

Der Übergang von der Frischsilage zur Silierung von Welkgut mit 30 bis 40 % Trockenmassegehalt ist eine wirksame Maßnahme, um die Nährstoffkonzentration im Gärfutter sowie die Verzehraleistung der Tiere zu erhöhen und die Konservierungsverluste zu senken. Eiweißreiche Futterpflanzen, die als mähfrisches Futter ohne Silierungszusätze nicht siliert werden können, lassen sich als Welkgut zu hochwertiger Silage bereiten. Die Welksilagebereitung ist deshalb eine der wichtigsten Rationalisierungsmaßnahmen der Futterwirtschaft in den kommenden Jahren.

Ernte- und Konservierungsverfahren für Welkgut in Großbetrieben setzen leistungsfähige Mechanisierungsmittel, ein hohes Niveau in der Arbeitsorganisation und in der Siliertechnik sowie Silierbehälter mit möglichst gasdichten Wänden voraus. Kurze Welkzeiten von 1 bis 2 Tagen, schnelle Füllung der Gärbehälter in 4 bis 5 Arbeitstagen und ausreichende Verdichtung in Verbindung mit möglichst dichtem Zudecken des Futterstockes sind die wichtigsten Kennzeichen einer guten Siliertechnologie.

Von der Mechanisierung und der Technologie wird erwartet, daß mit dem Übergang zu einem größeren Umfang der Gärfutterbereitung und zu einem höheren Trockenmassegehalt im Gärfutter geringere Ernte- und Konservierungsverluste sowie ein geringerer Arbeitszeitaufwand je 1 t Futtertrockenmasse gegenüber der Frischfuttersilierung und der Heubereitung erreicht werden.

Für die Planung und Bewirtschaftung von Siloanlagen ist die Kenntnis des Einflusses einiger physikalisch-mechanischer Eigenschaften von Siliergut und Gärfutter auf Gärprozeß und Mechanisierung von Interesse.

## 1. Trockenmassegehalt

Aus Gründen der Anreicherung gürungsfördernder Inhaltsstoffe, der Einschränkung von Verlusten durch Sickersaft sowie einer höheren Verzehraleistung ist es zweckmäßig, mindestens 30 % Trockenmassegehalt im Siliergut anzustreben. Für stark mit Stickstoff gedüngte und eiweißreiche Futterpflanzen ist ein Trockenmassegehalt von 35 bis 40 % zweckmäßig. Im Bereich 16 bis 50 % Trockenmassegehalt lassen sich für die Silagebereitung drei Siliergutklassen unterscheiden, die durch zulässige Feuchtigkeitsschwankungen von  $\pm 125$  kg je 1 t Siliergut als Klassengrenzen gekennzeichnet sind (Tafel 1).

Siliergut der Klasse I (16 bis 20 % TM) ist für Flachbehälter, der Klasse III (rd. 30 bis 50 % TM) vorzugsweise für Hochbehälter vorzuziehen. Das Siliergut der Klasse II (rd. 25 bis 35 % TM) kann in Flachbehältern mit über 3 m hohen und dichten Seitenwänden eingelagert und auch mit Traktoren noch ausreichend verdichtet werden. Je höher der Trockenmassegehalt des Siliergutes ist, um so wichtiger sind dichte Silos und geeignete Zudeckverfahren, wie z. B. Folie und Erde.

Tafel 1. Siliergutklassen nach der Feuchtigkeitsabgabe beim Welken

Futterart	Feuchtigkeitsabgabe <sup>1</sup>		Trockenmassegehalt	Trockenmassegehalt in den Siliergutklassen			Siliergutmasse
	kg	% <sup>2</sup>		Klasse	Klassenmitte	Klassengrenzen	
			%	%	%	%	%
Mähfrisches 0 Siliergut	0	18		1	18	16 ... 20	100
Welkes Siliergut	125	15	20				87,5
	250	30	24				75,0
	375	45	29	11	29	24 ... 36	62,5
	500	60	36	111	36	29 ... 48	50,0
	625	75	48				37,5

<sup>1</sup> je 1 t mähfrisches Siliergut

<sup>2</sup> bezogen auf den Feuchtigkeitsgehalt des mähfrischen Siliergutes

## 2. Häcksellänge

Gleichmäßig gutes Häckselgut gilt als Voraussetzung für mechanisierte Arbeitsverfahren der Erntebereitung und Fütterung. Bei der Hochsilofüllung mit Selbstentladewagen, Wurfgebläse und Schneckenverteileinrichtung ließen sich die Störzeiten gering halten und im Verhältnis zur Maschinen-Nennleistung befriedigende Einlagerungsleistungen erzielen, wenn mindestens 50 % der Siliergutmasse kürzer als 30 mm und höchstens 15 % der Siliermasse länger als 40 mm gehäckselt waren.

Auch für das Silieren in Flachbehältern ist kurz gehäckseltetes Futter günstig, vor allem, wenn später das Gärfutter mit Fräsladern entnommen werden soll. Kurzes Häckseln ist für die Gärfutterbereitung in Flachbehältern aus Gründen der Dichtlagerung um so wichtiger, je höher der Trockenmassegehalt des Siliergutes ist. Das ergeben auch die in Laborversuchen ermittelten Enddichten für Siliergutklassen mit unterschiedlichem Trockenmassegehalt und unterschiedlichen Häcksellängen (Tafel 2).

Tafel 2. Relative Endlagerungsdichte von gehäckseltetem Wiesengras<sup>1</sup>

Häcksellängen		Trockenmassegehalt in %			
50 % der Häckselmasse kürzer als ... mm	15 % der Häckselmasse länger als ... mm	bis 20	24 ... 36	29 ... 48	Relative Endlagerungsdichte
20	45	100	103	90	
30	70	81	84	68	
60	135	78	65	55	
80	145	76	65	55	

<sup>1</sup> Laborversuche mit einer Belastungseinrichtung; relative Endlagerungsdichte nach 5 aufeinanderfolgenden Be- und Entlastungen, Belastungszeit: 5 s bei einem Druck von 0,4 kp/cm<sup>2</sup>; Entlastungszeit: je 60 s

## 3. Lagerungsdichte

Luftporenanteil im Futterstock und Gasaustausch zwischen Futterstock und Außenluft sind für einen ordnungsgemäßen Gärablauf auf ein Minimum zu reduzieren. Diese wohl wichtigste siliertechnische Aufgabenstellung ist nur durch das Zusammenwirken von Silobau, Verdichtung und Zudecken des Futterstockes zu lösen. Bei luftdichtem Abschluß des Siliergutes im Gärbehälter könnte auf eine Verdichtung völlig verzichtet werden. Die dafür z. Z. erforderlichen Kosten sind jedoch nicht zu vertreten.

In den nicht luftdicht abschließbaren Gärbehältern muß auf eine Verringerung des Luftporenanteils im Futterstock durch Verdichten besonderer Wert gelegt werden. Außerdem erreicht man durch das Verdichten eine gute Ausnutzung des Behälterraums (Trockenmasse je 1 m<sup>3</sup> Behälterraum) und in Flachbehältern die Verbesserung der Fahrbahneigenschaften auf dem Futterstock für das Überfahren mit schweren Transportfahrzeugen. Siliergut weist nach dem Verdichtungsvorgang eine von bestimmten Materialeigenschaften abhängige Rückdehnung auf. Nur ein Teil der aufgewendeten Arbeit wird für die Verringerung des Luftporenanteils im Futterstock wirksam, ein großer Teil geht durch die Rückdehnung verloren. Der Zusammenhalt der Futterteile wird durch mechanisches Verflechten sowie durch Verkleben mit dem austretenden Zellsaft erreicht. Je höher die Siliergutfeuchte ist, um so besser sind die Voraussetzungen für ein Verkleben. Mit steigendem Gehalt an Trockenmasse und Rohfaser nimmt die Rückdehnung des Futterstockes nach der Verdichtung zu; die Bedingungen für ein Verkleben der Futterteile verschlechtern sich; der Luftporenanteil im Futterstock steigt. Kurzes Häcksel erleichtert das Verdichten (Tafel 2). Außerdem erhöht sich die

\* Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Dornin der DAL zu Berlin (Direktor: Obering. O. BOSTELMANN)

Einlagerungskapazität an Futtertrockenmasse je 1 m<sup>3</sup> Behälterraum mit steigendem Trockenmassegehalt (Tafel 3).

Neben den Eigenschaften des zu verdichtenden Materials ist der Verdichtungseffekt technischer Einrichtungen abhängig von Druck, Einwirkungszeit oder Haltezeit des Druckes und Belastungshäufigkeit.

Für die Lufteinwirkung ist die Enddichte der Frisch- oder Erntemasse im Futterstock, nicht die Trockenmassedichte maßgebend. Für ökonomische Berechnungen wird die Trockenmassedichte herangezogen.

Tafel 3. Lagerungsdichte von Gärfutter in Flach- und Hochbehältern<sup>1</sup>

Gärfutterart	Mittlerer Trockenm.-Gehalt	Mittlere Futterstockhöhe <sup>2</sup>	Mittlere Dichte des Futterstockes	
	%	m	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
1. Flachbehälter				
Grünroggen, gehäckselt, mähfrisch siliert	16	1,50 3,00	920 945	145 150
Silomais, gehäckselt, mähfrisch siliert	18	1,50 3,00	825 890	150 160
Gras, geschlegelt, mähfrisch siliert	22	1,50 3,00	840 860	185 190
Gras geschlegelt, welk siliert (30 ... 50)	36 <sup>3</sup>	1,50	655	235
Gras, kurz geh., welk siliert (30 ... 50)	36	1,80	730	260
2. Hochbehälter				
Gras, Klee gras u. andere welkfähige Siliergüter — kurz gehäckselt	36	12,00 18,00	780 840	280 300

<sup>1</sup> Angaben der Welksilagedichten als vorläufige Mitteilung; Siliergut in Flachbehältern mit Traktoren festgewalzt; Hochbehälter mit 7,20 m Durchmesser und ≈ 20 m Höhe

<sup>2</sup> nach Abschluß der Vergärung

<sup>3</sup> für Flachbehälter zu stark gewelkt

Als Maß für die erforderliche Enddichte eines Futterstockes wird von einigen Autoren die Dichte angegeben, bei der ein weiteres Festfahren durch Traktoren keine weitere Dichtezunahme bringt. Da dieser Wert wesentlich durch den Raddruck und die Fahrwerkgestaltung der Traktorentypen beeinflusst wird, ist er als objektives Maß für die erzielte Enddichte des Siliergutes ungeeignet.

Ebenso gibt die Forderung nach einer Mindest-Trockenmassedichte keine geeigneten Hinweise für eine optimale Dichte (Tafel 4). Für die drei in Tafel 4 aufgeführten mittleren Trockenmassegehalte ergeben sich unterschiedliche Luftporenanteile von 20 bis 62 % und damit auch ungleiche Silierbedingungen.

Ein Festfahren des Futterstockes bis zu der Lagerungsdichte, bei der eine weitere Volumenverringering des Futterstockes während der Vergärung nicht mehr erkennbar wird, ist nicht zu verwirklichen. Die Volumenverringering des Futterstockes wird neben Setzungsvorgängen auch durch Gärverluste hervorgerufen und kann nicht nur mit der Verdichtung in Zusammenhang gebracht werden.

Besser als die genannten Kriterien ist für die Beurteilung der erreichten Lagerungsdichte des Futterstockes der Luftporenanteil PA im Futterstock geeignet (Tafel 4), der sich aus der Lagerungsdichte des Siliergutes d und der Dichte der Futterteile  $\varrho$  errechnen läßt:

$$PA = 100\% - \frac{d \cdot 100}{\varrho} \quad \begin{array}{|c|c|c|} \hline PA & d & \varrho \\ \hline \% & \text{kg/m}^3 & \text{kg/m}^3 \\ \hline \end{array}$$

Die Dichte der Futterteile  $\varrho$  wird maßgeblich vom Feuchtegehalt beeinflusst. Holz und Bastfasermaterial hat im wasser- und luftfreien Zustand eine Dichte  $\varrho = 1430$  bis  $1570 \text{ kg/m}^3$  [1]. AWTOMONOW [1] hat angenäherte Werte der Dichte von Grünmais, Klee und Luzerneheu ermittelt. Er fand im Feuchtebereich  $f = 25$  bis  $85\%$  eine lineare Abhängigkeit der Dichte  $\varrho$  vom Feuchtegehalt des Siliergutes mit der Regressionsgeraden:

$$\varrho = 1460 \text{ kg/m}^3 - 4,6 \text{ kg/m}^3 \cdot f$$

Tafel 4. Lagerungsdichten und Luftporenanteile in Gärfutterstößen

Dichtekriterien	Trockenmassegehalt des Siliergutes:				
		%	18	29	36
1. Trockenmassedichte	Angestrebte Trockenmassedichte (TMD)	kg/m <sup>3</sup>	160	160	160
	Notwendige Lagerungsdichte (bei TMD = 160 kg/m <sup>3</sup> const.)	kg/m <sup>3</sup>	890	550	440
	Luftporenanteil	%	20	51	62
2. Luftporenanteil im Futterstock	Angestrebter Luftporenanteil (PA)	%	20	20	20
	Notwendige Lagerungsdichte (bei PA = 20 % const.)	kg/m <sup>3</sup>	890	910	940
	3. Erreichte Lagerungsdichte	Lagerungsdichten in Gärfutterstößen (Mittelwerte)	kg/m <sup>3</sup>	890 <sup>1</sup>	780 <sup>1</sup>
	Lagerungsdichten der oberen und der unteren Futterschichten im Silo	kg/m <sup>3</sup>	775/940	700/850	660/990
	Luftporenanteile (Mittelwerte)	%	20	32	28
	Luftporenanteile der oberen und der unteren Futterschichten im Silo	%	28/13	39/25	44/15

<sup>1</sup> Flachbehälter    <sup>2</sup> Hochbehälter

Untersuchungen von KUKTA und PRITCENKO [2] sowie von FIALA [3] brachten von diesen Werten abweichende Ergebnisse. Für die hier zu diskutierende Problematik können die Näherungswerte von AWTOMONOW als ausreichend genau angesehen werden.

Vergleicht man die für einen Luftporenanteil von 20 % im Futterstock notwendige Lagerungsdichte (Tafel 4) mit der in Gärfutterstößen erreichten, wird deutlich, daß Welksilagen auch bei relativ hohen Lagerungsdichten einen höheren Luftporenanteil aufweisen als Frischsilagen. Während in den unteren Schichten im Hochsilo bei Welksilage ähnliche Luftporenanteile erwartet werden können wie in Flachsilos bei Frischsilage, sind die oberen Schichten im Hochsilo (44 %) und Welksilagen in Flachsilos (25 bis 30 %) bei undichten Silowänden und unzureichendem Zudecken besonders gefährdet. Eine Erhöhung des Verdichtungsaufwandes in Flachbehältern zur weiteren Verringerung des Luftporenanteils ist nicht zweckmäßig, da der Dichtezuwachs nur sehr gering ist. Um den bei einem höheren Luftporenanteil möglichen intensiven Gasaustausch einzuschränken, ist es notwendig, für Welksilagen den Futterstock sorgfältig zuzudecken und dichte Silowände bei Flach- und Hochsilos vorzusehen, vor allem wenn Hochsilos mit mittlerem Fallschacht bewirtschaftet werden. Nur das Zusammenwirken von Silobaumaßnahmen, Verdichtung und Zudecken des Futterstockes schafft die Voraussetzungen für die verlustarme Bereitung von Welksilage.

Aus den Meßwerten der Lagerungsdichte von Gärfutterstößen ist zu erkennen, daß mit zunehmender Futterstockhöhe, mehr aber noch mit zunehmendem Trockenmassegehalt des Siliergutes die im Behälterraum eingelagerte Futtertrockenmasse steigt. Das ist für die Wirtschaftlichkeit von Siloanlagen sehr bedeutungsvoll.

#### 4. Schlußfolgerungen

- Siliergut für Hochbehälter ist auf durchschnittlich 36 % (30 bis 50 %) Trockenmassegehalt zu welken, um einen sicheren Gärablauf, eine hohe Einlagerungskapazität und eine maximale Verzeirleistung zu erreichen.
- Hohe Futterstöcke führen erst in Verbindung mit höherem Trockenmassegehalt des Siliergutes zu einer nennenswert höheren Einlagerungskapazität an Gärfuttertrockenmasse. Die Vorteile von Hochbehältern sind nur bei Welksilage (Klasse III) voll nutzbar.
- Welksilagen können auch in Flachbehältern bereitet werden, wenn der Trockenmassegehalt 25 bis 35 % beträgt, kurz gehäckselt Siliergut eingelagert und sorg-

fällig verdichtet wird, dichte, hohe Silowände vorhanden sind und der Futterstock (z. B. mit Folie und Erde) zugedeckt wird.

- Je höher der Trockenmassegehalt des Siliergutes ist, um so wichtiger sind gasdichte Behälterwände bei Hoch- und Flachsilos sowie gute Zudeckverfahren.
- Auf Grund der höheren Einlagerungskapazität an Futter-trockenmasse und der zu erwartenden Verringerung der Gärverluste ist es gerechtfertigt, für Silos, die für die Silierung von Welkgut geeignet sind, höhere Baukosten aufzuwenden als für Frischsilage-Silos.

## 5. Zusammenfassung

Die Welksilagebereitung ist eine Schwerpunktaufgabe für die Verbesserung der Futterwirtschaft. Für die Verringerung

des Luftporenanteils und die Einschränkung des Gasaustausches zwischen Futterstock und Außenluft müssen Maßnahmen zur Verdichtung des Futterstockes, dichte Gärbehälter und gute Zudeckverfahren zusammenwirken.

## Literatur

- [1] AWTOMONOW, I. J.: O pokkasatele opredelenija stepeni uplotnjenja silosa. (Die Kennziffer des Verdichtungsgrades der Silage.) *Shivotnowodstwo*, Moskau (1958) II. 8, S. 37 bis 40
- [2] KUKTA, G. M./S. A. PRITCENKO: Pribor dlja opredelenija udel'nogo wesa kormov. (Gerat zur Bestimmung der spezifischen Masse des Futters.) *Mechan. i elektr. soz. sel'sk. choz.* 23 (1965) H. 4, S. 54 und 55
- [4] FIALA, J.: Fyzikalni vlastnosti porezanych materialu v procesu pripravy senaze a zavadle silaze. (Physikalische Eigenschaften von Häcksel bei der Garheu- und Anwelkgärfutterbereitung.) *Zemed. technika* 11 (1965) H. 8/9, S. 505 bis 518 A 7204

# Der Hochsilo aus dem LIW Nauen

## 1. Einleitung

Neben den hohen Fahrsilos werden für unsere sozialistische Landwirtschaft noch in diesem Jahr die ersten Hochsilos der DDR errichtet. Beide Bauarten sollen helfen, die z. Z. noch hohen Konservierungsverluste zu senken, wobei der eine Silotyp keinesfalls als Konkurrent des anderen zu betrachten ist. Beide Behälterarten haben ihr fest umrissenes Einsatzgebiet. Während der hohe Fahrsilo im allgemeinen für Naßsilage und schwach vorgewelkte Futterfrüchte vorgesehen ist, werden im Hochsilo stärker vorgewelkte, schwer vergärbare Futterarten eingelagert.

Der Vorteil des Hochsilos gegenüber dem Fahrsilo ist, daß er eine große Lagerhöhe bei geringer freier Futteroberfläche erlaubt, einen geringeren Flächenbedarf je t eingelagertes Gut erfordert, die Konservierungsverluste geringer sind und ein lückenloses Mechanisierungssystem für die Bewirtschaftung vorhanden ist. Dieses Mechanisierungssystem kann in Großanlagen mit stationärer Fütterung bis zur Automatisierung entwickelt werden, wobei 1 Ak ohne Handarbeitsaufwand bis 1000 Tiere füttern kann.

Der Einsatz von Hochsilos ist nur dann zu empfehlen, wenn durch den höheren Trockenmasseverzehr aus Silage die arbeitsaufwendige Heukette entfällt, durch sichere Silierung von schwer vergärbaren Futterfrüchten die Konservierungsverluste im Hochsilo entscheidend gesenkt werden und durch die anschließende sinnvolle Mechanisierung der Fütterung — besonders in Großanlagen — eine wesentliche Senkung des Aufwands an lebendiger Arbeit erreicht wird.

## 2. Hauptdaten des Hochsilos

Der Hochsilo (mit kompletter Mechanisierung der Befüllung und Entnahme lieferbar) wird vom LIW Nauen errichtet. Er besteht aus dem Fundament, dem eigentlichen Silozylinder und der Dachkuppel. Seine Hauptabmessungen sind:

Außendurchmesser	7 500 mm
Füllhöhe (Höhe ohne Kuppel)	22 000 mm
Gesamthöhe (mit Kuppel)	25 750 mm
Umbauter Raum des Zylinders	940 m <sup>3</sup>
Einlagerbare Silagemasse	500 bis 560 t

\* VEB Landtechnisches Instandsetzungswerk Nauen

Dipl.-Ing. H. NOACK, KDT\*

Das Fundament muß für jeden Standort entsprechend den Bodenverhältnissen projektiert werden und kann sehr unterschiedlich ausfallen.

Der Silozylinder setzt sich aus industriemäßig gefertigten Betonformsteinen zusammen und ist durch über 100 feuerverzinkte Stahlringe am äußeren Umfang verspannt. Seine Innenwandung wird nach der Montage mit Betonmörtel verschlämmt und durch einen plastischen Anstrich gegen die Silagesäuren geschützt. Über der gesamten Zylinderhöhe befindet sich ein Lukenband, das zum Einstieg in den Silo und zum Abwurf der Silage bei Außenabwurf dient.

Auf den Silozylinder ist eine halbkugelförmige Kuppel aus Aluminium aufgesetzt, die zum Schutz der Silageoberfläche gegen Regen und Schnee und zur Aufnahme der Entnahmefräse während der Befüllung dient.

## 3. Befüllung des Hochsilos

Aus Gründen einer reibungslosen Befüllung, einer erfolgreichen Silierung und einer störungsfreien Entnahme soll nur vorgewelktes, kurzgehäckseltes Siliergut in den Hochsilo ein-

Bild 1. Hochsilo aus dem LIW Nauen

