltiger Silagen

Frage, inwieweit der gleiche Effekt, wie er für den Impfkulturzusatz gilt, auch von einem hohen Besatz an epiphytischen Milchsäurebakterien ausgehen kann. Dieser natürliche Keimbefall schwankt in außerordentlich weiten Grenzen (Pahlow 1986, Pahlow u. Honig 1986, Pahlow 1991), und es ist auffällig, daß der Gärungsverlauf bei nitratarmem Siliergut durchaus nicht immer zur Buttersäuregärung führen muß.

Zur Prüfung dieser Frage wurden die Gärergebnisse von 295 Silagen, die im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte unter Laborbedingungen ohne Zusätze bereitet worden waren, ausgewertet. Tabelle 3 zeigt eine Übersicht über die einbezogenen Grünfütterarten und TM-Gehalte. Ein sehr großer Teil des Grünfutters, insbesondere des Grases, stammte aus extensivem Anbau.

Wie in Tabelle 4 dargestellt, verteilt sich das Siliergut annähernd gleichmäßig auf verschiedene Stufen der Vergärbarkeit. Der Anteil der buttersäurehaltigen Silagen (> 0,10 % Buttersäure in der Frischmasse = BS-haltig) wird mit steigendem Vergärbarkeitskoeffizienten zwar tendenziell geringer, er bleibt aber wegen des einbezogenen Extensivgrases selbst bei guter Vergärbarkeit hoch. Das ist als erwartungsgemäße Folge geringer Nitratgehalte oder MSB-Keimzahlen zu deuten.

Um den Effekt dieser beiden Größen auf den Gärungsverlauf prüfen zu können, war es notwendig, dasjenige Grünfutter von der Betrachtung auszuschließen, bei dem selbst bei rationeller Verwertung des Gärsubstrates der kritische pH-Wert nicht sicher erreicht werden dürfte und bei dem deshalb trotz hoher Nitratgehalte und MSB-Keimzahlen mit Buttersäuregärung

	Anzahl der Silagen		
	insgesamt	BS-haltig	Anteil BS-haltig
alle Grünfutter	244	98	40 %
davon:			
über 1 g NO ₃ /kg TM	49	6	12 %
0,5...1 g NO ₃ /kg TM	47	16	34 %
unter 0,5 g NO ₃ /kg TM	148	76	51 %

Tabelle 5: Anteil buttersäurehaltiger Silagen in Abhängigkeit vom Nitratgehalt des Grünfutters (VK > 35)

gerechnet werden muß. In die folgenden Auswertungen sind deshalb zunächst die Silagen aus Grünfutter mit einem VK bis zu 35 nicht mit einbezogen worden.

Die Klassifizierung der verbleibenden 244 Silagen nach dem Nitratgehalt (Tabelle 5) bzw. nach dem epiphytischen MSB-Besatz (bestimmt auf Rogosa-Agar) des Grünfutters (Tabelle 6) bestätigt, daß der Gärungsverlauf von beiden Größen abhängt. Mit fallendem Nitratgehalt und, noch mehr, mit fallendem Keimbefall des Grünfutters steigt der Anteil buttersäurehaltiger Silagen deutlich an. Wenn der epiphytische Keimbefall 10⁵/g Frischmasse (FM) unterschreitet, nimmt der Anteil fehlvergorener Silagen von 40 auf

	Anzahl der Silagen		
	insgesamt	BS-haltig	Anteil BS-haltig
alle Grünfutter	244	98	40 %
davon:			
über 10 ⁶ MSB/g FM	48	2	4 %
10 ⁵ ...10 ⁶ MSB/g FM	43	2	5 %
unter 10 ⁵ MSB/g FM	153	94	61 %

Tabelle 6: Anteil buttersäurehaltiger Silagen in Abhängigkeit vom epiphytischen Besatz des Grünfutters an Milchsäurebakterien (VK > 35)

	Anzahl der Silagen		
	insgesamt	BS-haltig	Anteil BS-haltig
alle Grünfutter	244	98	40 %
davon:			
über 10 ⁵ MSB/g FM	91	4	4 %
unter 10 ⁵ MSB/g FM	153	94	61 %
von denen mit weniger als 10 ⁵ MSB/g FM:			
über 1 g NO ₃ /kg TM	23	6	26 %
0,5...1 g NO ₃ /kg TM	38	16	42 %
unter 0,5 g NO ₃ /kg TM	92	72	78 %

Tabelle 7: Anteil buttersäurehaltiger Silagen in Abhängigkeit von epiphytischem MSB-Besatz und Nitratgehalt des Grünfutters (VK > 35)

	Anzahl der Gärergebnisse			Treffsicherheit der Vorhersagen
	insgesamt	vorher-sagbar	nicht vor-hersagbar	
BS-haltige Silagen	98	74	24	76 %
BS-freie Silagen	146	126	20	86 %
alle Silagen	244	200	44	82 %

Tabelle 8: Erreichte Treffsicherheit der Vorhersage des Gärungsverlaufs anhand von epiphytischem MSB-Besatz und Nitratgehalt (VK > 35)

über 60 % zu. Werden diese Silagen weiter nach dem Nitratgehalt des Grünfutters gruppiert, so ergibt sich bei einem Nitratgehalt von weniger als 0,5 g/kg TM ein Anteil von fast 80 % buttersäurehaltigen Silagen (Tabelle 7). Buttersäure tritt in den Silagen folglich mit bedeutender Häufigkeit dann auf, wenn beide Grenzwerte zugleich unterschritten werden.

Aus diesen Ergebnissen ist umgekehrt zu schließen, daß für das Entstehen einer buttersäurefreien Silage aus Grünfutter mit einem Vergärbarkeitskoeffizienten von über 35 bestimmte Mindestkeimzahlen an epiphytischen MSB oder bestimmte Mindestgehalte an Nitrat im Grünfutter erforderlich sind. Beide Faktoren können sich dabei gegenseitig vertreten. Als Grenzwerte können nach dieser Auswertung angenommen werden:

10⁵ MSB/g FM und
0,5 g NO₃/kg TM

Für die Vorhersage des Gärungsverlaufs läßt sich daraus folgende Arbeitshypothese formulieren:

- Wenn in einem Grünfutter mit einem VK von über 35 mehr als 10⁵ MSB/g FM oder mehr als 0,5 g NO₃/kg TM vorhanden sind, kann eine buttersäurefreie Silage erwartet werden.
- Wenn dagegen in einem Grünfutter weniger als 10⁵ MSB/g FM und zugleich weniger als 0,5 g NO₃/kg TM vorhanden sind, muß trotz eines beliebig weit über 35 liegenden VK mit buttersäurehaltiger Silage gerechnet werden.

Diese Hypothese wurde dann an den Versuchsdaten überprüft. Das Ergebnis zeigt Tabelle 8. Bei etwa gleichmäßiger Verteilung der Anzahl der Fehlprognosen auf beide Aussagen der Hypothese wird eine Treffsicherheit der Vorhersage des Gärungsverlaufs von insgesamt 82 % erreicht.

Vergleichsweise wurde die Treffsicherheit einer analogen Vorhersage des Gärungsverlaufs anhand der gleichen Grenzwerte auch für den Bereich eines VK bis 35 geprüft. Sie beträgt nur 55 %, was beweist, daß Nitratgehalt und Keimbesatz hier keinen Beitrag zur Erklärung für das Verhalten des Grünfutters bei der Silierung leisten.

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse bestätigen, daß der Gärungsverlauf bei der Silagebereitung sowohl von der Vergärbarkeit als auch vom Nitratgehalt des Grünfutters und von seinem epiphytischen Besatz an Milchsäurebakterien abhängt. Eine angemessene Vergärbarkeit als Ausdruck hinreichender Verfügbarkeit von Gärsubstrat, gemessen an der jeweiligen Konstellation von Pufferkapazität und TM-Gehalt, ist die Grundvoraussetzung dafür, den pH-Wert auf das kritische Niveau absenken und eine anaerob stabile Silage von guter Gärqualität und mit geringen Gärverlusten herstellen zu können. Diese Voraussetzung z. B. durch das Anwelken des Siliergutes zu erfüllen, genügt aber nicht, um Fehlgeräungen auszuschließen, weil das Risiko einer Buttersäurebildung vor dem Erreichen des kritischen pH-Wertes besteht. Dieses Risiko ist dann gegeben, wenn Nitratgehalt und MSB-Besatz des Grünfutters sehr niedrig sind. Eine Vorhersage des Gärungsverlaufs ist deshalb nur bei Kenntnis aller 3 Faktoren: des Vergärbarkeitskoeffizienten, des Nitratgehaltes und des epiphytischen Keimbesatzes möglich.

Die hier nachgewiesenen Effekte von Nitratgehalt und epiphytischer Keimdichte liefern jetzt auch eine Erklärung dafür, warum bei den früheren, überwiegend auf Grünfutter aus dem konventionellen Anbau gerichteten Untersuchungen (Abbildung 1) bei einem VK zwischen 35 und 45 so stark wechselnde Gärergebnisse aufgetreten sind (Weißbach et al. 1974). Ganz offenbar spielten auch dort, wie schon früher vermutet wurde (Weißbach 1968), Unterschiede in beiden Ausgangsparametern eine Rolle für das Gärergebnis. Um diese Unsicherheiten bei der Vorhersage des Gärungsverlaufs zu erfassen, war es damals notwendig, im Mindest-TM-Gehalt entsprechend vorzuhalten und diesen auf die Obergrenze dieses Unsicherheitsbereiches festzulegen. Ist es dagegen möglich, die Effekte von Nitratgehalt und MSB-Epiphytenbesatz zu kontrollieren, so kann durchaus eine geringere Forderung an den TM-Gehalt bzw. VK genügen. Andererseits ergibt sich nun, daß ein hoher VK bei ausgeprägtem Mangel an Nitrat und MSB im Ausgangsmaterial der Silierung keine Sicherheit bietet.

Im Hinblick auf das Fehlgeräungsrisiko, seine Ursachen und die Möglichkeiten, ihm zu begegnen, erscheint es zweckmäßig, generell wie bei dieser Auswertung zwei Kategorien von Siliergut zu unterscheiden: solches mit einem VK von bis zu 35 und anderes mit einem VK von mehr als 35.

Bei der ersten Kategorie handelt es sich um schwer silierbares Grünfutter, bei dem der Gärungsverlauf vor allem durch den Mangel an Gärsubstrat bestimmt wird. Hier ist die Anwendung eines wirksamen Siliermittels zur Herstellung einer guten Silage essentiell. Als Wirkprinzip für diese Siliermittel genügt es nicht, daß sie einen Schutz gegen frühe Aktivität von Buttersäurebakterien bieten, etwa durch schnellere Ansäuerung oder durch Hemmstoffe, die ihre Wirkung nur zu Gärungsbeginn entfalten. Sie müssen vielmehr auch einen Ausgleich für das zu geringe Säuerungspotential des Grünfutters herbeiführen. Ein Beispiel dafür ist der Einsatz von Ameisensäure oder von Ameisensäure enthaltenden Flüssigpräparaten.

Die zweite Kategorie betrifft alles übrige Grünfutter, dessen Vergärbarkeit bei rationeller Verwertung des Gärsubstrats das Erreichen des kritischen pH-Niveaus gestattet. Hier sind Siliermittel im direkten Sinne der alten Bezeichnung „Sicherungszusätze“, die im Einzelfall notwendig sein können oder auch nicht. Ihre Aufgabe ist es, einen zu geringen epiphytischen MSB-Besatz bzw. das Fehlen von Nitrat im Siliergut auszugleichen. Das ist durch Zusatz von leistungsfähigen MSB-Impfkulturen oder von Nitrit enthaltenden chemischen Zusatzstoffen möglich, die leicht anzuwenden sind und keine allzu hohen Kosten verursachen müssen. Experimentelle Beweise dafür, daß es auf beiden alternativen Lösungswegen möglich ist, das Fehlgeräungsrisiko einzuschränken, liegen zur Genüge vor (Honig 1986, Honig u. Pahlow 1986, Zimmer 1986, Reuter et al. 1989, Pahlow et al. 1992).

In der Praxis ist es bei der Bereitung von Grassilage nahezu ausnahmslos möglich, durch wenigstens schwaches Anwelken den Bereich schwer silierbaren Grünfutters und damit sehr kosten-trächtiger Siliermittelanwendung zu meiden. Ein Anwelken auf 25 % TM genügt selbst bei Gras mit sehr geringem Säuerungspotential von Z/PK = 1,3 schon, um die Grenze von VK > 35 zu überschreiten und damit die Chance zu haben, mit relativ einfa-

chen und kostengünstigen Lösungen, wie sie z. B. die Anwendung von Impfkulturen und anderen Präparaten bieten, auszukommen. Je weiter man sich oberhalb dieser Grenze befindet, um so sicherer dürfte das gelingen. Selbstverständlich ist es auch aus anderen Gründen immer ratsam, einen höheren Welkgrad anzustreben, wobei 30 - 45 % TM nach wie vor als optimal zu gelten haben.

Bemerkenswert erscheint die Tatsache, daß die in unserer Auswertung gefundene Grenze des epiphytischen MSB-Besatzes von 10^5 /g FM, bei deren Überschreitung überwiegend mit buttersäurefreien Silagen gerechnet werden kann, mit den Erfahrungen im Hinblick auf die zweckmäßige Inokulationsdichte beim Zusatz von Impfkulturen übereinstimmt. Generell wird empfohlen, 10^5 MSB/g FM zuzusetzen, um einen Effekt erwarten zu können. Die positive Wirkung eines hohen epiphytischen Besatzes ist aber in unserer Auswertung erst bei mehr oder weniger deutlicher Überschreitung dieses Niveaus und dann auch nicht mit völliger Sicherheit erreicht worden. Das spricht für den Vorteil, den die auf hohe Leistungen selektierten Impfstämme gegenüber der mikrobiellen Wildflora bieten können.

Abschließend soll zu der Frage Stellung genommen werden, unter welchen Bedingungen bei der Silierung von Gras der Einsatz von Siliernmitteln gerechtfertigt ist oder wo auf ihn verzichtet werden kann. Nach wie vor ist in Deutschland die Ansicht verbreitet, daß der Einsatz von Siliernmitteln eine Option ausschließlich für den Notfall sei, nämlich für diejenige Situation, in der ein ausreichend schnelles Anwelken des Siliergutes durch Schlechtwetter verhindert wird. Da diese Situation als zu vermeidender Ausnahmefall gilt, unterbleiben meist auch die technischen und organisatorischen Vorbereitungen darauf, ohne die ein sachgerechter und erfolgversprechender Siliernmitteleinsatz kaum möglich ist. Improvisation bei der Auswahl und Anwendung der Siliernmittel sind die Ursache dafür, daß dann nicht immer der erhoffte Effekt eintritt und der Nutzen, den ein sachgerechter Siliernmitteleinsatz bringen kann, in der Praxis verkannt wird. Diese Ansicht und die von ihr ausgehende Verfahrensweise sind nicht länger gerechtfertigt.

Es gibt eigentlich nur eine Situation, die einen Verzicht auf Siliernmitteleinsatz ohne Risiko ermöglicht, nämlich die Silierung von reichlich gedüngtem Gras (≥ 200 kg N/ha/Jahr), das innerhalb von höchstens zwei Tagen auf den optimalen TM-Gehalt angewelkt werden konnte. Je niedriger das Düngungsniveau ist, um so häufiger muß mit für eine gute Gärqualität zu geringen Nitratgehalten gerechnet werden. Da viele Betriebe die N-Düngung bereits stark eingeschränkt haben, dürfte hieraus für die Mehrzahl unserer Grassilagen ein bedeutendes Risiko entstanden sein. Der tatsächliche Nitratgehalt und der epiphytische MSB-Besatz dieses Grünfutters lassen sich im Einzelfall nicht zuverlässig voraussagen. Deshalb bietet nur der präventive, strategische Siliernmitteleinsatz, d. h. eine durchgängige Anwendung von Siliernmitteln als normaler Bestandteil des Verfahrens der Welksilageproduktion volle Sicherheit. Wie wir sahen, liegt angewelktes Gras praktisch immer im Bereich eines VK von über 35, sodaß relativ kostengünstige Präparate für die Qualitätssicherung genügen. Ob es im Einzelfall eventuell auch ohne das Siliernmittel gehen würde, läßt sich zum Zeitpunkt der Silierung nicht definitiv entscheiden. Die Kosten für das generell zugesetzte Siliernmittel

sind deshalb der Preis für die Sicherheit, Silagen mit stets guter Gärqualität erwarten zu können.

Wie die eingangs genannten Ergebnisse von Erhebungen in der Praxis gezeigt haben, werden gegenwärtig bei den Grassilagen enorme Qualitätsreserven verschenkt. Eine Korrektur der Empfehlungen für die Praxis im genannten Sinne ist deshalb an der Zeit.

Zusammenfassung

Wettbewerbsfähige Milchproduktion und gute Milchqualität setzen fehlgärungsfreie Silagen voraus. Um die Notwendigkeit und die Erfolgsaussichten eines Einsatzes von Siliernmitteln beurteilen zu können, ist die Kenntnis des materialabhängigen Fehlgerungsrisikos erforderlich. Frühere Forschungsarbeiten bei konventionell angebautem Grünfutter zeigten die Möglichkeit, dieses Risiko anhand des Vergärbarkeitskoeffizienten (VK) des Siliergutes abzuschätzen. Dieser Parameter faßt die potentiellen Wirkungen von Trockenmasse (TM), wasserlöslichen Kohlenhydraten (Z) und Pufferkapazität (PK) auf den Gärungsverlauf zusammen:

$$VK = TM [\%] + 8 Z/PK$$

Mit dem durch das Anwelken des Siliergutes steigenden VK geht das Fehlgerungsrisiko zurück. Oberhalb eines VK von 45 sollten nur buttersäurefreie Silagen erwartet werden. Erhebungen über den Qualitätsstatus der Grassilagen in der Praxis ergaben jedoch einen großen Anteil buttersäurehaltiger Silagen trotz hohem Welkgrad und folglich hohem VK des Siliergutes. Die zunehmende Einbeziehung von Aufwüchsen aus der extensiven Grünlandbewirtschaftung in die Silagebereitung dürfte die Hauptursache für diesen unerwarteten Befund sein.

Aktuelle Untersuchungen führten nun zu der Erkenntnis, daß ein bestimmtes Niveau des Nitratgehaltes im Grünfutter oder seines epiphytischen Besatzes an Milchsäurebakterien (MSB) Voraussetzungen für die Gewinnung fehlgärungsfreier Welksilagen ohne Siliernzusätze sind. Beide Faktoren können sich dabei wechselseitig vertreten. Die Auswertung der Gärergebnisse von 295 Grassilagen zeigte, daß die Grenzwerte $0,5$ g NO_3 /kg TM und 10^5 MSB/g Frischmasse betragen. Bei der Silierung von Gras mit einem VK von mehr als 35 ist eine fehlgärungsfreie Silage dann zu erwarten, wenn Nitratgehalt oder epiphytischer MSB-Besatz oberhalb der jeweiligen Grenze liegen. Werden dagegen die Grenzen für den Nitratgehalt und den MSB-Besatz gleichzeitig unterschritten, so muß unabhängig vom VK mit Buttersäuregärung gerechnet werden. Da zum Zeitpunkt der Silierung weder der Nitratgehalt noch der MSB-Besatz zuverlässig vorhergesagt werden können und mit einem weiteren Rückgang der N-Düngungsintensität in der Praxis zu rechnen ist, wird künftig ein präventiver Siliernmitteleinsatz bei der Bereitung von Welksilage für gerechtfertigt angesehen, um die Gärqualität zu sichern. Entsprechend den beiden Ursachen des Fehlgerungsrisikos in Welksilagen dürften dafür sowohl MSB-Impfkulturen als auch Nitrit enthaltende chemische Präparate geeignet sein.

On the anticipation and control of the run of fermentation in silage making from extensively grown forages

Economically efficient dairy farming and good milk quality require well fermented silages. In order to judge the need for and the chances of an application of silage additives, the material-related risk of butyric acid fermentation in silages should be known. Previous research work with conventionally grown crops indicated the possibility to estimate this risk on the basis of the fermentability coefficient (FC) of the herbage. This parameter summarizes the potential effects of dry matter (DM), water soluble carbohydrates (WSC) and buffering capacity (BC) on the silage fermentation:

$$FC = DM [\%] + 8 WSC/BC$$

The risk of butyric acid fermentation decreases when FC is increased by prewilting the crop. Above a FC of 45 only well fermented silages should be expected. However, studies into the state of grass silage quality in practice indicated a high proportion of butyric acid containing silages in spite of high wilting degree and, consequently, high FC of the herbage ensiled. Increasing inclusion of forage from extensive grassland use in the silage production might be the major cause for this surprising result.

Current investigations revealed recently that certain levels of the nitrate content or of the epiphytic lactic acid bacteria count (LAB) in the herbage are preconditions for getting well fermented silages from wilted grass without application of silage additives. Both factors can mutually substitute each other. An evaluation of the results of 295 grass silages showed the limits to be 0,5 g NO₃/kg DM and 10⁵ LAB/g fresh weight. When ensiling a crop with FC > 35, well fermented silage is to be expected if the nitrate content or the LAB count exceeds the respective limit. In case of ensiling a crop with a nitrate content and at the same time with a LAB count below these limits, however, the silage is subjected to butyric acid fermentation independent of FC. Since neither the nitrate content nor the LAB count can be reliably anticipated at the time of ensiling and a further reduction of N fertilization rate in practice is expected, a preventive application of silage additives in preparing wilted silage is well-founded in order to ensure the fermentation quality of silages in the future. According to the existing causes of the risk of butyric acid fermentation in wilted silages, LAB inoculants as well as nitrite containing chemical preparations might be suitable for this purpose.

Literatur

- Groß, F. und Rutzmoser, K. (1986): Gärfutteruntersuchungen aus Praxisbetrieben. - Schule und Beratung, Bayer. Landesanst. für Tierzucht Grub, Heft 2, IV-1 bis IV-5.
- Groß, F. und Rutzmoser, K. (1989): Gärfutteruntersuchungen aus Praxisbetrieben. - Schule und Beratung, Bayer. Landesanst. für Tierzucht Grub, Heft 1, IV-9 bis IV-12.
- Hein, E. (1970): Die Beeinflussung des Gärungsverlaufes bei der Grünfuttersilierung durch den Nitratgehalt des Ausgangsmaterials. - Diss. Rostock.
- Hein, E. und Weißbach, F. (1977): Decomposition processes and effects of nitrate in ensiling green forage. - Proc. XIII. Intern. Grassland Congr., Leipzig, Sect. 9, 1323 - 1325.
- Honig, H. (1986): The effect of prewilting conditions and weather. Small scale silage experiments. - Proc. Eurobac Conf. Uppsala, 65-75.
- Honig, H. und Pahlow, G. (1986): Wirkungsweise und Einsatzgrenzen von Silage-Impfkulturen aus Milchsäurebakterien. 2. Mitt. - Das wirtschaftseigene Futter 32, 205-228.
- Kaarli, L. und Lemming, E. (1974): The influence of nitrogen fertilizers on microbiological and biochemical processes in ensilage of grass. - Proc. XII. Intern. Grassland Congr., Moskau, Vol. III, Part II, 632-637.
- Kaiser, E. (1981): Zum Einfluß von Nitratgehalt, Zuckerart und Lagerungstemperatur auf die Vorhersage des Gärungsverlaufes bei der Grünfuttersilierung. - Diss. B Humboldt-Universität Berlin.
- Kalzendorf, C. (1992): Über die Möglichkeiten einer kombinierten Anwendung von Milchsäurebakterien und Natriumformiat als Silierzusatz. - Diss. Humboldt-Universität Berlin.
- Pahlow, G. (1986): Microbiology of inoculants, crops and silages. Small scale silage experiments. - Proc. Eurobac Conf. Uppsala, 45-59.
- Pahlow, G. (1991): Role of microflora in forage conservation. - Landbauforsch. Völkenrode, Sonderh. 123, 26-36.
- Pahlow, G., Honig, H. und Dyckmans, A. (1992): Gärverhalten von Gras aus Extensivherkünften - Einfluß von Schnittermin, Anwelkgrad und Siliermitteleinsatz. - VDLUFA-Schriftenreihe 35/1992, Kongressband 1992 Göttingen, 461-464.
- Pahlow, G. und Honig, H. (1986): Wirkungsweise und Einsatzgrenzen von Silage-Impfkulturen aus Milchsäurebakterien. 1. Mitt. - Das Wirtschaftseigene Futter 32, 20-35.
- Reuter, B., Weißbach, F., Schmidt, L. und Zwierz, P.M. (1989): Investigations on the efficiency of the silage additive Cekafusil. - Proc. Intern. Symp. on Production, Evaluation and Feeding of Silage. Rostock, 69-78.
- Schmidt, L., Weißbach, F., Wernecke, K.-D. und Hein, E. (1971): Erarbeitung von Parametern für die Vorhersage und Steuerung des Gärungsverlaufes bei der Grünfuttersilierung. - Forschungsbericht Oskar-Kellner-Institut für Tierernährung Rostock.
- Spoelstra, S.F. (1983): Inhibition of clostridial growth by nitrate during the early phase of silage fermentation. - J. Sci. Food and Agric. 34, 145-152.

- Weißbach, F. (1968): Beziehungen zwischen Ausgangsmaterial und Gärungsverlauf bei der Grünfuttersilierung. - Habilschr. Rostock
- Weißbach, F., von Borstel, U., Mller, J. und Kalzendorf, C. (1995): unveröffentlicht.
- Weißbach, F. und Haacker, K. (1988): ber die Ursachen der Buttersäuregärung in Silagen aus Getreideganzpflanzen. - Das Wirtschaftseigene Futter 34, 88-99.
- Weißbach, F., Honig, H. und Kaiser, E. (1993): The effect of nitrate in the silage fermentation. - Proc. 10th Intern. Confer. on Silage Res. Dublin, 122-123.
- Weißbach, F., Schmidt, L. und Hein, E. (1974): Method of anticipation of the run of fermentation in silage making, based on the chemical composition of green fodder. - Proc. XII. Intern. Grassland Congr., Moskau, Vol. III, Part II, 663-673.
- Wieringa, G.W. (1958): The effect of wilting on butyric acid fermentation in silage. - Netherlands J. Agric. Sci. 6, 204-210
- Wieringa, G.W. (1966): The influence of nitrate on silage fermentation. - Proc. X. Intern. Grassland Congr., Sect. 2, 537-540.
- Wilkinson, J.M. (1991): Hay and silage management and additive products in Europe. - In: Field guide for hay and silage management in North America. - National Feed Ingredients Assoc., 139-146.
- Zimmer, E. (1986): Evaluation of fermentation parameters from the silage experiments. - Proc. Eurobac Conf. Uppsala, 19-44
- Zimmer, E. und Wilkins, R.J. (1984): Efficiency of silage systems: a comparison between unwilted and wilted silages. - Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 69, 1-88.
- Verfasser: Weißbach, Friedrich, Professor Dr. agr. habil; Honig, Hans, Dir. u. Prof. Dr., Institut für Grnland- und Futterpflanzenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Leiter: Professor Dr. agr. habil. Friedrich We i  b a c h .