

Beitrag zur Untenentnahme von Gärfutter aus Hochsilos

Institut für Grünlandwirtschaft, Futterbau und Futterkonservierung, Braunschweig-Völkenrode

Die Diskussion über Leistung und Kosten der Untenentnahme von Hochsilos ist in vollem Gange. Die an etwa 35 Anlagen verschiedener Art im Winter 1963/64 ermittelten Leistungsdaten waren Anlaß zu einigen theoretischen Überlegungen, die im folgenden Beitrag niedergelegt sind¹⁾. Vielleicht ergeben sich daraus Ansatzpunkte für den Landtechniker und den Konstrukteur.

Prof. Dr. E. ZIMMER

Die Untenentnahme von kurzgehäckseltem Gärfutter aus Hochsilos ist ein relativ junges Verfahren. Während seit Beginn der Gärfutterbereitung das Futter aus Hochsilos manuell oder mit Hilfe von Oberfräsen von oben entnommen wird, konnten erst mit der Entwicklung spezieller Untenfräsen die Voraussetzungen dafür geschaffen werden, Hochsilos auch von unten zu entleeren.

Grundsätzlich bietet die Entnahme von unten im Vergleich zur Obenentnahme bedeutende Vorteile. Da der Futterstock bei der Entnahme fortlaufend nachrutscht, kann im Gegensatz zur Obenentnahme an der Anstichfläche kein luftgefüllter Raum entstehen. Zudem läßt sich die Auswurföffnung am Siloboden leicht verschließen, so daß das Futter auch zwischen den Fütterungszeiten luftabgeschlossen lagert. Nur unter diesen Voraussetzungen ist die Konservierung von Gärheu (40–60% Trockensubstanz) ohne große Nährstoffverluste möglich. Die Bereitung von Gärheu wiederum ist Vorbedingung für eine ausschließliche Rindvieh-Grundfütterration aus Gärfutter.

Ein weiterer Vorteil der Untenentnahme ist, daß das Futter in der gleichen Folge aus dem Behälter entnommen wird, wie es eingefüllt wurde. Durch ein Nachfüllen des Silos wird somit nicht die Entnahme des fertigen Gärfutters verbaut, was besonders in Betrieben mit Sommerstallfütterung wiegt. Die Bilder 1 und 2 zeigen zwei Methoden der Untenentnahme.

Der Druck der Futtersäule auf den Siloboden

Entleerungstechnisch ist von Nachteil, daß die Untenentnahme unter dem senkrechten Druck der Futtersäule erfolgen muß. Als ein wirksames Mittel zur Verringerung dieses Druckes ist die Einlagerung von Futter mit niedrigem Wassergehalt bekannt. Untersuchungen von ZIMMER [1] lassen erkennen, daß der Bodendruck durch starkes Vorwelken des Futters um ein Mehrfaches gesenkt werden kann.

Nach den Arbeiten von POMROY und OTIS [2] wird der höchste Bodendruck in zeitlicher Folge nicht unmittelbar nach dem Befüllen des Behälters, sondern trotz der unvermeidbaren Gärverluste erst einige Monate später, meistens bei Beginn der Entnahme für die Winterfütterung erreicht. Nach Beginn der Entnahme sinkt der Bodendruck dann wieder, allerdings im bedeutend geringeren Maße als das Gewicht des noch im Silo lagernden Futters.

Erwartungsgemäß ist weiterhin der senkrechte Druck nahe der Silowand am geringsten, da hier ein Teil des Futtergewichtes durch den seitlichen Druck und durch die Wandreibung auf die Silowand übertragen wird. Mit zunehmendem Abstand von der Silowand steigt der Bodendruck und erreicht in der Silomitte sein Maximum.

Bild 3 zeigt, welche Bodendrucke in einem Hochsilo in Abhängigkeit von der Entfernung zur Silomitte bei 13,50 m Füllhöhe, 4,20 m Durchmesser und Befüllung mit mäßig angewelktem, kurzgehäckseltem Luzernegras (71,8% Wasser) entstehen. Es wurde nach Werten von POMROY und OTIS [2] zusammengestellt, wobei der Zeitpunkt des Beginns der Entnahme (vier Monate nach Ende der Befüllung), somit des zeitlichen Maximums des Bodendruckes, gewählt wurde.

Zur Erleichterung der Untenentnahme benutzt man bei Radialfräsen oft für die ersten zwei bis drei Umdrehungen einen Fräsarm, der etwa 30 cm kürzer als der Innenradius des Silos ist. Die Fräse wird danach wieder ausgefahren und der Fräsarm durch Einschieben eines Zwischenstückes sowie durch Einsetzen zusätzlicher Kettenglieder um 30 cm verlängert.

Durch die Entnahme mit dem verkürzten Fräsarm soll ein etwa halbkugelförmiger Dom im Siloinnern gebildet werden. Bei gut rieselndem Futter bleibt dieser Dom bei der späteren Entleerung mit dem langen Fräsarm erhalten, da aus seiner „Kuppel“ fortlaufend Gärfutterbrocken auf den Siloboden fallen.

Der Hohlraum im Siloinnern dient der Minderung des Futterdruckes auf die Untenfräse. Er bildet sich in dem gut rieselndem Maisgärfutter oft in Höhen von mehreren Metern. In Gärfutter aus gras- und kleeartigen Pflanzen, die in Deutschland vorherrschen, bleibt dieser Hohlraum klein; falls nur mäßig vorgewelkt wurde, fehlt er in der Regel ganz. Bei der Entnahme mit einer Diametralfräse ist die Bildung eines Hohlraumes von vornherein ausgeschlossen. Auch mehrere Hersteller von Radialfräsen verzichten auf die Verkürzung des Fräsarmes.

Der Energieaufwand für die Untenentnahme

In dieser Arbeit soll nun auf die Frage, warum die Untenentnahme von Gärfutter mit einem Wassergehalt oberhalb des für Gärheu

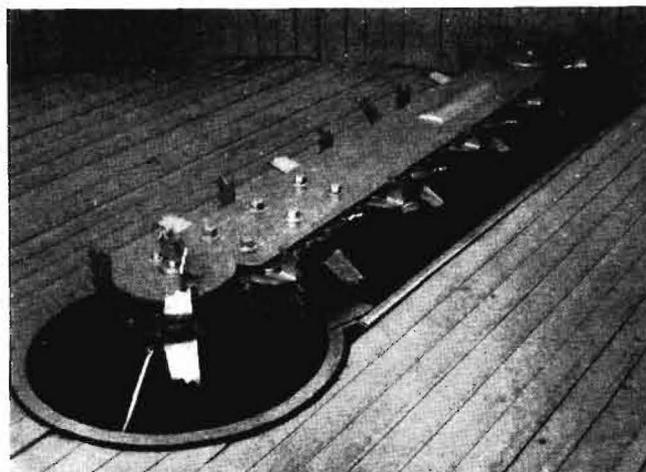


Bild 1: Radialfräse

Der Fräsarm rotiert langsam um den Silomittelpunkt, während die Fräskette das Futter zur Silomitte schleppt und dort abwirft

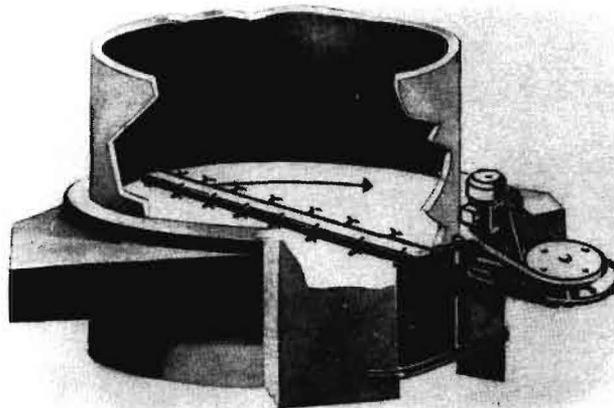


Bild 2: Diametralfräse

Der Fräsarm bewegt sich langsam hin und her über den Siloboden. Die Fräskette wirft das Futter an der Siloperipherie ab

¹⁾ Die Untersuchungen wurden seinerzeit noch von Herrn Prof. Dr. A. KÖNIG-KAMP, Braunschweig-Völkenrode, angeregt und eingeleitet

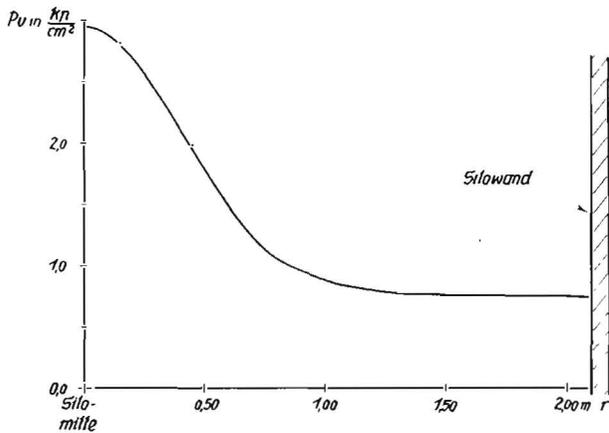


Bild 3: Der Bodendruck P , in einem Hochsilo in Abhängigkeit von der Entfernung zur Silomitte r errechnet nach [2]

geltenden Bereiches (40–60% Wasser) so schwierig ist, näher eingegangen werden.

Ein geeigneter Maßstab für den Schwierigkeitsgrad der Untenentnahme ist der Aufwand an Energie, der je Tonne Trockensubstanz geleistet werden muß. Dieser Energieaufwand ist nicht allein wegen der Kosten für die elektrische Energie von Bedeutung. Er ist gleichzeitig ein Indikator für den technischen Aufwand bei der Untenentnahme.

Tafel 1 enthält die Ergebnisse von Messungen über den Energieaufwand bei unterschiedlichen Gärfutterarten und unterschiedlichem Wassergehalt. Es zeigt sich ein sehr deutlicher Einfluß des Wassergehaltes und der Rieselfähigkeit des gehäckselten Futters, die erfahrungsgemäß von Mais über Luzerne- und Klee gras zu Mähweidegras sehr abnimmt.

Tafel 1: Der Energieaufwand für die Untenentnahme

Zahl der Werte	Gärfutterart*)	Wassergehalt	kWh netto**) je Tonne Trockensubstanz im Durchschnitt
1	Mais	51,6	1,47
1	Mais	75,6	2,79
3	Luzerne oder Klee gras	35—39	3,78
3		42—47	4,77
3		60—65	9,45
5	Mähweidegras	32—39	8,74
6		40—49	9,59
9		50—60	11,56
5		61—67	16,74
2		71—72	24,58

*) Von Exakthäckseln auf 1,2–2,5 cm Länge (gewogenes arithm. Mittel der Häckselängen) geschnitten

**) Motorwirkungsgrad berücksichtigt; es handelt sich also um die Energieabgabe des Motors

Der gesamte Energieaufwand für die Untenentnahme kann nun folgendermaßen aufgeteilt werden:

1. Trennenergie — wird benötigt zum Loslösen des Gärfutters aus dem dichtlagernden Verband;
 2. Schleppenergie — ist erforderlich für den Transport des losgelösten Gärfutters vom Lagerort zur Auswurfstelle unter der Annahme, daß alle Futterbissen beim ersten Passieren der Auswurföffnung in diese abgeworfen werden;
 3. Leerlaufenergie
 4. Nutzlose Reibungsenergie — geht verloren,
 - a) wenn das von den Fräsworkzeugen mitgeführte Futter nicht beim ersten Passieren der Auswurfstelle abgeschüttelt wird. Das Futter wird von der Fräskette weiter mitgeschleppt und wird erst nach wiederholtem Passieren der Auswurfstelle in diese abgeworfen;
 - b) durch Reibung der leeren Fräsworkzeuge am Futterstock.
- Es sollen nun die Trennenergie und die Schleppenergie theoretisch

errechnet werden. Die Entnahmebedingungen, die bei den in Bild 3 dargestellten Bodendruckverhältnissen gelten, sollen dabei zugrunde gelegt werden, es soll sich also um die Entnahme von nur mäßig angewelktem, kurzgehäckseltem Luzernegras aus einem bis oben gefüllten Behälter mit 13,50 m Höhe und 4,20 m Durchmesser zur Zeit des höchsten Bodendruckes handeln.

Die Trennenergie

Da eine genaue Berechnung der Trennenergie zu problematisch erscheint, soll nur der unter den ungünstigsten Bedingungen zu erwartende Energieaufwand — also dessen obere Grenze — ermittelt werden.

Das Loslösen des Gärfutters aus dem dichtlagernden, festen Verband am Siloboden erfolgt günstigstenfalls durch Reißen, im energetisch ungünstigsten Falle durch einen Schervorgang. Über die zum Abscheren von verschiedenen Gärfutterarten bei der Untenentnahme erforderliche Energie liegen Versuchsergebnisse von BRIGHT und KLEIS [3] vor, die durch Laborexperimente gewonnen wurden. Danach muß für angewelktes, kurzgehäckseltes Gärfutter aus Luzerne oder Gräsern bei einer Dichte von 250 kg Trockensubstanz je m^3 (die am Siloboden etwa auftritt) und bei drei Monaten Lagerungszeit mit einem Energieaufwand von höchstens 0,14 mkp/cm² Trennfläche gerechnet werden.

Die Größe der Trennfläche je Tonne Trockensubstanz hängt von der durchschnittlichen Bissenstärke ab, mit der die Fräsworkzeuge das Futter abfräsen. Je kleiner die durchschnittliche Bissenstärke, um so größer ist die Trennfläche und somit die Trennenergie je Tonne Trockensubstanz. Die kleinstmögliche durchschnittliche Bissenstärke bei gegebener Auswurfleistung ist erreicht, wenn jedes Werkzeug der Fräskette bei einem Umlauf einen Bissen mitschleppt und an der Auswurfstelle abliefern, wenn also keine Werkzeuge leer umlaufen oder ein Bissen mehrfach die Auswurfstelle passiert.

Bei der vorherrschenden Fräskettengeschwindigkeit von 24 m/min und bei einem vergleichsweise engem Abstand der Fräsworkzeuge von 12 cm können je Minute maximal 200 Futterbissen losgefräst werden. Es soll nun weiterhin eine Auswurfleistung von insgesamt nur 5 kg Trockensubstanz je Minute und somit 0,025 kg Trockensubstanz per Bissen angenommen werden. Entsprechend der bereits oben zugrunde gelegten Dichte von 250 kg Trockensubstanz je m^3 für das am Siloboden lagernde Futter entfällt auf 0,025 kg je Bissen vor dem Abtrennen ein Volumen von 100 cm³. Die Trennfläche je Bissen ist gleich der halben Oberfläche dieses Volumens, dem in Vereinfachung die Form eines Würfels zugeordnet werden soll. Es entfällt somit auf 0,025 kg Trockensubstanz eine Trennfläche von der halben Oberfläche dieses Würfels, also rund 65 cm². Daraus folgt:

$$\begin{aligned} \text{Trennfläche je Tonne Trockensubstanz} &= 26 \cdot 10^3 \text{ cm}^2 \\ &\text{und bei einer Trennenergie von } 0,14 \text{ mkp/cm}^2, \\ \text{Trennenergie je Tonne Trockensubstanz} &= 364\,000 \text{ mkp} \\ &\cong 1 \text{ kWh (da } 367\,100 \text{ mkp} = 1 \text{ kWh)}. \end{aligned}$$

Dieser somit für die maximal erforderliche Trennenergie je Tonne Trockensubstanz gewonnene Wert von rund 1 kWh darf natürlich nur als Größenordnung gewertet werden. Der Vergleich mit dem gesamten Energieaufwand je Tonne Trockensubstanz (Tafel 1) zeigt aber, daß die Trennenergie einen sehr geringen Teil davon einnimmt.

Die Schleppenergie

Beim Transport des losgelösten Futterbissens wird dieser im energetisch ungünstigsten Fall, eingezwängt zwischen der Futtersäule und dem Siloboden, zur Auswurfstelle geschleppt. Der Bissen reibt sich dann also sowohl am Siloboden als auch an der Futtersäule.

Falls der Bissen vom Fräsworkzeug getragen wird, reibt er sich nur an der Futtersäule. In diesem Fall entsteht aber zwischen der Fräskette und ihrer Führungsschiene ein höherer Verlust an Reibungsenergie, der allerdings geringer ist als der Verlust an Energie bei der Reibung des Bissens am Siloboden; die Reibung zwischen Stahl und Stahl ist kleiner als die zwischen Gärfutter und einem Siloboden aus Stahl oder Beton.

Es soll nun angenommen werden, daß die Futterbissen sich sowohl

an der Futtersäule als auch am stählernen Siloboden reiben. Weiterhin darf vorausgesetzt werden, daß auf den von der Fräskette transportierten Bissen jeweils der in Bild 3 dargestellte senkrechte Druck P_v wirkt. Während sich der Fräsarm freifräst, werden zwar auch Futterpartien unter einem Druck entnommen, der niedriger ist als P_v ; dafür lastet dann aber auf den benachbarten Partien ein um so höherer Druck. Der Durchschnitt der Futterbissen wird daher unter den in Bild 3 dargestellten Druckverhältnissen weggeschleppt, für die die Beziehung

$$P_v = 0,75 + 2,2e^{-3r^2}$$

aufgestellt werden kann.

Im folgenden soll nun die unter diesen Druckverhältnissen erforderliche Schleppenergie bei der Entnahme mittels einer Radialfräse und einer Diametralfräse ermittelt werden.

a) Entnahme mittels Radialfräse

Die geometrischen Verhältnisse zeigt Bild 4; folgende Formelzeichen wurden verwendet:

$P_v \left[\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \right]$ oder $\left[\frac{10^4 \text{kp}}{\text{m}^2} \right]$ = Druck der Futtersäule auf Siloboden

S_B [mkp] = Schleppenergie für einen Bissen

S_F [mkp] = Schleppenergie für die Entnahme bei einer bestimmten Fräsarmstellung

S_s [mkp] = Schleppenergie für die Entnahme einer vollen Scheibe

μ_s = Koeffizient für Reibung zwischen Gärfutter und Siloboden aus Stahl

μ_g = Koeffizient für Reibung zwischen Gärfutter und Gärfutter (innere Reibung)

μ_s = Summe von μ_s und μ_g

r [m] = Entfernung vom zu entnehmenden Bissen zur Silomitte

ϱ [m] = Entfernung vom zu entnehmenden Bissen zur Auswurfstelle bei Diametralfräse

θ [°] = Fräsarmwinkel bei Radialfräse

α [°] = Fräsarmwinkel bei Diametralfräse

a [2,1 m] = Siloradius

Nach dem COULOMBSCHEN Reibungsgesetz folgt:

$$S_B = \mu_s \int_0^r P_v dr. \quad (1)$$

Entsprechend dem Verfahren der Flächenberechnung mit Hilfe von Polarkoordinaten ergibt sich weiter:

$$S_F = \mu_s \int_0^{2,1} \left(\int_0^r P_v dr \right) r dr, \quad (2)$$

und

$$S_s = \mu_s \int_0^{2\pi} \left[\int_0^{2,1} \left(\int_0^r P_v dr \right) r dr \right] d\theta. \quad (3)$$

Nun ist $P_v = 0,75 + 2,2 e^{-3r^2}$. Um diesen Ausdruck integrieren zu können, ist eine TAYLOR Expansion erforderlich. Sie ergibt:

$$P_v = 0,75 + 2,2 \left(1 - \frac{3r^2}{1!} + \frac{3^2 r^4}{2!} - \frac{3^3 r^6}{3!} + \dots \right). \quad (4)$$

Nach der obigen Gleichung für S_F erhält man:

$$S_F = \mu_s \left[0,25 r^3 + 2,2 \left(\frac{r^3}{1 \cdot 3} - \frac{3^1 r^5}{3 \cdot 5} + \frac{3^2 r^7}{2! \cdot 5 \cdot 7} - \frac{3^3 r^9}{3! \cdot 7 \cdot 9} + \dots \right) \right]_0^{2,1} \quad (5)$$

Die Auswertung dieser Gleichung gibt:

$$S_F = 4,72 \mu_s,$$

wobei entsprechend den aufgeführten Dimensionen S_F in 10^4 mkp angegeben wird, so daß schließlich nach [3] folgt:

$$\begin{aligned} S_s &= 9,44 \pi \mu_s 10^4 \text{ mkp}, \\ &= 296 600 \mu_s \text{ mkp}, \\ &= 0,81 \mu_s \text{ kWh}. \end{aligned}$$

b) Entnahme mittels Diametralfräse

Analog zu den Gln. (1), (2) und (3) erhält man nach Bild 4:

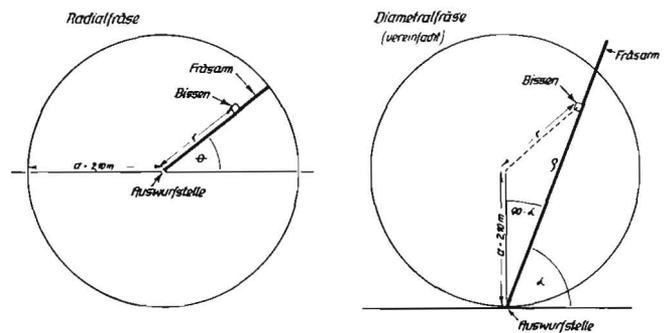


Bild 4: Die geometrischen Verhältnisse bei der Entnahme mittels Radial- oder Diametralfräse

$$S_F = \mu_s \int_0^{2a \sin \alpha} \left(\int_0^{\varrho} P_v d\varrho \right) \varrho d\varrho, \quad (6)$$

$$S_s = \mu_s \int_0^{\pi} \left[\int_0^{2a \sin \alpha} \left(\int_0^{\varrho} P_v d\varrho \right) \varrho d\varrho \right] d\alpha. \quad (7)$$

In der Druckgleichung $P_v = 0,75 + 2,2e^{-3r^2}$ muß nun r durch ϱ ersetzt werden. Der Kosinussatz gibt nach Bild 4:

$$r^2 = \varrho^2 + a^2 - 2a\varrho \sin \alpha$$

oder

$$r^2 = (\varrho - a \sin \alpha)^2 + a^2 \cos^2 \alpha. \quad (8)$$

Um die beiden Integrationen nach $d\varrho$ in Gl. (6) zu erleichtern, wird die Substitution $\varrho - a \sin \alpha = \frac{t}{\sqrt{3}}$ und entsprechend $d\varrho = \frac{dt}{\sqrt{3}}$ vorgenommen.

Die Druckgleichung lautet dann:

$$P_v = 0,75 + 2,2 e^{-3a^2 \cos^2 \alpha} e^{-t^2}.$$

Natürlich müssen auch die Integrationsgrenzen in Gl. (6) entsprechend der Substitutionsgleichung geändert werden.

Damit ergibt sich:

$$S_F = \frac{\mu_s}{3} \int_{-\sqrt{3} a \sin \alpha}^{\sqrt{3} a \sin \alpha} \left[\int_{-\frac{t}{\sqrt{3}} + a \sin \alpha}^{\frac{t}{\sqrt{3}}} (0,75 + 2,2 e^{-3a^2 \cos^2 \alpha} e^{-t^2}) dt \right] \times \left(\frac{t}{\sqrt{3}} + a \sin \alpha \right) dt. \quad (9)$$

Um Gl. (9) integrieren zu können, muß für e^{-t^2} die TAYLOR Expansion $1 - t^2 + \frac{t^4}{2!} - \frac{t^6}{3!} + \dots$ eingesetzt werden. Man erhält dann für S_F nach mehreren Zwischenstufen:

$$S_F = 2\mu_s a^3 \sin^3 \alpha \left[1 + 2,2 e^{-3a^2 \cos^2 \alpha} \left(\frac{4}{3} - \frac{3 \cdot 6a^2 \sin^2 \alpha}{1! \cdot 3 \cdot 5} + \frac{3^2 \cdot 8a^4 \sin^4 \alpha}{2! \cdot 5 \cdot 7} - \frac{3^3 \cdot 10a^6 \sin^6 \alpha}{3! \cdot 7 \cdot 9} + \dots \right) \right]. \quad (10)$$

Während also S_F bei der Radialfräse (Gl. 5) von der Fräsarmstellung unabhängig ist, zeigt sich bei der Diametralfräse eine

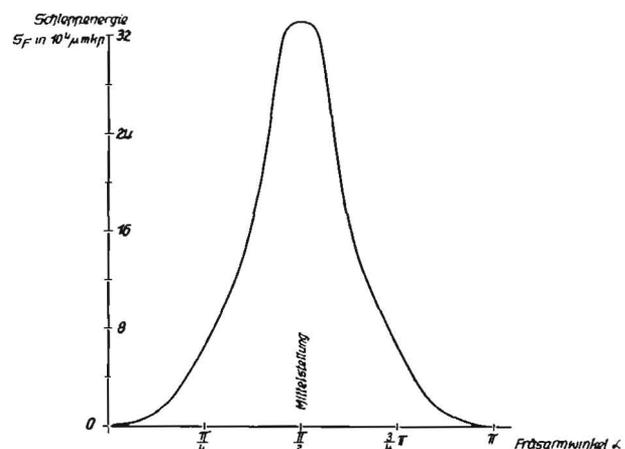


Bild 5: Aufwand an Schleppenergie bei einer Diametralfräse in Abhängigkeit von der Stellung des Fräsarmes nach Gl. (10)

deutliche Abhängigkeit vom Fräsarmwinkel α . In Bild 5 sind die aus Gl. (10) sich ergebenden Werte für S_F graphisch eingetragen. Bei einem Fräsarmwinkel α nahe 0 oder π ist der Aufwand an Schleppenergie sehr gering, bei Mittelstellung des Fräsarmes ($\alpha = \frac{\pi}{2}$) erreicht er einen Höchstwert von $S_F = 332200 \frac{1}{4}$ mkp.

Im Vergleich dazu war für die Radialfräse ein von der Fräsarmstellung unabhängiger Aufwand an Schleppenergie in Höhe von $S_F = 47200 \frac{1}{4}$ mkp ermittelt worden.

Den Aufwand an Schleppenergie für die Entnahme einer vollen Scheibe mit einer Diametralfräse erhält man schließlich durch Integration von Gl. (10) nach $d\alpha$ innerhalb der Grenzen $\alpha = 0$ und $\alpha = \pi$ oder durch Ausplanimetrieren der Fläche unterhalb der Kurve für S_F in Bild 5. Dabei erhält man:

$$S_s = 317200 \frac{1}{4} \text{ mkp} , \\ = 0,86 \frac{1}{4} \text{ kWh} .$$

Vergleicht man dieses Ergebnis mit dem für den Schleppenergieaufwand S_s bei der Radialfräse, so zeigt sich praktisch kein Unterschied. Während also der Energieaufwand S_F bei bestimmten Fräsarmstellungen für Radial- und Diametralfräse stark voneinander abweicht, erfordert die Entnahme einer vollen Scheibe nach beiden Verfahren die gleiche Menge an Schleppenergie.

Zur Berechnung des Aufwandes an Schleppenergie je Tonne Trockensubstanz muß neben der Dichte des Gärfutters die Stärke der abgefrästen Futterscheibe bekannt sein, da die Schleppenergie S_s für eine Scheibe gilt. Für Untenfräsen, bei denen die Fräswerkzeuge alle in gleicher Höhe angebracht sind und somit auch alle in gleicher Höhe das Futter abfräsen, kann die Scheibenstärke noch ziemlich genau angegeben werden. Oft sind die Werkzeuge aber in unterschiedlicher Höhe an der Fräskette angebracht, so daß bei einem Durchgang des Fräsarmes praktisch mehrere Scheiben abgefräst werden. Dieser letztere Fall soll hier unberücksichtigt bleiben. Auf eine Scheibenstärke von 10 cm entfällt bei 2,1 m Siloradius ein Volumen von 1,38 m³, bei 250 kg Trockensubstanz je m³ enthält eine Scheibe, also 345 kg Trockensubstanz. Für die Entnahme von einer Tonne Trockensubstanz müssen demnach etwa drei Scheiben abgefräst werden.

Entsprechend den Ergebnissen für S_s bei Radial- und Diametralfräse erhält man somit einen Aufwand an Schleppenergie von 2,50 $\frac{1}{4}$ kWh. Der Koeffizient μ stellt die Summe der Reibungskoeffizienten für die innere Reibung von Gärfutter (μ_1) und für die Reibung zwischen Gärfutter und Stahl (μ_2) dar. Nach Literaturangaben [4; 5] sollen $\mu_1 = 0,80$ und $\mu_2 = 0,72$, also $\mu = 1,52$ eingesetzt werden. Somit erhält man schließlich je Tonne Trockensubstanz eine Schleppenergie von 3,80 kWh. Dieser Wert darf natürlich nur als Größenordnung gesehen werden.

Die Energie für Leerlauf

Nach Meßergebnissen sind für den Leerlauf von Untenfräsen unter Berücksichtigung des Motorwirkungsgrades 0,90 bis 1,40 kW erforderlich. Der Energieaufwand für Leerlauf je Tonne Trockensubstanz hängt nun von der Laufzeit der Fräse für die Entnahme einer Tonne Trockensubstanz ab. Bei Silomais dauert die Entnahme einer Tonne Trockensubstanz oft nur 45 Minuten, bei ungenügend vorgewelktem Mähweidegras können drei Stunden erforderlich sein. Unter Berücksichtigung der oben angegebenen Spanne für den Leerlaufbedarf in kW ergibt sich somit je Tonne Trockensubstanz eine Leerlaufenergie von 0,68 bis 4,20 kWh, wobei der untere Bereich für Mais, der mittlere für Klee- und Luzernegras und der obere Bereich für Mähweidegras gilt.

Die Energie für nutzlose Reibung

Nach Tafel 1 müssen bei schwach angewelktem Mähweidegras je Tonne Trockensubstanz um 25 kWh netto bereitgestellt werden. Dieser hohe Aufwand an Energie kann nicht allein auf die Trenn-, Schlepp- und Leerlaufenergie zurückzuführen sein. Beobachtungen und Messungen bestätigten die Vermutung, daß dieser hohe Energieaufwand auf beträchtliche Verluste an nutzloser Reibungsenergie zurückzuführen ist.

Nutzlose Reibungsenergie geht verloren, wenn die von den Fräswerkzeugen mitgeführten Futterbissen nicht beim ersten Passieren der Auswurfstelle abgeworfen werden, sondern erst nach mehreren Umläufen sich von der Fräskette lösen und in die Auswurföffnung

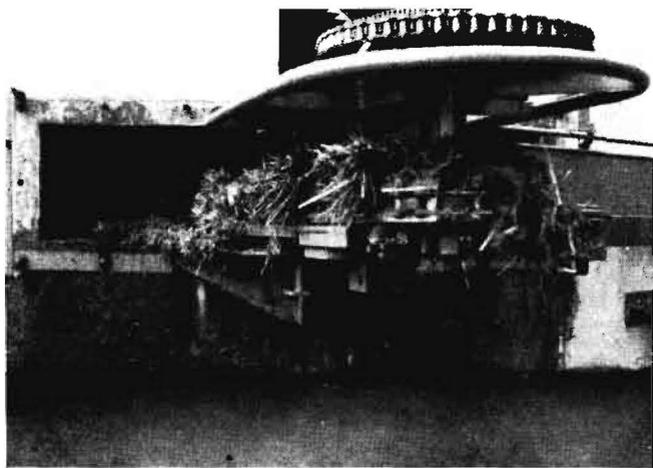


Bild 6: Ungenügendes Abschütteln der Futterbissen an der Auswurfstelle einer Diametralfräse

fallen. Bild 6 zeigt Fräswerkzeuge, die das zur Auswurfstelle geschleppte Futter wieder mit unter den Futterstock ziehen. Bei Diametralfräsen kann dieser Vorgang leicht beobachtet werden; im übrigen kann eine fühlbare Erwärmung einzelner Futterbissen als Anzeichen für mehrfachen Umlauf und den damit verbundenen Verlust an Reibungsenergie gelten. Die Neigung zu mehrfachem Umlauf nimmt entsprechend der Rieselfähigkeit des Futters von Mais über Klee- und Luzernegras zu Mähweidegras stark zu. Von großem Einfluß sind weiterhin die mittlere Häcksellänge und der Wassergehalt des Futters; bei einer mittleren Häcksellänge²⁾ unter 2,0 cm in Verbindung mit einem Wassergehalt unter 50% wurde mehrfacher Umlauf selbst bei Mähweidegras kaum noch beobachtet.

Nun ist die Neigung zu mehrfachem Umlauf im hohen Maße auch von der Form der Fräswerkzeuge abhängig. Lange, in Schlepprichtung gebogene Fräswerkzeuge neigen insbesondere dazu, das Futter wieder unter den Futterstock zu ziehen. Andererseits schütteln kurze, ähnlich wie Mähmesserklingen geformte Werkzeuge selbst schwach angewelktes Mähweidegras gut ab. Wahrscheinlich läßt sich aber das Problem der nutzlosen Reibungsenergie bei ungenügend angewelktem, kurzgehäckselten klee- und grasartigen Pflanzen durch die Form der Fräswerkzeuge allein nicht lösen. Fräswerkzeuge, die das zur Auswurfstelle geförderte Futter gut abschütteln, neigen dazu, leer umzulaufen. Anstelle der Reibungsverluste infolge mehrfachen Umlaufes vieler Futterbissen entstehen also Energieverluste durch Reibung der ungenügend eingreifenden und somit leer umlaufenden Fräswerkzeuge am Futterstock.

Die Auswurfleistung der Fräse kann in diesen Fällen durch Wechsel der Umlaufrichtung der Fräskette — was bei allen Maschinen durch Umschalten des Motors leicht möglich ist — erhöht werden. Wahrscheinlich verbessert sich durch den Wechsel der Umlaufrichtung der Eingriff der Fräswerkzeuge, die auf diese Weise das Futter „gegen den Strich“ fassen können. Bei Messungen an Untenfräsen mit kurzen, mähmesserähnlichen Fräswerkzeugen konnte im Durchschnitt von vier Fällen bei der Entnahme von schwach oder mäßig angewelktem Mähweidegras (72 — 55% Wasser) durch dreimaliges Umschalten je Minute die Auswurfleistung um 52,4% erhöht werden. Der kWh-Aufwand je Tonne Trockensubstanz sank dabei gleichzeitig im Vergleich zur Entnahme ohne jegliches Umschalten auf 61,7%.

Das Umschalten des Motors könnte ohne großen Aufwand automatisch erfolgen, es führt aber zu hohen Belastungsspitzen für die Untenfräse. Die Zweckmäßigkeit dieses Verfahrens ist daher zweifelhaft. Vielleicht läßt sich das Problem der nutzlosen Reibungsenergie durch Verwendung gut eingreifender Fräswerkzeuge in Kombination mit einem Abstreifmechanismus an der Auswurfstelle — der wiederholten Umlauf verhindert — lösen.

Zusammenfassung

Die Untenentnahme von Gärfutter aus Hochsilos bietet verfahrensmäßig viele Vorteile. Bei Futter mit niedrigem Wasser-

²⁾ Gewogenes arithmetisches Mittel der Längen

gehalt und guter Rieselfähigkeit läßt sie sich mit geringem Energieaufwand durchführen, mit steigendem Wassergehalt und sinkender Rieselfähigkeit nimmt der Energieaufwand stark zu.

Der Energieaufwand kann in Trennenergie, Schleppenergie, Leerlaufenergie und nutzlose Reibungsenergie aufgeteilt werden:

Die Trennenergie wird zum Loslösen des Gärfutters aus dem dicht-lagernden Verband benötigt. Nach dem Ergebnis theoretischer Berechnungen nimmt sie nur einen sehr geringen Teil des gesamten Aufwandes an Energie ein.

Die Schleppenergie ist für den Transport des losgelösten Futters vom Lagerort zur Auswurfstelle erforderlich. Während sie bei Radialfräsen von der Stellung des Fräsarnes unabhängig ist, ergibt sich für Diametralfräsen eine starke Abhängigkeit von der Fräsarnstellung. Die zum Abfräsen einer vollen Futterscheibe erforderliche Schleppenergie ist aber für Radial- und Diametralfräsen etwa gleich. Der Anteil der Schleppenergie am gesamten Energieaufwand ist zwar größer als der der Trennenergie; er erklärt aber auch nicht den hohen Energieaufwand für die Entnahme von gras- und kleeartigen Futterpflanzen mit hohem Wassergehalt.

Nutzlose Reibungsenergie geht entweder durch mehrfachen Umlauf von Futterbissen mit der Fräskette oder durch Reibung leerer Fräswerkzeuge an der Futtersäule verloren. Die Ergebnisse der theoretischen Berechnungen und Messungen lassen erkennen, daß der hohe Energieaufwand für die Entnahme gras- und kleeartiger Futterpflanzen mit hohem Wassergehalt auf den Verlust an nutzloser Reibungsenergie zurückzuführen ist.

Schrifttum

- [1] ZIMMER, E.: Ergebnisse aus dem „Großversuch Bauernsilo“. Futterkonservierung 3 (1957), S. 128—132
- [2] POMROY, J. H., und C. K. OTIS: Friction Strips for Measuring Pressures in Silos. Paper No. 62—421, presented at the 1962 Annual Meeting of the American Society of Agricultural Engineers, Washington D.C. 1962 (vervielf.)
- [3] BRIGHT, R. E., und R. W. KLEIS: Mass Shear Strength of Haylage. Paper No. 63—416, presented at the 1963 Annual Meeting of the American Society of Agricultural Engineers, Miami, Florida 1963
- [4] YAREMENKO, M. K.: Tekhnologicheskie svoistva silosnoi massy i vybor metoda ee uplotneniya. Mekhanizatsiya i Elektrifikatsiya Sots. Selsk. Khozyaistva, 22 (5), 1956
Translated by E. HARRIS. Translation 99 of the National Institute of Agricultural Engineering, Silsoe, England
- [5] RICHTER, D. W.: Friction Coefficients of Chopped Forages. In: Agricultural Engineers Yearbook of the American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph Michigan 1961, S. 124—125

Résumé

Hermann Josef Heege: „Bottom-Unloading of Forage from Tower Silos“.

Generally the method of unloading forage from the bottom of tower silos offers many advantages. With forage having a low water content and some free flowing abilities the expenditure of energy is low. With rising water content and decreasing free flowing ability the expenditure of energy increases greatly.

The expenditure of energy can be divided into shearing energy, drag energy, useless friction energy, and energy for the unloader running idle.

The shearing energy is needed for loosening the silage from the close-packed heap. According to theoretical calculations it represents only a very small percentage of the high total energy requirement for unloading grass silage with a high water content.

The drag energy is needed for transporting the loosened forage from the storage place to the discharge place. With unloaders using a radial cutter arm it is not influenced by the position of the cutter arm, whereas in case of a diametral cutter arm it is highly dependent upon the position of the cutter arm. However, the drag energy required for unloading a whole disk of silage in the same for unloaders with radial and diametral cutter arms. The percentage of the drag energy to the total expenditure of energy is higher than that of the shearing energy, yet the drag energy does not explain either the high total energy required for unloading grass silage with a high water content.

Useless friction energy is lost either by multiple rotation of forage bits with the cutter chain or because of rubbing of empty cutters against the silage column. The results of the theoretical calculations and measurements show, that the high expenditure of energy for unloading grass silage with a high water content results mainly from this useless friction energy.

Hermann-Josef Heege: «De la extracción desde abajo de piensos fermentados en silos altos».

La extracción desde abajo de piensos fermentados de silos altos ofrece muchas ventajas. Tratándose de piensos con contenido reducido de agua y que corran bien, la extracción puede efectuarse con poco gasto de energía; pero a medida que aumenta el contenido de agua y que baje la capacidad de correr, el gasto de energía aumenta rápidamente.

Podemos distinguir entre energía necesaria para la separación, para el arrastre y para marcha en vacío y energía de roce que se gasta sin provecho alguno.

La energía para la separación se necesita para apartar una cantidad deseada de pienso de la masa acumulada. Según los cálculos teóricos establecidos, la parte de energía, necesaria para la separación es insignificante.

La energía para el arrastre se necesita para el transporte del pienso separado al punto de salida. Empleándose fresas radiales, esta energía no depende de la posición del brazo-fresa. Empleándose en cambio fresas diametrales, al cantidad de energía necesaria depende en gran parte de la posición del brazo porta-fresa. Sin embargo la energía total, necesaria para cortar un disco entero de pienso, en ambos casos viene a ser aproximadamente la misma. La parte de energía de arrastre en la energía total es más elevada de energía, necesario para la extracción de piensos de gramíneas y de trébol, con contenido de agua elevado.

La energía que se gasta sin provecho para vencer el roce y la marcha en vacío, se pierdo o por circulación repetida de bocados de pasto con la cadena fresadora, o bien por el roce de la fresa vacía con la masa de piensos. Los resultados de los cálculos teóricos y de las mediciones dan lugar a la conclusión de que el elevado gasto de energía en la extracción de pastos gramíneos y de trébol con contenido elevado de agua, se debe a la pérdida de energía por roce que no trae provecho alguno.

Hermann-Josef Heege: «La reprise de silage au pied des silos verticaux».

L'expérience a montré que la reprise de silage au bas de silos verticaux offre un certain nombre d'avantages. Les silages à teneur en eau réduite et qui s'écoulent facilement n'exigent que peu d'énergie. Les besoins en énergie augmentent au fur et à mesure que la teneur en eau augmente et que l'écoulement devient plus difficile.

Les besoins en énergie peuvent être classés en énergie de détachement, énergie d'entraînement, énergie à marche à vide, énergie de frottement.

L'énergie de détachement est nécessaire pour détacher la portion de silage du bloc de silage compact. D'après les résultats des calculs théoriques, elle ne représente qu'un pourcentage très faible des besoins en énergie totale.

L'énergie d'entraînement est nécessaire au transport du silage détaché du lieu de stockage au point d'évacuation. Tandis qu'elle est indépendante de la position du bras des fraises radiales, elle est très influée par la position du bras des fraises diamétrales. L'énergie d'entraînement nécessaire au détachement d'une couche de silage complète est environ égale pour les fraises radiales et diamétrales. Le pourcentage d'énergie nécessaire au transport est plus élevé que celui nécessaire au détachement. Toutefois, ce fait n'explique pas les besoins en énergie élevés pour la reprise de silage à teneur en eau élevée constitué d'herbe et de trèfle.

De l'énergie de frottement est perdue soit par le tour multiple que font des portions de silage sur la chaîne de fraissage, soit par le frottement d'outils de fraise vides sur le bloc de silage. Les résultats des calculs théoriques et les mesures montrent que les besoins en énergie élevés pour la reprise de silage à teneur en eau élevée constitué d'herbe et de trèfle proviennent de la perte d'énergie de frottement, inutile.

2. Agrartechnikerlehrgang in Witzenhausen

Am 15. 9. 1964 wurde in Witzenhausen der 2. Agrartechnikerlehrgang des Seminars für ländliche Entwicklungshilfe mit 16 Teilnehmern in Anwesenheit von Vertretern der Bundesministerien für wirtschaftliche Zusammenarbeit und für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, der Deutschen Stiftung für Entwicklungsländer und von Vertretern der örtlichen Stellen verabschiedet.

Die Teilnehmer sollen nach Beendigung ihrer halbjährigen Ausbildung als Projektassistenten in staatlich geförderte Projekte der deutschen Agrarhilfe ausreisen. Nach Beendigung dieser Assistentenzeit besteht die Möglichkeit der Übernahme als Junior-Experten in deutsche Entwicklungsprojekte.