

Zur Kornverlustmessung am Strohschüttler von Mähreschern

Dr. agr. S. Asyo/Dr.-Ing. K.-H. Fleischmann, KDT/Prof. Dr. sc. agr. G. Kühn, KDT
Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion

1. Problemstellung

Die bekannten und seit mehreren Jahren serienmäßig angewendeten Kornverlustmeßgeräte entsprechen nur bedingt den Anforderungen einer Prozeßoptimierung des Mähreschers. Vor allem grundlegende meßprinzipbedingte Probleme der Meßunsicherheit und des damit verbundenen Kalibrierungsaufwands fordern die Suche nach neuen Meßprinzipien heraus. Einen Lösungsansatz zur Verbesserung der Meßgenauigkeit bietet die Einbeziehung von Informationen über die Kornabscheidefunktion des verlustverursachenden Abscheideorgans in die Bildung des Meßergebnisses [1, 2, 3]. Die Überlegungen haben das Ziel, die Kornverluste auf der Grundlage experimentell ermittelter Kornabscheidefunktionen des Abscheideorgans berechenbar zu machen. Dabei darf allerdings nicht übersehen werden, daß eine solche Vorgehensweise ebenso wie bei den bekannten Verlustmeßgeräten auf ein indirektes Meßverfahren hinausläuft, dessen Meßgenauigkeit von der Modellgüte und den Möglichkeiten der Bestimmung der erforderlichen Modellparameter abhängt.

Für die Berechnung der Kornverluste am Strohschüttler auf der Grundlage eines exponentiellen Abscheidemodells liegen erfolgversprechende Versuchsergebnisse aus Laboruntersuchungen vor. Gegenstand der vorliegenden Arbeit war die experimentelle Untersuchung der interessierenden Zusammenhänge an einem Serienmährescher unter Einsatzbedingungen auf dem Feld. Da infolge der Fallstufen eines Hordenschüttlers kein streng monotonen Verlauf der Kornabscheidefunktion zu erwarten ist, war als weitere Versuchsfrage zu klären, an welchen Stellen der Schüttlerhorde die Kornabscheidung zu messen ist, um die Abscheidefunktion zur Kornverlustberechnung möglichst sicher zu erfassen.

2. Theoretische Zusammenhänge

Dem Hordenschüttler wird ein bestimmter, als Anfangskornmasse m_0 bezeichneter Anteil der ausgedroschenen Körner mit dem Stroh zugeführt. Beim Transport des aufgegebenen Gemenges über die Schüttlerlänge l_a wird eine bestimmte Körnermasse abgeschieden. Der Kornabscheidelaufgang kann zunächst als kontinuierlicher Vorgang betrachtet werden, der mit wachsender Abscheidelänge abklingt. Die an einer beliebigen Stelle des Schüttlers im Stroh vorhandene Kornmasse wird durch die folgende Kornrestfunktion beschrieben (Bild 1):

$$m_R = m_0 - \int m_A dl \quad (1)$$

Die entlang dem Schüttler abgeschiedene Kornmasse ist durch die Kornabscheidefunktion m_A als Ableitung der Kornrestfunktion nach der Schüttlerlänge gegeben:

$$m_A = \frac{dm_R}{dl} = -m_A \quad (2)$$

Bei Vorhandensein eines adäquaten mathematischen Modells für die Kornabscheide-

funktion, das sich durch Erfassen der Kornabscheidung über die Länge des Abscheideorgans finden läßt, kann somit der Kornrest berechnet werden. Bezogen auf das Ende der Abscheidestrecke (Schüttlerende) entspricht die Kornrestmasse dem Schüttlerverlust. Der Funktionsvollzug des Hordenschüttlers berechtigt zu der Annahme, daß die Intensität der Kornabscheidung an einer betrachteten Stelle zu der an der betreffenden Stelle jeweils vorhandenen abscheidbaren Kornmasse proportional ist. Damit ergibt sich für die Kornabscheidefunktion ein exponentielles Modell. Zu beachten ist, daß die Beschreibung realer Prozesse mit Hilfe determinierter mathematischer Funktionen zu meist unvollkommen sein wird. Letztendlich kommt es darauf an, abzuschätzen, ob das gewählte Modell den Sachverhalt hinreichend genau widerspiegelt. Zum vorliegenden Problem wurden bei Laboruntersuchungen auf der Grundlage eines experimentellen Modells mehrfach gute Übereinstimmungen erzielt [4, 5, 6].

Für exponentielle Modelle zur Berechnung der Schüttlerverluste m_v sind verschiedene Schreibweisen zu finden. Bestimmte Vorteile bietet die folgende Form [2]:

$$m_v = m_0 - \exp(-l/L) \quad (3)$$

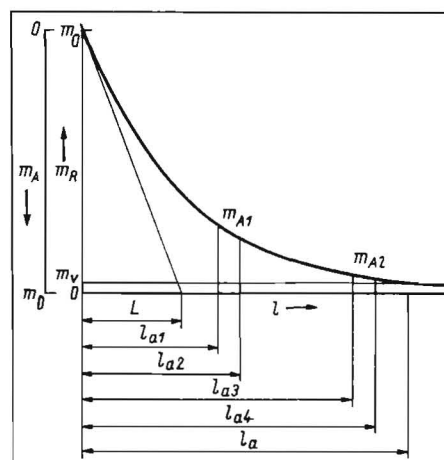
Unbekannte Größen sind die Anfangskornmasse m_0 und die als Längenkonstante bezeichnete Größe L im Exponenten der Gleichung. Sie lassen sich aus zwei Meßwerten der Kornabscheidung (vgl. Bild 1) bestimmen.

Die Division beider Meßwerte führt zu einem Abscheidequotienten Q , der eine Funktion der Längenkonstante ist:

$$Q(L) = \frac{m_{A2}}{m_{A1}} \quad (4a)$$

$$0 < Q(L) < 1.$$

Bild 1. Kornrest m_R und Kornabscheidung m_A in Abhängigkeit von der Abscheidelänge l ; m_0 Anfangskornmasse, m_v Kornverlustmasse, l_a Schüttlerlänge, L Längenkonstante



Durch Einsetzen von zwei Meßwerten der abgeschiedenen Kornmasse bei bekannter Meßstellenanordnung kann die Längenkonstante iterativ ermittelt werden:

$$Q(L) = \frac{\exp(-l_{a3}/L) - \exp(-l_{a4}/L)}{\exp(-l_{a1}/L) - \exp(-l_{a2}/L)} \quad (4b)$$

Mit der Längenkonstante und einem Meßwert ergibt sich die Anfangskornmasse zu

$$m_0 = \frac{m_{A2}}{\exp(-l_{a3}/L) - \exp(-l_{a4}/L)} \quad (5)$$

Durch Einsetzen von Gl. (5) in Gl. (3) ergeben sich die berechneten Schüttlerverluste m_{vb} zu

$$m_{vb} = m_{A2} \frac{\exp(-l_a/L)}{\exp(-l_{a3}/L) - \exp(-l_{a4}/L)} \quad (6)$$

3. Experimentelle Untersuchungen

3.1. Versuchseinrichtung

Für die Untersuchungen [6] wurde ein Mährescher E512 verwendet. Zur Erfassung der Kornabscheidung wurde die in Fahrtrichtung linksseitig zur Maschinenmitte angeordnete mittlere Schüttlerhorde vorbereitet. Der erste Schüttlerabschnitt mit einer Länge von 1680 mm wurde nicht einbezogen, um Störeinflüsse im Übergabebereich von der Dreschtrummel auszuschließen. Beginnend mit der zweiten Fallstufe wurde die Schüttlerhorde in 10 nahezu gleichlange Abschnitte unterteilt (Bild 2). Die in den einzelnen Hordenabschnitten abgeschiedenen Körner wurden durch Öffnungen im Hordenboden und Führungselemente in entsprechende Auffangbehälter geleitet.

Am Ende der Horde war eine zusätzliche elfte Auffangstelle angebracht, die eine gleiche Auffangfläche aufwies, wie ein Meßfühler eines herkömmlichen Verlustmeßgeräts. Der Messung an nur einer Schüttlerhorde wurde durch die Wahl geeigneter Versuchsbedingungen (gleichmäßige Bestandsbedingungen, ebene Versuchsflächen) Rechnung getragen. Die der Versuchsstrecke zugeordneten tatsächlichen Schüttlerverluste wurden über eine 20 m lange Rollplane unter dem Strohauslauf des Mähreschers erfaßt (vgl. Bild 2).

3.2. Versuchsparameter

Als bestimmende Einflußgrößen auf den Dreschprozeß hinsichtlich von Auswirkungen auf die Meßunsicherheit indirekter Kornverlustmeßverfahren wurden die Getreideart, der Durchsatz, die Dreschtrummeldrehzahl und die Dreschspaltweite angenommen. Dementsprechend wurden die Versuche mit den Getreidearten Roggen, Sommergerste und Winterweizen bei Durchsätzen von 3,0 bis 8,5 kg/s (Gesamtmasse) durchgeführt. Weitere Einflußgrößen von seiten des Dreschgutes, wie Strohanteil, Korn- und Strohfeuchte, konnten aus versuchs-technischen Gründen nicht systematisch variiert

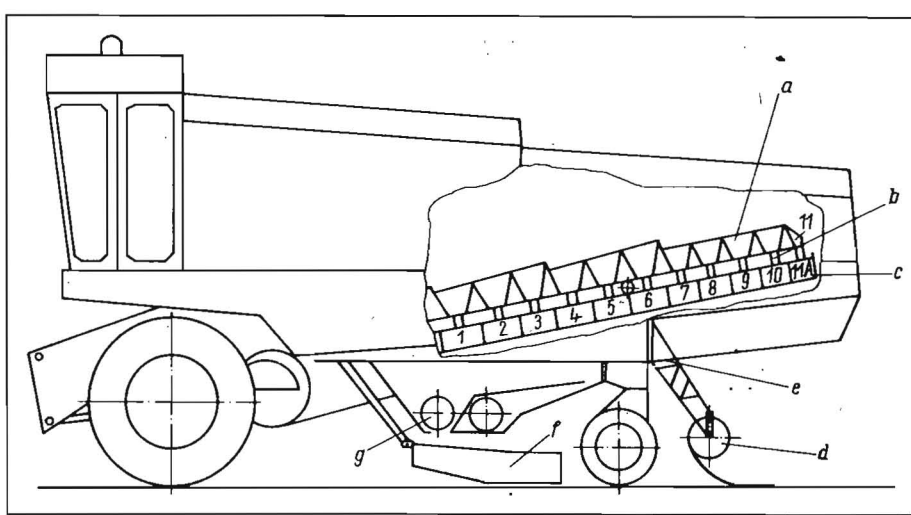


Bild 2. Versuchsanordnung;
a Hordenschüttler, b Fallschacht, c Auffangbehälter (1 bis 11), d Rollplane, e Abschirmung, f Auf-
fangmulde, g Körnerschnecke

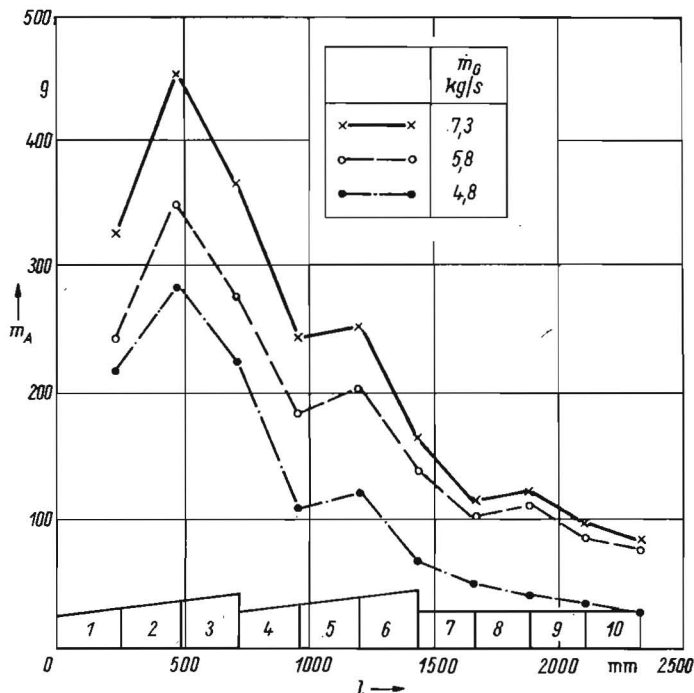


Bild 3
Abgeschiedene Korn-
masse m_A in den einzel-
nen Schüttlerabschnit-
ten in Abhängigkeit
von der Abscheide-
länge l (Sommerger-
 m_c Gesamtdurchsatz

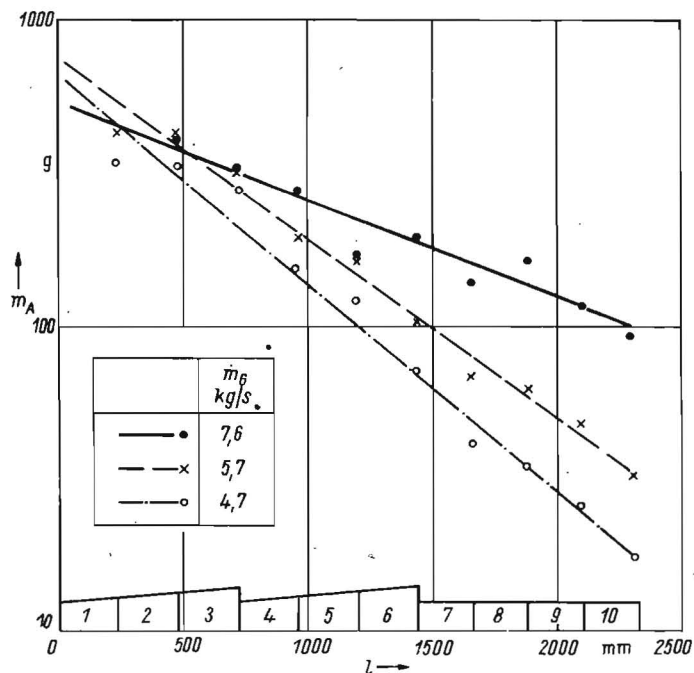


Bild 4
Abgeschiedene Korn-
masse m_A in einzelnen
Schüttlerabschnitten in
Abhängigkeit von der
Schüttlerlänge l (Wint-
erweizen);
 m_c Gesamtdurchsatz

werden. Sie gingen mit den natürlichen Schwankungsbereichen, wie sie für eine durchschnittliche Erntekampagne in den mittleren Bezirken der DDR zu erwarten sind, in die Versuche ein.

Die Einstellparameter der übrigen Arbeitsorgane des Mähreschers wurden entsprechend den Erfordernissen der jeweiligen Erntebedingungen gewählt.

4. Versuchsauswertung

4.1. Abscheidecharakteristik

Die Abhängigkeit der Kornabscheidung von der Schüttlerlänge macht deutlich, daß der Abscheidvorgang mit zunehmender Abscheidelänge abklingt (Bild 3). Bei dem verwendeten Hordenschüttler mit Fallstufen ist zugleich eine bestimmte periodische Schwankung im Abscheideverlauf zu erkennen. Unmittelbar hinter einer Fallstufe ist die Abscheideintensität gering, in der Mitte zwischen zwei Fallstufen erreicht sie zumeist ein Maximum, um zum Ende jeder Fallstufe in der Tendenz wieder abzunehmen. Der Rückgang der Kornabscheidung unmittelbar hinter einer Fallstufe erklärt sich aus der Gutbewegung. Er dürfte bezüglich der Optimierung der Größe und der Anordnung der Meßfühler von Kornverlustmeßgeräten von Interesse sein, zumal das Ende der Schüttlerhorde als Fallstufe aufgefaßt werden kann.

Wird ein exponentieller Verlauf der Kornabscheidungsfunktion vorausgesetzt, muß sich die Kornabscheidung in Abhängigkeit von der Abscheidelänge im halblogarithmischen Koordinatensystem durch Geraden darstellen lassen (Bild 4). Entsprechende Geradengleichungen wurden mit den Logarithmen der Meßwerte durch lineare Regression bestimmt. Auffallend sind die Änderung des Geradenanstiegs in Abhängigkeit vom Durchsatz und die geringe Reststreuung, die die Abweichung der einzelnen transformierten Meßwerte von der Regressionsgeraden beschreibt und die Eignung eines exponentiellen Modells bestätigt.

4.2. Verlustberechnung

Die Schüttlerverluste m_{vb} wurden zunächst aus zwei rücktransformierten Modellwerten der Regressionsgleichungen für den Kornabscheidungsverlauf mit Hilfe der Gln. (4) und (6) berechnet. Zur Charakterisierung des Zusammenhangs zwischen den berechneten Verlusten und den gemessenen Verlusten diente das Bestimmtheitsmaß B . Für Roggen wurde mit $B = 0,95$ eine recht gute Übereinstimmung dieser Werte nachgewiesen. Für Winterweizen und Sommergerste wurden Werte von $B = 0,77$ und $B = 0,76$ erreicht.

Zum Auffinden einer günstigen Meßstellenanordnung wurden alle möglichen Kombinationen von jeweils zwei Meßstellen untersucht. Als Auswahlkriterium diente die relative Abweichung der nach Gl. (6) aus zwei Meßwerten der Kornabscheidung berechneten Verluste m_{vb} von den gemessenen Verlustwerten m_{vg} . Zugelassen wurden alle Meßstellenkombinationen, für die die relative Abweichung von $< 20\%$ mit einer bestimmten Häufigkeit auftrat.

Für die Meßstellenkombination 6-10 wurden bei allen Getreidearten Bestimmtheitsmaße von $B \geq 0,8$ erreicht (Tafel 1). Ähnlich günstige Werte ergaben sich für die Kombination 2-10. Die Übereinstimmung der auf der Grundlage dieser beiden Meßstellenkombinationen berechneten Schüttlerverluste m_{vb}

Tafel 1. Bestimmtheitsmaß B für den Zusammenhang zwischen gemessenen und berechneten Schüttlerverlusten

Fruchtart	ausgewählte Kombinationen						
	2-10	3-8	4-7	4-10	5-8	5-9	6-10
Winterweizen	0,76	0,64	0,78	0,74	0,66	0,77	0,80
Roggen	0,95	0,95	0,63	0,95	0,95	0,89	0,95
Sommergerste	0,84	0,78	0,69	0,80	0,69	0,38	0,83

mit den gemessenen Schüttlerverlusten m_{vg} war im Vergleich zu den aus zwei Modellwerten der Regressionsgleichungen berechneten Schüttlerverlusten m_{vb} geringfügig besser.

Weitere Versuchsauswertungen betrafen die Präzisierung von Aussagen bezüglich der Adäquatheit des Modells.

Mit Hilfe der linearen Regression wurde der Einfluß von Änderungen des Durchsatzes und der Dreschspaltweite auf die Höhe der gemessenen Kornverluste untersucht. Das Ziel bestand darin, für die gemessenen und die berechneten Schüttlerverluste gleiche Tendenzen bezüglich der Abhängigkeit von den betreffenden Regressoren nachzuweisen. Durchsatzänderungen führten zu den erwarteten Änderungen der Kornverluste, wobei das Bestimmtheitsmaß für diese Abhängigkeit infolge der bekannten starken Streuung der Meßwerte von Durchsatz-Kornverlust-Charakteristiken Werte von lediglich $B = 0,22 \dots 0,64$ erreichte.

Die Regressionsgeraden für die berechneten Schüttlerverluste in Abhängigkeit vom Durchsatz stimmen mit den entsprechenden Regressionsgeraden für die gemessenen Schüttlerverluste zum Teil gut überein (Bild 5). Dieses Ergebnis ist so zu deuten, daß Änderungen des Durchsatzes, die Änderungen der Schüttlerverluste nach sich ziehen, vom Modell der Kornverlustberechnung erfaßt werden. Ein Einfluß der Dreschtrommel-drehzahl und der Dreschspaltweite konnte im untersuchten Bereich nicht nachgewiesen werden.

Als weiteres Kriterium für die Modellgüte wurde die Differenz Y_D zwischen den gemessenen Verlusten m_{vg} und den berechneten Verlusten m_{vb} gewählt. Für die Differenzen wurde nachgewiesen, daß sie, bezogen auf den Durchsatz und die berechneten Schüttlerverluste, unkorreliert sind. Die Standardabweichung der Differenzwerte und der gemessenen Verlustwerte ist relativ groß. Für die Meßstellenkombinationen 3-8, 4-7, 5-8 und 6-10 wird bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 5\%$ der Wert Null durch das Konfidenzintervall eingeschlossen, so daß für diese Fälle die Differenz zu Null angenommen werden kann. Anders ausgedrückt heißt das, daß sich die berechneten Schüttlerver-

luste von den gemessenen Schüttlerverlusten nicht signifikant unterscheiden.

5. Schlußfolgerungen

Die Untersuchungsergebnisse bestätigen, daß mit Hilfe einer auf der Grundlage der Kornabscheidung an zwei hintereinander angeordneten Meßstellen eines Mähdrescher-Hordenschüttlers definierten exponentiellen Kornabscheidefunktion die Schüttlerverluste quantitativ bestimmbar sind. Hinsichtlich der Anordnung der Meßstellen kann ausgesagt werden, daß es, bezogen auf Mähdrescher des Versuchsmaschinentyps, günstig ist, die Meßwerte der Kornabscheidung unmittelbar vor der letzten Fallstufe und am Ende der Schüttlerhorde zu erfassen. Das Installieren eines herkömmlichen Verlustsensors im Bereich der Meßstelle 6 dürfte außerdem den Gutrücklauf auf dem Hordenboden kaum beeinflussen, da unmittelbar vor einer Fallstufe ein ausreichender Bauraum zur Verfügung steht. Bei geringer Integrationszeit ist erforderlichenfalls die Laufzeit des Gutes auf dem Schüttler bei der Meßwertbildung zu berücksichtigen.

6. Zusammenfassung

Ausgangspunkt der Untersuchungen waren Bestrebungen, die Schüttlerverluste eines Mähdreschers durch Modellierung des Kornabscheideverlaufs am Schüttler berechenbar zu machen. In Auswertung bekannter experimenteller Laboruntersuchungen und theoretischer Betrachtungen war die Frage zu beantworten, inwieweit diese Ergebnisse auf einen unter Einsatzbedingungen arbeitenden Mähdrescher übertragbar sind und wie eine entsprechende Meßanordnung zu gestalten ist.

Zur Prüfung der Gültigkeit eines exponentiellen Kornabscheidemodells unter praxisrelevanten Einsatzbedingungen wurden Feldversuche mit einem entsprechend hergerichteten Mähdrescher E512 durchgeführt. Auf der Grundlage der experimentellen Versuchsdaten konnte die Gültigkeit eines solchen Modells bestätigt werden. Durch Ermittlung entsprechender Funktionen, die zwei Meßwerte der Kornabscheidung als Funktionswerte enthalten, wurden die Schüttlerverluste für unterschiedliche Kom-

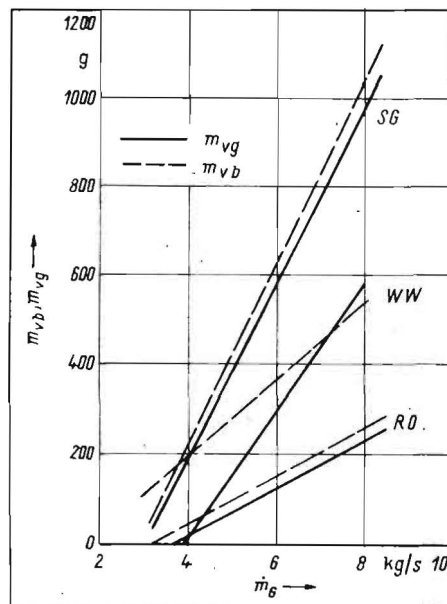


Bild 5. Regressionsgeraden für gemessene Schüttlerverluste m_{vg} und berechnete Schüttlerverluste m_{vb} in Abhängigkeit vom Gesamtdurchsatz m_g (SG Sommergerste, WW Winterweizen, RO Roggen)

binationen von Meßstellen berechnet. Vorteilhaft ist die Erfassung der Meßwerte unmittelbar vor der letzten Fallstufe und am Ende der Schüttlerhorde.

Literatur

- [1] Glaser, F.: Korn-Stroh-Trennung unter besonderer Berücksichtigung eines umlaufenden Siebbandschüttlers. TU München, Dissertation 1976.
- [2] Kirste, A.; Kühn, G.: Berechnung des momentanen Körnerverlustes bei Mähdreschern aus gemessenen Parametern der Abscheidung. agrartechnik, Berlin 33 (1983) 10, S. 442-445.
- [3] Wang, G.; Zoerb, G. D.; Bigsby, F. W.: A new concept in combine separation analysis (Ein neues Konzept für die Analyse der Kornabscheidung in Mähdreschern). Transaction of the ASAE, St. Joseph, Mich. 30 (1987) 4, S. 899-903.
- [4] Huisman, W.: Optimum cereal combine harvester operation by means of automatic machine and threshing speed control (Optimaler Betrieb eines Getreidemähdreschers mit Hilfe der automatischen Regelung der Fahrgeschwindigkeit und der Umfangsgeschwindigkeit der Dreschtrommel). Agricultural University Wageningen, 1983.
- [5] Lundy, J. W.; Leonard, J. J.: Instrumentation to measure straco walker-grain loss (Einrichtung zur Messung der Getreideverluste am Strohschüttler). CSAE-Paper, Saskatchewan (1986) Paper-Nr. 86-204.
- [6] Asyo, S.: Zur Messung der Körnerverluste am Strohschüttler von Mähdreschern. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Dissertation 1988. A 5627

Folgende Fachzeitschriften der Elektrotechnik erscheinen im VEB Verlag Technik:

Elektrie; Elektro-Praktiker; messen-steuern-regeln; Nachrichtentechnik-Elektronik; radio-fernsehen-elektronik; Mikroprozessortechnik