

Technologische Untersuchungen zum Massestrom bei der Grünfuttersilierung

Dipl.-Ing. E. Wenske, KDT, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

1. Einleitung

Im Silobauprogramm der DDR wurde die Schaffung von 26 Mill. m³ festen Siloraumes beschlossen. Bei den zu errichtenden Baukörpern handelt es sich vorrangig um großvolumige Horizontalsilos mit einem Fassungsvermögen von 5000 bis 10000 m³ bei einem Siloquerschnitt von 100 bis 120 m². Zur Sicherung des Siliererefolgs und guter Futterqualitäten sind bei abschnittsweiser Befüllung von 12 bis 15 m täglich mindestens 600 t Welkgut oder 900 t Frischgut (Mais) einzulagern. Das bedeutet, Masseströme in der Schichtzeit T₀₈ von 50 bis 70 t/h bei Welkgut bzw. von 75 bis 100 t/h bei Frischgut je nach Schichtdauer zu realisieren. Hieraus leiten sich die Anforderungen an die Maschinen zur Silobewirtschaftung ab [1].

Die landtechnische Ausrüstung für mögliche Verfahren der Grünfuttersilierung in Horizontalsilos wurde in der Form eines Maschinenfolgeschemas dargestellt (Bild 1). Im folgenden wird der Verfahrensabschnitt vom Transport bis zur Einlagerung des Siliergutes näher betrachtet. Für die dafür erforderlichen Maschinen sind im Schema jeweils Typ und Anzahl aufgeführt.

Das Ziel des vorliegenden Beitrags besteht darin, den zeitlichen Verlauf des Massestromes in der Schichtzeit T₀₈ bei der Grünfuttersilierung in Hoch- und Horizontalsilos darzustellen, zu analysieren und Schlußfolgerungen zur Steigerung der Effektivität des Verfahrens zu ziehen. Die Untersuchungen basieren auf praktischen Experimenten in drei Betrieben [1].

2. Der Massestrom im Verfahren der Grünfuttersilierung

Nach dem ab 1. Jan. 1980 verbindlichen Standard TGL 31548 wird die in der Zeiteinheit von einer Maschine oder einem Verfahren zu bearbeitende Masse als Massestrom bezeichnet und durch das Symbol \dot{m} = m/t ausgedrückt. Die Maßeinheit ist kg/s. Weitere zulässige Einheiten sind g/s, kg/min, kg/h und t/h.

Bei Untersuchungen zur Grünfuttersilierung in Horizontalsilos wurde der Massestrom in der Grundzeit T₁ gemessen (Bild 2). Es liegt eine Normalverteilung vor.

An dieser Stelle wird vorgeschlagen, den Massestrom des Verfahrens \dot{m}_{T1} durch den statistischen Mittelwert \bar{x} , der der Summenhäufigkeit 50% entspricht, zu charakterisieren. Im Bild 2 wären das für Frischgut 180 t/h und für Welkgut 85 bzw. 118 t/h. Der Unterschied zwischen 1979 und 1980 hat verschiedene Gründe, wie z. B. unterschiedliche Erträge, entwicklungsbedingte technische und technologische Unzulänglichkeiten u.ä., die im Folgejahr beseitigt werden konnten, auf die aber an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden soll.

Für die Auslegung der Einzelmaschinen muß jedoch der positive Toleranzbereich des Massestromes im Verfahren berücksichtigt werden; deshalb wird hierfür die 90%-Grenze der Summenhäufigkeit angenommen.

Als Kennwerte für die Einzelmaschinen (s = 90%) und das Verfahren (s = 50%) zur Grünfuttersilierung im angeführten Mecha-

nisierungsbeispiel und in bezug auf die o.g. Füllansprüche von großvolumigen Horizontalsilos werden folgende Masseströme in der Grundzeit \dot{m}_{T1} vorgeschlagen:

Welkgut	100 t/h (s = 50%)
	140 t/h (s = 90%)
Frischgut	180 t/h (s = 50%)
	240 t/h (s = 90%)

Diese Werte wurden in praktischen Untersuchungen für die im Bild 1 dargestellte Maschinenkette erreicht [1].

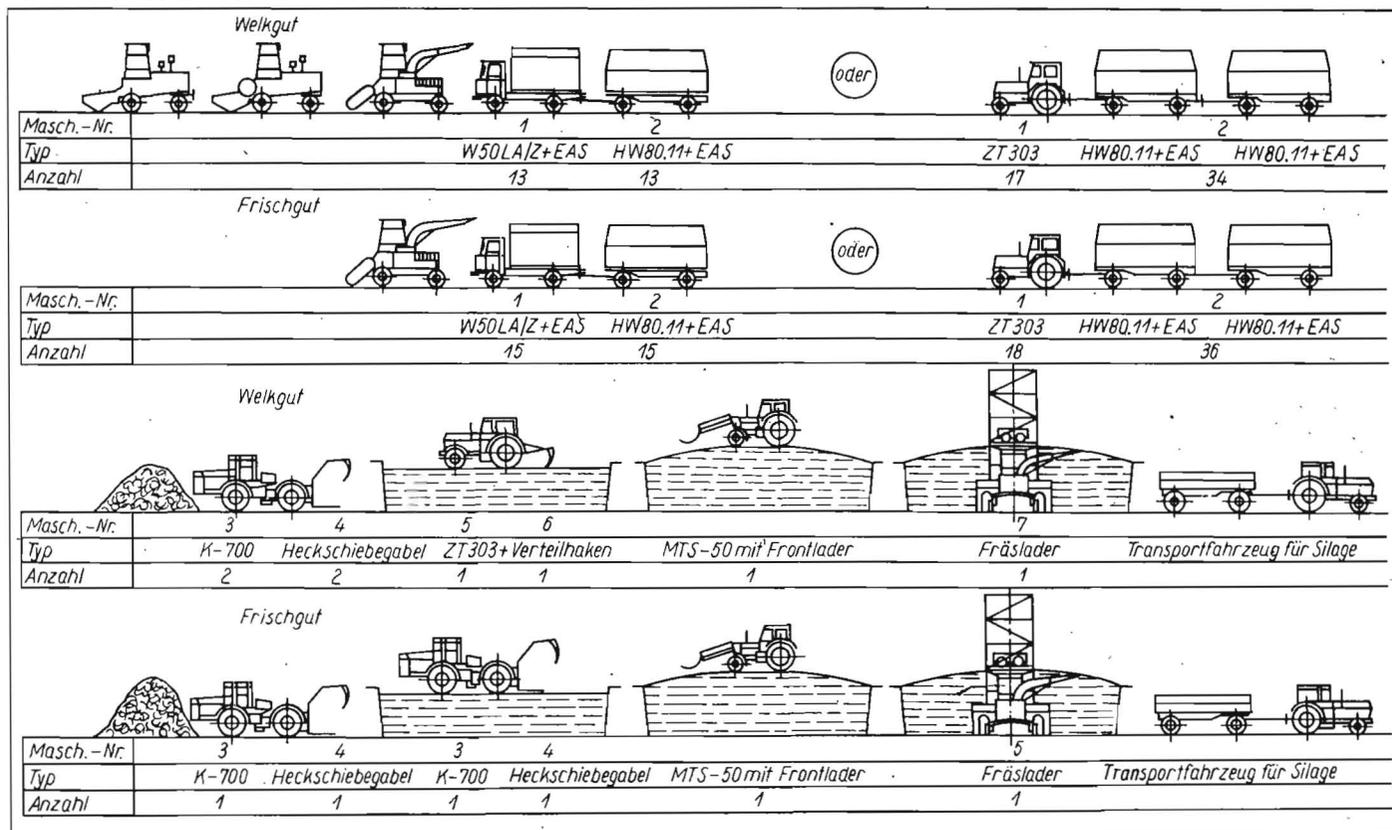
3. Der Massestrom im Verfahren in den technologischen Zeitsummen

An einem Beispiel zur Einlagerung von Welkgut in ein Hochsilo HS 25 M sollen die auftretenden technologischen Teilzeiten und Zeitsummen untersucht werden. Die Maschinenkette von der Ernte bis zur Anlieferung am Silo ist mit der bei der Horizontalsilobewirtschaftung (Bild 1) angewendeten identisch. Das Beispiel wurde deshalb gewählt, weil die Ermittlung der Zeiten in diesem Fall für eine komplette Silobefüllung exakt vorlag. Dabei wurden die Teilzeiten zu Gruppen zusammengefaßt,

- die von der Maschine bestimmt werden (T₁)
- die Hilfs-, Pflege-, Wartungs- und Störzeiten beinhalten (T₂ bis T₄)
- die subjektiv beeinflusst werden (T₅)
- die im wesentlichen organisatorischen Charakter tragen oder objektiv bedingt sind (T₆ bis T₈).

Dazu wurden die zugehörigen Zeitsummen (T₁, T₀₄, T₀₅, T₀₈) errechnet (Tafeln 1 und 2). Die

Bild 1. Maschinenfolgen zur Grünfuttersilierung in Horizontalsilos



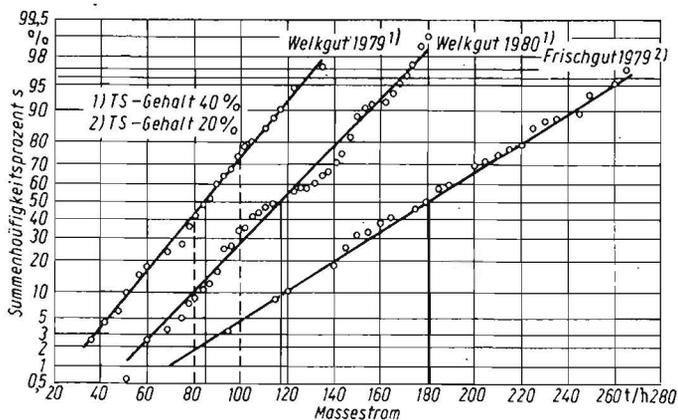
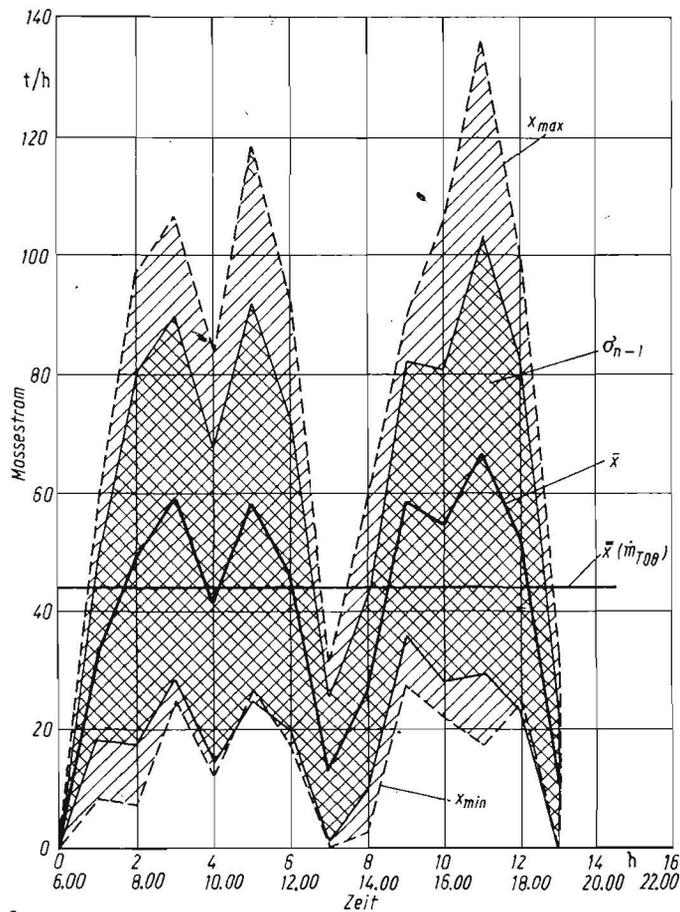
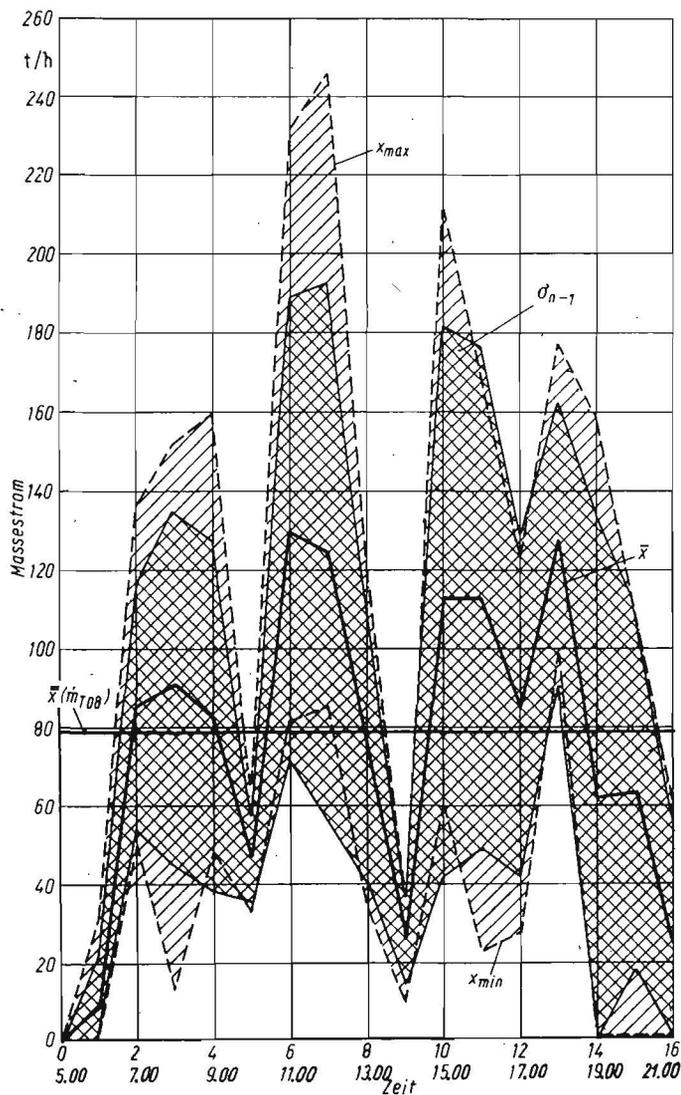


Bild 2. Massestrom in T₁ am Horizontalsilo

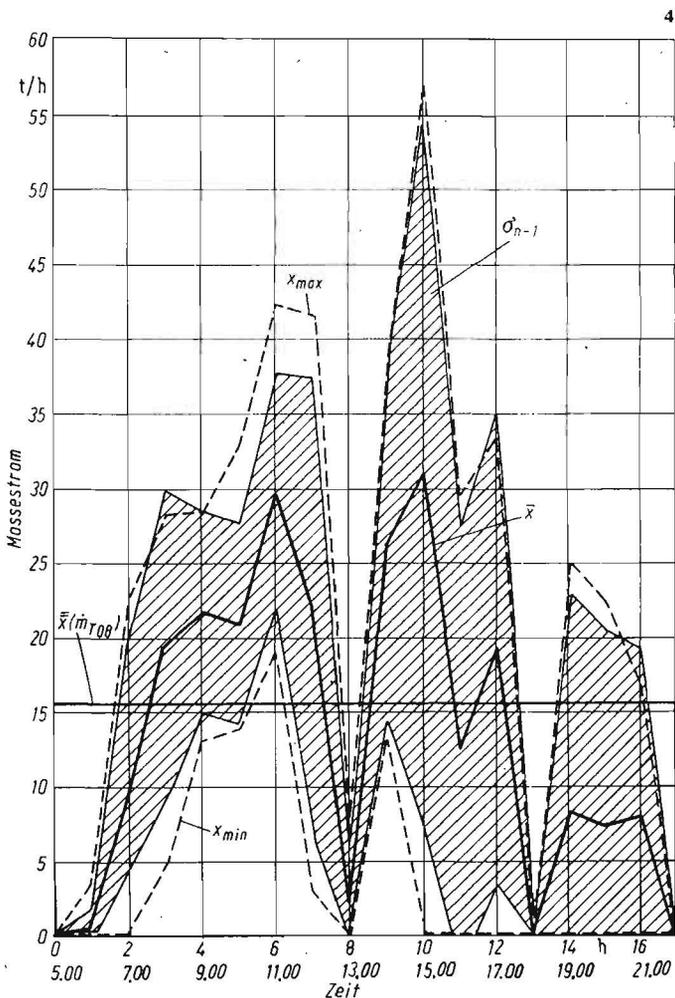
Bild 3. Massestrom am Horizontalsilo in Abhängigkeit von der Zeit (Welkgut-Originalmasse, Einlagerung vom 5. bis 14. Juni 1979)

Bild 4. Massestrom am Hochsilo in Abhängigkeit von der Zeit (Welkgut-Originalmasse, Einlagerung im Zweischichtbetrieb von 5.00 bis 13.00 Uhr und von 13.00 bis 21.00 Uhr, 30. Mai bis 6. Juni 1979)

Bild 5. Massestrom am Horizontalsilo in Abhängigkeit von der Zeit (Mais-Originalmasse, Einlagerung vom 17. bis 21. September 1979)



3



4

Tafel 1. Technologische Teilzeiten in min bei der Welkguteinlagerung in ein Hochsilo HS 25 M

Datum	T ₁	T ₂ bis T ₄	T ₅	T ₆ bis T ₈	T ₀₄	T ₀₅	T ₀₈
30. 5. 79	202,95	59,50	52,50	405,05	262,45	314,95	720,00
31. 5. 79	179,20	471,50	147,68	101,62	650,70	798,38	900,00
1. 6. 79	156,54	55,66	40,00	707,80	212,20	252,20	960,00
2. 6. 79	117,50	42,00	20,00	300,50	159,50	179,50	480,00
5. 6. 79	222,71	9,00	40,00	688,29	231,71	271,71	960,00
6. 6. 79	94,50	0,00	20,00	365,50	94,50	114,50	480,00
\bar{x}	162,23	106,28	53,36	428,13	268,51	321,87	750,00
Σx	973,40	637,66	320,18	2568,76	1611,06	1931,24	4500,00
Anteil an T ₀₈	21,6%	14,2%	7,1%	57,1%	35,8%	42,9%	100,0%

Tafel 2. Massestrom in t/h in den technologischen Zeitsummen bei der Welkguteinlagerung in ein Hochsilo HS 25 M

Datum	Massestrom der Originalsubstanz in				korrigiert auf einen TS-Gehalt von 40%			
	T ₁	T ₀₄	T ₀₅	T ₀₈	T ₁	T ₀₄	T ₀₅	T ₀₈
30. 5. 79	70,4	54,5	45,4	19,9	79,5	61,5	51,2	22,4
31. 5. 79	58,1	16,0	13,0	11,6	55,2	15,2	12,4	11,0
1. 6. 79	68,6	50,6	42,6	11,2	82,6	60,9	51,3	13,5
2. 6. 79	52,4	38,6	34,3	12,8	44,5	32,8	29,1	10,9
5. 6. 79	69,3	66,6	56,8	16,1	79,6	76,5	65,2	18,5
6. 6. 79	93,6	93,6	77,2	18,4	88,9	88,9	73,4	17,5
\bar{x}	68,7	53,3	44,9	15,0	71,7	56,0	47,1	15,6
Anteil an T ₁	100,0%	77,6%	65,4%	21,8%	100,0%	78,1%	65,7%	21,8%

Auswertung des angeführten Beispiels zeigt, daß die technischen Möglichkeiten, die prinzipiell durch den Massestrom in der Grundzeit T₁ dargestellt werden, nur in einem sehr geringen zeitlichen Umfang ausgenutzt werden. Bei Messungen an unterschiedlichen Standorten wurden durchschnittliche Werte für Hochsiloanlagen bei Welkgut von 22% und bei Frischgut von 25% im Verhältnis der Masseströme $\dot{m}_{T08}:\dot{m}_{T1}$ festgestellt. Bei der Bewirtschaftung von Horizontalsiloanlagen liegt dieses Verhältnis mit 40 bzw. 45% zwar bedeutend günstiger, läßt aber in vielen Bereichen noch wesentliche Reserven zur Steigerung der Arbeitsproduktivität vermuten. Die Ursachen für die geringe Ausnutzung der Arbeitszeit im Sinn des eigentlichen Produktionsprozesses sind vielgestaltig. So deutet der Anteil der T₂- bis T₄-Zeiten an der Schichtzeit T₀₈ von 14 bis 21% zwar auf einen recht hohen Reparatur-, Pflege- und Wartungsaufwand sowie auf technologische Störungen hin, muß aber im Vergleich zur Grundzeit T₁ mit 65 bis 85% als unverträglich hoch angesehen werden. Hierbei gilt auch, daß die Werte beim Horizontalsilo günstiger als beim Hochsilo liegen.

Es zeigen sich auch erhebliche Abweichungen zu den Werten, die vom Projektanten im Verfahren vorgesehen werden [2] und von einem Anteil der T₂- bis T₄-Zeiten an der Grundzeit T₁ von 26% ausgehen.

4. Der Massestrom in der Schichtzeit

Die bis hierher durchgeführten Betrachtungen befaßten sich lediglich mit Teilzeiten, die im technisch-technologischen Bereich lagen. Insgesamt muß jedoch der Produktionsprozeß so gelenkt werden, daß ein möglichst großer Anteil des Arbeitszeitfonds auf die vorgesehene Änderung des Arbeitsgegenstands ver-

wendet wird, d.h. der Massestrom in der Schichtzeit \dot{m}_{T08} muß möglichst groß werden.

Um diesen Sachverhalt zu analysieren, wurden die angelieferten und eingelagerten Gutmassen stündlich summiert und über den Tagesverlauf für jeweils eine Silobefüllung statistisch ausgewertet (Bilder 3 bis 5). Die Diagramme zeigen den Verlauf der am Silo stündlich eingelagerten Gutmassen für jeweils eine Silobefüllung. Dabei sind sowohl die Extremwerte (x_{max} , x_{min}) als auch der Bereich der Standardabweichung σ_{n-1} und der Verlauf des statistischen Mittelwerts \bar{x} eingetragen. Der Mittelwert \bar{x} des Mittelwerts \bar{x} stellt den Massestrom in der Schichtzeit \dot{m}_{T08} dar.

Der sehr diskontinuierlich verlaufende Produktionsprozeß wird hierbei deutlich sichtbar. Diese Beobachtungen können bisher als prinzipiell unabhängig von der einzulagernden Gutart, vom Silotyp, vom Standort sowie von der absoluten Größe des Massestromes gelten. Sie machen die geringe Ausnutzung der technischen Möglichkeiten, wie sie bereits angeführt wurde, ebenfalls deutlich. Die statistische Auswertung zeigt weiterhin, daß bei der Einlagerung mit Abweichungen von $\pm 100\%$ vom Mittelwert gerechnet werden kann. Diese Diskontinuität trat auf, obwohl bei den durchgeführten Untersuchungen keine witterungsbedingten Standzeiten T₈₂ zu verzeichnen waren. Sie führte zu den bekannten Störungen, die Wartezeiten bei der Erntetechnik oder am Silo verursachen.

Die Gründe für das Auftreten von T₂- bis T₄-Zeiten sind einerseits in technischen Mängeln zu suchen, andererseits aber auf technologische Unzulänglichkeiten in der Maschinenkette zurückzuführen, die von Mätzold schon sehr ausführlich untersucht wurden [3].

Hier spielt der gleichzeitige Einsatz von unterschiedlichen Transporteinheiten, die in ihrer Leistungsfähigkeit stark voneinander abweichen, eine wesentliche Rolle.

Die großen Einbrüche des Kurvenverlaufs in den typischen Pausenzeiten machen die Auswirkungen der festen Erholungszeiten (Bilder 3 und 4) bzw. der unterbrochenen Schichtübergabe (Bild 5) deutlich sichtbar. Die größten Reserven für eine bessere Ausnutzung der Arbeitszeit liegen jedoch in einer Verbesserung der Arbeitsorganisation. Der Anteil der T₆- bis T₈-Zeiten an der Schichtzeit T₀₈ liegt bei Hochsiloanlagen bei 50% und beträgt gegenüber der Grundzeit rd. 200%.

Bei der Horizontalsilobewirtschaftung sind diese Werte insgesamt günstiger, jedoch zeigt das Verhältnis der erreichten Spitzenwerte der stündlich eingelagerten Massen zum Durchschnittswert von 3:1, daß die große installierte Leistung der Maschinenkette zeitlich und kapazitiv nur sehr begrenzt ausgenutzt wird. Durch eine Erhöhung der technischen Leistung der Maschinen und damit eine Erhöhung des Massestromes in der Grundzeit allein können diese Unzulänglichkeiten nicht ausgeglichen werden. Die Differenz zwischen Mittelwert und Extremwerten kann im Gegenteil sogar noch zunehmen, besonders unter dem Einfluß steigender Transportentfernungen.

In diesem Zusammenhang müssen auch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten gesehen werden, die auf die technische Seite der Erhöhung des Massestromes in der Grundzeit T₁ hinzielen. Hier muß man erkennen, daß diese Maßnahmen, die hohe Aufwendungen an F/E-Kapazität und Investitionen erfordern, sich im wesentlichen in der Grundzeit auswirken und damit in 60 bis 75% des Arbeitszeitfonds nicht wirksam werden.

5. Schlußfolgerungen

Die im Rahmen des Silobauprogramms vorhandenen und noch zu schaffenden Grobfutterlager erfordern zur Sicherung der Qualität u.a. die Erfüllung eines zeitlichen Mindestfüllanspruchs, der durch den Massestrom im Verfahren gedeckt werden muß und durch das dargestellte Maschinensystem (Bild 1) realisiert werden kann.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, daß neben den technischen Möglichkeiten zur Erhöhung des Massestromes im wesentlichen in der Grundzeit T₁, die durch größere Arbeitsbreiten, höhere Arbeits- und Transportgeschwindigkeiten, kürzere Umschlagzeiten u.ä. erreicht wird, unbedingt eine Erhöhung der technischen und technologischen Zuverlässigkeit zur Verringerung der Pflege- und Wartungsarbeiten sowie der Zeiten für technologische Hilfsverrichtungen erfolgen muß.

Weitere Untersuchungen [1] beweisen, daß Transportentfernungen und der Einsatz unterschiedlicher Transporteinheiten einen großen Einfluß auf die Kontinuität des Massestromes haben. Deshalb sind die Standorte der Futterlager und -anbauflächen gut aufeinander abzustimmen und die Transportkomplexe möglichst typenrein bzw. transporttechnologisch aufeinander abgestimmt zu gestalten.

Die Arbeitsdisziplin ist durch stimulierende Mittel zu heben. Diese Maßnahme kann jedoch nur dann voll wirksam werden, wenn sie durch eine ergonomische Gestaltung der Arbeitsmittel wirkungsvoll unterstützt wird.

Die wesentlichen Reserven zur Steigerung der Arbeitsproduktivität liegen jedoch in der kontinuierlichen Auslastung der Maschinen in der Schichtzeit. Dazu sind zweckmäßige Lösungen

der Organisation, der Arbeitsvorbereitung, der Durchführung von Pausen- und Erholungszeiten einschließlich der Schichtversorgung der Arbeitskräfte und der Schichtwechsel sowie eine technologische Abstimmung der gesamten Maschinenkette erforderlich.

Literatur

[1] Munder, F.: Erarbeitung technischer Prinziplösungen für das neue Verfahren der industriemäßigen Produktion von Silage aus Grünfütter. FZM Schlieben/Bornim, Forschungsbericht 1980 (unveröffentlicht).

[2] Bewirtschaftungsrichtlinie für Hochsiloplanzen HS 25-M. VEB LIA Nauen, 1976.

[3] Mätzold, G.: Produktive Nutzung der Maschineneinsatzzeit in der Pflanzenproduktion — eine Aufgabe der Instandhaltung. agrartechnik 29 (1979) H. 12, S. 532—534. A 3147

Vorschläge für Rationalisierungsmaßnahmen an der Maschinenkette zur Beschickung von Hochsilos HS 25 M

Dr.-Ing. D. Ehlert/Dipl.-Ing. F. Munder/Dipl.-Ing. W. Schwarz, KDT/Agr.-Ing. G. Wartenberg/Dipl.-Ing. E. Wenske, KDT
Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

1. Problemanalyse

In Hochsilos HS 25 M wird Grünfütter vorrangig als Welkgut und teilweise als Frischgut (Mais) eingelagert. Die schnellstmögliche Schaffung anaerober Bedingungen im Siliergut ist eine der entscheidenden Voraussetzungen für die Sicherung des Siliererfolgs und somit zur Produktion von Qualitätssilagen. Bei der Beschickung von Hochsilos HS 25 M werden gegenwärtig unter Praxisbedingungen Masseströme von 15 bis 20 t/h (T_{02}) realisiert. Die Befülldauer von rd. 50% der Silos beträgt dabei mehr als 10 Tage [1]. Qualitätsminderungen durch die langen Beschickungszeiten sind die Folge.

Neben witterungsbedingten Unterbrechungen und organisatorisch begründeten Standzeiten haben technische Störungen der Maschinenkette zur Hochsilobeschickung einen erheblichen Anteil an den Ausfallzeiten. Als häufigste Ursachen für die technischen Störungen sind die aus der gegenwärtigen Sicht nicht mehr anforderungsgerechte Dimensionierung der Förderquerschnitte und die unzweckmäßige Gestaltung der Übergabestellen zwischen den einzelnen Förderern zu nennen. Durch den Komplexeinsatz der weiterentwickelten, leistungsfähigen Felderntetechnik für die Grünfütterernte ist die Paßfähigkeit in Maschinensystemen besonders hinsichtlich der realisierbaren Masseströme nicht mehr gegeben. Die Zuordnung ganzer Feldernte-komplexe zu den Hochsiloplanzen ist damit effektiv nicht möglich. Es kann eingeschätzt werden, daß nur der Annahmedosierer DS 300-14 die erhöhten Anforderungen hinsichtlich Massestrom und Funktionssicherheit erfüllt. Die sich anschließenden Förderer der Serienausrüstung — Gurtbandförderer FB 80-4/5, Steilförderanlage T 234 und Verteilmaschine VES 12 — werden diesen Anforderungen nicht gerecht.

2. Aufgabenstellung

Um die Maschinenkette zur Beschickung von Hochsilos HS 25 M an die leistungsfähige Feldernte-technik anzupassen, sind Lösungen zu erarbeiten, die im Rahmen der Rationalisierung unter Beibehaltung der bestehenden Grundkonzeption der Hochsiloplanzen und der verfügbaren Mechanisierungsmittel realisierbar sind. Für diese Rationalisierung sind die o. g. Förderer der Serienausrüstung mit folgender Zielstellung zu überarbeiten:

— Die Masseströme der Maschinenkette zur Einlagerung sind zur Sicherung der Paßfähigkeit im Verfahren zu erhöhen. Dadurch kann die Befülldauer je Silo auf 3 Tage verkürzt werden, wobei die tägliche

Einlagerungsmenge 450 t beträgt. Kurze durchgängige Befüllzeiten sichern die Silagequalität bei niedrigen Verlusten durch schnelles Erreichen des Drucks und damit des Luftabschlusses.

- Die Funktionssicherheit der Einzelmaschinen ist durch konstruktive Änderungen zu verbessern.
- Der Anteil der Arbeitszeit unter erschwerten Bedingungen für die Bedienperson bei der Funktionsüberwachung und Beseitigung von Störungen ist zu senken.

3. Lösungsvorschläge, ihre Realisierung und Erprobung

3.1. Gurtbandförderer FB 80-4/5

Am Gurtbandförderer FB 80-4/5 wird der erforderliche Volumenstrom von 2000 m³/h durch Erhöhen der Gurtgeschwindigkeit des Annahmehabandes von 2,63 auf 3,25 m/s und des Übergabehabandes von 3,25 auf 4 m/s sowie Erhöhen der Gurtbandabdeckung um 200 mm erreicht (Bild 1). Diese sowie alle weiteren Maßnahmen wurden an der Hochsiloplanze HS 25 M der ZGE Milchviehanlage Kfemmen, Bezirk Potsdam, realisiert und erprobt.

3.2. Steilförderer

Zur Erschließung von Leistungsreserven am Steilförderer T 234 wurden massestrombegrenzende Faktoren analysiert und unter Berücksichtigung der Realisierbarkeit folgende Veränderungen vorgenommen:

- Vergrößerung des Förderquerschnitts
- funktionsgerechtere Ausbildung der Übergabestellen.

Die Vergrößerung des Förderquerschnitts ist durch die Erhöhung der Abdeckung möglich. In der ersten Änderungsstufe ist die lichte Höhe von 300 auf 420 mm vergrößert (Bild 2) und die serienmäßig vorhandene Abdeckung aus PVC-

Gurtband durch eine tunnelförmige Blechabdeckung ersetzt. Mit dieser Maßnahme kann der Förderquerschnitt von 0,18 auf 0,25 m² erhöht werden. In der zweiten Änderungsstufe, die einen Förderquerschnitt von 0,42 m² aufweist, ist ein Ersatz der serienmäßig vorhandenen geraden Querverstrebung des Steilfördererrahmens durch eine gekrümmte Ausführung erforderlich. Die damit mögliche lichte Höhe des Förderquerschnitts von 700 mm wird durch den Einsatz von abgekanteten, zusätzlichen Seitenblechen erreicht (Bild 2).

In der serienmäßigen Ausführung der Übergabestelle vom Gurtbandförderer FB 80-4/5 auf den Steilförderer ist ein großer Abstand zwischen der Kopftrommel und dem Band des Steilförderers vorhanden. Dadurch trifft infolge der sich ausbildenden Wurfparabel das Futter ohne Geschwindigkeitskomponente in Förderrichtung auf das Gurtband des Steilförderers auf und muß somit von den Stollen beschleunigt werden. Da während des Beschleunigens das Futter bis unmittelbar vor die Stollen rutscht, wird nur ein Teil des zur Verfügung stehenden Fördervolumens ausgenutzt (Bild 3). Um die Übergabeverhältnisse zu verbessern, ist die Kopftrommel des FB 80-4/5 dicht über dem Stollengurtband des Steilförderers angeordnet. Dazu sind Veränderungen an den seitlichen Lagerblechen des FB 80-4/5 sowie die Umgestaltung der Blechabdeckungen an der Übergabestelle notwendig. An der Übergabestelle vom Steilförderer auf den Verteilförderer wirkt das serienmäßig vorhandene Prallblech (Bild 4) in ungünstiger Weise auf die Kontinuität des Futterstromes. Durch die Bremswirkung des Prallbleches entstehen Stauungen, die zum Verstopfen des gesamten Übergabetrichters führen können. Bei der neuen Ausführung der Übergabestelle beschreibt das Futter eine natürliche Abwurfparabelbahn, ohne durch die Abdeckung abgebremst zu werden. Die Durchfahrt des Elek-

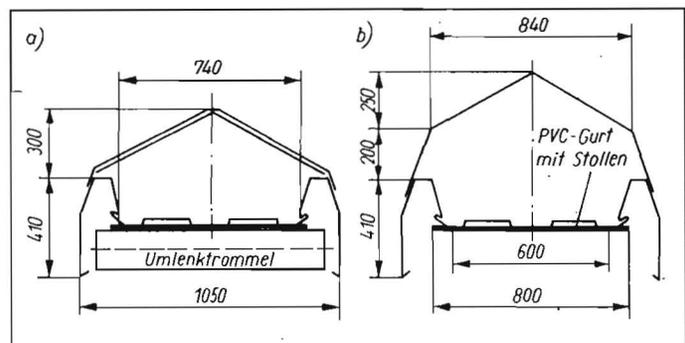


Bild 1
Querschnitt des Übergabehabandes des Gurtbandförderers FB 80-4/5;
a) Serienausführung
b) mit um 200 mm erhöhter Bandabdeckung