

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-

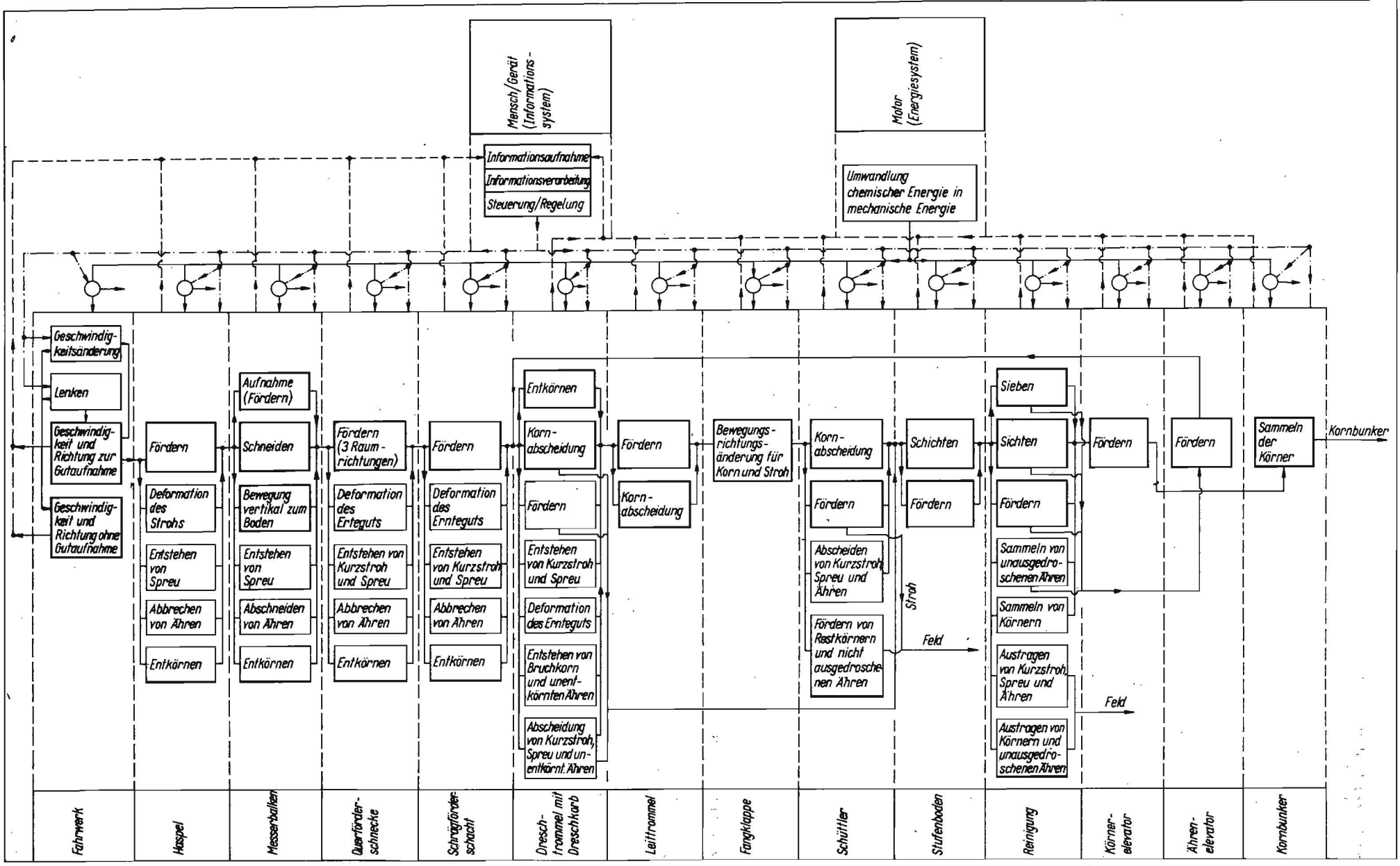


Bild 1. Prozeßanalyse Mähdrusch

genden Betrachtungen soll zunächst eine Analyse des Mähdruschprozesses vorgenommen werden.

3. Prozeßanalyse

Entsprechend der Struktur des Mähreschers wurde der Prozeß in Stoff-, Energie- und Informationssysteme aufgeteilt (Bild 1). In den Stoffsystemen sind die ablaufenden Haupt- und Nebenfunktionen dargestellt. Es wurde davon ausgegangen, daß aus jedem Stoffsystem Informationen für das Regeln, Steuern und Überwachen der Stoff- und Energiesysteme gewonnen sowie beide Systeme über das Informationssystem gesteuert, geregelt oder überwacht werden können.

Die Begriffe Regeln, Steuern und Überwachen sind folgendermaßen definiert:

– *Regeln* ist das ständige Erfassen der Ausgangsgrößen (Regelgrößen) eines Systems und Vergleichen mit dem Sollwert, wobei bei auftretenden Abweichungen Angleichungen an den Sollwert vorgenommen werden.

– *Steuern* ist das Beeinflussen von Ausgangsgrößen eines Systems durch die Eingangsgrößen nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten bei einem offenen Wirkungsablauf über die einzelnen Elemente des Systems.

– *Überwachen* ist die Kontrolle der Funktion von Systemen bzw. Elementen.

Bezieht man alle Systeme in die Automatisierungskonzeptionen ein, so entsteht ein sehr umfangreiches Steuer-, Regel- oder Überwachungssystem, das aufgrund des gegenwärtigen Stands von Wissenschaft und Technik mit großer Wahrscheinlichkeit nicht zur Leistungssteigerung der Maschine beiträgt, da die Zuverlässigkeit der gesamten Maschine verringert wird. Demzufolge muß nach Automatisierungskonzeptionen für Mährescher gesucht werden, die zur Zielstellung s'/V_{ges} → Maximum einen wesentlichen Beitrag bringen. Dabei sind ökonomische Gesichtspunkte, die Einsparung an Energie sowie Material und die Entlastung der Bedienperson zu berücksichtigen. Zur Erfüllung dieser Forderungen ist es notwendig, die Druschguteigenschaften und den Einfluß der Betriebs- und Konstruktionsparameter und den Prozeß genau zu kennen.

Wie stark die Verluste bzw. der Durchsatz von den Guteigenschaften sowie der Maschineneinstellung abhängen und damit die Gesamtleistung der Maschine beeinflussen, wurde bereits nachgewiesen [4, 5].

Nach Untersuchungen von Feiffer [5] hat die Feuchtigkeit einen entscheidenden Einfluß auf die Maschineneinstellung (Bild 2). Eine Feuchtigkeitsänderung des Druschguts erfordert eine Reihe von Veränderungen, wie Trommeldrehzahl, Korbabstand, Öffnung des Ober- und Untersiebs, Ventilatorordrehzahl, um bei konstanten Verlusten eine Leistungssteigerung zu erreichen. Die Erfassung der Verluste erfolgt gegenwärtig am Ende des Schüttlers und der Reinigung. Die Werte dienen dem Fahrer als Grundlage zur zielgerichteten Verstellung der Funktionselemente. Bei dieser Methode ist noch ein großer Anteil von subjektiven Faktoren enthalten, so daß in der Praxis die Nennleistungen der Maschine nur in Ausnahmefällen erreicht werden.

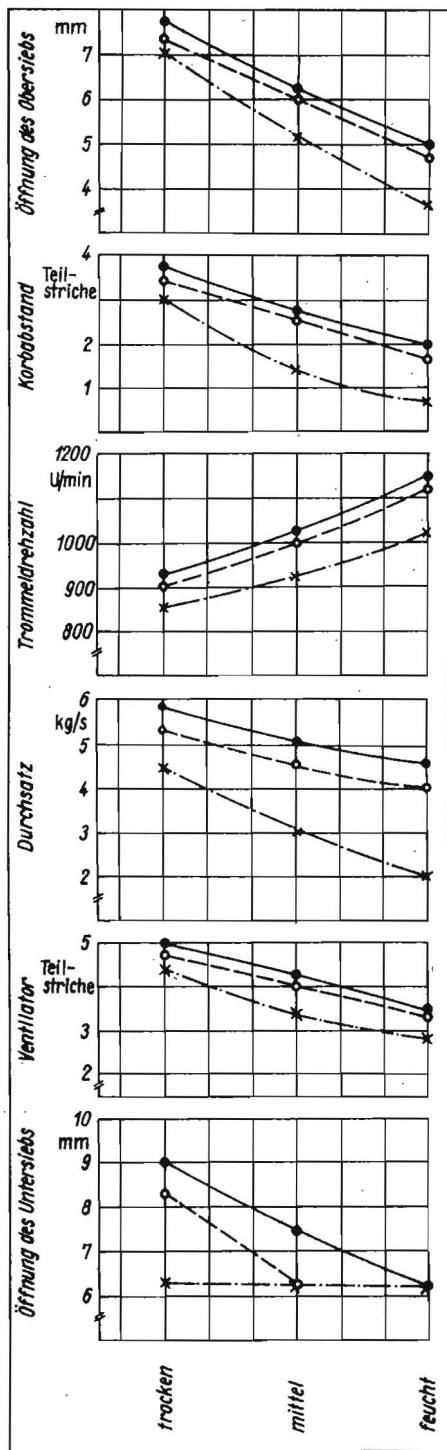


Bild 2. Einfluß der Feuchtigkeit auf die Einstellung des Mähreschers E 512 bei Weizen und die damit verbundene Leistungssteigerung (nach [5]);

— 1,5% Verlust
 - - - 1,0% Verlust
 - · - · 0,5% Verlust

4. Technische Lösungen zur Automatisierung

Die gegenwärtig vorhandenen technischen Lösungen zur Automatisierung des Mähdruschprozesses konzentrieren sich im wesentlichen auf die Prozeßüberwachung und Prozeßsicherung sowie auf die Prozeßführung. Dazu gehören:

- Regelung der Schnitthöhe (Bodenkopierung in Längs- und Querrichtung)
- Regelung der Arbeitsbreite
- Regelung des Gutstroms (Durchsatz)
- Überwachung der Funktion und der Betriebsparameter verschiedener Arbeitsele-

mente, wie Dreschtrumdrehzahl, Drehzahl des Lüfters der Reinigung, Drehzahl verschiedener Förderer, Körnerverlustmessung.

International hat sich im Mährescherbau die Regelung der Schnitthöhe, die Überwachung der Funktion der Maschine sowie der Betriebsparameter durchgesetzt, wobei die Regelung der Arbeitsbreite besonders in den letzten Jahren in zunehmendem Maß angewendet wird. Demgegenüber hat sich die Regelung des Gutflusses nicht durchgesetzt, obwohl die ersten technischen Lösungen schon in den 60er Jahren vorhanden waren [6]. Die Ursache für die Nichtanwendung der bisherigen Lösungen ist in der damit erreichten geringfügigen Leistungssteigerung zu suchen. Bei diesen Lösungen wurden als Eingangsgrößen zur Regelung des Durchsatzes verwendet:

- Höhe der Gutschicht auf der Aufnahmetrommel
- Höhe der Gutschicht im Schrägförderschacht
- Drehmoment an der Querförderschnecke
- Drehmoment an der Dreschtrummel
- Drehmoment an der Leittrommel
- Drehmoment des gesamten Schneidwerks
- Rückstellmoment am Dreschkorb.

Von diesen Größen werden eine oder mehrere genutzt, um die Fahrgeschwindigkeit zu verändern und damit den Durchsatz konstant zu halten. Andere Lösungen verwenden bei der Durchsatzregelung zusätzlich noch die Feuchtigkeit des Ernteguts. Unter Verwendung der Durchsatz-Verlust-Kennlinie kann nachgewiesen werden, daß eine Durchsatzregelung ohne Einbeziehung der Veränderung der Betriebsparameter der Arbeitselemente in Abhängigkeit von den Guteigenschaften kaum eine Leistungssteigerung erbringen kann. Die bisher vorliegenden Erkenntnisse über den Gesamtprozeß, die existierenden Meßprinzipie sowie technischen Einrichtungen reichen bisher nicht aus, um eine mehrparametrische Regelung so aufzubauen, daß ein wesentlicher Leistungsanstieg oder eine Verlustsenkung erreicht werden kann.

5. Schlußfolgerungen

Die ständige Erhöhung der Leistungsfähigkeit in der Mährescherentwicklung hat dazu geführt, daß der Mensch über einen längeren Zeitraum nicht mehr in der Lage ist, die installierte Leistung der Maschinen auszunutzen. Umfangreiche Untersuchungen weisen Auslastungen der installierten Leistungen von 60 bis 70 % nach. Die unzureichende Auslastung der Maschinen führt zur wesentlichen Erhöhung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs und zur Erhöhung der Ernteverluste insgesamt. Aufgrund des gegenwärtigen Stands von Wissenschaft und Technik beschränkt sich die Automatisierung des Mähreschers auf den Bereich der Prozeßüberwachung. Durch die schnelle Entwicklung der Mikroelektronik wird in zunehmendem Maß die Prozeßoptimierung an Bedeutung gewinnen. Dazu ist es notwendig, die bei der Optimierung der Arbeitselemente gewonnenen Ergebnisse für die Automatisierung der Gesamtmaschine nutzbar zu machen. Besonders kommt es darauf an, geeignete Größen mit Hilfe einer tiefgründigen Prozeßanalyse auszuwählen, dafür Meßverfahren festzulegen oder zu entwickeln und

sie als Führungsgrößen zur Prozeßautomatisierung einzusetzen:

Bei der Lösung dieser Problemstellung wird sich zeigen, daß es erforderlich ist, verschiedene Automatisierungskonzeptionen entsprechend dem zu realisierenden Prozeß unter Berücksichtigung des Entwicklungsstands von Wissenschaft und Technik zu entwickeln.

Insgesamt ergeben sich für die Automatisierungskonzeptionen bei Mähdreschern folgende Anforderungen:

- Durch die Automatisierung des Mähdreschers ist eine Verlustsenkung sowie eine Energie- und Materialeinsparung im gesamten Ernteprozess zu erreichen.
- Die Automatisierungskonzeptionen sind

so aufzubauen, daß die Zuverlässigkeit der Gesamtmaschine erhöht wird.

- Die Ökonomie des gesamten Ernteverfahrens ist spürbar zu verbessern.
- Der subjektive Einfluß des Menschen auf den Gesamtprozess ist weitestgehend auszuschalten, es sind ihm Überwachungsfunktionen zu übertragen.
- Beim Ausfall der Automatisierungstechnik muß es möglich sein, die Maschine auch ohne Regelung bzw. Steuerung fahren zu können.

Literatur

- [1] Reinisch, K.: Kybernetische Grundlagen und Beschreibung kontinuierlicher Systeme. Berlin: VEB Verlag Technik 1974.

- [2] Töpfer, H.; Rudert, R.: Einführung in die Automatisierungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1976.
- [3] Brack, G.; Martens, H. D.: Prozeßautomatisierung. Berlin: VEB Verlag Technik 1974.
- [4] Lohse, G.; Feiffer, P.: Zur Variabilität der Dreschwerksverluste in Abhängigkeit von der Höhe der Verlustvorgaben. agrartechnik, Berlin 32 (1982) 7, S. 313-314.
- [5] Algenstaedt, K.; Feiffer, P.; Lohse, G.; von Ardenne, M.; von Ardenne, A.: Leistungsabhängige Einstellung der Mähdrescher - ein Beitrag zur höheren Auslastung des Leistungspotentials. agrartechnik, Berlin 30 (1980) 7, S. 291-294.
- [6] Šepovalov, B. B.: Automatizacija uboročnych procesov (Automatisierung der Ernteprozesse). Moskau: Verlag Kolos 1978.

A 3932

Theoretische Untersuchungen zur Ermittlung der Schüttlerverluste am Hordenschüttler

Dipl.-Ing. S. Zwiebel, KDT

1. Problemstellung

Ein Beitrag zur Lösung der Aufgabe, den Getreidebedarf weitgehend aus eigenem Aufkommen zu decken, kann u. a. durch die Senkung der Ernteverluste erbracht werden.

Eine Voraussetzung für eine optimale Steuerung des Ernteprozesses und damit zur Senkung der Verluste ist die Kenntnis der Durchsatz-Verlust-Kennlinien des Mähdreschers. Die Durchsatz-Schüttlerverlust-Kennlinie ist eine wesentliche Kenngröße zur Steuerung des Mähdreschers. Zur Ermittlung der Schüttlerverluste werden aus diesem Grund verbesserte Verlustmeßeinrichtungen gefertigt.

Die angebotenen Verlustmeßeinrichtungen schließen aus der aus dem Stroh auf eine Meßeinrichtung fallenden Körneranzahl (Signalstrom) auf einen Wert für die noch im Stroh verbleibenden Kornmengen (Schüttlerverluste).

Die Verlustmeßeinrichtungen müssen für die jeweiligen Bedingungen kalibriert werden. Lösungsvorschläge [1, 2] zu Verlustmeßeinrichtungen, die ohne erneutes Kalibrieren für beliebige Bedingungen einsetzbar sind, wurden bisher nicht realisiert, da keine Untersuchungen zum Gültigkeitsbereich der Aussagen bekannt sind.

Die Lösungsvorschläge [1, 2] gehen davon aus, daß zwei Meßwerte für die abgeschiedene Kornmenge über der Schüttlerlänge zur Berechnung der Schüttlerverluste verwendet werden.

Eine theoretische Klärung des Problems, ob aus mehreren Meßwerten der Kornabscheidung die Schüttlerverluste ohne Kalibrierverfahren zu bestimmen sind, ist auf der Grundlage der Darstellung der Zusammenhänge zwischen den am Hordenschüttler auftretenden Körnerströmen herbeizuführen.

2. Darstellung der Zusammenhänge zwischen den am Hordenschüttler auftretenden Körnerströmen

2.1. Allgemeines

Für die Beschreibung der Zusammenhänge der ausgedroschenen Körnerströme am Hor-

denschüttler wird ein kontinuierlicher Prozeß vorausgesetzt. Der Schüttler hat eine konstante Breite b . Der Prozeß soll im Zeitintervall Δt betrachtet werden. Dem Hordenschüttler wird von der Dreschtrummel ein Strohgemisch mit einem bestimmten Anteil ausgedroschener Körner y_0 zugeführt (Bild 1). Über die Koordinate x_1 des Schüttlers wird die Körnermenge y_1 mit dem Stroh auf dem Schüttler transportiert. Über die Koordinate x_2 hinweg wird die Körnermenge y_2 mit dem Stroh auf dem Schüttler transportiert. Die Differenz der Körnermengen

$$\Delta y = y_1 - y_2$$

fällt auf dem Längenabschnitt

$$\Delta x = x_1 - x_2$$

durch den Schüttler.

Die über den Schüttler an jeder beliebigen Schüttlerkoordinate x_i mit dem Stroh transportierte Körnermenge y_i wird durch die Körnerrestfunktion $y = f(x)$ beschrieben.

Durch die Kornabscheidefunktion $y' = f(x)$ wird die durch jeden beliebigen Schüttlerabschnitt Δx_i fallende Körnermenge Δy_i in folgender Form dargestellt:

$$y' = \frac{\Delta y_i}{\Delta x_i}$$

Die Kornabscheideverluste des Hordenschüttlers entsprechen der über die Koordinate x_E des Schüttlerendes mit dem Stroh transportierten Körnermenge y_E (s. Körnerrestfunktion, Bild 1). Die auf ein am Schüttlerende angebrachtes Verlustmeßgerät (VM) fallende Körnermenge Δy_{VM} , dividiert durch die Abmessung des Verlustmeßgeräts Δx_{VM} , entspricht dem letzten meßbaren Wert der Kornabscheidefunktion:

$$y'_{VM} = \frac{\Delta y_{VM}}{\Delta x_{VM}}$$

Im Bild 2 sind für einen realen Abscheideprozeß die Körnerrestfunktion y und die Kornabscheidefunktion y' in einem Diagramm in einfacher logarithmischer Teilung dargestellt.

Wird bei der Beschreibung der Zusammenhänge zwischen der Körnerrestfunktion und der Kornabscheidefunktion von der Differenz Δ zum Differential d übergegangen, so

gilt für die Körnerrestfunktion $y = f(x)$ und für die Kornabscheidefunktion $y' = dy/dx = f'(x)$.

Aussagen zu den Kornabscheideverlusten y_E am Hordenschüttler sind nur bei Kenntnis von Werten der Körnerrestfunktion zu treffen (Bild 1).

Allein aus Informationen zur Kornabscheidefunktion y' kann nicht auf die Körnerrestfunktion und damit auch nicht auf die Kornabscheideverluste geschlossen werden.

Aus der Ableitung $y' = f'(x)$ einer Funktion $y = f(x)$ kann nur die spezielle Funktion $y = f(x)$ gefunden werden, wenn ein Funktionswert für y zur Bestimmung der Integrationskonstanten angegeben werden kann.

Zu einer Funktion $y' = f'(x)$ existieren unendlich viele parallele Funktionen $y = f(x)$, die sich nur durch die Integrationskonstante und damit auch durch die Körnerverluste unterscheiden.

2.2. Betrachtungen zu einem speziellen Funktionstyp zur Beschreibung der Körnerströme am Hordenschüttler

Zur näherungsweise Beschreibung der Körnerrestfunktion y wird allgemein die nachfolgende Funktion verwendet:

$$y = e^{a + bx} \quad (1)$$

Diese Funktion wird auch sonst in der Technik häufig genutzt (Newtonsches Abkühlungsgesetz, Gesetz des organischen Wachstums).

Aus der o. g. Körnerrestfunktion (1) ist die Kornabscheidefunktion abzuleiten:

$$y' = f'(x) = dy/dx$$
$$y' = b e^{a + bx} \quad (2)$$

Für die nachgenannten Randbedingungen, die willkürlich gewählt sind, ist die Integrationskonstante gleich Null:

- $x \rightarrow \alpha$, Schüttlerlänge $\rightarrow \alpha$
- $y \rightarrow 0$, Körnerrest $\rightarrow 0$.

Durch Integration der Kornabscheidefunktion $y' = f'(x)$ ist damit die Körnerrestfunktion $y = f(x)$ wieder festgelegt. (Im realen Prozeß kann bei einem endlichen Wert für x der Körnerrest bereits Null sein).

Durch Einsetzen der Gl. (1) in Gl. (2) erhält