

Die Beachtung energetischer Äquivalente – eine Grundlage effektiver Prozeßgestaltung

Dozent Dr. sc. techn. W. Große, KDT, Technische Universität Dresden, Sektion Forstwirtschaft¹⁾

1. Problemstellung

Effektivster Einsatz von Rohstoffen und Energie ist eine Hauptforderung der sozialistischen Gesellschaft. Bei der Gestaltung von Prozessen bilden deshalb Maßnahmen einen Schwerpunkt, die zu einer besseren Ausnutzung der eingesetzten Ressourcen beitragen.

Bereits mit der Verfahrensgestaltung bzw. der technologischen Projektierung entscheidet der Technologe wesentlich über die Effektivität der nachfolgenden Produktion. Die Notwendigkeit besserer Ausnutzung der eingesetzten Formen von Energie und Material erfordert eine noch stärkere Beachtung energetischer Aspekte in der Verfahrensgestaltung.

Deshalb sollen die wichtigsten energetischen Aufwandgrößen der Pflanzenproduktion analysiert und Beispiele energetischer Betrachtungsweise dargestellt werden.

Vorrangiges Interesse gilt stets der gesamtwirtschaftlichen Effektivität. Unter die energetisch relevanten Ein- und Ausgangsgrößen eines Verfahrens sind deshalb neben Brennstoffen und Elektroenergie (Gebrauchsenergie) auch solche einzuordnen, die für den Prozeßablauf benötigt werden und für deren Bereitstellung in vorgelagerten volkswirtschaftlichen Stufen Energie aufzuwenden war. In der Pflanzenproduktion sind solche Formen „vergegenständlichten Energieaufwands“ besonders Mineraldünger und Landmaschinen. Neben den Aufwendungen sind gleichfalls die erzeugten Produkte energetisch zu werten, um letztendlich den Aufwand-Nutzen-Vergleich zu führen.

Ziel der Effektivitätsbetrachtungen ist, durch das optimale Verhältnis der eingesetzten Energieaufwandformen untereinander ein bestmögliches Aufwand-Nutzen-Verhältnis zu schaffen. Als Kriterium zur Bestimmung des optimalen Verhältnisses verschiedener Energieaufwandformen ist dazu neben dem Minimieren des Gesamtenergieaufwands die ertragsbildende Wirkung der eingesetzten Komponenten heranzuziehen.

2. Energetische Äquivalente

Die Produktion eines bestimmten Erzeugnisses erfordert Aufwand in Form lebendiger Arbeit sowie die Bereitstellung von Arbeitsgegenstand und Arbeitsmitteln. Energetische Aufwendungen sind in allen genannten Größen enthalten. Der Anteil ist jedoch unterschiedlich, einige Aufwendungen sind mit dem Einsatz von Energie verknüpft, ohne daß sie sich dadurch unmittelbar vergleichen lassen. Das betrifft vor allem die Kategorie „lebendige Arbeit“.

Aus grundsätzlichen Überlegungen heraus ist es falsch, die Aufwendungen für die Kategorie „lebendige Arbeit“ in energetische Analysen mit einem entsprechenden Äquivalent einzubeziehen. Weil die menschliche

Arbeit mehr als Energie im physikalischen Sinn (d. h. Muskelkraft) ausmacht, gehört sie nicht zu energetisch relevanten Aufwendungen, sondern erfordert vielmehr eine gesonderte Betrachtung [1].

Roh- und Hilfsstoffe stellen i. allg. den anteilig größten Aufwand eines Produktionsprozesses. Davon ausgehend wäre es zunächst naheliegend, lediglich die in der Produktion eingesetzten Roh- und Hilfsstoffe zu betrachten. Diese Methode wurde auch bei ersten Analysen zum spezifischen Energieaufwand verschiedener Pflanzenproduktionsverfahren der DDR-Landwirtschaft angewendet. Es zeigt sich jedoch für den speziellen Anwendungsfall, daß die Aufwendungen an Produktionsmitteln im Bereich der Landwirtschaft, bezogen auf die Einsatzzeit, erheblich sind. Während das Hauptproduktionsmittel der Pflanzenproduktion, der Boden, im Gegensatz zu anderen Produktionsmitteln durch intensive Nutzung nicht verschleißt, sondern die Bodenfruchtbarkeit sogar zunimmt, werden die Aufwendungen für Maschinen und Geräte wegen der spezifischen Produktionsbedingungen zu einem relativ hohen Anteil auf das Produkt übertragen. Deshalb haben sowohl Roh- und Hilfsstoffe als auch Produktionsmittel im Sinn energetischer Aufwandanalysen Bedeutung.

Für den Bereich der Pflanzenproduktion stellen sich Roh- und Hilfsstoffaufwendungen dar als Einsatz von

- Gebrauchsenegie (vor allem DK)
 - Saatgut
 - Mineraldünger
 - Pflanzenschutzmitteln (einschließlich weiterer chemischer Wirkstoffe).
- Produktionsmittel erscheinen in Form von
- landtechnischen Arbeitsmitteln
 - Anlagen einschließlich der dazugehörigen Ausrüstung.

Die aufgeführten Eingangsgrößen der Pflanzenproduktion erforderten bis zu ihrer Bereitstellung bereits volkswirtschaftlichen Aufwand, der für Rohstoffgewinnung, stoffumformende und stoffwandelnde Prozesse einschließlich der entsprechenden Transporte auf sie übertragen wurde. In diesem Sinn würde es sich in jedem Fall um „Energieträger“ handeln. Physikalisch-thermodyna-

misch ist diese Betrachtungsweise jedoch nicht haltbar, da die jeweils übertragene Energie gewandelt wurde und nicht mehr als eigentliche Energie mit der Eigenschaft, Arbeit zu verrichten, vorliegt. Um eine sinnvolle Abgrenzung vorzunehmen, wird die von der Gewinnung über Wandlung und Umformung bis zur Bereitstellung von Stoffen und Arbeitsmitteln eingesetzte Energiemenge als vergegenständlichte Energie bezeichnet. Unter Kenntnis des Gehalts an vergegenständlichter Energie läßt sich jeder beliebige Stoff energetisch mit einem anderen vergleichen.

Analog dazu ist bei allen Formen von Gebrauchsenegie ebenfalls entsprechend dem Wandlungswirkungsgrad bis zur Bereitstellung die tatsächlich eingesetzte Energiemenge zu berücksichtigen. Als Ausgangsbasis bietet sich die Stufe Primärenergie an. Bis zu dieser Stufe sind alle energetischen Aufwendungen zurückzuverfolgen und auszuweisen.

Wissenschaftlich-methodische Lösungsansätze zu dieser Betrachtungsweise liegen u. a. in Arbeiten vor, die sich mit der Bewertung von Verfahren der Metallumformung sowie der energetisch günstigsten Werkstoffauswahl beschäftigen [2, 3, 4].

Energetisches Äquivalent jeder Stoffeingangs- und Stoffausgangsgröße ist ihr Gehalt an Primärenergie. Unter Berücksichtigung dieser Äquivalente sind alle Energieaufwendungen vergleichbar und lassen sich in Bilanzen einordnen. Tafel 1 zeigt dazu Angaben des Primärenergiegehalts der wichtigsten Energieträger. Die Differenz zwischen Heizwert und Primärenergiegehalt tritt besonders bei Elektroenergie deutlich hervor. Das unterstreicht die Notwendigkeit einer solchen Betrachtungsart. Aufwendungen vergegenständlichter Energie in der Pflanzenproduktion entfallen vor allem auf Mineraldünger und Landmaschinen. Während Literaturangaben zum Energiegehalt von Mineraldünger weitgehend übereinstimmen, differieren sie bezüglich Landmaschinenherstellung und Instandhaltung erheblich. Untersuchungen zum energetischen Herstellungs- und Instandhaltungsaufwand am Beispiel der Mährescher E512 und E516 erga-

Tafel 1
Spezifischer Primärenergiegehalt von Gebrauchsenegieträgern nach [5]

Gebrauchsenegieträger		unterer Heizwert	Gehalt an Primärenergie am Verbrauchsort
Vergaserkraftstoff	MJ/kg	44	53
Dieselmkraftstoff	MJ/kg	42	50
Heizöl, schwer	MJ/kg	41	49
Steinkohle	MJ/kg	29	40
Braunkohlenbriketts	MJ/kg	20	28
Rohbraunkohle	MJ/kg	8	10
Steinkohlenkoks	MJ/kg	28	39
Schwelkoks	MJ/kg	20	28
BHT-Koks	MJ/kg	28	39
Stadtgas	MJ/m ³	16	17
Erdgas	MJ/m ³	32	33
Elektroenergie	MJ/kWh	3,6	13

1) Die Arbeit entstand während der Tätigkeit des Autors an der Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik der TU Dresden

Tafel 2. Bruttoenergiegehalt nach [7] und vergegenständlicher Energiegehalt von Winterweizen

	Bruttoenergie		vergegenständlichte Energie	
	MJ/kg	% TS	MJ/kg	Äquivalent MJ/kg
Korn	16,3	88,0	3,45	19,8
Stroh	15,8	87,0	0,87	16,7

ben, daß zur Herstellung je Tonne Mähdreschermasse volkswirtschaftlich 85 GJ Primärenergie aufzuwenden sind [6]. Energetische Analysen der Instandsetzung von Mähdreschern führten zu dem Ergebnis, daß im Mittel der Nutzungsdauer jährlich 12,5 GJ Primärenergie vorbeugend und 2,5 GJ Primärenergie operativ je Tonne Maschinenmasse eingesetzt werden.

Landwirtschaftlichen Produkten ist im Sinn einheitlicher Betrachtungsweise gleichfalls ein Energiegehalt zuzuordnen. Unabhängig von ihrem Einsatzgebiet haben alle organi-

schen Stoffe als Energieträger einen *direkten* Energiegehalt, der bei der Nutzung gezielt gewandelt wird, und einen *vergegenständlichten* Energiegehalt, der in vorangegangenen Prozeßstufen eingesetzt wurde und direkt nicht mehr nutzbar ist. Dieser vergegenständlichte Energiegehalt steigt mit zunehmender Intensität der Produktion an.

Die Ermittlung des vergegenständlichten Energiegehalts ist methodisch geklärt – energetische Aufwendungen sind als physikalisch-technische oder vergegenständlichte Energie erforderlich und können erfaßt werden.

In organischen Substanzen vorliegende direkte Energie wird unterschiedlich definiert. Der Anwendungszweck differenziert aus energetischer Sicht zwischen einer direkten Nutzung zur Wärmeerzeugung (Verbrennung) bzw. einer Nutzung als Futterenergie in der Tierproduktion. Während aus der Zielstellung einer Aussage zum nutzbaren Futterenergiegehalt in der Tierproduktion auf die Nettoenergie orientiert wird, muß die ener-

getische Wertung des Pflanzenprodukts unabhängig von der nachfolgenden Wandlung erfolgen. Eine solche Bewertungsform ist mit der Bruttoenergie gegeben. Sie entspricht dem physikalischen Brennwert bzw. dem Heizwert und ist unmittelbar als energetische Größe in Gesamtbilanzen verwendbar [7].

Landwirtschaftliche Produkte sind somit methodisch exakt mit dem direkten Energiegehalt (Bruttoenergie) und dem vergegenständlichten Energiegehalt zu werten. Das Einbeziehen des vergegenständlichten Energiegehalts führt z. B. bei Getreide zu einem 20% höheren energetischen Äquivalent gegenüber der ausschließlichen Wertung nach dem Gehalt an Bruttoenergie (Tafel 2).

3. Anwendungsbeispiele

Überlegungen zu energetisch effektiver Prozeßgestaltung beginnen mit der Analyse eines Verfahrens. Im Bild 1 ist diese Analyse für das Produktionsverfahren Getreide und den Arbeitsgang Körnertrocknung dargestellt. Von Interesse ist die Relation zwischen dem Bedarf an direkt eingesetzter Energie, also überwiegend DK bzw. Brennstoffe, und an vergegenständlichter Energie in Form von Mineraldünger und landtechnischen Arbeitsmitteln. Die Arbeitsgänge 4 und 10, Mineral- und Stickstoffspätdüngung, verdeutlichen, welche Bedeutung die Einbeziehung aller Energieaufwandformen in eine Analyse hat. Ohne Beachtung des extrem hohen Anteils vergegenständlichter Energie, d. h. bei ausschließlicher Orientierung auf DK, erfordert die Stickstoffspätdüngung unwesentliche Aufwendungen in der Energiebilanz. Dementgegen verlangt dieser Arbeitsgang tatsächlich aber mit einem Anteil von über 40% nahezu die Hälfte des Gesamtenergiebedarfs im Produktionsverfahren Getreide.

Der Maschinenbesatz entscheidet in den Pflanzenproduktionsbetrieben wesentlich über das Einhalten agrotechnischer Zeitspannen. Ein Überschreiten dieser Zeitspannen bewirkt zusätzliche Aufwendungen (z. B. Trocknung) sowie Verluste in Menge und Qualität. Deutlich zeigen sich diese Zusammenhänge in der Getreideernte. Am Beispiel einer LPG Pflanzenproduktion im Bezirk Dresden wurde für das Jahr 1981 der energetisch optimale Mähdrescherbesatz bestimmt (Bild 2).

Mit steigender Anzahl Mähdrescher je Flächeneinheit, d. h. mit steigendem Maschinenbesatz, verringert sich bei konstanter Erntezeitspanne die täglich erforderliche Einsatzzeit. Das Getreide kann immer mehr in Tagesstunden geborgen werden, wo niedrigste Kornfeuchtwerte vorliegen. Über die Kenntnis des Tagesgangs der Kornfeuchte läßt sich daraus direkt auf den notwendigen Trocknungsenergiebedarf schließen. Steigender Mähdrescherbesatz vermindert damit einerseits den notwendigen Trocknungsenergiebedarf für Getreide und erhöht andererseits den vergegenständlichten Energiebedarf für Herstellung sowie Instandsetzung aufgrund der größeren Maschinenanzahl. Ausgehend vom jeweiligen Mähdrescherbesatz wird die täglich erforderliche Einsatzzeit im I. Quadranten dargestellt. Unter Kenntnis des täglichen Kornfeuchteverlaufs während der Erntezeitspanne wurde im II. Quadranten der Trocknungsenergiebedarf entsprechend der täglichen Mähdrescherzeitspanne ermittelt. Im IV. Quadranten erscheint entsprechend den o. g. energetischen Äquivalenten für die

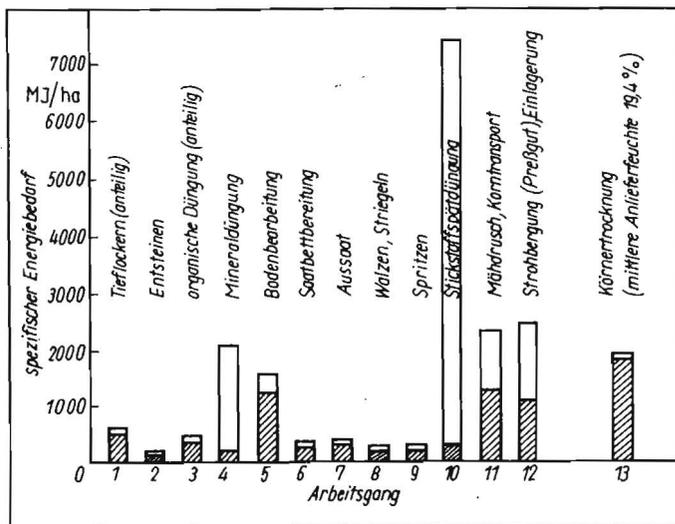
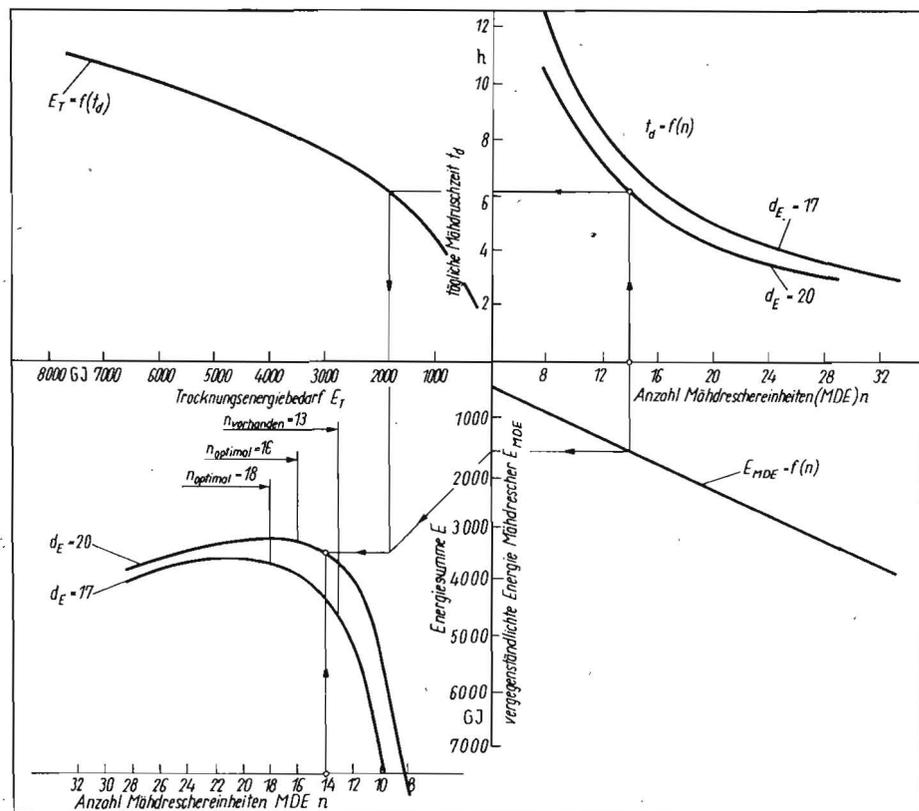


Bild 1

Spezifischer Energiebedarf für Arbeitsgänge der Getreideproduktion und Körnertrocknung (schraffierte Fläche: anteilige Gebrauchsenergie; Brennstoffe, vorwiegend DK); Randbedingungen: Winterweizen 5 t/ha Korn, 4 t/ha Stroh

Bild 2

Ermittlung des energetisch optimalen Mähdrescherbesatzes für eine LPG Pflanzenproduktion; d_E: Anzahl der Einsatztage Mähdrescher
1 MDE ≙ 1 E 512
≙ 0,67 E 516



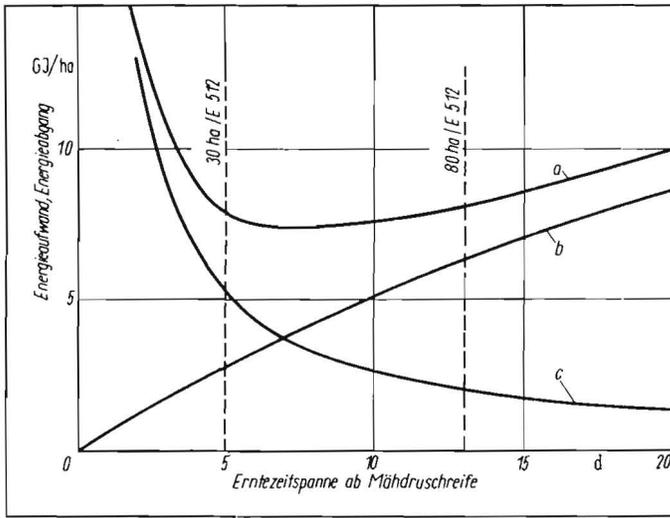


Bild 3
Energetischer Vergleich von Vorernteverlusten und Mähdruschbesatz in Abhängigkeit von der Erntezeitspanne; Randbedingungen: spezifischer Energiegehalt $e_{E512} = 156 \text{ GJ/a}$, $e_{\text{Korn}} = 1,98 \text{ GJ/dt}$
a Summenkurve, b Energieabgang durch Vorernteverluste nach [8], c Energieaufwand Mähdruschbesatz

Mähdruschherstellung und -instandsetzung der jeweiligen Anzahl Mähdruscheser zu geordnet der vergegenständlichte Energiegehalt. Die Addition beider Funktionen – im Sinn mathematischer Optimierung als linearer Kompromiß – führt zur Energiesummenkurve im III. Quadranten, deren Minimum zugleich die energetisch günstigste Mähdruschersanzahl für diesen Betrieb ausweist.

Der ermittelte energetisch günstigste Mähdruschbesatz in diesem Betrieb liegt unter 120 ha Getreide je Mähdrusch und Jahr. Bei einer täglichen Mähdruschzeit von 6 h (im gewählten Beispiel zwischen 13.00 und 19.00 Uhr MESZ) ermöglicht das, über ein Drittel des Energiebedarfs der Arbeitsgänge Mähdrusch und Körnertrocknung einzusparen.

Das Verhältnis von Aufwand und Ergebnis in der Pflanzenproduktion wird um so ungünstiger beeinflusst, je später die Verluste im Produktionsablauf entstehen. Insofern ist mit Hilfe energetischer Analysen zu prüfen, in welchem Verfahrensabschnitt mit gleichem Energieaufwand höchster Ertragszuwachs realisiert werden kann. Aufwendungen zur Minderung von Ernte-, Lagerungs- und Verarbeitungsverlusten lassen i. allg. einen höheren Effekt erwarten, als wenn sie in gleichem Umfang in einen der vorgelagerten Verfahrensabschnitte einfließen.

Bild 3 zeigt dazu stark vereinfacht den energetischen Vergleich zwischen Vorernteverlusten und Mähdruschbesatz in Abhängigkeit von der Erntezeitspanne. Deutlich wird, daß minimale Energieverluste dann entste-

hen, wenn die Erntezeitspanne zwischen 5 und 13 Tagen liegt. Das entspricht bei einer täglichen Einsatzzeit von 6 h an der oberen Grenze einer Getreideanbaufläche von rd. 80 ha je Mähdrusch E512 und Jahr. Beide Beispiele tendieren im Ergebnis zu einem höheren Mähdruschbesatz bei gleichzeitiger Verringerung des Gesamtenergieaufwands.

Die energetische Effektivität eines Verfahrens steht neben anderen Bewertungskriterien, wie z. B. dem Aufwand an lebendiger Arbeit und den Kosten. Veränderungen innerhalb einer Kategorie sind dabei stets in ihrer Wirkung auf andere Aufwandgrößen zu prüfen. Erst dann läßt sich eine volkswirtschaftliche Wertung vornehmen. Überlegungen zu höherer volkswirtschaftlicher Effektivität durch das Einführen energetischer Äquivalente stehen dabei am Anfang.

4. Zusammenfassung

Eine energetisch effektivere Prozeßgestaltung in der Landwirtschaft erfordert, Analysen in Produktionsverfahren über die eingesetzten Formen Gebrauchsennergie hinaus auf den vergegenständlichten Energieaufwand (z. B. Landmaschinen, Mineraldünger) auszudehnen.

Energetisches Äquivalent jeder Stoffeingangs- und Stoffausgangsgröße ist der jeweilige Gehalt an Primärenergie. Landwirtschaftliche Produkte sind energetisch mit dem Gehalt an Bruttoenergie sowie dem im Verfahren eingesetzten (vergegenständlichten) Energieaufwand zu werten.

Beispiele energetischer Betrachtungsweise zum günstigsten Mähdruschbesatz im Vergleich zum Trocknungsenergiebedarf bzw. zu den Vorernteverlusten tendieren zu einer Getreidefläche von 80 bis 120 ha je Mähdrusch (Basis E512) und Jahr.

Der spezifische Energiebedarf stellt nur ein Bewertungskriterium im Komplex neben dem Arbeitskraftbedarf, den Kosten und weiteren Merkmalen eines Verfahrens dar. Das Wissen um energetische Äquivalente wird dazu beitragen, die volkswirtschaftliche Effektivität entsprechend der gesellschaftlichen Zielstellung weiter zu verbessern.

Literatur

- [1] Marx, K.: Das Kapital. In: Marx/Engels: Ausgewählte Werke in 6 Bänden, Bd. III. Berlin: Dietz Verlag 1978, S. 202.
- [2] Richter, K.: Aspekte der Einbeziehung des vergegenständlichten Energieverbrauches auf die rationelle Energieanwendung – dargestellt am Beispiel der Metallverformung. Ingenieurhochschule Zittau, Dissertation A 1977 (unveröffentlicht).
- [3] Matthes, E.; Lindenlaub, W.: Erhöhung und Sicherung des volkswirtschaftlichen Nutzeffektes durch Erzeugung und Einsatz anforderungsgerechter Werkstoffe unter besonderer Berücksichtigung des kumulativen Energieverbrauches in Produktion und Konsumtion. Freiburger Forschungshäfte (1978) D 114, S. 7–16.
- [4] Degner, W.; Herfurth, K.: Energieeinsatz bei der Teilefertigung durch Spanen aus volkswirtschaftlicher Sicht. Konferenz „INFERT“ 82 in Dresden 1982, Vorträge der Fachsektion I, S. 152–164.
- [5] Müller, M.; Thurm, R.: Kennzahlen zur Bewertung des rationellen Energieeinsatzes in der Pflanzen- und Tierproduktion. In: Richtlinien mit methodischen Empfehlungen für die Bewertung von Verfahren der Pflanzen- und Tierproduktion. AdL der DDR/Hochschule für LPG Meißen 1982, S. 137.
- [6] Große, W.: Zum energetischen Herstellungsaufwand von Landmaschinen. agrartechnik, Berlin 34 (1984) 1, S. 21–23.
- [7] Laube, W.: Bruttoenergiegehalte in Pflanzen- und Tierproduktion. In: Richtlinien mit methodischen Empfehlungen für die Bewertung von Verfahren der Pflanzen- und Tierproduktion. AdL der DDR/Hochschule für LPG Meißen 1982, S. 139.
- [8] Pugatschew, A.: Einfluß biologischer und anderer Faktoren auf die Höhe der Körnerverluste bei der Getreideernte. Internationale Zeitschrift der Landwirtschaft, Moskau/Berlin 26 (1982) 5, 500–501.

A 4349

Einfluß der Preßgeschwindigkeit auf den Preßdruck beim Kompaktieren von Futtermittelmischungen

Dozent Dr.-Ing. M. Klose, KDT, Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik
Dr.-Ing. R. Hejft, Polytechnische Hochschule Białystok (VR Polen)

1. Einleitung

Die Preßgeschwindigkeit ist ein durchsatzbestimmender Parameter beim Pressen von Futtermittelmischungen. Ihr Einfluß sollte deswegen bei der Parameteroptimierung des Preßprozesses beachtet werden. Hinzu kommt, daß dieser Einfluß auf den Preßpro-

zeßverlauf bisher nicht eindeutig bestimmt ist [1]. Ergebnisse von Untersuchungen zum Einfluß anderer ausgewählter Parameter auf den Preßdruck beim Pressen von Futtermittelmischungen bei niedriger Prozeßgeschwindigkeit wurden von den Autoren bereits in einem früheren Beitrag erläutert [2].

2. Experimentelle Untersuchungen

2.1. Methodik

Die experimentellen Untersuchungen zum o. g. Problem wurden auf einer speziellen Versuchseinrichtung durchgeführt, die eine kontinuierliche Messung ausgewählter mechanischer Größen während des Preßpro-