

# Untersuchungen an Meßeinrichtungen für die leistungsorientierte Gruppenfütterung in Milchviehanlagen

Dozent Dr.-Ing. M. Klose, KDT, Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik  
Dipl.-Ing. H. Schwarze, VEB Kombinat Landtechnik Dresden

## 1. Problemstellung

Die Fütterung der Tiere mit zunehmend höherem Grobfutteranteil bei gleichzeitiger Verringerung des Konzentratfutteranteils ist eine Forderung, die sich aus der ökonomischen Strategie der 80er Jahre ergibt [1]. Um diese Forderung ohne Leistungseinschränkungen zu erreichen, ist eine exakte und schnelle Bestimmung des Trockenmasseanteils der Grobfuttervorlage für die Tiere vorzusetzen. Da derzeit eine solche Bestimmung nicht möglich ist, muß versucht werden, über andere Informationen eine möglichst genaue Kenntnis über die Grobfuttervorlage zu erzielen. Für eine Milchviehanlage nach Angebotsprojekt (AP) 1930 wurden in [2] Varianten für eine leistungsorientierte Gruppenfütterung beschrieben, die entsprechende Meßwertaufnehmer (im folgenden Meßgeber genannt) erfordern. Ergebnisse der Untersuchungen von Meßgebern zur Erfassung von Masse- und Volumenströmen an Futterverteileranlagen des AP 1930 sollen nachfolgend beschrieben werden.

## 2. Meßgeber für die Masseerfassung

Die Masse eines Gutes kann entweder durch quasistatische oder durch dynamische Methoden ermittelt werden. Für erstere kommen Behälter- und Bandwaagen sowie Waage-Dosierer-Kombinationen, für letztere ein Impulsmeßgeber in einer sog. Prallblechmeßeinrichtung in Frage. Der mögliche Einsatz einer Behälterwaage zur leistungsorientierten Fütterung wurde in [3] beschrieben.

Waage-Dosierer-Kombinationen wurden an der TU Dresden nicht untersucht. Über die Eignung des Einsatzes einer Bandwaage und einer Prallblechmeßeinrichtung soll im folgenden berichtet werden.

### 2.1. Elektromechanische Bandwaage

Die kontinuierliche Masseerfassung auf Gurtbandförderern ist mit Hilfe von Bandwaagen möglich und prinzipiell technisch gelöst [4]. Bei der Anwendung von Bandwaagen in Tierproduktionsanlagen treten folgende negative Faktoren auf:

- ungünstiges Verhältnis zwischen Netto- und Bruttomasse
- Verschmutzung des Gurtes
- Einfluß aggressiver Medien

- notwendig hoher Wartungs- und Pflegeaufwand.

An der TU Dresden wurde eine unsymmetrische Vierrollenbandwaage mit direkter Krafteinleitung auf den Meßgeber entwickelt und erprobt, deren Prinzip im Bild 1 dargestellt ist. Auf das stöempfindliche und materialintensive Hebelsystem der zur Verfügung stehenden Bandwaagen (Hersteller: VEB Großwaagen Berlin) konnte verzichtet werden. Mit dem Einsatz geeigneter Meßgeber mit genügend großer Auflösung können die Eigengewichtskraftkompensation und die damit verbundenen Nachteile entfallen. Die Prüfung der Bandwaage erfolgte in Erweiterung von [5] und [6] an zwei Funktionsmustern in unterschiedlichen Milchviehanlagen.

Der in den ATF formulierte maximale Wägefehler von  $\pm 4\%$ , der im Normlastbereich von 20 bis 100% des Nenndurchsatzes gefordert wird, konnte um 1% unterschritten werden (Nenndurchsatz 13,5 t/h). Der mittlere Fehler lag in den Grenzen der Genauigkeitsklasse 1,0 für Förderbandwaagen [7]. Voraussetzungen für die Einhaltung der aufgeführten Werte sind:

- Tarüberwachung vor Wägebeginn (Schichtbeginn)
- ordnungsgemäße Gurtreinigung und normaler Gurtlauf
- Einhaltung der Meßzeit von ganzzahligen Vielfachen der Gurtumlaufzeit bzw. Erfassung der Gurtmasse und partielle Subtraktion dieses Meßsignals vom Gesamtmeßsignal. Das ist infolge der Inhomogenität des Gurtes erforderlich und muß in der Registrier- und Auswerteinheit der Bandwaage berücksichtigt werden.

Auf die übliche Ermittlung der Gurtgeschwindigkeit mit einem Tachogenerator bzw. Schlitzinitiator wurde verzichtet, da Abweichungen von der konstanten Gurtgeschwindigkeit im AP 1930 unter Berücksichtigung verschiedener Tages- und Jahreszeiten sowie unterschiedlicher Belastungen kleiner als 0,15% sind [7].

Die vorgestellte Bandwaage ist für den Einsatz in der MVA des AP 1930 geeignet.

### 2.2. Prallblechmeßeinrichtung

Aus dem Einsatz in der Chemieindustrie und in Mischfutterwerken ist als Alternative zur

Bandwaage ein sog. Prallblechmeßgerät für die kontinuierliche Ermittlung von Gutströmen bekannt, dessen Prinzip im Bild 2 dargestellt ist [8]. Das Gerät wird an einer Fallstufe zwischen 2 Förderern eingebaut. Die Aufprallfläche des Geräts ist so gekrümmt, daß die durch die Ablenkung des Schüttgutstromes hervorgerufene Horizontalkraft von den durch die unterschiedlichen Fallhöhen hervorgerufenen unterschiedlichen Aufprallgeschwindigkeiten unabhängig ist. Die Aufprallfläche ist elastisch an vier Federstreifen aufgehängt. Die horizontale Kraft  $F_H \cdot \sin \alpha$  bzw. die Auslenkung  $\Delta s$  werden durch einen Meßgeber in ein elektrisches Signal umgewandelt.

An der TU Dresden erfolgte die Erprobung des Geräts mit Grobfutterstoffen unter Laborbedingungen. Ein aus 3 Gurtbandförderern bestehender Gutkreislauf ermöglichte, die notwendigen Versuchsvarianten mit minimalem Aufwand durchzuführen. Als Versuchsgüter standen die Modellgemische Gummischrot und Rindenhäcksel sowie die Futtermittel Rübenblatt, Anwelksilage und Stroh zur Verfügung. Ein entscheidender Vorteil des Prallblechmeßgeräts gegenüber der Bandwaage ist die Unabhängigkeit vom Gurtband. Nachteile wirken sich dagegen die notwendige Fallstufe von mindestens 1,4 m und die erforderlichen definierten Aufgabeebedingungen beim Einsatz in einer MVA aus. Die Ergebnisse der Untersuchungen können wie folgt zusammengefaßt werden [9]:

- Bei den erforderlichen Nenndurchsätzen beträgt der durchschnittliche Meßfehler 0,5 bis 1,5%, bezogen auf den Momentanwert.
- Die Versuchsgüter haben unterschiedliche Kalibrierkurven, die aus den unterschiedlichen Guteigenschaften resultieren. Der Zusammenhang zwischen Mastrom und Auslenkung des Prallblechs kann durch eine Gerade für einen bestimmten Bereich beschrieben werden.
- Der Meßfehler vergrößert sich durch folgende Einflüsse:
  - mit zunehmender Häcksellänge (bei  $l_H \geq 100$  mm Prallblechmeßgerät ungeeignet)
  - mit abnehmendem Gutdurchsatz ( $\dot{m} \leq 0,3$  kg/s)
  - bei sehr starken Schwankungen des Gutstroms.

Außerdem sollten beim Einsatz des Prallblechmeßgeräts folgende Faktoren beachtet werden:

- Stark klebende Güter sind für das Gerät nicht geeignet.
- Bei der Beschickung des Prallblechs mit einem Gurtbandförderer läßt sich die Prallblechform bei Einhaltung der definierten Zuordnung Gurtbandförderer-Prallblech durch eine schiefe Ebene nähern.
- Zur Gewährleistung einer hohen Meßgenauigkeit ist eine separate stabile Lagerung des Prallblechmeßgeräts erforderlich.

Das Prallblechmeßgerät ist unter Beachtung

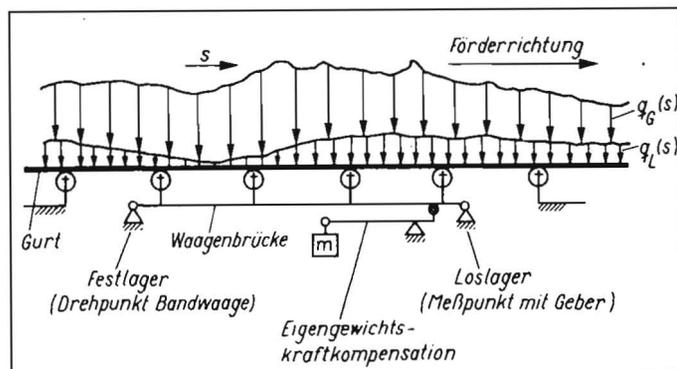


Bild 1  
Meßprinzip einer Mehrrollenbandwaage;  $q_L(s)$ ds Grundkraft auf den Geber (Restkraft resultierend aus Gurtmasse und Eigenmasse der Bandwaage),  $q_G(s)$ ds Gutgewichtskraft

der genannten Bedingungen zur Messung von Masseströmen landwirtschaftlicher Güter, vor allem von Futtermitteln, geeignet.

### 3. Meßgeber für die Volumenerfassung

Der Volumenstrom  $\dot{V}$  in  $\text{m}^3/\text{h}$  auf einem Gurtbandförderer kann über eine kontinuierliche Querschnittflächenbestimmung und Gurtgeschwindigkeitsmessung nach folgender Beziehung erfaßt werden:

$$\dot{V} = 3600 A v;$$

A Querschnitt in  $\text{m}^2$

v Gurtbandgeschwindigkeit in  $\text{m}/\text{s}$ .

Unter Berücksichtigung der konstanten Gurtbandgeschwindigkeit im AP 1930 genügt für die Volumenstromerfassung eine kontinuierliche Querschnittflächenbestimmung des Gutes auf dem Gurtband. Diese kann entweder berührungsfrei oder durch mechanische Abtastung erfolgen, wobei den berührungsfreien Methoden der Vorzug gegeben werden sollte.

#### 3.1. Meßgeber für die berührungsfreie Querschnittflächenbestimmung

Aus verschiedenen Möglichkeiten wurden dielektrische Meßmethoden als Vorzugsvariante ausgewählt, da sie bei geringem materiell-technischem Aufwand eine einfache Bedienung und einen gefahrlosen Umgang mit den Meßeinrichtungen gestatten [10].

Die Untersuchungen dielektrischer Meßmethoden erfolgten sowohl am Parallelfeldkondensator als auch an kapazitiven Einzelelementen, wobei unterschiedliche Elektrodenanordnungen analysiert wurden (Bild 3). Die unregelmäßigen Querschnittformen von Grobfutter auf dem Gurtband wurden untersucht, die erhaltenen Ergebnisse lassen folgende Schlußfolgerungen zu [10]:

- Mit Hilfe des Parallelfeldkondensators (Bild 3a) ist bei den in der Fütterung in MVA vorkommenden Querschnittformen des Gutstroms auf Gurtbandförderern aufgrund des nichtlinearen Feldaufbaus eine Querschnittflächenbestimmung nicht möglich.
- Durch die Aufteilung der einen Kondensatorplatte in Einzelelemente (Bild 3b) konnte eine Verbesserung bei der Querschnittflächenbestimmung erreicht werden. Durch die Krümmung der Feldlinien und die Beeinflussung des elektrischen Feldes wird jedoch die Genauigkeit bei erheblichen Unstetigkeiten in der Oberfläche - wie sie bei Grobfutter auftreten - stark beeinträchtigt.
- Durch eine etwa halbkreisförmige Anpassung der Einzelelemente an die Gutoberfläche (Bild 3c) bei Anordnung der Speiseplatte unterhalb des Fördergurtes konnte eine ausreichende Empfindlichkeit zur Schichtdickenmessung bei einer Speisespannung von 100 bis 200 V, einer Meßfrequenz zwischen 2 kHz und 20 kHz und einem Plattenabstand von 0,3 bis 0,6 m in der Erprobung unter Laborbedingungen erreicht werden. Die Untersuchungen an einem Gurtbandförderer ergaben jedoch eine extreme Störwirkung durch die elektrischen Eigenschaften des Gummifördergurtes und die hohe Leitfähigkeit des zu fördernden Gutes. Beide führen durch Ableitung zu einer Verringerung der Oberflächenspannungen, so daß kein nutzbares Meßsignal verbleibt. Dieses Meßprinzip scheidet folglich für den vorgesehenen Einsatzfall aus. Zur Querschnittflächenbe-

stimmung kommen zunächst nur mechanische Abtastsysteme in Frage.

#### 3.2. Meßgeber zur mechanischen Querschnittflächenbestimmung

Die Querschnittflächenbestimmung von Grobfutter auf einem Gurtband kann elektromechanisch nach dem Segmentverfahren durch Addition der Einzelwerte schwingender Taster erfolgen (Bild 4). Dabei sind folgende Forderungen zu erfüllen:

- hohe Linearität und Genauigkeit der Umwandlung der zu messenden Höhe der Gutschicht in das zu addierende Signal
- geringer Verschleiß und geringe Trägheit der bewegten Teile
- genaue elektronische, elektrische oder mechanische Addition der Teilausschläge
- geringer Investitions- und Materialaufwand.

Zur Meßwerterfassung und Summierung wurden 10 Varianten untersucht:

mechanisch

- 1 Drehmomentensummierung durch Spiralfedern
- 2 Drehmomentensummierung durch Blattfedern
- 3 Drehmomentensummierung durch Masenseverschiebung
- 4 Wegaufnahme über Seilzug

elektrisch

- 5 Wegaufnahme über HLW-Geber
- 6 Wegaufnahme über Differentialtransformatorwandler
- 7 Wegaufnahme über Kondensator
- 8 Drehwinkelaufnahme mit Inkrementalgeber
- 9 Drehwinkelaufnahme mit Potentiometer
- 10 Drehwinkelaufnahme mit Drehkondensator.

Aufgrund der geringen Investitionskosten erwiesen sich die Varianten 2 und 3 gegenüber 5 und 8 als Vorzugsvarianten und wurden unter Labor- und Praxisbedingungen experimentell untersucht.

Im Bild 4 ist die Variante 2 dargestellt. Die Blattfedern sind als Übertragungsglieder geeignet, sie wurden hinsichtlich Linearität, Ermüdung, Lebensdauer, Eigenfrequenzverhalten und Trägheit untersucht. Auf einem dynamischen Prüfstand betrug der mittlere Meßfehler bei der zu erwartenden Profilstrecke mit einer statistischen Sicherheit von 95% 1,1% für Variante 2. Die Meßeinrichtung 2 erwies sich auch beim praktischen Einsatz gegenüber 3 als günstiger, da bei ihr ein Minimum an bewegten Teilen und damit an Lagerstellen sowie eine geringere Träg-

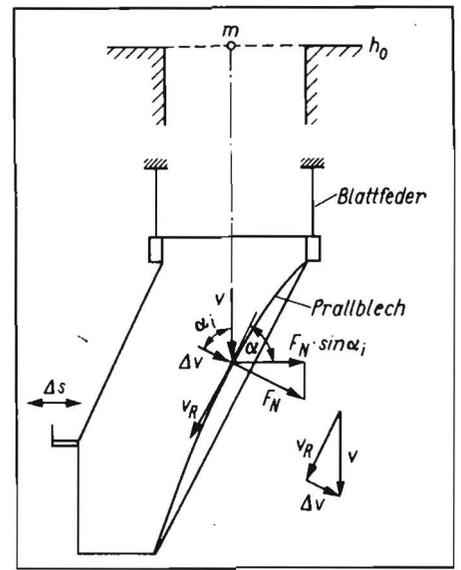
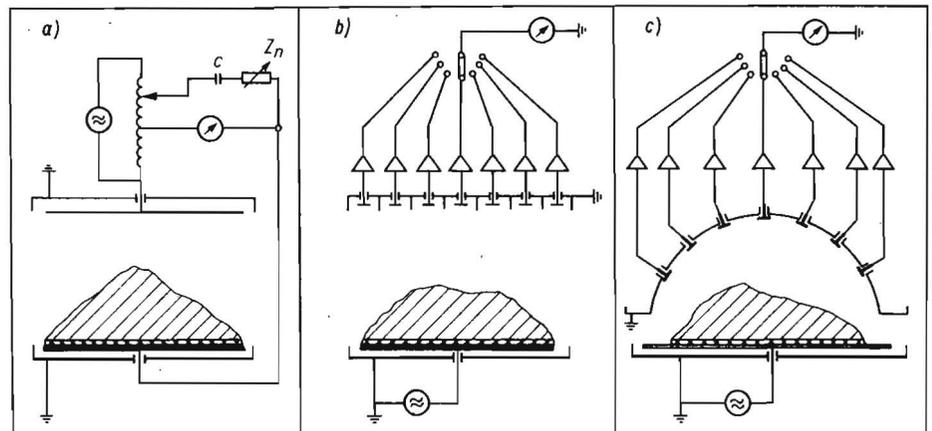


Bild 2. Meßprinzip des Prallblechmeßgeräts; v Geschwindigkeit vor dem Aufprall,  $v_R$  Geschwindigkeit nach dem Aufprall,  $\Delta v$  Geschwindigkeitsänderung,  $\Delta s$  Auslenkung des Prallblechs,  $F_N$  aus dem Aufprall resultierende Normalkraft auf das Prallblech,  $\alpha$  Anstellwinkel des Prallblechs

heit aufgrund der wirkenden Federkraft und der leichten Ausführung der Abtasthebel vorhanden ist. Durch Umkehrung der Relativbewegung „Abtasteinrichtung-Gut“ konnte eine statistische Ermittlung des Meßfehlers durch wiederholtes Überfahren eines ausgelegten Volumens mit beiden Einrichtungen gleichzeitig erfolgen. Untersucht wurde die Abhängigkeit des Meßfehlers von Durchsatz, Gurtgeschwindigkeit und Gutart [11]. Für das Modellgut Gummischrot und einen Durchsatz von 35 t/h sowie eine Gurtgeschwindigkeit von 1 m/s beträgt der mittlere Fehler, bezogen auf den Momentanwert, 2,1% bei Variante 2. Die Abtasteinrichtung ist bis zu einer Gurtgeschwindigkeit von maximal 1,5 m/s einsetzbar. Bei 20 bis 100% des Nennvolumendurchsatzes beträgt der maximale Fehler der Volumenerfassung je Dosierung mit einer statistischen Sicherheit von 95% < 7% [11]. Vor jeder Meßserie war eine Nullpunktüberprüfung notwendig. Die Nullpunktstabilität muß verbessert werden. Gemeinsam mit der Bandwaage und einer Waage-Dosierer-Kombination wurde die Abtasteinrichtung in einer Milchviehanlage erprobt. Das Laborergebnis wurde bestätigt.

Bild 3. Untersuchte Grundvarianten von Anordnungen zur kapazitiven Querschnittflächenbestimmung



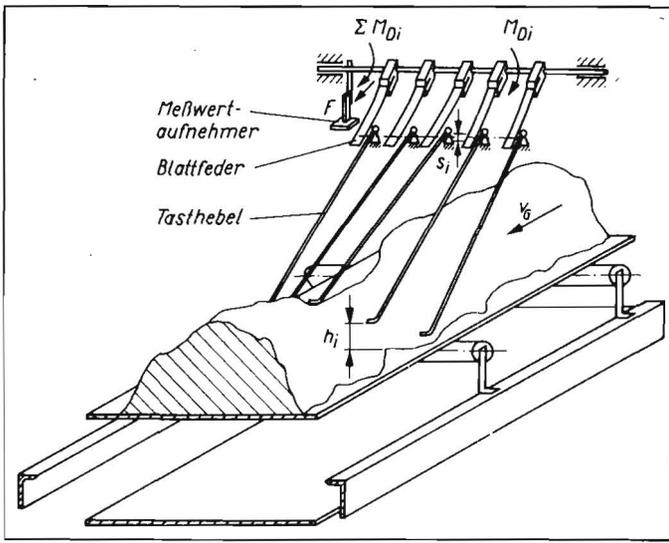


Bild 4

Meßprinzip zur mechanischen Querschnittflächenbestimmung (Meßwertsummierung mit Hilfe der Drehmomentenüberlagerung durch Blattfederauslenkung);  $F$  resultierende Kraft auf den Meßwertaufnehmer,  $h_i$  Auslenkung der Hebel durch das Gut,  $M_{Di}$  Drehmomentenänderung infolge Blattfederauslenkung,  $s_i$  Blattfederauslenkung,  $v_G$  Gutgeschwindigkeit

#### 4. Zusammenfassung

Mit der Bandwaage, der Prallblechmeßeinrichtung und der Abtasteinrichtung wurden elektromechanische Meßeinrichtungen zur Bestimmung von Masse- und Volumenstrom von Grobfuttermitteln in Verbindung mit Gurtbandförderern erprobt. Sie werden unter den aufgeführten Voraussetzungen den agrotechnischen Ansprüchen an Sensoren zur Realisierung einer leistungsorientierten Fütterung in Rinderproduktionsanlagen gerecht. Mit Hilfe einer geeigneten elektronischen Auswerteinheit ist der Bedienungsaufwand zur Gewährleistung der Nullpunktstabilität, die ein generelles Problem bei Verwendung von HLW-Systemen darstellt, durch automatische Tarareinstellung zu senken. Die gewonnenen Masse- und Volumensignale können auch zur kontinuierlichen Schüttdichteermittlung herangezogen werden. Diese könnte im Zusammenhang mit ei-

ner kontinuierlichen Schnellbestimmung des Gutfeuchteanteils von Bedeutung sein, Untersuchungen hierzu werden fortgesetzt. Des weiteren ist zu überprüfen, ob bereits eine diskontinuierliche Schnellbestimmung des Gutfeuchteanteils für die leistungsorientierte Gruppenfütterung ausreicht. Auf dem Wege einer effektiveren Nutzung aller Futterinhaltsstoffe im Sinne einer leistungsgerechten Fütterung sind Methoden zur Schnellbestimmung des Rohprotein- und Rohnährstoffgehalts zu entwickeln, wozu z. Z. keine ökonomisch sinnvollen Voraussetzungen für eine MVA bestehen. Die mit den vorgestellten Meßeinrichtungen zu erwartenden ökonomischen Effekte in Form von Konzentratfuttersparnis und Steigerung der Milchleistung durch optimales Ausnutzen des genetischen Potentials der Tiere läßt sich nur im Zusammenwirken mit allen Elementen einer leistungsgerechten Fütterung nachweisen.

#### Literatur

- [1] Honecker, E.: Aus dem Bericht des Politbüros an die 3. Tagung des ZK der SED. Berlin: Dietz Verlag 1981, S. 45.
- [2] Klose, M.; Schwarze, H.: Ermittlung ausgewählter Steuergrößen für die leistungsorientierte Gruppenfütterung in Milchviehanlagen. agrartechnik, Berlin 36 (1986) 8, S. 355–358.
- [3] Hennig, S.: Zum Einsatz der Behälterwaage in der Milchviehfütterung. agrartechnik, Berlin 34 (1984) 4, S. 179–181.
- [4] Michaelis, G.: Einsatzmöglichkeiten von Förderbandwaagen in Rinderproduktions- und Futteraufbereitungsanlagen. agrartechnik, Berlin 30 (1980) 5, S. 218–220.
- [5] ATF an eine Förderbandwaage für Futtermittel. Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim, 1976.
- [6] Eichvorschrift für Förderbandwaagen, die nach dem gravimetrischen Prinzip arbeiten. ASMW-Vorschrift Meßwesen 166/1977.
- [7] Dietrich, C.: Kontinuierliche Volumen- und Masseerfassung von Grobfuttermitteln auf Gurtbandförderern in Tierproduktionsanlagen. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Praktikumsarbeit 1984.
- [8] Horn, M.: Berechnung des statischen und dynamischen Verhaltens eines Prallblechmeßgerätes unter Benutzung eines Rechenverfahrens zur Berechnung des Zeitverhaltens von statisch nichtlinearen dynamischen Systemen. Humboldt-Universität Berlin, Dissertation 1980.
- [9] Rohrer, S.: Experimentelle Erprobung einer Prallplatte zur Bestimmung des Massedurchsatzes von Grobfutter. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Diplomarbeit 1984.
- [10] Klose, M.; Haußig, R.: Untersuchungen zur berührungslosen Ermittlung des Feuchtegehaltes und des Volumenstromes von Grobfuttermitteln. Vortrag auf der 3. Tagung „Agrophysik“, Reinhardsbrunn, 3. bis 6. Dez. 1984.
- [11] Eulitz, W.: Experimentelle Untersuchungen von Volumenabtasteinrichtungen für Grobfuttermitteln auf Gurtbandförderern. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Praktikumsarbeit 1984.

A 4246/II

## agra-Gold für Fortschritt-Erzeugnisse

Drei Erzeugnisse des Kombinats Fortschritt Landmaschinen erhielten Goldmedaillen der diesjährigen agra in Markkleeberg. Ausgezeichnet wurde der Schwadmäher E 303 aus dem Stammbetrieb VEB Erntemaschinen Neustadt, die Scheibenegge B 402 aus dem VEB Bodenbearbeitungsgeräte „Karl Marx“ Leipzig und die Dämpfmaschine F 407 A aus dem VEB Landmaschinen- und Dämpferbau „Rotes Ban-

ner“ Döbeln. Die Dämpfmaschine F 407 A (Bild 1) ermöglicht durch Nutzung des Kurzdämpfens von Kartoffeln eine Energieeinsparung um rd. 30 %.

Mit Stolz nahm eine Delegation des Herstellerbetriebes der Scheibenegge B 402 unter Leitung des Technischen Direktors die Goldmedaille entgegen (Bild 2).

(Werkfotos)

