

Zum energetischen Herstellungsaufwand von Landmaschinen

Dr.-Ing. W. Große, KDT

1. Problemstellung

Wertung und Vergleich technologischer Lösungen sind eine wichtige Voraussetzung, um Produktionsverfahren mit hoher Effektivität zu entwickeln. Der spezifische Energieaufwand ist in der Rangfolge der Bewertungskriterien als wesentliche Gebrauchseigenschaft der angestrebten technischen oder technologischen Lösung an vorderer Stelle eingeordnet [1].

Ein beträchtlicher Anteil des Gesamtenergieaufwands von landwirtschaftlichen Produktionsverfahren entfällt auf den vergewandten Energiegehalt der landtechnischen Arbeitsmittel. Energetische Analysen zur Getreideproduktion weisen beispielweise für Maschinenherstellung und -instandsetzung rd. 30 % des Gesamtenergieaufwands aus [2]. Bezug nehmend auf internationale Angaben (vgl. Tafel 1), wurden in diesen Analysen für den spezifischen Herstellungsenergiebedarf in der DDR 100 MJ/kg Maschinenmasse angenommen. Anhand von Untersuchungen zur Mähdrescherproduktion erfolgte zwischenzeitlich eine Präzisierung dieses Wertes. Untersuchungsmethodik und Ergebnisse sollen im folgenden dargestellt werden.

2. Methode

Spezifische energetische Aufwandsgrößen ergeben sich aus der Relation Input/Output des Produktionsprozesses (Bild 1). Input-Größen stellen alle Formen von Gebrauchsenergie dar, die dem Produktionsprozeß zugeführt werden. Daneben sind auch alle Formen vergewandter Energie zu berücksichtigen, die als Werkstoff oder Zulieferteile einfließen. Aufwendungen in Form der Gebäude, Werkzeugmaschinen u. a. werden nicht betrachtet. Entsprechend einer sinnvollen Abgrenzung des Betrachtungsumfangs bzw. der energetischen Bilanzgrenzen wird die Analyse nur bis zum direkten Material- und Gebrauchsenergieaufwand für die Herstellung landtechnischer Arbeitsmittel geführt. Ausgangsgrößen (Output) des Produktionsprozesses sind landtechnische Arbeitsmittel (Mähdrescher), Baugruppen und Einzelteile (Ersatzteile). Im Rahmen der Umformprozesse sowie durch fehlerhafte Teile fällt Werkstoff als Nebenprodukt an, der einer Vorstufe des metallurgischen Prozesses wieder zugeführt wird (Schrottkreislauf).

Von wesentlicher Bedeutung ist die Verflechtung einer Vielzahl von Betrieben im Rahmen des Zulieferprogramms mit dem Finalproduzenten (VEB Erntemaschinen Singwitz). Um die Aussage der Analyse hinreichend genau zu halten, wurden 4 der anteilmäßig wichtigsten Zulieferer in die Untersuchungen einbezogen. Auf sie entfallen 75 % des Wertumfangs der Zulieferproduktion [9].

Die Organisation der Mähdrescherproduktion ermöglicht nicht, energetische Aufwendungen in der Fertigung auf eine definierte Anzahl von Mähdreschern zu beziehen. Zum einen schaffen erst zeitliche Abstufungen in den Fertigungsprogrammen der Zulieferbetriebe Bedingungen für die reibungslose Endmontage. Andererseits sind entsprechend den Exportaufgaben zahlreiche Kun-

denwünsche zu berücksichtigen, die modifizierte Maschinenvarianten nach sich ziehen. Diese Ausführungsvarianten bewirken in der Fertigung einen z. T. erheblich von der Standardausführung abweichenden Aufwand. Aus diesem Grund wird bei der Analyse als Produktionsergebnis der Betriebe die im jeweiligen Jahr produzierte Masse Mähdrescherbauteile herangezogen. Sie ist Bezugsbasis für die aufgewendete Gebrauchsenergie und vergewandte Energie.

Alle dem Produktionsprozeß direkt zugeführten Formen von Gebrauchsenergie werden als Elektroenergie sowie feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe erfaßt und nach vorliegenden Richtlinien [10] in Primärenergie umgerechnet. Bei Zulieferbetrieben mit einem breiten Fertigungssortiment erfolgt die Zuordnung des Gebrauchsenergieaufwands für die Mähdrescherproduktion z. T. nach der anteiligen Fertigungszeit (z. B. Heizenergie, Elektroenergie).

Die zur Mähdrescherproduktion eingesetzten Werkstoffe sind in ihrer Gesamtheit außerordentlich vielfältig. Dominierende Werkstoffarten herauszustellen und die energetische Bilanz darauf zu konzentrieren, ist Voraussetzung, um verwertbare Ergebnisse mit überschaubarem Rechenaufwand zu erzielen. In der Teile- und Baugruppenfertigung steht der Einsatz metallischer Werkstoffe im Vordergrund, an erster Stelle Walzstahl. Um einerseits den realen Möglichkeiten einer Aufwandsanalyse Rechnung zu tragen, andererseits entsprechend dem Ziel der Aufgabe Untersuchungen auf das Wesentliche zu beziehen, macht sich eine prinzipielle Abgrenzung des Betrachtungsumfangs hinsichtlich unterschiedlicher Werkstoffarten erforderlich.

Als „Einsatzmasse“ finden demzufolge nur Halbzuge aus Eisenwerkstoffen Berücksichtigung, aus denen durch Umformen Fertigteile entstehen. Dem überwiegenden Anteil von Walzstahl Rechnung tragend, werden

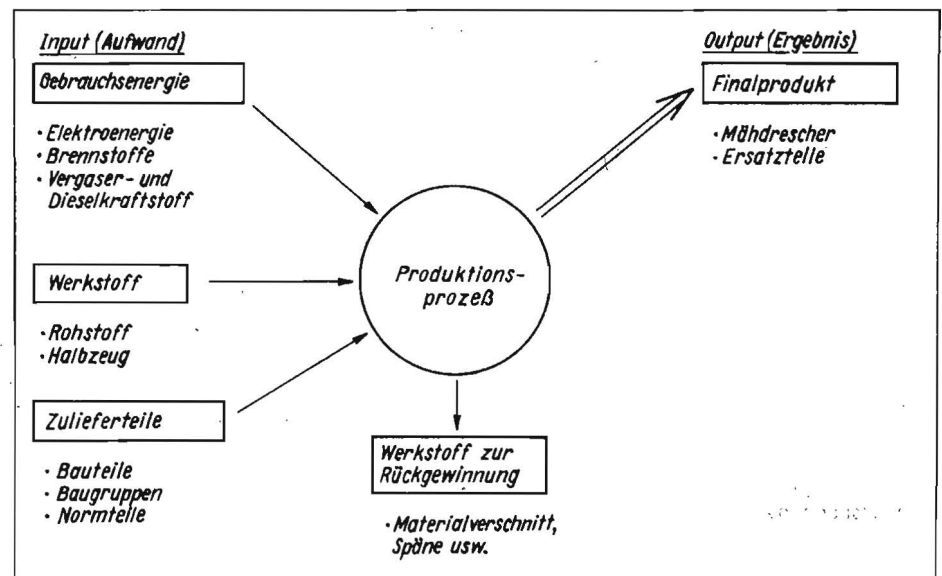
Tafel 1. Angaben zum spezifischen Energiebedarf der Landmaschinenherstellung

spezifischer Energiebedarf der Maschinenherstellung MJ/kg	Jahr	Quellenangabe
86,7	1977	[3]
68,7	1979	[4]
33	1979	[5]
40,5 ... 180	1981	[6]
112	1979	[7]
87	1973	[8]

als energetisches Äquivalent je kg 31 MJ verwendet [11, 12].

Im Zusammenhang mit dem Werkstoffeinsetz ist das Problem der Werkstoffrückgewinnung von Bedeutung. Wird ein geschlossener Stoffkreislauf vorausgesetzt, fließen etwa 20 % des Materialeinsatzes während der Fertigung als Schrott der Stahlproduktion wieder zu. Nach Beendigung der Nutzungsdauer wird der Mähdrescher verschrottet und gelangt gleichfalls wieder in die Prozeßstufe „Stahlproduktion“. Gleiches gilt für Einzelteile und Baugruppen, die durch Maßnahmen der Instandsetzung ausgesondert und verschrottet werden. Energetisch wäre demnach der zurückgeführte Anteil im Äquivalent „Landmaschine“ entlastend zu berücksichtigen. Dem entgegen steht, daß die in der DDR übliche Praxis der Stahlerzeugung auf einem Anteil von 30 % Roheisen und 70 % Schrott basiert [13]. Das o. a. energetische Äquivalent für Walzstahl unterstellt in jedem Fall diese Relation von Schrott und Roheisen. Roheisen erfordert einen spezifischen Energiebedarf zur Bereitstellung von etwa 50 MJ/kg [12], während Schrott – Aufbereitungs- und Transportprozesse vernachlässigt – mit einem vergewandten Energiegehalt von 0 MJ/kg dem Stahlschmelzprozeß zugeführt wird. Die

Bild 1. Input-Output-Relation für Werkstoff und Gebrauchsenergie in einem Betrieb der Mähdrescherproduktion des VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen



nochmalige energetische Verrechnung von Schrott als energetische Entlastung im Maschinenbau würde verlangen, den anteiligen Energiegehalt im Äquivalent Walzstahl im darauffolgenden Zyklus zu berücksichtigen. Degner und Herfurth [12] wiesen anhand eines Rechenbeispiels anschaulich nach, daß bei einem Vergleich der Bilanzierungsmethoden mit und ohne energetische Schrottbewertung bereits nach dem 7. Zyklus im Stoffkreislauf die Differenz zwischen beiden Methoden unter 1 % liegt. Beide Wege führen nach wenigen Zyklen im volkswirtschaftlichen Stoffkreislauf zu demselben Ergebnis, wobei die Methode ohne energetische Schrottbewertung den vergleichsweise geringeren Rechenaufwand erfordert. Aus diesem Grund wurde in der vorgenommenen Untersuchung Schrott kein Energiegehalt zugeordnet.

Der spezifische Energiebedarf zur Produktion einer Masseinheit Mähdrescher e_1 errechnet sich wie folgt:

$$e_1 = e_{11} + e_{12} + k \cdot e_{st} \quad (1)$$

e_{11} spezifischer Primärenergieaufwand zur Herstellung von Mähdrescherbaugruppen und -einzelteilen

e_{12} spezifischer Primärenergieaufwand zur Endmontage des Mähdreschers

e_{st} spezifischer Energiebedarf der Walzstahlherstellung (vergegenständlichter Energiegehalt von Walzstahl)

k Materialeinsatzkoeffizient; Quotient aus Einsatzmasse m_E und Fertigungsmasse m_F der Baugruppen- und Teileproduktion.

$$e_{11} = \frac{E_1}{m_F} \quad (2)$$

$$e_{12} = \frac{E_2}{n_{MD} \cdot m_{MD}} \quad (3)$$

E_1 Primärenergieaufwand zur Baugruppen- und Teilefertigung

E_2 Primärenergieaufwand zur Endmontage des Mähdreschers

m_F Masse der Fertigteile/Baugruppen

m_{MD} Mähdrescher-Maschinenmasse

n_{MD} Anzahl der produzierten Mähdrescher.

In den Zulieferbetrieben wird einheitlich der spezifische Energieaufwand für die Fertigung von Baugruppen und Einzelteilen nach Gl. (1) bestimmt:

$$e_1 - e_{12} = e_{11} + k \cdot e_{st}$$

Unterstellt ist dabei, daß die Aufwendungen bei allen Mähdrescherbaugruppen untereinander vergleichbar sind.

Im Betrieb Singwitz (Finalproduzent) ist als Besonderheit zu beachten, daß sowohl die Herstellung von Bauteilen für die Zulieferung zur Endmontage als auch die Endmontage selbst realisiert werden. Während bei der Aufwandsermittlung zur Bauteilfertigung methodisch analog wie bei den Zulieferbetrieben vorgegangen werden kann, erfordert die Endmontage vom Energieaufwand und von der Bezugsgröße (Output) her eine gesonderte Analyse. Eingangsgröße dieses Abschnitts sind Baugruppen, Einzelteile und Normteile sowie Gebrauchsenegie. Danach erfolgt das Montieren der Maschine, wobei alle Teile spezifisch vergleichbare Aufwendungen verursachen. Ähnliches trifft auf die abschließende Farbgebung zu. Dementsprechend ist der anteilige Energieaufwand im Bereich Endmontage auf die Gesamtzahl (und damit Masse) der produzierten Mähdrescher zu beziehen. Daraus ableitend waren die Untersuchungen im Betrieb entsprechend den Möglichkeiten getrennt für Teilefertigung und Endmontage zu führen.

3. Ergebnisse und Schlußfolgerungen

Ausgehend von dem Ziel der Betriebsanalyse, einen für die Landmaschinenindustrie der DDR repräsentativen Energieaufwandskennwert zu ermitteln, ist aus den Einzelwerten der Betriebe dieses Ergebnis abzuleiten. In Tafel 2 sind die betriebspezifischen Werte zu Aufwendungen unterschiedlicher Formen von Gebrauchsenegie aufgeführt. Nach Transformation auf Primärenergie entfallen im Vergleich zwischen 50 % und 75 % des Gesamtenergiebedarfs auf feste Brennstoffe. Diese decken im wesentlichen den Energiebedarf der Raumheizung. Das unterstreicht die Rangordnung aller Maßnahmen zur Effektivitätssteigerung bei Heizvorgängen.

Die Gesamtheit aller energetischen Aufwendungen entsprechend Gl. (1) in Betrieben der Mähdrescherherstellung weist eine große Differenziertheit aus (Tafel 3). Das Herausfinden der Ursachen dafür übersteigt die Aussagekraft der Analyse und erfordert detailliertere Untersuchungen. Als gewichtetes Mittel des spezifischen Energiebedarfs für die Bereitstellung von Baugruppen und Teilen zur Mähdrescherproduktion ergab sich

$$(e_{11} + k \cdot e_{st}) = 76,5 \text{ GJ/t.}$$

Der mittlere relative Fehler dieses Werts beträgt 24 %.

Vom Gesamtenergieaufwand des Betriebs Erntemaschinen Singwitz sind 60 % eindeutig der Fertigung oder Montage zugeordnet. Der Hauptumfang beim Einsatz von Elektroenergie liegt mit 80 % im Bereich der Fertigung. Die Aufwandsmengen beim Einsatz von festen Brennstoffen sind ausgewogen. Sowohl bei Elektroenergie als auch bei festen Brennstoffen verbleibt eine Differenz zur Gesamtaufwandsmenge, die keinem der beiden Bereiche eindeutig angelastet werden kann. Die Aufteilung dieser Differenzmenge wurde deshalb für beide Energieträger im gleichen Verhältnis wie die bereits ausgewiesenen Anteile vorgenommen. Aus der eingesetzten Menge an Gebrauchsenegie sowie aus der Anzahl produzierter Mähdrescher resultiert entsprechend Gl. (3) der spezifische Energieaufwand zur Endmontage von

$$e_{12} = 7,8 \text{ GJ/t.}$$

Die Verflechtung von Produktionskapazität

Tafel 2. Relation eingesetzter Mengen an Gebrauchsenegie in Betrieben der Mähdrescherproduktion [9]

Betrieb	Formen eingesetzter feste Brennstoffe		Gebrauchsenegie Elektroenergie		flüssige und gasförmige Energieträger	
	t	%	MWh	%	%	%
Zulieferbetrieb I	9 760	48	8 592	29	23	
Zulieferbetrieb II	14 010	78	5 220	21	1	
Zulieferbetrieb III	4 950	40	13 360	49	11	
Zulieferbetrieb IV	24 620	72	18 070	26	2	
Finalproduzent	35 086	59	14 081	30	11	

Anmerkung: Die relativen Angaben sind nach erfolgter Umrechnung in vergleichbare Primärenergie vorgenommen worden.

ten bedingt Transportaufwendungen. Durch eine Abschätzung war zu entscheiden, inwieweit der Transport von Zulieferteilen zum Finalproduzenten in der Gesamtbilanz energetisch wesentlich ist. Bei einem vorgegebenen Verhältnis von Eisenbahntransport zu Straßentransport wie 70 zu 30 werden jährlich weniger als 1 % Energie im Vergleich zur Herstellung für den Transport der Zulieferteile zum Finalproduzenten benötigt. Der Aufwandsanteil „zwischenbetrieblicher Transport“ ist demzufolge für die Bestimmung des energetischen Herstellungsaufwands von Landmaschinen ohne wesentlichen Einfluß und kann für diese Bilanz vernachlässigt werden.

Aus den ermittelten Aufwandswerten für Herstellung und Montage von Mähdreschern errechnet sich der vergegenständlichte Energiegehalt je Masseinheit Mähdrescher nach Gl. (1) zu

$$e_1 = 76,5 \text{ GJ/t} + 7,8 \text{ GJ/t}$$

$$e_1 = 84,3 \text{ GJ/t.}$$

Unter Beachtung des mittleren relativen Fehlers ist ein Richtwert von

$$e_1 = 85 \text{ GJ/t}$$

angemessen.

Im Vergleich mit international angegebenen

Betrieb	e_{11}	e_{12}	k	$k \cdot e_{st}$	$e_{11} + k \cdot e_{st}$	m_F	Anteil
	GJ/t	GJ/t		GJ/t	GJ/t	(1981)	in %
						t	
Zulieferbetrieb I	29,3	-	1,250	38,8	68,1	4 777	22
Zulieferbetrieb II	52,1	-	1,340	41,5	93,6	2 412	11
Zulieferbetrieb III	26,9	-	1,185	36,7	63,6	1 935	9
Zulieferbetrieb IV	65,8	-	1,287	39,9	105,7	2 080	10
Finalproduzent	36,6	7,8	1,168	36,2	72,8	10 247	48

Tafel 3
Spezifischer Energieaufwand zur Mähdrescherproduktion [9]

Werten zum vergegenständlichten Energiegehalt von Landmaschinen liegt das Ergebnis im Erwartungsbereich.

4. Zusammenfassung

Die technologische Forschung bedingt Aussagen zum spezifischen Energiebedarf. Neben dem Bedarf direkt eingesetzter Energieträger (Gebrauchsenergie) ist die Kenntnis des vergegenständlichten Energiegehalts landtechnischer Arbeitsmittel wesentlich. Anhand der Mähdrescherherstellung im VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen wurde der spezifische Energieaufwand ermittelt. In Mähdreschern des Typs E 512 bzw. E 516 sind 85 GJ je Tonne Maschinenmasse vergegenständlicht.

Literatur

- [1] Müller, M.: Technologische Grundlagen für die industriemäßige Pflanzenproduktion. Berlin: Dt. Landwirtschaftsverlag 1980.
[2] Große, W.: Betrachtungen zum Gesamtenergiebedarf in der Getreideproduktion. agrartechnik, Berlin 32 (1982) 7, S. 311–313.

- [3] Energy and agriculture, (Energie und Landwirtschaft). In: The State of food and agriculture, FAO, Rom 1977, S. 79–104.
[4] Heyland, K.-U.; Solansky, S.: Energieeinsatz und Energieumsetzung im Bereich der Pflanzenproduktion. Berichte über Landwirtschaft, Hamburg/Berlin (1979) 195. Sonderheft, S. 15–30.
[5] Hollmann, P.: Struktur des Energieeinsatzes und der Energiekosten in Betriebsgrößen und Betriebsformen. Berichte über Landwirtschaft, Hamburg/Berlin (1979) 195. Sonderheft, S. 114–134.
[6] Kassay, L.: Die energetische Strategie der ungarischen Landwirtschaft. Referate der 4. Wiss. Tagung der Sektion Landtechnik der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock (1981) Teil I, S. 65–78.
[7] Orłowski, L.: Einschätzung des Energiebedarfs bei der Zuckerrübenenernte nach verschiedenen Technologien. Vortrag zum FAO-Symposium, Warschau 1979.
[8] Pimentel, D., u. a.: Food production and the energy crisis (Nahrungsmittelproduktion und die Energiekrise). Science, Washington 182 (1973) 11.2, S. 444–445.

- [9] Betriebswirtschaftliche Arbeitsunterlagen. VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen Neustadt, 1981 (unveröffentlicht).
[10] Müller, M.; Thurm, R.: Kennzahlen zur Bewertung des rationellen Energieeinsatzes in der Pflanzen- und Tierproduktion. In: Richtlinien mit methodischen Empfehlungen für die Beurteilung von Verfahren der Pflanzen- und Tierproduktion. AdL der DDR/Hochschule für LPG Meißen, Berlin 1982, S. 133–142.
[11] Braess, H. H., u. a.: Energieverbrauch von der Herstellung bis zum Recycling – wichtige Gesichtspunkte bei der werkstoffmäßigen Auslegung von Personenkraftwagen. 17. FISITA-Kongress, Budapest 1978, Vorträge Band I, S. 181–196.
[12] Degner, W.; Herfurth, K.: Energieeinsatz bei der Teilefertigung durch Spanen aus volkswirtschaftlicher Sicht. Konferenz INFERT '82, Industrielle Fertigung auf dem Wege zur Automatisierung, Dresden, September 1982, Vorträge der Fachsektion I, S. 152–164.
[13] Riesner, W.: Rationelle Energieanwendung. Leipzig: Dt. Verlag für Grundstoffindustrie 1982.

A 3937

Grundsätzliche Überlegungen zu Automatisierungskonzeptionen für Mähdrescher

Dr.-Ing. G. Bernhardt, KDT

Verwendete Formelzeichen

b_s	mm	Breite des Schneidwerks
F_L	ha/h	Flächenleistung
s'	km/h	Fahrgeschwindigkeit
V_A	kg/s	Ausdruschverluste
V_{ges}	kg/s	Gesamtverluste
V_H	kg/s	Schüttlerverluste
V_R	kg/s	Reinigungsverluste
V_S	kg/s	Schneidwerksverluste
V_U	kg/s	Rieselverluste durch Undichtheiten
y		Zielfunktion

1. Vorbetrachtungen

Die Steigerung der Arbeitsproduktivität durch die konsequente Anwendung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts und die sozialistische Rationalisierung sind neben den Forderungen zur besseren Ausnutzung der Grundfonds und des gesellschaftlichen Arbeitsvermögens Aufgaben, die für die weitere Entwicklung der Volkswirtschaft der DDR von großer Wichtigkeit sind. Es müssen neue technische Lösungen gefunden werden, die die Produktionsprozesse effektiver gestalten und bei denen der Mensch in zunehmendem Maß Überwachungsfunktionen übernimmt.

Der Begriff „Prozeß“ ist nach Reinisch „eine qualitative oder quantitative Veränderung in Abhängigkeit von der Zeit“ [1]. Da bei Prozeßbetrachtungen der Begriff „System“ von besonderer Wichtigkeit ist, soll er ebenfalls erläutert werden: „Ein System ist die Menge von Elementen und die zugehörige Art und Zahl ihrer gegenseitigen Kopplungen, die für den entsprechenden Fall als zusammenhängendes Ganzes zu betrachten, zu sehen sind“ [2]. Mit Hilfe des Systems werden Stoffe von einem bestimmten Eingangszu-

stand in einen bestimmten Ausgangszustand umgewandelt (Eingangszustand: Zustand des Stoffs vor dem Eintritt in das System; Ausgangszustand: Zustand des Stoffs nach dem Austritt aus dem System).

Die Aufgabe der Automatisierung besteht darin, durch die Entwicklung eines zu dem Produktionssystem passenden Informationssystems den Produktionsprozeß effektiver zu gestalten und dem Menschen zunehmend Überwachungsfunktionen zu übertragen. Die ausgearbeiteten Systeme können dabei folgende Funktionen realisieren [3]:

- Prozeßüberwachung und -sicherung
- Prozeßbilanzierung
- Prozeßstabilisierung
- Prozeßführung
- Prozeßoptimierung.

Betrachtet man die Technik genauer, so zeigen sich 2 Aufgabenbereiche, in die alle Probleme eingeordnet werden können [3]:

- Aufgaben, bei denen die Prozesse ohne Automatisierungseinrichtungen nicht betrieben werden können; dort sind sie für die Funktion unbedingt notwendig
- Aufgaben, bei denen die Automatisierungseinrichtungen güteverbessernd wirken, aber nicht funktionsnötig sind.

Der Produktionsprozeß Mähdrusch beinhaltet Aufgaben beider Bereiche, wobei letztere überwiegen. Besonders kommt es darauf an, durch die Anwendung der Automatisierungstechnik ökonomische Effekte zu erreichen und den subjektiven Einfluß des Menschen auf den Prozeß weiter zu verringern.

Die vorliegenden Erkenntnisse beim Einsatz von Mähdreschern weisen darauf hin, daß durch eine Veränderung der Betriebspara-

meter entsprechend den Guteigenschaften und der Bestandsdichte sowie durch das Fahren der Maschinen im Nennleistungsbereich Leistungssteigerungen erreicht werden können [4, 5]. Da sich die Guteigenschaften untereinander in Abhängigkeit vom Standort und von der Feuchtigkeit stark ändern, ist eine automatische Verstellung der Arbeitselemente notwendig, wobei das Fahren der Maschine im Nennleistungsbereich über längere Zeiträume nur durch die Anwendung der Automatisierungstechnik erreicht werden kann. Damit und durch weitere Maßnahmen wird auch eine Senkung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs erreicht.

2. Zielstellung

Die Zielstellung der Automatisierungskonzeptionen für den Prozeß Mähdrusch kann mathematisch wie folgt formuliert werden:

$$y = \frac{F_L}{V_{ges}} \rightarrow \text{Maximum} \quad (1)$$

$$F_L = b_s s' \quad (2)$$

Gl. (2) in Gl. (1) eingesetzt ergibt:

$$y = \frac{b_s s'}{V_{ges}} \rightarrow \text{Maximum} \quad (3)$$

Für ein bestimmtes Schneidwerk ist b_s konstant, so daß s'/V_{ges} ein Maximum erreichen muß.

Die Gesamtverluste V_{ges} setzen sich wie folgt zusammen:

$$V_{ges} = V_S + V_A + V_H + V_R + V_U \quad (4)$$

Bekannt ist, daß diese Verluste von den Druschguteigenschaften, von der Einstellung und vom Zustand der Maschine sowie vom Durchsatz bzw. der Fahrgeschwindigkeit abhängig sind. Ausgehend von diesen grund-