

1. Stand und Entwicklung der Trockengutfütterung

Die Entwicklung in der Mechanisierung der Rinderfütterung läßt erkennen, daß sich die Anstrengungen in der Forschung und Praxis zur Mechanisierung der Futtermittelverteilung in den vergangenen Jahren vorwiegend auf das Entnehmen und Verteilen von Gärfutter beschränkten. Bei Trockengut wurde diesen Arbeitsprozessen bisher nur geringe Aufmerksamkeit gewidmet, so daß den derzeit relativ hoch mechanisierten Verfahren der Gärfutterwirtschaft nur gering mechanisierte Verfahren der Rauhfutterwirtschaft gegenüberstehen. Ursachen dafür sind der geringe Anteil an der Fütteration, die relativ leichte Handhabung und die vielfältigen Formen des Trockengutes, die unterschiedlichen Arten der Lagerung und die Diskussionen über vereinfachte Winterfütteration mit nur einer Grundfutterkomponente.

Der Forderung nach vereinfachten Winterfütterationen stehen jedoch die Erkenntnisse der Tierernährung gegenüber, nach denen die Leistung des Tieres und der Ablauf der Verdauungsvorgänge im Tier von der richtigen Zusammensetzung der Futtermittel in der Ration entscheidend beeinflusst werden. Die gemischten Winterfütterationen gewährleisten hiernach den größten Nutzeffekt aus dem Grundfutter und führen zu Verzehrleistungen an Trockenmasse, die über denen bei reinen Gärfütterationen liegen. Die Zufütterung von Trockengut an hochtragende und in der ersten Laktationsperiode stehenden Milchkühe ist nach PIATKOWSKI [1] unbedingt erforderlich. Die Erfahrungen ausländischer Milchviehbetriebe unterstützen diese Ansichten der Tierernährung. Jedoch ist einzuschätzen, daß der Anteil des Trockengutes an der Fütteration in den nächsten Jahren, dem internationalen Trend entsprechend, in der DDR auf 2 kg je GV · Tag absinken wird. Die Mechanisierung der Rinderfütterung muß die Tatsache, daß auch weiterhin Trockengut in der Ration enthalten sein wird, berücksichtigen.

Die Forderung nach einem einheitlichen Verfahren für die Mechanisierung der Gär- und Trockengutverfütterung setzt Abstimmungen über die für Gewinnung und Verwertung günstigste Form des Trockengutes voraus. Gegenwärtig erfolgt die Auswahl der Form des Trockengutes fast ausschließlich nach den Gesichtspunkten der Gewinnung, so daß

die o. g. Forderung schwer erfüllbar ist. Entscheidend für die Form des Trockengutes ist die Art der Silageproduktion und Grundfutterverteilung im Betrieb.

2. Formen des Trockengutes

Gegenwärtig werden der Belüftungstrocknung unzerkleinertes, loses Langheu, Hochdruckballen und Häckselgut mit einem Trockenmassegehalt von etwa 70 bis 75 Prozent zugeführt. Entsprechend der Entwicklung auf dem Gebiet der Trockengutbereitung und -verfütterung ist zu erwarten, daß in den nächsten Jahren vorwiegend Hochdruckballen und Häckselgut zur Verfütterung gelangen werden, während der Anteil des unzerkleinerten, losen Langheus aufgrund der schwierigen Mechanisierung der Entnahme und Verteilung ständig zurückgehen wird. Der Mechanisierung dieser Form des Trockengutes wird auch international keine Aufmerksamkeit mehr gewidmet. Die Forderungen zur Verringerung der Nährstoff- und Bröckelverluste sowie Erhöhung der Lagerungsdichte im Stapel sind bei der Trockengutbereitung u. a. durch die Einlagerung von Welkgut mit einem Trockenmassegehalt von 60 bis 65 Prozent erfüllbar.

Die Messungen der Lagerungsdichte (Bild 1) in mehreren Stapeln mit der Dichtesonde zeigen folgende Ergebnisse:

- Unregelmäßig eingelagerte Hochdruckballen führen gegenüber Häckselgut zu keiner höheren Ausnutzung des Bergeraumvolumens
- Ballen aus Halmheu weisen gegenüber Ballen aus Blattheu höhere Lagerungsdichten auf
- Bei Häckselgut führen u. a. hohe Stapelhöhen und geringe Häcksellängen zur Erhöhung der Lagerungsdichte
- Der Einsatz von Fördergebläsen und Wechselkästen führt bei der Einlagerung des Welkgutes zu starken Verdichtungs-zonen im Stapel.

3. Bergeräume

Nach entsprechenden Schätzungen wird das Trockengut in der DDR 1970 zu 15 Prozent in Mieten, 45 Prozent in kleinen verstreut liegenden Scheunen und zu 40 Prozent in großen Bergeräumen gelagert. Die Forderungen nach Verminderung der Nährstoffverluste und der Einsatz vollmechanisierter Verfahren zum Entnehmen des Trockengutes bedingen jedoch, daß bis 1980 das gesamte Trockengut in großen Bergeräumen einzulagern ist.

Während die Abmessungen der Bergeräume von der Belüftungstechnik, der Mechanisierung der Verteilung und Ent-

Bild 1. Lagerungsdichte von Häckselgut und Hochdruckballen in den Stapelhorizonten von erdlastigen Bergeräumen (Einlagerung mit Gebläse);

- a Häckselgut (Blattheu), $y = 45,3 + 0,195 \cdot x$, $B = 0,865^{***}$, Häcksellänge: 50 % der Masse < 49 mm, 15 % der Masse > 110 mm;
- b Häckselgut (Halmheu), $y = 30,3 + 0,121 \cdot x$, $B = 0,590^{***}$, Häcksellänge: 50 % der Masse < 35 mm, 15 % der Masse > 72 mm;
- c Hochdruckballen (Blattheu), $y = 25,5 + 0,0584 \cdot x$, $B = 0,667^{***}$;
- d Hochdruckballen (Halmheu), $y = 35,6 + 0,0777 \cdot x$, $B = 0,621^{***}$

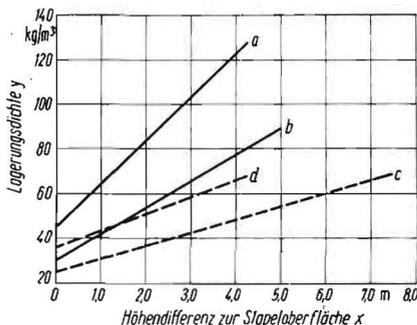


Bild 2. Lagerungskosten für belüftetes Trockengut in Rund- und Rechteckbehältern;

- Rundbehälter, Behälterzahl $n = 1 \dots 3$;
- - - Rechteckbehälter (Spannweite 18 m);
- · - · Rechteckbehälter (Spannweite 36 m);
- Lagerungshöhe 6 m

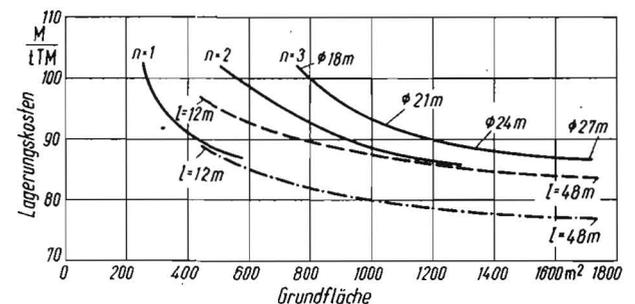
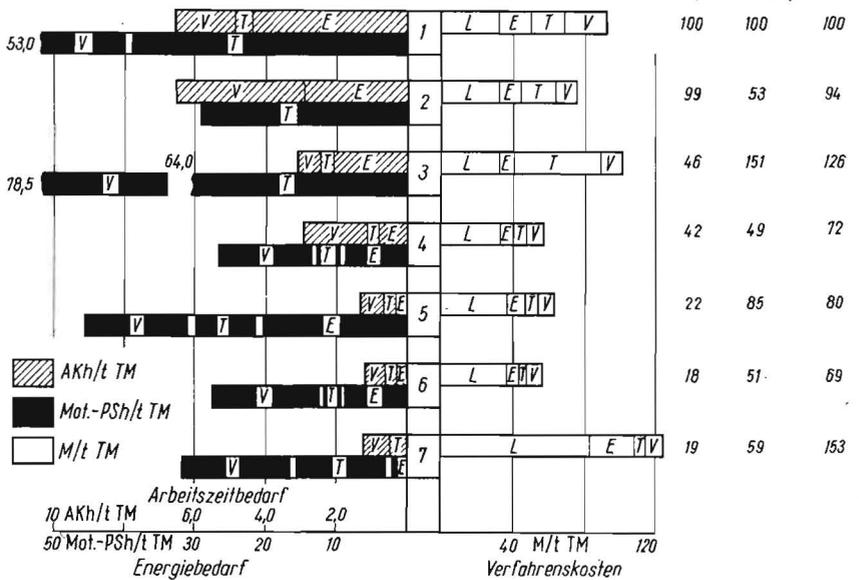


Bild 3

Bedarf an Arbeitszeit, bereitgestellter Antriebsenergie und Kosten für die Rauhutterlagerung und -verfütterung (Häckselgut) in einer Anlage mit 400 CV, Ration 2 kg je GV und Fütterung; E Entnahme, T Transport, V Verteilung, L Lagerung;

- Verfahren 1 – Entnahme von Hand (3 AK), Verteilung: Gabelwurf v. Anhänger (3 AK);
- Verfahren 2 – Entnahme von Hand (2 AK), Transport: Gebläse, Verteilung von Hand (1 AK);
- Verfahren 3 – Entnahme von Hand (2 AK), Transport: Gebläse, Verteilung: Futterverteilungswagen F 931 (1 AK);
- Verfahren 4 – Entnahme: Frontlader T 150/2 (25-PS-Traktor, 2 AK), Verteilung: Gabelwurf vom Anhänger (3 AK);
- Verfahren 5 – Entnahme: Fräslader PSN-1 (1 AK), Verteilung: F 931 (1 AK);
- Verfahren 6 – Entnahme: Frontlader T 150/2 (25-PS-Traktor, 1 AK), Verteilung: F 931 (1 AK);
- Verfahren 7 – Entnahme: Entnahmeeinrichtung – Heuturm, Verteilung: F 931 (1 AK)



nahme sowie den Baupreisen bestimmt werden, ist die optimale Form des Behälters noch nicht eindeutig geklärt.

Die Entwicklung in der Gärfutterwirtschaft zum kreisrunden Behälter läßt jedoch erwarten, daß in Anlagen mit stationärer Mechanisierung der Grundfutterverteilung der Turmtyp auch zur Trockengutkonservierung und -lagerung eingesetzt wird. Dieser Typ hat dagegen in Anlagen mit mobiler Mechanisierung der Grundfutterverteilung keine Bedeutung. Die Vorzüge des Turmtyps sind:

- einfachere Mechanisierung durch den Einsatz eines Zentralmastes
- günstigere Zuordnung zu Gärfutterhochbehältern und stationären Futterverteilereinrichtungen
- einfachere Bildung des Abwurfschadites
- Vermeidung ungünstig zu bewirtschaftender Ecken bei der Belüftung, Verteilung und Entnahme.

Nachteilig wirken sich dagegen aus:

- der Einsatz mehrerer Verteileinrichtungen entsprechend der Behälteranzahl
- die hohen Baupreise
- der höhere Flächenbedarf gegenüber Rechteckbehältern von 1 m²/m³ Bergeraumvolumen
- die Befüllung einer Behälterbatterie von einem zentralen Abladeplatz.

Die bisher errichteten Heutürme, die bereits zur Senkung des Handarbeitszeitbedarfs bei der Trockengutentnahme führten, sind aufgrund ihres geringen Volumens von 450 m³ und ihres hohen Baupreises von 120,— M/m³ für den Einsatz in VEG und LPG bedeutungslos.

Die Ermittlung der Baupreise bei Universalbehältern mit Wandverkleidungen aus PVC-beschichteten Nähgewirken zeigt, daß mit zunehmender Behältergröße die spezifischen Baupreise sinken (Bild 2). Hallenartige Bergeräume mit Spannweiten von mehr als 18 m sind kreisrunden Behältern eindeutig überlegen [2].

Entsprechend den derzeitigen Erkenntnissen des Bauwesens und der Fördertechnik sind beim Einsatz stationärer Entnahmeeinrichtungen hallenartige Bergeräume mit freitragenden Dachkonstruktionen in ihrer Spannweite auf 18 m und kreisrunde Bergeräume in ihrem Durchmesser auf 24 m zu begrenzen.

Dieser Forderung kann bei kreisrunden Behältern entsprochen werden, da die Vergrößerung des Behälterdurchmessers auf über 24 m nur noch zu einer geringfügigen Senkung des Baupreises führt.

Ausgehend von den Baupreisen ist der Hallentyp dem Turmtyp überlegen.

Weitere Vorteile dieses Typs sind:

- die vielseitige Verwendbarkeit
- die bauseitigen Vorzüge, wie hoher Montagegrad, Anwendung der Mastenbauweise und hoher Nutzeffekt der Grundmittel der Baubetriebe
- sowie die Gewährleistung des Einsatzes mobiler Entnahmemaschinen.

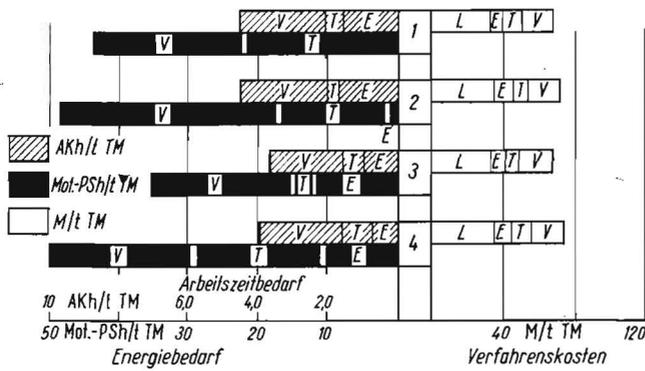
Die gegenwärtig in der Landwirtschaft errichteten hallenartigen Bergeräume des Typs TPL-66 und TPL-240 sind in ihrer Gestaltung für den Einsatz industriemäßiger Produktionsverfahren ungeeignet. Voraussetzung für den Einsatz vollmechanisierter Verfahren sind freitragende Dachkonstruktionen und unter Flur verlegte Belüftungsanlagen mit befahrbaren Rosten. Dem damit verbundenen Anstieg der Baupreise um 50 Prozent gegenüber dem jetzigen Stand werden durch den Einsatz moderner Lademaschinen höhere Entnahmeleistungen und geringerer Arbeitszeitbedarf für das Entnehmen sowie eine längere Haltbarkeit der verlegten Roste gegenüberstehen.

4. Verfahren der Beschickung, Entnahme und Verteilung

Ausgehend von der Forderung nach einem einheitlichen Maschinensystem für Grundfüttererzeugung und -verteilung sind die zur Welksilagebereitung bereitgestellten Maschinen, Transport- und Fördermittel auch für die Trockengutkonservierung und -lagerung einzusetzen. Die kombinierte Nutzung der Dosier- und Fördereinrichtungen ist von der Zuordnung der Trockengutbehälter zu den Gärfutterhochbehältern abhängig. Die günstigsten Voraussetzungen zur Erfüllung der o. g. Forderungen bietet die Häckselgutlinie, indem das bei der Welksilage zu stark vorgewelkte Gut kurzfristig der Belüftungstrocknung zugeführt wird.

Der Übergang vom Langgut zur gehäckselten Form des Rauhutters erfolgt aufgrund der heute vielfach noch unvollständigen Mechanisierungssysteme des Transports und der Entnahme nur zögernd. Bild 3 zeigt sieben Verfahren zur Verfütterung von gehäckseltem Rauhutter. Bezugsbasis für die Verfahren ist das Handarbeitsverfahren, als das arbeitsintensivste Verfahren zur Verfütterung von Häckselgut. Die schwierige Handhabung des Häckselgutes kommt darin zum Ausdruck, daß 65 Prozent des Gesamtzeitbedarfs dieses Verfahrens für das Entnehmen erforderlich sind.

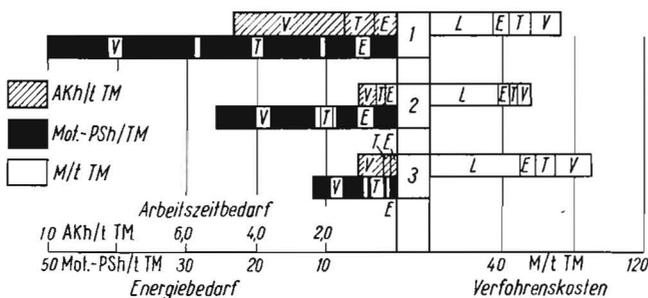
Ansauggebläse können gegenüber dem Handarbeitsverfahren zur Verringerung des Arbeitszeitbedarfs führen. Entscheidend



relativ
AKh/t Mot.-Psh/t M/t

Bild 4

Bedarf an Arbeitszeit, bereitgestellter Antriebsenergie und Kosten für die Rohfutterlagerung und -verfütterung (Hochdruckballen) mit den Arbeitsgängen Entnehmen aus dem Stapel, Transport zum Stall, Verteilen; Größe der Anlage 400 GV, Ration 2 kg je GV und Fütterung, Lagerung erdlastig. E Entnahme, T Transport, V Verteilung, L Lagerung:
Verfahren 1 — Entnahme von Hand (3 AK), Verteilung: Gabelwurf vom Anhänger (3 AK);
Verfahren 2 — Entnahme: Stationärer Greifer (3 AK), Verteilung: Gabelwurf vom Anhänger (3 AK);
Verfahren 3 — Entnahme: Frontlader T 150/2 (25-PS-Traktor, 2 AK), Verteilung: Gabelwurf vom Anhänger (3 AK);
Verfahren 4 — Entnahme: Universallader T 157 (1 AK), Verteilung: Gabelwurf vom Anhänger (3 AK)



relativ
AKh/t Mot.-Psh/t M/t

Bild 5

Bedarf an Arbeitszeit, bereitgestellter Antriebsenergie und Kosten für die Rohfutterlagerung und -verfütterung (Bedingungen und Erläuterungen für E, T, V und L s. Bild 4).
Verfahren 1 — Hochdruckballen, Entnahme: Universallader T 157 (1 AK), Verteilung: Gabelwurf vom Anhänger (3 AK);
Verfahren 2 — Häckselgut, Entnahme: Frontlader T 150/2 (25-PS-Traktor, 1 AK), Verteilung: F 931 (1 AK);
Verfahren 3 — Häckselgut, Entnahme: Entnahmeeinrichtung-Heuturm (1 AK), Verteilung: Bandförderer (1 AK)

dafür ist die Ansaugleistung des Gebläses und die Art der Verteilung im Stall. Im Vergleich zum Bezugsverfahren stehen beim Einsatz des Ansauggebläses FG 35-2 in Verbindung mit dem Futtermittelwagen die Reduzierung des Arbeitszeitbedarfes höhere Verfahrenskosten gegenüber. Die Kombination Frontlader-Gabelwurf vom Anhänger ist nachteilig, weil 2 AK zum Entnehmen und 3 AK zum Verteilen des Gutes bereitzustellen sind. Erst mit dem Einsatz des Futtermittelwagens (Verf. 6) gewinnt der Frontlader an Bedeutung. Gegenüber dem Gabelwurf vom Anhänger (Verf. 4) ist eine Verringerung des Arbeitszeitbedarfes um 24 Prozent gegeben. Die Verfahrenskosten sinken jedoch geringfügig.

Das Verfahren Fräslader-Futtermittelwagen (Verf. 5) ist an stützenfreie Bergerräume und unter Flur verlegte Belüftungsanlagen gebunden. Gegenüber dem Bezugsverfahren sinken Arbeitszeitbedarf und Verfahrenskosten erheblich.

Die Vorteile des Heuturmes — Arbeitsvereinfachung und Arbeitszeitsparung — wirken sich durch die Kombination mit dem Futtermittelwagen im Arbeitszeitbedarf nicht aus, da das Beladen des Wagens von 1 AK überwacht werden muß. Der derzeitige Preis des Heuturmes führt zu einer wesentlichen Erhöhung der Verfahrenskosten, so daß der Einsatz dieses Verfahrens gegenwärtig abzulehnen ist.

Die Ein- und Auslagerung der Hochdruckballen ist gegenwärtig im Gegensatz zur Häckselgutlinie nur durch teilmechanisierte Verfahren möglich. Die Mechanisierung der Entnahme und Verteilung der Hochdruckballen ist zur Zeit weder im In- noch im Ausland befriedigend gelöst. So sind die in den landwirtschaftlichen Betrieben der DDR angewendeten Verfahren entweder in ihrer Verfahrenleistung unbefriedigend oder aus Gründen des Arbeitsschutzes abzulehnen. Gegenwärtig ist die Verteilung der Ballen nur von Hand möglich.

Bild 4 charakterisiert die derzeitigen Verfahren zur Verfütterung von Hochdruckballen. Bezugsverfahren ist das Handarbeitsverfahren. Der Einsatz dieses Verfahrens ist jedoch wegen der körperlichen Belastung der Arbeitskräfte nicht vertretbar.

Der im Mittelgebirgsraum in Anlagen mit erdlastigen Bergerräumen anzutreffende stationäre Greifer hat für größere Anlagen keine Bedeutung. Arbeitswirtschaftlich günstigere Ergebnisse werden dagegen mit dem Frontlader erreicht. Nachteil des Verfahrens ist jedoch, daß 1 AK auf dem Anhänger die Ballen von den Zinken des Arbeitswerkzeuges von Hand abnehmen muß. Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte stellt somit der Universallader T 157 die einzige vertretbare Form des Entnehmens dar.

5. Schlußfolgerungen

- Arbeitszeitbedarf und Kosten der Rohfutterlagerung und -verfütterung werden wesentlich von Art, Form und Dichte des Trockengutes sowie von der Gestaltung der Bergerräume beeinflußt (Bild 5).
- Der Vergleich der Verfahren mit dem geringsten Arbeitszeitbedarf und den geringsten Kosten für das Entnehmen und Verteilen zeigt die Überlegenheit der zerkleinerten Form gegenüber Hochdruckballen.
- Die Vorteile der Hochdruckballen bleiben in der Tierproduktion gegenwärtig unberücksichtigt, da geeignete und leistungsfähige Mechanisierungseinrichtungen zum Zerkleinern der Ballen fehlen. Die z. Z. eingesetzten teilmechanisierten Verfahren führen gegenüber dem Handarbeitsverfahren zu keiner Verringerung des Arbeitszeitbedarfes und der Verfahrenskosten. Gegenüber Häckselgut ist keine günstigere Ausnutzung des Bergerräumvolumens zu erwarten.
- Die zerkleinerten Formen des Trockengutes bieten für eine vollmechanisierte und später automatisierte Entnahme und Verteilung die günstigeren Voraussetzungen. Da auch in Zukunft die ausschließliche Bereitstellung von Trockengrünut nicht zu erwarten ist und seitens der Tierernährung Trockengut größerer Struktur gewünscht wird, ist der gehäckselten Form besondere Beachtung zu widmen.

Meßwertgeber zur Bestimmung der Schneidarbeit bei freiem Schnitt

1. Aufgabenstellung

Mechanische Trennvorgänge an biologischen Materialien in der Landwirtschaft können zu einem hohen Energiebedarf führen. Dieser Schneidenergiebedarf ist für die Anwendung des freien bzw. frei-freien Schnittes, wie er bei den meisten Ausführungsformen von Rotationsmähdwerken auftritt, umgleich größer als bei dem Scherenschnitt oszillierender Schneidwerke. Er wird wesentlich von kinematischen, kinetischen und stofflichen Parametern beeinflusst. Die bei einem Trennvorgang nach dem freien Schnitt verbrauchte Schneidenergie setzt sich aus mindestens drei Anteilen zusammen:

- Anteil für das reine Schneiden
- Anteil für die seitliche Auslenkung des Halmes unter Einwirkung der Schnittkraft
- Anteil, der für einen mutmaßlichen Fördervorgang des abgetrennten Stoffteiles verbraucht wird.

Die Höhe des Energieniveaus wird wesentlich durch die Schnittgeschwindigkeit beeinflusst. Sie muß stets höher sein als diejenige Geschwindigkeit, bei der gerade noch ein freier Schnitt stattfindet. Diese als kritische Schnittgeschwindigkeit bezeichnete Größe ist für die verschiedenen biologischen Materialien unterschiedlich. Im praktischen Betrieb führen horizontal rotierende Schneidlemente eine Drehbewegung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit aus, die sich meist mit einer gleichförmigen translatorischen Bewegung überlagert. Dieser Sachverhalt ist bei der Optimierung der realen Schnittgeschwindigkeit zu berücksichtigen. Weiterhin beeinflussen Klingensform und -stellung den bereitzustellenden Energiebedarf.

(Schluß von Seite 454)

- Für die Verfüterung von Häckselgut sind geeignete mobile Lademaschinen und Verteileinrichtungen vorhanden. Ihre Entnahmelösungen sind von der inneren Gestaltung der hallenartigen Bergeräume abhängig.
- Bedeutenden Einfluß auf die Funktionssicherheit und Leistung der Lademaschinen und Verteileinrichtungen mit Fräsworkzeugen, hat die Häcksellänge des Trockengutes, sie sollte 80 mm nicht übersteigen.
- Die Kombination der Front- und Fräslader mit dem Futterverteilwagen führt zu hohen Verfahrensleistungen.
- Ansauggebläse, gleich welcher Art und Einsatzform, haben für VEG und LPG keine Bedeutung.
- Arbeitszeiteinsparungen und die Beschränkung der Tätigkeit der Arbeitskraft auf Kontrollfunktionen beim Entnehmen des Trockengutes sind durch den Einsatz des Heuturmes in Verbindung mit der BMSR-Technik gewährleistet. Die hohen Kosten beschränken jedoch seinen Einsatzbereich auf Anlagen mit stationären Transport- und Verteileinrichtungen. Für Anlagen mit mobiler Verteilung des Grundfutters haben Heutürme keine Bedeutung.
- Der Einsatz des Heuturmes in VEG und LPG setzt die Vergrößerung des Nutzinhalts, die Senkung der Baukosten und die Befüllung einer Heuturbatterie von einem zentralen Abladepplatz voraus.

Literatur

- [1] PIATKOWSKI: Mündl. Mitteilung 1969.
- [2] MEHLER, THIELE, POMPLUN: Bericht zur Konzeption für teilautomatisierte Trockengutlagerbehälter. Institut für Landwirtschaftliche Bauten der Deutschen Bauakademie Berlin 1969; unveröffentlicht.

Für die experimentelle Bestimmung der Schneidarbeit an Einzelhalmen bzw. Halmkollektiven ist ein Meßwertgeber zu entwickeln, der eine Variation der Einflußgrößen

- Schnittgeschwindigkeit
 - Schnitthöhe (Stoppelhöhe)
 - Klingenstellung
 - Klingensform und
 - Halmstellung
- gewährleistet.

2. Meßmethodik

Dominierender Grundgedanke bei der Wahl des Meßprinzips war, den Bedingungen der Praxis mit dem Meßwertgeber nachzukommen, um möglichst aussagekräftige und verallgemeinerungsfähige Ergebnisse zu erzielen. Daraus resultierend wurde die in Bild 1 dargestellte Meßanordnung gewählt. Sie besteht im Prinzip aus einem Rotationskörper, der das Schneidmesser trägt, einem ausklinkbaren Motor und der optischen Abtastvorrichtung. Der gut gelagerte Rotationskörper mit bekanntem Trägheitsmoment wird mit Hilfe des Motors auf die vorgegebene Drehzahl beschleunigt. Ist diese erreicht, so trennt die mechanische Kupplung das rotierende Schneidwerk vom Antriebsmotor. Gleichzeitig setzt ein Magnetschalter den Motor außer Betrieb, um koppelnde Störeinflüsse über das trennende Lüftpulster zu vermeiden. Aufgrund der vorhandenen geringen Lager- und Luftreibung nimmt die Drehzahl allmählich ab. Die Drehzahl und deren Schwankungen werden mit Hilfe eines elektronischen Drehzahlschwankungsmessers bestimmt, der für einen Impulsfrequenzbereich von 0,6 bis 5,6 kHz ausgelegt ist. Die Abtastvorrichtung besteht aus einer 4-Volt-Kleinstlampe und einer Fotodiode. Die rotierende Scheibe, die auf dem Abtastumfang mit äquidistanten Bohrungen versehen ist, unterbricht den auf die Foto-

Bild 1. Prinzip des Meßgerätes für Schneidarbeit; a Motor (vertikal verschiebbar), b Kupplung (ausklinkbar), c Lager, d Rotationskörper, e Messer (Schnittwinkel verstellbar), f Lampe, g Fotodiode

