

# Meßprinzip und Meßverfahren zur Ermittlung des momentanen Korndurchsatzes im Mähdrescher

Dipl.-Ing. R. Heidemann, KDT/Dipl.-Ing. G. Stolpe

Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

## Verwendete Formelzeichen

A	Gesamtfläche der Kornaustrittsöffnung des Sensors
$A_m$	beim Durchsatz $\dot{m}$ vom Kornstrom ausgefüllte Teilfläche der Kornaustrittsöffnung
b	Breite der Kornaustrittsöffnung
l	Massestromdichte
k	Anstieg der Durchsatzkennlinie des Sensors
l	Gesamtlänge der Kornaustrittsöffnung
$l_m$	beim Durchsatz $\dot{m}$ vom Kornstrom beanspruchte Teillänge der zur Verfügung stehenden Länge l
$l_{m_i}$	Teillänge beim Korndurchsatz $\dot{m}_i$
$\Delta l$	Schrittweite
$\Delta l_i$	Anzahl der Schrittweiten im Moment $t_i$
$\Delta l_k$	k-te Wiederholungsmessung von $\Delta l_i$
$\Delta l_1$	1. Wiederholungsmessung von $\Delta l_i$
m	Kornmasse
$\dot{m}$	Korndurchsatz
$m_{\text{Müll}}$	Kornmasse im Meßbunker nach der Zeit $t_{\text{Müll}}$
$\dot{m}_0$	absolutes Glied der Durchsatzkennlinie des Sensors
$\dot{m}_{\text{vergl}}$	mit Hilfe von Stoppuhr und Präzisionswaage ermittelter Vergleichswert für den Korndurchsatz
$\Delta \dot{m}$	Durchsatzquant je Schrittweite
n	Anzahl der Schrittweiten
$n_i$	Anzahl der Schrittweiten beim Korndurchsatz $\dot{m}_i$
t	Zeit
$t_i$	Zeitpunkt $i$
$t_{\text{Müll}}$	Befülldauer des Meßbunkers
$\psi$	Kornfeuchte
$\rho$	Dichte

## 1. Aufgabenstellung

Mit der Messung des Korndurchsatzes im Mähdrescher werden folgende Ziele verfolgt:

- den Meßwert des Korndurchsatzes für Aufgaben zur Prozeßoptimierung und -regelung zu nutzen
- die Bewertung des Verlustmeßwerts durch Bildung eines auf den Korndurchsatz bezogenen Verlustwerts zu qualifizieren

- den auf den Korndurchsatz bezogenen DK-Verbrauch zu errechnen
- die Leistung einzelner Mähdrescher einzuschätzen
- die geernteten Kornmengen zu erfassen und abzurechnen
- die Meßwerte für betriebswirtschaftliche Zwecke zu nutzen.

## 2. Meßprinzip

Das Prinzip der Korndurchsatzmessung basiert auf der Messung der Massestromdichte. Bei der gewählten Anordnung ist das Maß für die jeweilige Massestromdichte derjenige Teil einer Kornstromaustrittsöffnung, der je Zeiteinheit vom Kornstrom ausgefüllt wird. Die Ermittlung der Größe dieser Teilfläche wird auf eine Längenmessung zurückgeführt (Bild 1).

Das Meßverfahren beruht auf der indirekten, berührungslosen Messung des momentanen Korndurchsatzes beim Mähdrescher. Voraussetzung für die Anwendbarkeit eines derartigen Meßverfahrens ist das Vorhandensein eines in kompakter Form vorliegenden Kornstroms. Aus dieser Bedingung folgt, daß für die Wahl des Meßortes nur der Bereich zwischen Kornbunker und Kornschnecke am Boden der Erntemaschine in Betracht gezogen werden kann.

Bei der Ermittlung des momentanen Korndurchsatzes und daraus resultierend der geernteten Kornmasse wird von folgenden Überlegungen ausgegangen:

Das realisierte Verfahren der berührungslosen Messung ohne mechanisch bewegte Teile setzt voraus, daß der Kornstrom als Schüttgutstrom in kompakter Form vorliegt. Das ist gleichbedeutend mit der Forderung nach einer Dämpfung der Gulpulsationen, die aufgrund des Prinzips der Schneckenförderung auftreten. Daher befindet sich am abgabeseitigen Ende einer Förderschnecke,

z. B. innerhalb einer Übergabestelle, ein dem Mantel der Schnecke angepaßter Speicherraum, in dem sich das aus der Förderschnecke austretende Schüttgut staut. Neben der Dämpfung der Pulsationen des Schüttgutstroms wird so gleichzeitig eine Verdichtung des Schüttgutes erreicht. Auf diese Weise entsteht ein kompakter Kornstrom.

Der Speicherraum ist mit einer rechteckigen Austrittsöffnung versehen, mit deren Hilfe der Kornstrom in einer für die Meßwertgewinnung günstigen Weise formiert wird. Diese Öffnung mit der Breite b und der Länge l wird entsprechend dem jeweiligen Momentanwert der Massestromdichte (Massestromintensität) l des Gutstroms teilweise von diesem ausgefüllt.

Die Massestromdichte l ist definiert als Quotient aus Massedurchsatz und Fläche:

$$l = m / (t A_m) \quad (1)$$

Die Teilfläche  $A_m$  sei folgendermaßen definiert:

$$A_m = b l_m \quad (2)$$

Unter Berücksichtigung der Gln. (1) und (2) ergibt sich für den gesuchten Massestrom (Massedurchsatz):

$$\dot{m} = m/t = l A_m = l b l_m \quad (3)$$

Die Änderung des Transportvolumens des Kornstroms erscheint in der Austrittsöffnung des Speicherraumes als eine Längenänderung. Der Wert von  $l_m$  entspricht dem jeweiligen Momentanwert des Korndurchsatzes  $\dot{m}$ .

Die vom Kornstrom benötigte Teillänge  $l_m$  wird diskret mit der Schrittweite  $\Delta l$  abgetastet. Die Anzahl der  $l_{m_i}$  entsprechenden Schrittweiten sei  $n_i$ .

Die Größe  $n_i$  stellt den dem Korndurchsatz  $\dot{m}_i$  proportionalen Meßwert dar und wird vom Sensor in rechnergerechter Form an einen Bordcomputer übergeben. Im Bordcomputer sind zuvor ermittelte parameterabhängige Kalibrierkurven, z. B. in Form von Regressionskoeffizienten, gespeichert, die den Zusammenhang zwischen Korndurchsatz  $\dot{m}$  und Meßwert n beschreiben. Nach Auswahl einer entsprechenden Kalibrierkurve wird im Bordcomputer aus dem Meßwert  $n_i$  der zugehörige Wert des Korndurchsatzes errechnet:

$$\dot{m}_i = k n_i + \dot{m}_0(n_i) \quad (4)$$

$k = f_1$  (Gutart, Kornfeuchte, Massedichte)  
 $\dot{m}_0(n_i) = f_2$  (Gutart, Kornfeuchte, Massedichte).

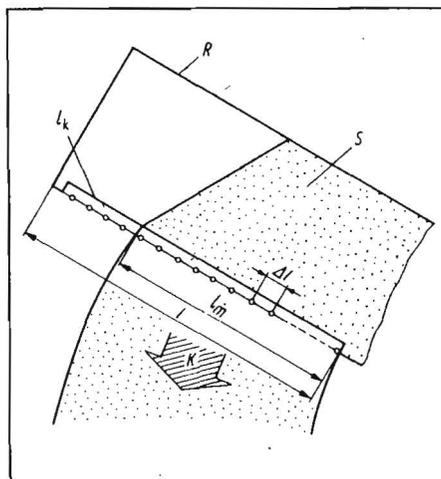
Für kleine Werte von  $n_i$  wird  $\dot{m}_0(n_i) = 0$  (Approximation).

Das gewählte Prinzip der Korndurchsatzmessung wird mit Gl. (3) vollständig beschrieben. Die rechte Seite der Gleichung verdeutlicht die Arbeitsweise des Sensors, die linke Seite stellt den Bezug zum eigentlichen Durchsatz als Quotienten aus Kornmasse und Meßzeit dar.

Die Sensorelektronik befindet sich in einem separaten, in sich geschlossenen Gehäuse,

Bild 1. Prinzip des Sensoraufbaus (Schnittdarstellung in Arbeitslage);

$l_k$  sichtbare Kante der Austrittsöffnung, K Kornstrom, R Rohraufsatz zu einer Förderschnecke, S Speicherraum



Fortsetzung von Seite 450

- scher). Journal of Agric. Eng. Res., London (1982) 27, S. 537-552.
- [6] Algenstaedt, K.-P., u. a.: Zu einigen Aspekten der Ernteoptimierung 1986. Getreidewirtschaft, Berlin 20 (1986) 5/6, S. 124-125.
- [7] Algenstaedt, K.-P., u. a.: Die 85er Erntestrategie hat sich bewährt. Getreidewirtschaft, Berlin 20 (1986) 1, S. 15-17.
- [8] Bernhardt, G.: Grundsätzliche Überlegungen zu Automatisierungskonzeptionen für Mähdrescher. agrartechnik, Berlin 34 (1984) 1, S. 23-26.
- [9] Algenstaedt, K.-P.; Feiffer, P.; Schmidt, M.: Einfluß der Erntezeit auf die Gesamtverluste im Ernte-prozeß. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Berlin (1984) Tagungsbericht 219, S. 211-227.
- [10] Regge, H.: Erweiterung und Vertiefung der wissenschaftlichen Grundlagen des Entkörnens und Korn-Stroh-Trennens von Getreidekulturen mittels Schlagleisten-Drescheinrichtungen - ein Beitrag zur weiteren Vervollkommnung des Hochleistungsmähdreschers konventioneller Bauart. Technische Universität Dresden, Dissertation B 1984. A 4770

das unmittelbar mit der Austrittsöffnung des Rohraufsatzes verbunden ist.

In der Sensorelektronik (Bild 2) sind folgende wesentliche Funktionsgruppen enthalten:

- Taktzubereitung  
Aus einem extern (vom Bordcomputer) zugeführten Grundtakt wird ein Mehrphasentakt abgeleitet.
- Frequenzdiskriminator  
Mit dieser Schaltungsanordnung wird der Zustand der einzeln abgetasteten Sensorelemente ausgewertet.
- Steuerlogik  
Für den sensorinternen Arbeitsablauf (Betriebsartensteuerung, Meßbereichsüberwachung, Kornstromkantenerkennung, Zählimpulszubereitung, Übernahmeimpuls-generierung).

### 3. Laboruntersuchungen

Die Kalibrierkurven, die den Zusammenhang zwischen Korndurchsatz  $\dot{m}$  und Meßwert  $n$  beschreiben, wurden im Labor ermittelt. Der Prüfstands-aufbau bestand aus einem geschlossenen Gutkreislauf, der eine stufenlose Einstellung konstanter Korndurchsätze im Bereich von 0,4 bis 7 kg/s ermöglichte (Bild 3).

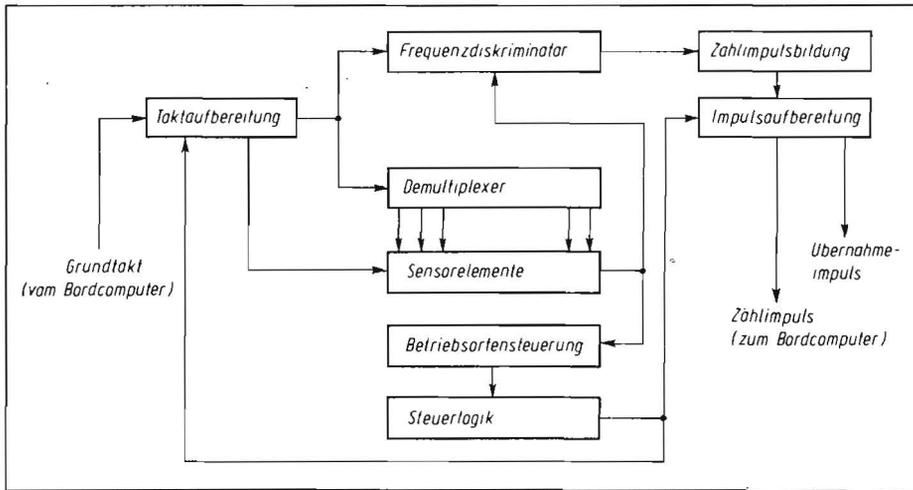
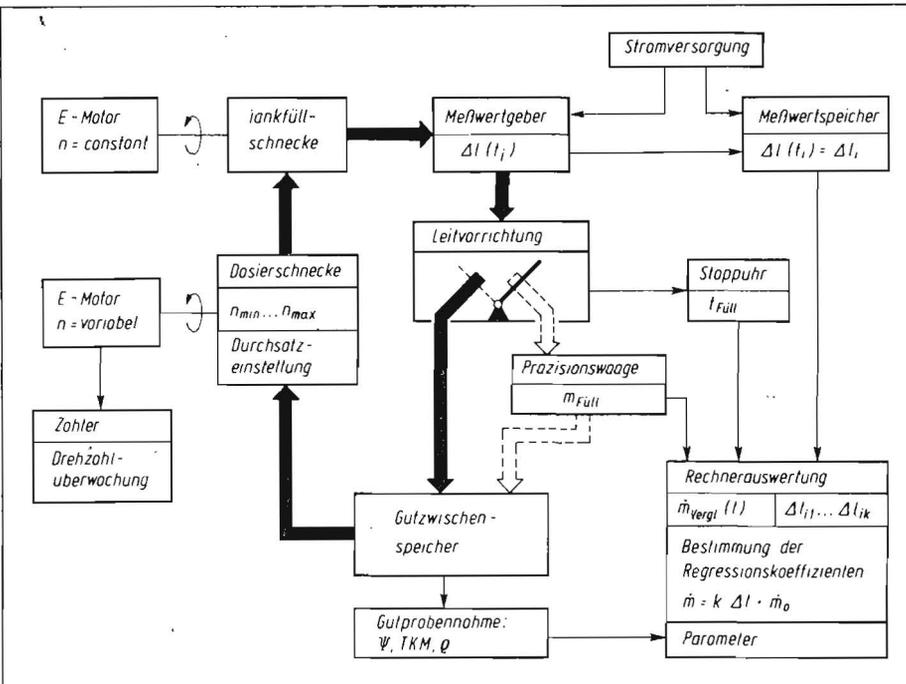


Bild 2. Prinzipschema der Sensorelektronik mit den wesentlichsten Baugruppen

Bild 3. Prinzipschema des Prüfstands-aufbaus zur Aufnahme der Sensor-Durchsatzkennlinien (Pfeile geben die Richtung des Gutstroms an)



Neben der Kennlinienaufnahme erfolgten unter Prüfstandsbedingungen auch Untersuchungen zur Klärung des Einflusses der Parameter Hangneigung, Kornfeuchte und Massedichte (bzw. TKM) auf die Meßgröße Korndurchsatz  $\dot{m}$ . Eine der Schwierigkeiten dieser Untersuchungen bestand darin, daß die Parameter Kornfeuchte und Massedichte nicht frei wählbar sind. Deshalb mußte sich die Versuchsdurchführung auf den jeweils während einer Erntekampagne anzutreffenden Wertebereich dieser Parameter beschränken. Für die Erntekampagne 1985 wurden folgende Wertebereiche ermittelt:

Kornfeuchte 14 bis 21 %  
Massedichte 698 bis 785 g/l  
TKM 31,0 bis 36,9 g.

Durch lineare Regression wurde aus 12 verschiedenen Gutproben eine verallgemeinerte Kennlinie ermittelt (Gutart Roggen), die ein Konfidenzintervall von  $\Delta \dot{m} = \pm 33 \text{ g/s}$  ( $\cong \pm 0,8\%$ ) bezogen auf einen Meßbereichsendwert von 4,0 kg/s (Korn) aufwies. Unter Prüfstandsbedingungen war eine Simulation der Hangneigung im Bereich von  $\pm 18\%$  zur Horizontalen möglich. Damit war eine Erhöhung der relativen Abweichung auf

7,5% nachweisbar. Unter der Voraussetzung einer meßtechnischen Überwachung der Neigung der Erntemaschine läßt sich diese Abweichung mit Mitteln der Rechentechnik kompensieren.

### 4. Felduntersuchungen

Die Felderprobung des Sensors hatte das Ziel, die Eignung des gewählten Meßprinzips für den mobilen Feldeinsatz nachzuweisen. Ein weiterer Aspekt war die Beurteilung des Meßverfahrens zur Bestimmung der geernteten Kornmenge anhand der momentanen Korndurchsatzmeßwerte, die vom Sensor ermittelt werden. Bei dem untersuchten Prinzipmuster des Sensors für die Ermittlung des momentanen Korndurchsatzes wurde eine Austrittsöffnung mit einer Breite von 80 mm und einer nutzbaren Meßlänge von 125 mm realisiert. Es wurden Strahlschranken eingesetzt. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß allein die Wahl der Meßlänge  $l$  (bei gegebener Fläche  $A$  der Kornaustrittsöffnung) die mit den derzeit verfügbaren optoelektronischen Bauelementen erreichbare obere Grenze der Auflösung des Sensors bestimmt.

Dabei ist immer ein Kompromiß zwischen der gewünschten Auflösung, dem damit verbundenen meßtechnischen Aufwand und den Kosten einzugehen.

Die dem Korndurchsatz proportionalen Meßwerte  $n$ , wurden während der einzelnen Meßfahrten in einem speziell für diese Aufgabe entwickelten und gebauten Meßcomputer gespeichert und später auf Magnetband übernommen. Die je Meßfahrt gewonnenen Werte wurden in Teilkornmassen umgerechnet und fortlaufend addiert. Vergleichsgröße für die auf diese Weise errechnete Gesamtkornmasse war die tatsächlich während der Meßfahrt in den Bunker gelangte Kornmasse, die unmittelbar nach Beendigung jeder Meßfahrt mit einem nach dem Prinzip der hydraulischen Kraftmessung arbeitenden Wägebunker direkt auf dem Feld bestimmt wurde (Meßgenauigkeit  $\pm 0,4\%$ ).

Die Auswertung der Felderprobung erbrachte das Ergebnis, daß unmittelbar auf dem Feld eine Kornmassebestimmung mit Hilfe des untersuchten Sensors für den Korndurchsatz und damit eine direkte Beurteilung der von den einzelnen Mähdreschern erzielten individuellen Leistungen möglich ist.

Zwei Prinzipmuster der Sensoren waren unter Prüfstandsbedingungen insgesamt je 600 h ohne Ausfälle im Einsatz. Ein weiteres Muster arbeitete insgesamt 300 h ausfallfrei in der mobilen Felderprobung.

### 5. Zusammenfassung

Es wird das Prinzipmuster eines Sensors zur Messung des momentanen Korndurchsatzes im Mähdrescher vorgestellt. In Verbindung mit der Verrechnung der Korndurchsatzmeßwerte in einem Bordcomputer zusammen mit dem DK-Verbrauch und den Kornverlusten wird eine durchsatzoptimale (Produktivität der Erntemaschine) bzw. energieoptimale Fahrweise möglich.

Neben der Möglichkeit, die Verluste auf den tatsächlichen Korndurchsatz beziehen zu können, wird durch die kumulative Erfassung der geernteten Kornmenge aus den Durchsatzmeßwerten eine Leistungseinschätzung der einzelnen Mähdrescher möglich.