

# Zum hydraulischen Sortieren bei der Kartoffelaufbereitung

Prof. Dr. sc. agr. G. Kühn, KDT/Dipl.-Ing.-Päd. K. Scheibe/Dipl.-Landw. A. Kern, KDT<sup>1)</sup>

## Verwendete Formelzeichen

A	m <sup>2</sup>	Querschnitt des Sortierorgans
BW <sub>a</sub>	%	Beschädigungswert am Ausgang der Sortiereinrichtung
BW <sub>e</sub>	%	Beschädigungswert am Eingang der Sortiereinrichtung
BW <sub>f</sub>	%	Beschädigungswert der Sortiereinrichtung
f <sub>a</sub>	%	Fremdbesatzanteil
m <sub>f</sub>	kg	Masse des Fremdbesatzes
m <sub>Fg</sub>	kg	Gesamtmasse des Fremdbesatzes
m <sub>fr</sub>	kg	Masse des richtig sortierten Fremdbesatzes
m <sub>k</sub>	t · h <sup>-1</sup>	Massestrom Kartoffeln
m <sub>kg</sub>	kg	Gesamtmasse der Kartoffeln
m <sub>kr</sub>	kg	Masse der richtig sortierten Kartoffeln
t <sub>f</sub>	s	Umlaufzeit des Fremdbesatzes
v	m · s <sup>-1</sup>	Strömungsgeschwindigkeit
V	m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	Flüssigkeitsvolumenstrom
η <sub>f</sub>	%	Sortiergütegrad für Fremdbesatz
η <sub>k</sub>	%	Sortiergütegrad für Kartoffeln

## 1. Problem- und Aufgabenstellung

Bei der weiteren Entwicklung der Verfahren zur Ernte und Aufbereitung von Kartoffeln ist der Qualitätserhöhung speziell von Speisekartoffeln bei gleichzeitiger Senkung des Arbeitszeitaufwands und der Lagerungsverluste sowie der Verbesserung der Arbeitsbedingungen besondere Aufmerksamkeit zu widmen [1]. Der Forderung nach hoher Leistungsfähigkeit der Erntetechnik wird gegenwärtig durch Rodelader und Rodetrennlader entsprochen. Der Einsatz dieser Erntemaschinen hat jedoch einen je nach Standort unterschiedlich hohen Anteil an Fremdbesatz im Erntegut zur Folge.

Das Verlagern der Abscheidung von Fremdbesatz in stationäre Aufbereitungsanlagen bringt eine Reihe von Problemen mit sich. Unter anderem erreicht der Beschädigungswert der Kartoffeln beim Fremdbesatzabscheiden Werte von 2,1 bis 6,4 % (Angaben zum Beschädigungswert, zum Fremdbesatz, zur Fäule und zum Sortiergütegrad erfolgen in % Masseanteil) [2]. Außerdem enthält das Lagergut auch bei vollständiger Aufbereitung des Ernteguts vor der Einlagerung noch bis zu 4 % Fremdbesatz, der zur Vermarktung der Kartoffeln nach der Lagerungsperiode abgeschieden werden muß [3]. Die Fremdbesatzabscheidung nach der Lagerungsperiode bereitet oft Schwierigkeiten, da der Fäuleanteil im Aufbereitungsgut die Funktionstüchtigkeit mechanischer Sortiereinrichtungen beeinträchtigt oder völlig aufhebt. Ein funktionssicheres Abtrennen von Fremdbesatz auch unter schwierigen Einsatzbedingungen ist auf hydraulischem Wege zu erreichen. Allerdings erfüllen die bekannten hydraulischen Sortiereinrichtungen [4, 5] nicht alle für die Speisekartoffelaufbereitung geltenden Anforderungen, die wie folgt zu formulieren sind [6]:

- Massestrom (Kartoffel-Fremdbesatz-Gemenge mit einem Fremdbesatzanteil  $\leq 30\%$ )  $20 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$
- Beschädigungswert  $\leq 0,2\%$
- Sortiergütegrad für Kartoffeln rd. 100 %

- Sortiergütegrad für Fremdbesatz, dessen Dichte größer ist als die Dichte der Kartoffeln, rd. 100 %

- spezifischer Wasservolumenstrom  $< 2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} / \text{t} \cdot \text{h}^{-1}$ .

Theoretische Untersuchungen und Variantenvergleiche ergaben [7], daß mit dem Prinzip des Aufstromsortierens den genannten Anforderungen am besten entsprochen werden kann. Daraus leitete sich die Aufgabenstellung ab, hydraulische Aufstromsortierer hinsichtlich ihrer Konstruktions- und Betriebsparameter zu optimieren. Folgende Bereiche der Gesamtlösung waren einer eingehenden Analyse zu unterziehen:

- konstruktive Gestaltung und Wahl der Betriebsparameter einer Fördereinrichtung, die für alle natürlichen Standorteinheiten ein sicheres Zuführen des Kartoffel-Fremdbesatz-Gemenges zum Sortierorgan gewährleistet und die die Kartoffeln mechanisch wenig beansprucht
- konstruktive Gestaltung und Wahl der Betriebsparameter des Sortierorgans
- konstruktive Gestaltung und Wahl der Betriebsparameter einer Fördereinrichtung, mit der die richtig sortierten Fremdbesatzbestandteile und die fehlsortierten Kartoffeln aus dem Sortierorgan entfernt werden, ohne die Strömungsverhältnisse im Sortierorgan ungünstig zu beeinflussen
- konstruktive Gestaltung und Wahl der Betriebsparameter einer Fördereinrichtung, mit der die richtig sortierten Kartoffeln und die fehlsortierten Fremdbesatzbestandteile aus dem Sortierorgan entfernt werden, ohne die Kartoffeln mechanisch unzulässig hoch zu beanspruchen.

Die im Ergebnis der Untersuchungen als Forschungsmuster entstandenen Sortiereinrichtungen (Bilder 1 und 2) wurden unter Praxisbedingungen hinsichtlich ihrer Eignung für die Speisekartoffelaufbereitung überprüft.

## 2. Bearbeitungsablauf und Untersuchungsmethodik

Die Untersuchungen wurden in den Jahren 1983 und 1984 in ALV-Anlagen auf Lö- und D-Standorten durchgeführt. Die dabei verwendeten Sortiereinrichtungen unterschieden sich im wesentlichen nur durch die Fördereinrichtung zum Zuführen des Kartoffel-Fremdbesatz-Gemenges zum Sortierorgan. Bei der auf dem Lö-Standort untersuchten Einrichtung erfolgte das Zuführen auf hydraulischem Wege, während die auf dem D-Standort untersuchte Einrichtung über eine mechanische Zuführung verfügte.

Für die Untersuchungen auf dem Lö-Standort wurde aufgrund der technologischen Einordnung der Sortiereinrichtung der Fremdbesatzanteil entsprechend der natürlichen Zusammensetzung des Lagerguts als Einflußgröße wirksam. Die Strömungsgeschwindigkeit wurde auf einen Optimalwert eingestellt und konstant gehalten.

Für die Untersuchungen auf dem D-Standort wurden der Steinanteil des Fremdbesatzes und die Strömungsgeschwindigkeit systematisch variiert. Der Kartoffelmassestrom wurde am Ausgang

der Sortiereinrichtung ermittelt, indem die Kartoffeln in einem Behälter aufgefangen und gewogen sowie die Zeit zum Befüllen des Behälters gemessen wurden.

Zum Variieren des Steinanteils bei den Untersuchungen auf dem D-Standort wurden die von der Sortiereinrichtung abgeschiedenen Steine auf den Eingang der Sortiereinrichtung zurückgeführt. Nach dem Ermitteln der Umlaufzeit der Steine konnte die für den Umlauf einzusetzende Steinmasse für die einzelnen Kartoffelmasseströme und Steinanteile nach Gl. (1) bestimmt werden:

$$m_F = \frac{m_k f_a t_f}{3,6 \cdot 100 \%} \quad (1)$$

Der im Lagergut bereits enthaltene Steinanteil wurde, beim Festlegen der zusätzlich zugegebenden Steinmasse berücksichtigt. Die Strömungsgeschwindigkeit im Sortierorgan wurde aus dem durch Wirkdruckmessung nach Standard TGL 0-1952 [8] ermittelten Flüssigkeitsvolumenstrom errechnet als:

$$v = \frac{V}{A \cdot 3600} \quad (2)$$

Der Sortiergütegrad konnte nach dem massenmäßigen Erfassen der fehlsortierten Kartoffeln und des fehlsortierten Fremdbesatzes nach den Gln. (3) und (4) ermittelt werden [9]:

$$\eta_k = \frac{m_{kr}}{m_{kg}} \cdot 100 \% \quad (3)$$

$$\eta_f = \frac{m_{fr}}{m_{fg}} \cdot 100 \% \quad (4)$$

Die Bestimmung der durch die Sortiereinrichtung verursachten Kartoffelbeschädigungen wurde auf eine Differenzbildung zwischen dem Beschädigungswert am Ausgang der Sortiereinrichtung und dem Beschädigungswert am Eingang der Sortiereinrichtung zurückgeführt:

$$BW_s = BW_a - BW_e \quad (5)$$

Der Beschädigungswert wurde dabei nach Standard TGL 0-24621/2 ermittelt [10].

## 3. Untersuchungsergebnisse

### Sortiergütegrad

Die Untersuchungen ergaben Sortiergütegrade für Kartoffeln von 98,8 bis 100 % und für den Fremdbesatz von 97,1 bis 100 % (Tafel 1). Die Art der Zuführung des Kartoffel-Fremdbesatz-Gemenges zum Sortierorgan beeinflusst den Sortiergütegrad. Für Standorte mit Neigung zur Klutenbildung erwies sich die hydraulische Zuführung als vorteilhaft. Durch das Benetzen der Gemengekomponenten während des hydraulischen Förderns zum Sortierorgan wird das Abscheiden von Bestandteilen, die eine nur geringfügig höhere Dichte als Kartoffeln aufweisen, offenbar begünstigt.

Bei hohem Steinanteil ist aufgrund des ungünstigen hydraulischen Förderverhaltens von Steinen und der damit verbundenen ungleichmäßigen Gutbewegung bis zur Verstopfungsgefahr im Zuführungsbereich die mechanische Zuführung zu bevorzugen.

Zur Einhaltung der geforderten Sortiergüte ist bei gegebenen geometrischen Abmessungen des Sortierorgans der Massestrom in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des

1) Dipl.-Landw. Kern ist in der ZBE Kartoffellagerhaus Weidensdorf, Bezirk Karl-Marx-Stadt, tätig

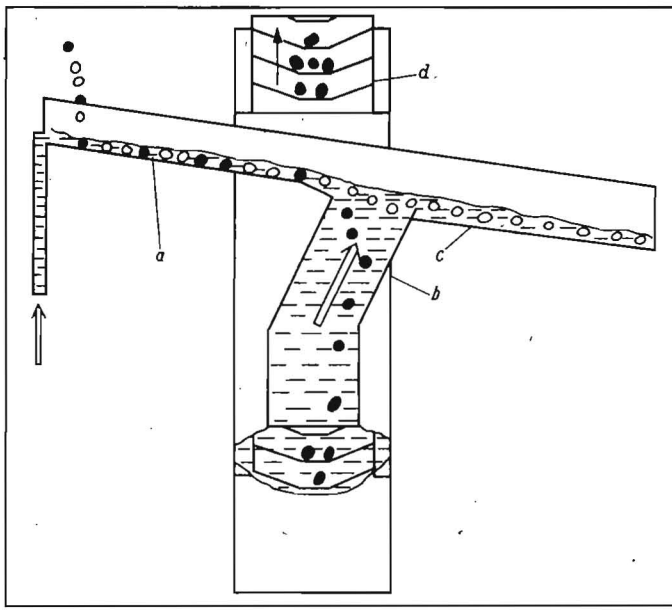


Bild 1. Funktionsschema der Sortiereinrichtung bei hydraulischer Zuführung des Kartoffel-Fremdbesatz-Gemenges;  
a Schwimmrinne, b Sortierorgan, c Schwemmrinne, d Bandförderer

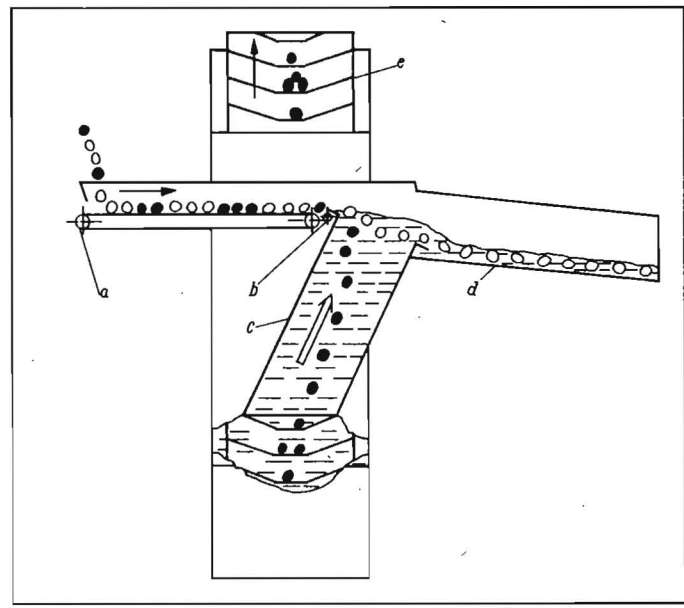


Bild 2. Funktionsschema der Sortiereinrichtung bei mechanischer Zuführung des Kartoffel-Fremdbesatz-Gemenges;  
a Bandförderer, b Übergabewalze, c Sortierorgan, d Schwemmrinne, e Bandförderer

Kartoffel-Fremdbesatz-Gemenges festzulegen. Für die vorliegenden Bedingungen ergab sich ein Massestrom von  $\leq 25 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$  (Tafel 1).

Besteht der Fremdbesatz überwiegend aus Kluten, ist zur Gewährleistung der geforderten Sortiergüte eine Verringerung des Massestroms erforderlich.

#### Beschädigungswert

Der Beschädigungswert wurde nur an der Sortiereinrichtung bestimmt, bei der das Kartoffel-Fremdbesatz-Gemenge dem Sortierorgan mechanisch zugeführt wurde.

Die Beschädigungswerte überschritten bei Fremdbesatzanteilen (vorwiegend Steine) von  $> 5\%$  den zulässigen Wert von  $0,2\%$ , wobei eine Proportionalität zwischen Fremdbesatzanteil und Beschädigungswert feststellbar war (Tafel 1).

Die Hauptursache für die mechanische Beanspruchung der Kartoffeln war nicht in der Funktion der Sortiereinrichtung begründet, sondern auf den Fallweg von etwa  $0,5 \text{ m}$  bei der Übergabe auf die mechanische Fördereinrichtung zum Zuführen zurückzuführen.

#### Flüssigkeitsvolumenstrom

Die Funktion hydraulischer Aufstromsortierer ist an eine entsprechende Strömungsgeschwindigkeit gebunden, die bei vorgegeb-

nem Querschnitt des Sortierorgans vom Flüssigkeitsvolumenstrom abhängt [11].

Die Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit führt zu einer Verbesserung des Sortiergütegrads für Kartoffeln und zu einer Verschlechterung des Sortiergütegrads für Fremdbesatz.

Der Betrag der Strömungsgeschwindigkeit ist in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Fremdbesatzes festzulegen. Bei Fremdbesatzanteilen (Kluten), die eine nur geringfügig größere Dichte als Kartoffeln aufweisen, ist bei der Festlegung der Strömungsgeschwindigkeit u. U. ein Kompromiß zuungunsten des Sortiergütegrads für den Fremdbesatz einzugehen.

Die Forderung, den spezifischen Wasservolumenstrom auf  $\leq 2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} / \text{t} \cdot \text{h}^{-1}$  zu senken, konnte nur beim Abscheiden von Fremdbesatz, der überwiegend aus Steinen bestand, erfüllt werden. Zur Sicherung eines hohen Sortiergütegrads bei überwiegend aus Kluten bestehendem Fremdbesatz war eine Minderung des Gutstroms notwendig, so daß bei gleichbleibenden geometrischen Abmessungen des Sortierorgans der spezifische Wasservolumenstrom den geforderten Wert überschritt.

Bei hydraulischer Förderung des Kartoffel-Fremdbesatz-Gemenges zum Sortierorgan wird der spezifische Wasservolumenstrom um etwa  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} / \text{t} \cdot \text{h}^{-1}$  erhöht.

#### 4. Schlußfolgerungen

Aus den Ergebnissen der experimentellen Untersuchungen leiten sich für die Konzipierung und den Betrieb von hydraulischen Sortiereinrichtungen, die für die Speisekartoffelaufbereitung geeignet sind, folgende Schlußfolgerungen ab:

- Zum Sichern hoher Sortiergütegrade ist sowohl auf Lö- als auch auf D-Standorten der wahlweise Einsatz einer mechanischen oder einer hydraulischen Fördereinrichtung zum Zuführen des Kartoffel-Fremdbesatz-Gemenges zum Sortierorgan vorzusehen.
- Zur Minderung der Kartoffelbeschädigungen ist bei der konstruktiven Gestaltung der Fördereinrichtung zum Sortierorgan auf eine geringe Fallhöhe Wert zu legen.
- Zur Minimierung des spezifischen Wasservolumenstroms ist das Sortierorgan konstruktiv so zu gestalten, daß es in seinen geometrischen Abmessungen der Zusammensetzung des Fremdbesatzes angepaßt werden kann.
- Bei überwiegend aus Kluten bestehendem Fremdbesatz ist im Interesse der geforderten Sortiergüte der Massestrom in Abhängigkeit vom Fremdbesatzanteil erforderlichenfalls zu verringern.

Tafel 1. Ergebnisse der Untersuchungen von Forschungsmustern zum hydraulischen Sortieren von Kartoffel-Fremdbesatz-Gemengen

		hydraulische Zuführung des Kartoffel-Fremdbesatz-Gemenges (nach Bild 1)					mechanische Zuführung des Kartoffel- Fremdbesatz-Gemenges (nach Bild 2)						
Massestrom gesamt	$\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$	21,70	13,35	22,30	21,30	22,47	26,25	27,50	30,00	21,00	22,00	24,00	27,00
Massestrom Kartoffeln	$\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$	17,61	9,52	21,28	20,32	21,67	25,00	25,00	25,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Massestrom Fremdbesatz	$\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$	4,09	3,83	1,02	0,98	0,80	1,25	2,50	5,00	1,00	2,00	4,00	7,00
Fremdbesatzanteil	%	18,85	28,69	4,59	4,58	3,57	5,00	10,00	20,00	5,00	10,00	20,00	35,00
Sortiergütegrad Kartoffeln	%	99,81	99,48	99,99	99,99	100	99,92	98,82	98,88	99,94	99,66	99,54	99,34
Sortiergütegrad Fremdbesatz	%	97,95	99,89	99,88	100	99,90	98,99	97,40	97,13	99,70	99,17	99,65	99,46
Beschädigungswert	%	nicht ermittelt					0,22	0,24	0,27	0,19	0,26	0,26	0,29
Wasservolumenstrom	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	118	118	118	118	118	70	70	65	80	80	70	80
spezifischer Wasservolumenstrom	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} / \text{t} \cdot \text{h}^{-1}$	5,44	8,84	5,29	5,54	5,25	2,64	2,55	2,17	3,81	3,64	2,92	2,96

## 5. Zusammenfassung

Ausgehend von Untersuchungen zur Entwicklung einer hydraulischen Sortiereinrichtung, die für das Aufbereiten von Speisekartoffeln geeignet ist, wird das Erfordernis zur experimentellen Untersuchung entsprechender Forschungsmuster abgeleitet. Der Bearbeitungsablauf für die experimentellen Untersuchungen auf Lö- und D-Standorten wird der Untersuchungsmethodik vorangestellt. Die experimentell ermittelten Ergebnisse werden mit den Forderungen, die an hydraulische Sortiereinrichtungen zum Aufbereiten von Speisekartoffeln zu stellen sind, verglichen und bilden die Grundlage für Schlußfolgerungen zur konstruktiven Gestaltung und zum effektiven Betrieb hydraulischer Aufstromsortierer.

## Literatur

- [1] Erarbeitung von Grundlagen für ein Verfahren zur Naßaufbereitung von Kartoffeln. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht G 1 1976.
- [2] Lösungsvorschläge zur technisch-technologischen Anpassung der vorhandenen Aufbereitungsanlagen an den Komplexeinsatz der Rodelader E 684. Institut für Kartoffelforschung Groß Lüsewitz, Forschungsbericht 1975.
- [3] Frenzel, D.; Kühn, G.: Technisch-technologische Probleme der Speisekartoffelaufbereitung in ALV-Anlagen. agrartechnik, Berlin 29 (1979) 11, S. 484-486.
- [4] Erarbeitung von Grundlagen für ein Verfahren zur Naßaufbereitung von Speisekartoffeln. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht G 4 1980.
- [5] Scheibe, K.; Kühn, G.: Hydraulisches Dichtesortieren von Kartoffelrohware. agrartechnik, Berlin 31 (1981) 11, S. 496-499.

- [6] Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Naßaufbereitung von Speisekartoffeln. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht A 1 1982.
- [7] Scheibe, K.: Untersuchungen zum Sortieren von Kartoffel-Fremdbesatz-Gemengen im Flüssigkeitsstrom. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Dissertation A 1984.
- [8] TGL 0-1952 Durchflußmeßregeln; Regeln für die Durchflußmessung mit genormten Düsen, Blenden und Venturidüsen. Ausg. 1962.
- [9] Karwowski, T.: Hackfruchterntemaschinen. Berlin: VEB Verlag Technik 1974.
- [10] TGL 0-24621/2 Gütevorschriften für Arbeiten der Pflanzenproduktion; Kartoffelernte; Sammelroden. Ausg. 1969.
- [11] Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Naßaufbereitung von Speisekartoffeln. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht A 4 1984.

A 4180

# Energetische Analyse am Maschinen-Traktor-Aggregat bei Zugarbeit

Prof. Dr. sc. techn. K. Queitsch, KDT/Dipl.-Ing. H. Schulz, KDT/Dipl.-Math. Dr. paed. P. Kobelt, KDT

## 1. Analysemodell für ein Maschinen-Traktor-Aggregat

Die Kombination von Arbeitsmaschine bzw. Arbeitsgerät mit einem Traktor als mobile Antriebsmaschine stellt erst in dieser Einheit ein nutzbares landtechnisches Arbeitsmittel dar. Die Besonderheit des Maschinen-Traktor-Aggregats (MTA) gegenüber anderen mobilen Aggregaten, z. B. einer selbstfahrenden Erntemaschine, ist die jederzeit mögliche Trennung und damit die universale Nutzbarkeit des Traktors. Die so mögliche Wechselnutzung des Traktors erfordert, die energetischen Bedingungen jeweils neu zu bestimmen und ein Optimum anzustreben. Bei der energetischen Untersuchung eines MTA, das z. B. für die Zugarbeit in der Pflanzenproduktion eingesetzt wird, kann ein unverzweigter Leistungsfluß zugrunde gelegt werden, wenn Nebenantriebe am Motor vernachlässigt und Nebenverbraucher (Hydraulikpumpen, Zapfwellenantrieb) nicht benutzt werden. Die Hauptbaugruppen des Traktors und das Arbeitsgerät (im weiteren soll ein Pflug unterstellt werden) lassen sich in einem Strukturmodell und einem zugeordneten kinetischen Modell erfassen (Bild 1). Die je Zeiteinheit dem Motor M als Energiewandler zugeführte Kraftstoffmenge kann als zugeführte Leistung oder Eingangsleistung (Index E) aufgefaßt werden. Weitere Baugruppen mit Übertragungs- und Energieumformungsfunktion sind Kupplung K, Getriebe G, Fahrwerk F und Verbindungselemente V. Jede Umformung oder Wandlung ist unvermeidbar mit Energieverlusten (Zusatzindex V) verbunden. Als Energieverbraucher, der die Belastung der vorher genannten Baugruppen in der dem Leistungsfluß entgegengesetzten Richtung verursacht, wird der Pflug als Arbeitsgerät an das Ende der Leistungskette gesetzt. Ohne die weiteren Leistungsanteile am Pflug näher zu charakterisieren, wird die für das Realisieren des Arbeitsgangs Pflügen er-

forderliche Zugleistung als Nutzleistung angesehen.

## 2. Energetische Bedingungen an den Baugruppen des MTA

Die Leistungsgrößen sind abhängig von der Struktur des Antriebs, von der konstruktiven Gestaltung, vom technischen Zustand, vom Ausrüstungszustand, von äußeren den Einsatz charakterisierenden Bedingungen und vor allem von der Belastung, die durch den Verbraucher und die wirkenden Bewegungsgrößen verursacht und bestimmt werden. Die dem MTA als Kraftstoff (Energieträger) zugeführte Leistung wird in nutzbare Zugleistung gewandelt und umgeformt. Die dabei auftretenden Verlustleistungen lassen sich durch den Wirkungsgrad ausdrücken und

vergleichbar bewerten. Aufgrund der Allgemeingültigkeit der Definition des Wirkungsgrads als das Verhältnis von Ausgangs- zu Eingangsleistung oder von Nutz- zu Aufwandsleistung ist für jede Baugruppe oder für beliebige Kombinationen ein Wirkungsgrad bestimmbar. Der Gesamtwirkungsgrad eines MTA entsprechend dem Strukturmodell (Bild 1a) ergibt sich aus dem Produkt der Einzel- oder Baugruppenwirkungsgrade, wenn ein unverzweigter Leistungsfluß, wie vorausgesetzt, zugrunde liegt:

$$\eta_{\text{ges}} = \eta_M \eta_K \eta_G \eta_F \eta_V \quad (1)$$

Unter der Annahme, daß die Fahrkupplung nicht rutscht und der Leistungsbedarf für Steuer- und Regelvorgänge an den Verbindungselementen (Aggregatierungseinrich-

Bild 1. Strukturmodell a) und kinetisches Modell b) eines Maschinen-Traktor-Aggregats für Zugarbeit

