

Das Fassungsvermögen von Gärfutterbehältern und die Beschickungs- und Entnahmetechnik sind den Anforderungen moderner Siliergut-Ernteverfahren und den Anlagengrößen entsprechend anzulegen. Gärfutter guter Qualität erhält man, wenn täglich eine von der Behälterart und von der Behältergröße abhängige *Mindestmenge* an Siliergut eingelagert wird. Die täglich in Hochsilos einzulagernde Mindestmenge an Siliergut wird durch den Behälterdurchmesser, die *Höchstmenge* durch die verfügbare Erntezeitspanne und die zu erntende Futtermenge bestimmt. Sind die Anforderungen an die Beschickungstechnologie bekannt, lassen sich die vorhandenen Ernte- und Einlagerungsmaschinen beurteilen sowie Schlußfolgerungen für den Maschineneinsatz ziehen.

**1. Physikalisch-mechanische Silier- und Lagerbedingungen**

Gärbhälter haben die Aufgabe, den für einen guten Gärverlauf unerwünschten Gasaustausch zwischen Futterstock und Außenluft auf ein Minimum zu reduzieren. Maßnahmen zur Verringerung des Gasaustausches werden durch eine hohe Lagerungsdichte unterstützt. Der Gasporen-Anteil im Futterstock ist neben dem Grad der Dichtheit der Gärbhälter und der Zudeckschicht eine für den Gasaustausch wesentliche Größe und bei konstantem Trockenmassegehalt direkt von der Schütt- und Lagerungsdichte des Siliergutes oder Gärfutters abhängig [1].

Die *Lagerungsdichte* von Siliergut oder Gärfutter ist die

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

nach dem Absetzen und nach dem Gärprozeß oder auch nach wirksamer zusätzlicher Verdichtung erreichte Dichte des Futterstockes, während die *Schüttdichte* als Wert für eine Schüttung ohne zusätzliche Verdichtung unmittelbar nach der Bildung des Haufwerkes und abhängig von der Schütthöhe, der Materialbeschaffenheit sowie der Einbringart herangezogen wird. Futterart, Feuchtigkeitsgehalt und Häcksellänge des Siliergutes sowie die Höhe des gefüllten Laderaums bestimmen die Schüttdichte von Siliergut (Bild 1). Aus dem Mittelwert der Schüttdichte  $\rho_s = 190 \text{ kg/m}^3$  und einer mittleren Dichte der luftfreien, welken Futterteile bei 40 % Trockenmassegehalt von  $\rho_F = 1300 \text{ kg/m}^3$  errechnet sich ein Gasporen-Anteil in dem zur Silobeschickung angelieferten Siliergut von PA = 85 %. Die Arbeitsgänge Abkippen, Dosieren und Fördern führen zu einer erneuten Auflockerung der Futterschüttung. Unter dem Einfluß des anwachsenden Futterstapels im Silo und des eintretenden Zelltodes der Pflanzen verdichten sich die unteren Futterschichten (Bild 2). Die damit verbundene Verringerung des Gasporen-Anteils ist gärbologisch bedeutsam und bestimmt die tägliche Mindestfüllmenge. Wird in der täglichen Füllschicht ein maximal zulässiger mittlerer Gasporenanteil von PA = 70 % angestrebt, ist bei einem Trockenmassegehalt von TM = 40 % eine Mindestdichte  $\rho_s = 400 \text{ kg/m}^3$  erforderlich, die durch eine tägliche Füllhöhe von mindestens 5 m zu erzielen ist.

Ein Gasporen-Anteil von PA = 70 % in der täglichen Füllschicht setzt gegenüber einem Ausgangswert von PA = 85 % eine Verdopplung der Schüttdichte voraus und kann nach den bisher vorliegenden Erfahrungen die gärbologischen Anforderungen im Durchschnitt aller Einsatzbedingungen erfüllen.

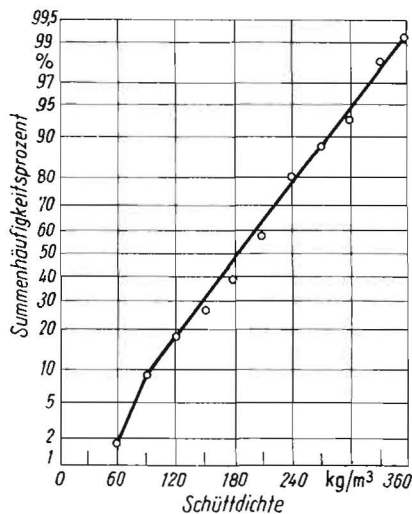


Bild 1 Häufigkeitsverteilung der Schüttdichten von welkem Siliergut auf Transportanhängern und Dosierern; Trockenmassegehalt 36 (26...55) %; Häcksellängen-Einstellung am Häcksler unter 10 mm; Fassungsvermögen der Anhänger 10 bis 20 m³; Schüttdichte  $\bar{x} = 190 \text{ kg/m}^3$ ,  $s = \pm 70 \text{ kg/m}^3$ ,  $s_r = \pm 37 \%$ ,  $n = 550$  Messungen

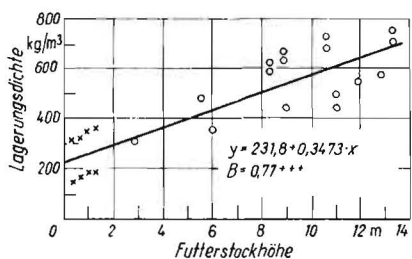
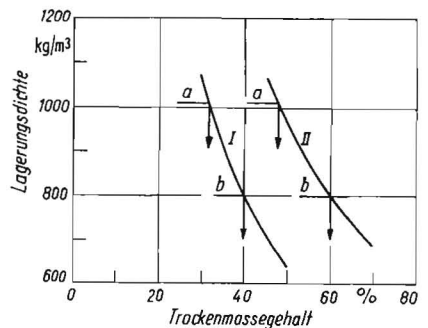


Bild 2 Mittlere Lagerungsdichte des Siliergutstapels bei der Einlagerung; x radiologische Messungen, o Dichte = Masse : Volumen; Trockenmassegehalt 36 (26...55) %; Häcksellängen-Einstellung am Häcksler unter 10 mm

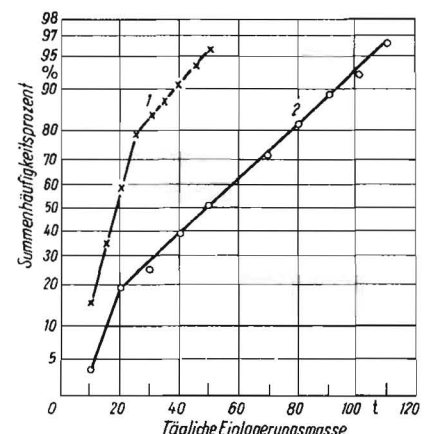
2

Bild 3 Trockenmassegehalt des Siliergutes für die unteren Füllschichten im Hochsilo; I Kurve konstanter Trockenmasse - Dichte von 320 kg/m³ bei rohfasereichem Siliergut (rd. 30 % der TM); II Kurve konstanter Trockenmasse-Dichte von 480 kg/m³ bei rohfaserarmem Siliergut (rd. 20 % der TM); a 1010 kg/m³ Maximaldichte und minimaler Trockenmassegehalt, b 800 kg/m³ Minimaldichte und maximaler Trockenmassegehalt



3

Bild 4 Häufigkeitsverteilungen der täglichen Einlagerungsmassen bei der Hochsilo-Beschickung; Hochsilo mit 7,30 m Dmr., 85 t täglicher Einlagerungsbedarf; 1 1967, Welkgut mit 38 (25...55) % TM-Gehalt, tägliche Einlagerungsmasse  $\bar{x} = 18 \text{ t}$ ,  $s = \pm 10 \text{ t}$ ,  $s_r = \pm 56 \%$ ,  $n = 46$  Fülltage; 2 1968, Weltkgut mit 34 (25...45) % TM-Gehalt, tägliche Einlagerungsmasse  $\bar{x} = 50 \text{ t}$ ,  $s = \pm 32 \text{ t}$ ,  $s_r = \pm 64 \%$ ,  $n = 54$  Fülltage



4

Auch der Trockensubstanzgehalt des Siliergutes muß den Anforderungen entsprechen, die aus den physikalisch-mechanischen Lagerbedingungen abzuleiten sind. Um den Gasaustausch wirksam einzuschränken, ist bei Welksilage eine Mindestdichte von  $\rho_G = 800 \text{ kg/m}^3$  erforderlich. Erst mit  $\rho_G = 960 \text{ kg/m}^3$  sind Dichten erreicht, die für die Einschränkung des Gasaustausches als optimal anzusehen sind. Dichteerhöhungen über  $\rho_G = 1010 \text{ kg/m}^3$  sind nicht zu empfehlen, da sonst zu starker Saftaustritt einsetzt [2].

Der Saftaustritt durch die Wände von Formstein-Hochsilos ist auf ein Minimum zu reduzieren. Junges, rohfaserarmeres Siliergut in den unteren Futterschichten des Hochsilos mit rd. 35 % Trockenmassegehalt führt bei Stapelhöhen von rd. 15 m zu unerwünschtem Saftaustritt. Im Trockenmassebereich von 30 bis 50 % und bei einem Druck von rd. 1 kp/cm<sup>2</sup> auf die untersten Futterschichten im Hochsilo darf bei gleicher Futterart mit einer konstanten Trockenmasse-Enddichte gerechnet werden. Dichteunterschiede treten, vor allem durch unterschiedlichen Rohfasergehalt bedingt, in den unteren Futterschichten in Grenzen von 300 bis 500 kg/m<sup>3</sup> Trockenmasse auf, wenn z. B. ein Rohfasergehalt von 30 % oder 20 % an der Trockenmasse im Siliergut vorliegt. Aus den Angaben der Minimal- und der Maximaldichten von 800 kg/m<sup>3</sup> und 1010 kg/m<sup>3</sup> können optimale Werte des Trockenmassegehaltes für die Einlagerung in den unteren Schichten eines Hochsilos mit mindestens 15 m Futterstockhöhe abgeleitet werden. Rohfaserarmeres Siliergut ist für die unteren Füllschichten auf rd. 45 bis 60 % Trockenmasse zu welken, während bei rohfasereichem bereits rd. 30 bis 40 % genügen (Bild 3). Werden diese Werte nicht eingehalten, kommt es zu starkem Saftaustritt und zu Schäden an den Silowänden bei Hochsilos aus Formsteinen. In den mittleren bis oberen Füllschichten kann der Trockenmassegehalt bis an die untere Grenze des empfohlenen Welkgutbereiches von 30 bis 50 % Trockenmassegehalt verringert werden, um möglichst hohe Dichten und geringe Gasporen-Anteile zu erreichen. Den Schwellenwerten der Schütt- und Lagerungsdichten stehen entsprechende Gasporen-Anteile gegenüber, die in Tafel 1 noch einmal übersichtlich zusammengestellt werden.

## 2. Einlagerungsmaschinen

In Hochsilos mit  $\approx 7,30 \text{ m}$  Innendurchmesser sind bei einer täglichen Mindestfüllhöhe von 5 m mindestens 85 t Siliergut einzulagern. Bei einem Anteil der Grundzeit  $T_1$  an der Gesamtarbeitszeit  $T_{07}$  von rd. 80 % und rd. 8,5 h Beschickungszeit im Durchschnitt aller Fülltage sind mittlere Durchsätze der Einlagerungsmaschinen von 12 t/h in der Grundzeit  $T_1$  oder 10 t/h in der Gesamtarbeitszeit  $T_{07}$  erforderlich.

Den Füllmengen-Mindestanforderungen stehen die 1967 und 1968 bei der Füllung mehrerer Hochsilos mit 7,30 Dmr. erzielten Ergebnisse gegenüber (Bild 4). Diese für die Hochsilobewirtschaftung völlig ungenügenden Ergebnisse sind vor allem auf die unzureichende Bereitstellung geeigneter Häcksler zurückzuführen, die Welkguthäcksel in der erforderlichen Länge (mindestens 50 % der Häckselmasse kürzer als 30 mm und höchstens 15 % länger als 40 mm) liefern und betriebsicher sind.

Ein weiterer Schwerpunkt sind die Einlagerungsmaschinen, auf die im folgenden näher eingegangen werden soll.

Der Massedurchsatz  $Q_{M T_{07}}$  in der Gesamtarbeitszeit  $T_{07}$  bei der Beschickung von Hochsilos errechnet sich aus dem Durchsatz  $Q_{M T_1}$  der Beschickungsmaschinen in der Grundzeit  $T_1$  und dem Anteil  $K_1$  der Grundzeit an der Gesamtarbeitszeit:

$$Q_{M T_{07}} = Q_{M T_1} \cdot K_1$$

Tafel 1. Mittlere Dichten und Gasporen-Anteile bei welchem Siliergut und Gärfutter<sup>1</sup>

Haufwerk	Mittlere Schütt- oder Lagerungsdichte	Mittlerer Gasporen-Anteil
	kg/m <sup>3</sup>	%
Welkes, kurz gehäckseltes Siliergut auf Anhängern und Dosierern	190	85
Tägliche Füllschicht in Hochsilos (5 m)	400	70
Gärfutterstock-Mindestdichte zur Einschränkung des Gasaustausches	800	40
Gärfutterstock — optimale Dichte zur Einschränkung des Gasaustausches	960	25
Gärfutterstock-Maximaldichte	1010	20

<sup>1</sup> Dichte der luftfreien Futterteile bei einem Trockenmassegehalt von 40 %,  $\rho_F = 1300 \text{ kg/m}^3$  [1]

Tafel 2. Durchsätze verschiedener Fördergebläse-Typen bei der Hochsilofüllung<sup>1</sup>

Gebläse-typ	Motor-Nennleist.	Förderrohr-durchmesser	Siliergut-art <sup>2</sup>	Durchsatz in der Grundzeit $T_1$		
	kW	mm		Mittl. Nenn-durchsatz t/h	Mittl. betrieblicher Durchsatz t/h	relativ <sup>3</sup>
FG 35-1	30	250	Gras	12	10	83
FG 35-1	30	250	Gras-Wickengem. <sup>4</sup>	10	6	60
FG 35-1	40	250	Gras	16	—	60
Transit	30	310	Kleegrass	16	12	75
FG 35-2	40	310	Gras	24	14	58

<sup>1</sup> Förderhöhe 23 m

<sup>2</sup> Welkgut mit 30 bis 60 % Trockenmassegehalt

<sup>3</sup> Mittlerer Nenndurchsatz = 100 %

<sup>4</sup> Hoher Wickenanteil, mit dem Schlegelmäher gemäht

Das Fördergebläse darf bei der Hochsilofüllung als durchsatzbestimmende Maschine angesehen werden. Gegenüber den Fördergebläsen FG 35-1 und Transit der Einlagerungskampagne 1967 konnte 1968 das wesentlich verbesserte Fördergebläse FG 35-2 mit einem nahezu doppelt so hohen Nenndurchsatz eingesetzt werden (Tafel 2). Dieser von Fördergut und von der Förderhöhe abhängige Nenndurchsatz soll den etwa 15 % unterhalb der Stopfgrenze liegenden Durchsatz angeben, bei dem das Gebläse noch störungsfrei fördert. Interessant ist ein Vergleich des durchschnittlichen Nenndurchsatzes mit dem durchschnittlich erreichten betrieblichen Durchsatz. Die Förderung eines faserigen Gras-Wickengemenges, das mit einem Schlegelmäher gemäht und danach durch Wender eingeschwadet worden war, führte zu einem auf 60 % verringerten betrieblichen Durchsatz. Auffallend ist auch die relativ geringe Ausnutzung des Fördervermögens beim Fördergebläse FG 35-2. Zur Erklärung dafür kann auf die steigende Verstopfungshäufigkeit im Nenndurchsatzbereich hingewiesen werden. Um eine Gebläseverstopfung zu beseitigen, benötigen 2 Arbeitskräfte durchschnittlich 10 min. Die Maschinisten werden dadurch veranlaßt, mit geringerem betrieblichen Durchsatz einzulagern. Bereits das Auftreten von zwei Verstopfungen stündlich führt zu der genannten Durchsatzverringering in der Gesamtzeit auf rd. 60 % des Nenndurchsatzes.

Für die Auswahl optimaler Beschickungsverfahren sind die Kennzahlen

- spezifischer Arbeitszeitbedarf
- Anteil der Gebläselaufzeit an der Gesamtzeit
- möglicher Durchsatz und
- Standzeit der Anhänger am Abladeplatz

Tafel 3. Vergleich verschiedener Abladeverfahren zur Hochsilobeschickung

Verfahren	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lademasse in t	2	2	2	2	5	3	3	3	5
Gebläsebeschickung		Selbstentladewagen				Station, Dosierer			
Entladerichtung	vorn	hinten	vorn	vorn	vorn	—	—	—	—
Gelenkwellenmontage <sup>1</sup>	nein	nein	ja	nein	nein	—	—	—	—
Fördergebläse	FG 35-1	FG 35-1	FG 35-1	FG 35-2	FG 35-2	FG 35-1 ohne	FG 35-1 mit	FG 35-2 mit	FG 35-2 mit
Entladerampe	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Relativ. spezifisch. Arbeitszeitbedarf <sup>2</sup>	100	108	119	74	68	80	49	36	35
Relativ. Durchsatz in der Gesamt-arbeitszeit <sup>3</sup>	100	93	85	135	147	111	111	156	156
Mögl. Anteil der Gebläselaufzeit a. d. Gesamtarbeitszeit in %	72	67	61	70	75	Vom Abladeverfahren unabhängig			
Relative Standzeit d. Anhänger am Abladepl. (bezog. a. d. Lademasse <sup>4</sup> )	100	108	119	74	70	70	8	8	8
Tägl. Mindestfüllzeit für einen Hochsilo mit 7,30 m Dmr. in h	12	13	14	9	8	11	11	8	8

<sup>1</sup> Gelenkwellenmontage am Abladeplatz ist erforderlich, wenn die Anhänger im Anhängerverfahren von Häckslern beschickt werden

<sup>2</sup> 100 = 13,3 AKmin/t

<sup>3</sup> 100 = 7,2 t/h

<sup>4</sup> 100 = 8,3 min/t

Verfahren 5 = angenommene Lademasse

geeignet. Vergleicht man neun mögliche Abladeverfahren zur Hochsilobeschickung, zeigen sich die Verfahren mit Kipphanhängern und Dosierern den Verfahren mit Selbstentladewagen überlegen (Tafel 3).

### 3. Diskussion und Schlußfolgerungen

Die verfahrenstechnischen Anforderungen an die Maschinen zur Silierguternte und Hochsilobeschickung sind bekannt. Betriebssichere Mähwerke, Schwadmäher, Maschinen zum Lüften und Wenden der Schwade sowie exakt kurz schneidende Feldhäcksler sind die Schlüsselmaschinen für die Bereitung von Welksilage zur Einlagerung in Hochsilos. Die ausreichende Bereitstellung dieser Maschinen entscheidet maßgeblich über das Ergebnis der Gärfutterbereitung in den bestehenden Hochsiloanlagen und über die Zweckmäßigkeit der Fortführung des begonnenen Hochsilobauprogramms.

Formstein-Hochsilos stellen hohe Anforderungen an die Einhaltung optimaler Werte des Trockenmassegehaltes, um einen Saftaustritt durch die Silowand zu verhindern. Ein ungehinderter Gasaustausch zwischen Futterstock und Außenluft darf bei Welksilagesilos nicht erfolgen. Mit den Anforderungen an den Trockenmassegehalt erhöhen sich die Witterungsabhängigkeit und die Anforderungen an die Ernte- und Einlagerungstechnik.

Die vorhandene Einlagerungstechnik reicht aus, um Hochsilos mit 7,30 m Innendurchmesser zu füllen. Der wünschenswerte Komplexeinsatz von mindestens 3 Feldhäckslern ist mit der vorhandenen Beschickungstechnik nicht möglich, wenn das täglich geerntete Siliergut in einem Hochsilo eingelagert werden soll. Hochsilos mit 7,30 m Innendurchmesser und 920 m<sup>3</sup> Behältervolumen sollten in Anlagen bis zu einem jährlichen Welksilagebedarf von rd. 2000 t als Batterie aus vier Hochsilos gebaut werden. Die in den Zeitspannen des maximalen Siliergutansfalls durchschnittlich zu erwartenden, witterungsbedingt verfügbaren 30 bis 40 Siliertage mit durchschnittlich 8,5 h/Tag Einlagerungszeit reichen aus, um die Silos ordnungsgemäß zu füllen. Wenn die ökonomischen und gärbioologischen Anforderungen durch Gärbehälter und Mechanisierung erfüllt sind, sollte diese Silogröße für den Aufbau in den genannten Anlagengrößen auch zukünftig angeboten werden.

Für Betriebe, die Häcksler im Komplex einsetzen und Großanlagen mit einem Silagebedarf von etwa 4000 bis 5000 t bewirtschaften, werden Beschickungsmaschinen mit einem Durchsatz von 35 bis 40 t/h benötigt.

Es ist für den Bewirtschaftungserfolg von Hochsilos wesentlich, für die jeweiligen Siloformen sowie Ernte- und Einlagerungsmaschinen die optimalen Anlagengrößen zu wählen.

### Zusammenfassung

Ausgehend von den physikalisch-mechanischen Silier- und Lagerbedingungen bei der Hochsilobewirtschaftung und den täglichen Füllanforderungen werden die Ergebnisse über den Einsatz vorhandener Beschickungsmaschinen mitgeteilt und Schlußfolgerungen für den zweckmäßigen Einsatz gezogen.

### Literatur

- [1] MÜLLER, M.: Die Bereitung von Welksilage. Deutsche Agrartechnik 18 (1968) H. 5, S. 200 bis 202
- [2] Anonym: Farm Buildings Association Spring Conference 1967. Farm Mechanization u. Buildings 19 (1967) Nr. 213, S. 39 und 40

A 7521

### Betriebsmeß- und Regelungstechnik

Unter diesem Titel hat Ing. WERNER CURTH im VEB Verlag Technik ein Lehrbuch für Meß- und Regelungsmechaniker in 2 Bänden herausgegeben.

Der Teil 1 (275 Seiten, 7,00 M) behandelt Grundlagen der Meßtechnik und die speziellen Verfahren zur Messung physikalischer und anderer Größen.

Teil 2 (202 Seiten, 5,50 M) hat die Grundbegriffe der Steuerungs- und Regelungstechnik zum Inhalt und geht dann insbesondere auf die Regelungstechnik ein. Ausführlich beschrieben werden die verschiedensten Regeleinrichtungen ohne und mit Hilfsenergie.

Die leicht verständliche Abfassung dieser beiden Lehrbücher machen sie über den Kreis der unmittelbar mit diesen Problemen beruflich konfrontierten Fachleute hinaus für jeden an der Meß- und Regelungstechnik interessierten Leser zu einer aufschlußreichen Wissensquelle.

Bestellungen nimmt jede Buchhandlung entgegen.

A 7627