

Technologisch-ökonomische Aspekte bei der Automatisierung des Mähdruschprozesses

Dozent Dr. sc. agr. G. Listner, KDT/Dipl.-Ing. M. Zschoche/Dipl.-Ing. M. Axmann/Dipl.-Ing. D. Eckert
Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

1. Zielstellung

Die weltweite und zunehmende Bedeutung des Getreides erfordert einen spürbaren Ertrags- und Leistungsanstieg in der Getreideproduktion durch umfassende Beschleunigung und Vertiefung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts. Durch höhere Qualität von Korn und Stroh, geringere Verluste, reduzierte Aufwendungen an Energie, Material und Kosten sowie steigende Arbeitsproduktivität, verbesserte Arbeitsbedingungen und stärkere Beachtung der biologischen Prozesse – also insgesamt größere Fortschritte in der gesamten Breite der Verfahrensforschung – ist das Verhältnis von Aufwand und Ergebnis entscheidend zu verbessern. Bei der weiteren Gestaltung der Getreideernteverfahren ist bestimmend, daß die konstruktiv ausgereifte Mähdruschkonzeption gegenwärtig unter den gegebenen Bedingungen die optimale Lösung für die Kornernnte darstellt und deshalb die Automatisierungsvorhaben in der Getreideernnte vorrangig beitragen müssen, diese Zielstellungen beim Einsatz der Mähdruschmaschine mit wesentlich höherer Effektivität zu erfüllen.

2. Ziel- und Bewertungskriterien der Prozeßanalyse

Technologisch begründete Anforderungen für die Automatisierung des Mähdruschprozesses setzen eine tiefgründige Analyse der gesamten Prozeßabschnitte der Getreideernnte voraus (z. B. Kornernnte: Schnitt des Getreides bis Abgabe der Rohware an Lagerstätten).

Anhand des Istzustands ergeben sich technologische, technische, ökonomische und soziale Aspekte der Verfahrens- und Erzeugnisentwicklung. Auf dieser Grundlage kann die Bewertung der Verfahrensabschnitte und -glieder hinsichtlich ihrer Automatisierungsmöglichkeit und -würdigkeit erfolgen. Nach Ableitung entsprechender Anforderungen für die Automatisierungs- und Rechentechnik sowie evtl. für weitere Volkswirtschaftszweige können die Aufwendungen zusammengestellt und auf der Basis einer Kosten-Nutzen-Kalkulation weitere Entscheidungen getroffen werden.

Bei der Festlegung der Ziel- und Bewertungskriterien wurden folgende 5 Komplexe gebildet [1, 2]:

- Produktmenge, Produktqualität
- lebendige Arbeit, Arbeitsproduktivität
- vergegenständlichte Arbeit, Fondseffektivität
- Arbeits- und Lebensbedingungen, Umweltschutz
- Kostenbedarf.

Sie sind durch ihre Vielfalt, Spezifik und die besonders zu beachtenden Abhängigkeiten und Wechselbeziehungen charakterisiert. In den letzten Jahren haben sich sowohl in der Bedeutung als auch in der Wertigkeit dieser Kriterien entsprechend den veränderten Reproduktionsbedingungen spürbare Veränderungen ergeben (z. B. Körnerverluste, spezifischer Material- und Energieaufwand, Ar-

beits- und Lebensbedingungen, Kostenproblematik). Neue Kriterien kamen hinzu (u. a. Exportförderung, Einsatz der Mikroelektronik). Weiterhin müssen vielseitige Wechselbeziehungen zwischen dem Verfahren und dem technischen Arbeitsmittel Berücksichtigung finden. Sie ergeben sich einerseits durch spezifische Forderungen des Verfahrens an die Automatisierung und andererseits aus den begrenzten Möglichkeiten für die technisch und ökonomisch gerechtfertigte Realisierung. Im Gegensatz zu vielen Automatisierungseinrichtungen der Industrie und der Tierproduktion, die ganzjährig – häufig im Mehrschichtsystem – einsetzbar sind, bestehen in der Pflanzenproduktion wesentlich ungünstigere Einsatzbedingungen. Der stochastische Charakter der Produktion im Freien, Saisonarbeit, überwiegend mobile Prozesse, oft einschichtige und geringe Auslastung werfen komplizierte Wirtschaftlichkeitsfragen auf, wenn man bedenkt, daß die Mähdruschmaschine in der DDR kaum länger als 25 bis 30 Tage im Jahr, künftig nur etwa 20 Tage jährlich, in der Getreideernnte eingesetzt werden. In dieser äußerst kurzen Zeit muß mit den Automatisierungsmitteln ein ökonomischer Nutzen erzielt werden. Deshalb sollten nicht nur automatisierungsgerechte Verfahren, sondern auch zuverlässige und ökonomisch vertretbare Automatisierungslösungen für diese komplizierten Einsatzbedingungen in der Landwirtschaft zur Verfügung stehen.

3. Automatisierungsaufgaben aus der Sicht der Technologie

Aus dem Prozeßabschnitt der Kornernnte sind durch die Prozeßanalyse folgende gegenwärtige Automatisierungsaufgaben aus technologischer Sicht für den Mähdrusch erkennbar:

- Charakteristik des Getreidebestands und der Stoffkennwerte, besonders der Druscheigenschaften
- Senkung der Dreschwerksverluste (einschließlich Spalt- und Splitterkorn)
- Reduzierung der Vorernteverluste in Ver-

bindung mit der Leistungssteigerung des Mähdruschers

- Funktionsüberwachung und Kontrolleinrichtungen
- Entscheidungshilfen für die Mähdruschereinstellung
- Verbesserung der Qualitätseigenschaften bei der Kornernnte
- Erhöhung der Flächen- und Druschleistung in der Stückzeit T_{05}
- Senkung des Kraftstoffbedarfs
- selbsttätige Seiten- und Höhenführung des Schneidwerks
- Fremdkörper- sowie Früherkennung von Störungen und Gewährleistung eines besseren Verschleißverhaltens
- höhere Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit
- Ermittlung und Verrechnung technologischer Kenngrößen (z. B. Zeitanalyse der Druschzeit, geerntete Fläche, Flächenleistung, geerntete Kornmasse, Kraftstoffaufwand)
- Anpassung an wechselnde Einsatzbedingungen, ungünstige Witterungsbedingungen, Hangneigungsausgleich
- Reduzierung des Energieaufwands einschließlich Getreidetrocknung
- Berücksichtigung der Anforderungen des für die Automatisierung vorteilhaften Hochschnitts beim Mähdrusch
- günstigere Gestaltung der nachfolgenden Arbeitsgänge, besonders der Strohbergrung
- automatische Einstellung der Arbeitsorgane mit Optimierung der Mähdruschleistung, Kornqualität und der Kornverluste
- selbsttätige Regelung und Optimierung des Gesamtprozesses „Mähdrusch“.

Einige Aufgaben bei der Automatisierung des Mähdruschprozesses sollen nachfolgend näher erläutert werden.

3.1. Getreidebestand und Stoffkennwerte

Für Prozeßanalysen und Automatisierungsvorhaben beim Mähdrusch sind Stoffkennwerte der Getreidepflanze und des Bestands eine unerläßliche Voraussetzung. Die Stoffkennwerte des Getreidebestands wurden in

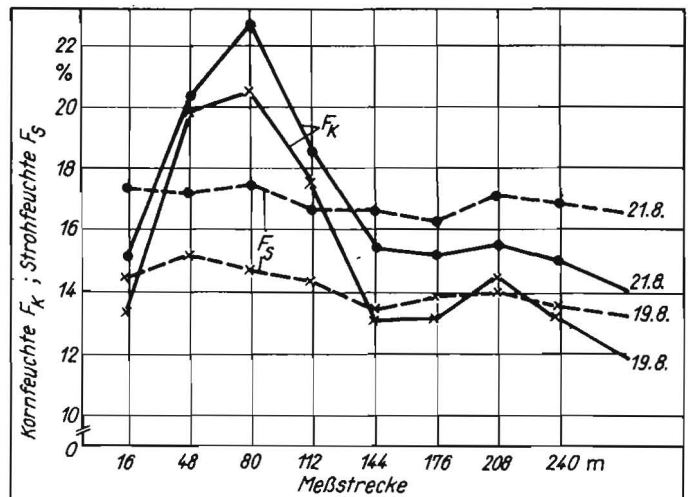


Bild 1
Verlauf der Korn- und Strohfeuchte auf einem Weizenschlag der LPG (P) „Vorgebirge“ Bannewitz im August 1985 (Fruchtart: Winterweizen, Meßzeit: 13.00 bis 13.30 Uhr)

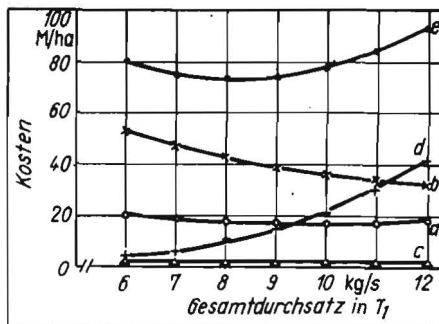


Bild 2. Einfluß verschiedener Kostenarten auf die Wahl des günstigsten Durchsatzes beim Mähdröschler E516B (unter Prüfbedingungen); a Kosten für DK, b Kosten für Abschreibung, c Kosten für lebendige Arbeit, d Kosten für Dreschwerksverluste, e Kosten-summe aus a bis d

früheren Veröffentlichungen hinreichend charakterisiert [3]. Von besonderer Bedeutung sind die Feuchte und der Feuchteverlauf für die Ernte-, Lager- sowie Verarbeitungsprozesse von Korn und Stroh. Die Stoffkennwerte haben einen überwiegend stochastischen Charakter. Im Jahr 1985 durchgeführte Untersuchungen im erntereifen Weizenbestand in der LPG(P) „Vorgebirge“ Bannowitz, Bezirk Dresden, bestätigten, daß wesentliche Kenngrößen des Getreidebestands, wie z. B. Korn- und Strohfeuchte, Bestandsdichte, Ertrag, Grünbesatz, in Abhängigkeit von der Ortskoordinate beträchtlichen Schwankungen unterliegen (Feuchte dargestellt im Bild 1). Der qualitative Verlauf blieb innerhalb der 2 Meßtage erhalten. Für die Korn- und Strohfeuchte konnte kein korrelativer Zusammenhang nachgewiesen werden. Weitere Messungen ergaben, daß die Standardabweichung mit ansteigender Feuchte zunimmt [4]. Neben diesen Schwankungen innerhalb eines Schläges ist noch der unterschiedliche Verlauf der Korn- und Strohfeuchte während des Tages zu berücksichtigen [5].

Derartige erhebliche Unterschiede in der Feuchte des Druschgutes kann der Mähdröschlerfahrer nicht erkennen und demzufolge die Arbeitsweise der Maschine nicht immer den momentanen Bestandsverhältnissen anpassen. Wenn dies mit Hilfe der Meß- und Regelungstechnik möglich wird, wären Leistungssteigerungen erreichbar. Dazu fehlen leider noch umfassende Kenntnisse über

den Getreidebestand, seine Stoffkennwerte und die verfahrenstechnischen Zusammenhänge. Der zukünftige Getreidebestand mit ansteigenden Kornerträgen wird die Automatisierung des Mähdruschprozesses günstig beeinflussen. Die Forderung nach verbesserter Standfestigkeit des Getreides behält auch für künftige Automatisierungsvorhaben und die Verwirklichung des Hochschnitts ihre aktuelle Bedeutung.

3.2. Erhöhung der Maschinenauslastung

Eine wesentliche Reserve beim Mähdröschereinsatz ist die Verbesserung der Maschinenauslastung. Sie erreicht bei leistungsfähigen Mähdröschern heute oft nur 60 bis 70% der Nennleistung. Da der Mähdröschlerfahrer den Durchsatz über die Wahl der Arbeitsgeschwindigkeit beeinflusst und die dazu notwendigen Informationen nicht mit der erforderlichen Genauigkeit visuell erfassbar sind, haben leistungsfähige Mähdröschler oft eine zu geringe Arbeitsgeschwindigkeit und Auslastung. Das belegen Untersuchungen unter Praxisbedingungen. Sie zeigen, daß trotz Ertragsschwankungen bis zu 25% keine dementsprechenden Änderungen der Arbeitsgeschwindigkeit vorgenommen wurden.

Die Notwendigkeit der Einstellung einer bestimmten Durchsatzgröße ist im Bild 2 erkennbar. Aus der Darstellung verschiedener Kostenarten in Abhängigkeit vom Durchsatz ergibt sich ein günstiger Durchsatz beim Mähdröschler E516B im oberen Durchsatzbereich, der bei Einbeziehung der Vorernteverluste noch höher liegt. Damit wird die Forderung nach einer hohen Auslastung unterstrichen. Die Berücksichtigung dieser Zusammenhänge erfordert allerdings ihre hinreichend genaue Kenntnis und Beachtung des aktuellen Verlaufs bei der Bestimmung und schließlich Realisierung des günstigsten Durchsatzes durch die Automatisierungseinrichtung.

3.3. Verringerung der Beanspruchung des Mähdröschlerfahrers

Die physische Belastung des Mähdröschlerfahrers bestätigen Untersuchungen über die Stellhäufigkeit von Schneidwerkshöhen- und Haspelverstellung sowie die Betätigung der Schnellstoppkupplung. Ein ungestörter Prozeßablauf und der kontinuierliche Stofffluß werden durch die Anpassung von Schnitthöhe und Haspellage unterstützt. Bei gleichen Bodenverhältnissen und Bestandshö-

Bild 3. Mittlere Verstellhäufigkeit verschiedener Bedienelemente am Mähdröschler E516B während der Getreideernte 1984

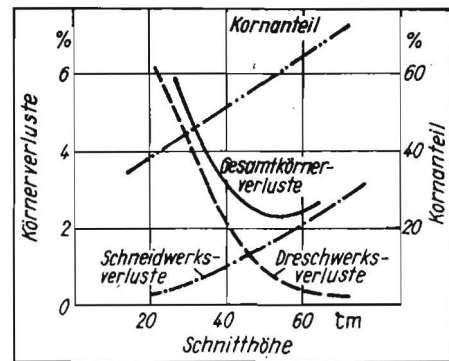
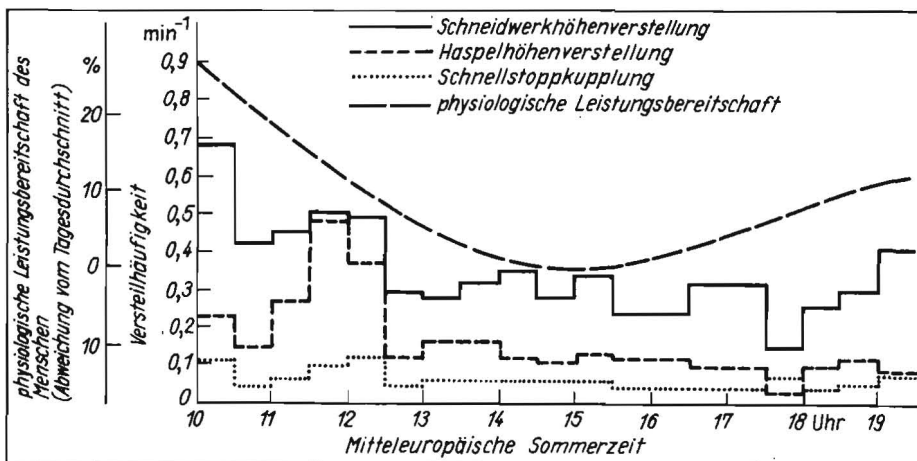


Bild 4. Einfluß der Schnitthöhe auf die Dreschwerks-, Schneidwerks- und Gesamtkörnerverluste beim Mähdrusch von Winterweizen (Mähdröschler E512; Q = 6,0 kg/s)

hen sind über den Tagesverlauf annähernd gleiche Stellhäufigkeiten zu erwarten. Das geht aus den im Bild 3 dargestellten Untersuchungsergebnissen nicht hervor. Da der Vergleich mit der Kurve der physiologischen Leistungsbereitschaft gewisse Annäherungen aufweist, läßt sich ableiten, daß der Fahrer nicht ständig während des gesamten Tages eine gleichbleibende Angleichung des Schneidwerks an die jeweiligen Bestandsbedingungen gewährleisten kann. Ähnliche Tendenzen ergaben auch Untersuchungen der Stellhäufigkeiten während der Einsatz-tage. Entsprechende Automatisierungseinrichtungen können auch hier zur Reduzierung der psychischen Beanspruchung des Mähdröschlerfahrers und zu höherer Effektivität des Mähdrusches beitragen.

3.4. Anforderungen aus der Sicht des Hochschnittprinzips

Durch die Anwendung des Hochschnittprinzips bei der Getreideernte können unter geeigneten Bedingungen die Durchsatz- und Flächenleistung des Mähdröschers erheblich erhöht und ein geringerer spezifischer Aufwand an eingesetzten Gebrauchswerten (z. B. Reduzierung des Dieselkraftstoffverbrauchs bis 30%) erreicht werden [6]. Damit verbinden sich folgende Anforderungen an die Bedienung des Mähdröschers:

- Auswahl der optimalen Schnitthöhe entsprechend den Bestandseigenschaften (Bild 4)
- Einhaltung der geforderten, gegenüber dem Normalschnitt höheren Arbeitsgeschwindigkeit, um die mögliche größere Flächenleistung zu erreichen
- Verwirklichung der exakten Steuerung und Kontrolle des Schneidwerks, die bei diesem Prinzip von entscheidender Bedeutung ist.

Daraus leiten sich u. a. nachfolgende Aufgaben ab:

- Einstellung der Schnitthöhe vor Druschbeginn und nach jeder Wendung bzw. nach dem Beetwechsel
- Kontrolle und ggf. Korrektur der Schnitthöhe während des Druschvorgangs
- entsprechende Reaktion auf Bestandsveränderungen (z. B. lokale Lagerstellen) und ggf. Veränderung der Maschineneinstellung
- Kontrolle der Haspel und Anpassung der Einstellung und Drehzahl an die jeweiligen Erntebedingungen
- Funktionsüberwachung der Zusatz-schneideeinrichtung zur Realisierung des

2-Ebenen-Schnitts und damit Vermeidung von Ausfällen dieser Zusatzbaugruppe – Fremdkörpererkennung als künftige Aufgabe für alle Schneidwerkskonzeptionen. Entsprechend der höheren Arbeitsgeschwindigkeit sind in gleicher Zeiteinheit mehr Informationen zu verarbeiten. Um eine Mehrbelastung des Mähdrescherfahrers zu vermeiden, sollten automatische Hilfseinrichtungen für die o. g. Funktion zur Verfügung stehen. Dazu können bereits bekannte Lösungen (z. B. Bestandskantenführung, Haspelregelung, Drehzahl-, Drehmomenten- bzw. Spannungsmessung) genutzt werden.

Die optimale Schnitthöhe ergibt sich aus der Ährenansatz- bzw. Ährenspitzenhöhe des Getreidebestands [7]. Diese Größen unterliegen meist der Normalverteilung und weisen je nach Getreideart und -sorte sowie den Wachstums- und Erntebedingungen unterschiedliche Streuungen auf. Um die Vorteile

des Hochschnittprinzips voll zu erschließen, ist deren hinreichend genaue Schätzung erforderlich. Ausgehend von den derzeit zugelassenen Sorten leitet sich z. B. bei Winterweizen ein Stichprobenumfang von mindestens $n \geq 50 \dots 150$ je Meßstelle ab. Das erfordert eine automatisch gesteuerte Schnitthöhenregelung.

Durch automatische Meß- und Regeleinrichtungen wird es gelingen, die Effekte des Hochschnittprinzips voll zu nutzen. Sie sollten deshalb Bestandteil des Automatisierungssystems des Mähdreschers auf der Grundlage eines Bordcomputers sein.

Literatur

- [1] Müller, M.: Technologische Grundlagen für die industriemäßige Pflanzenproduktion. Berlin: VEB Dt. Landwirtschaftsverlag 1980.
- [2] Eberhardt, M.; Pause, J.; Schweigel, J., u. a.: Richtlinie mit methodischen Empfehlungen für die Beurteilung von Verfahren der Pflanzen-

und Tierproduktion. AdL der DDR und Hochschule für LPG Meißen 1982.

- [3] Listner, G.: Beitrag zur Verfahrensforschung im Wissenschaftsbereich „Technologie der Landwirtschaft“ zur Entwicklung und Gestaltung der Getreideernteverfahren. agrartechnik, Berlin 34 (1984) 1, S. 18–20.
- [4] Janockova, A.: Untersuchung von Methoden zur mathematischen Beschreibung von Getreidebeständen und deren Anwendung. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Förder-technik, Diplomarbeit 1986.
- [5] Große, W.: Optimierung energetischer Aufwendungen in der Pflanzenproduktion – dargestellt am Beispiel Mähdrusch–Getreidetrocknung. TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Dissertation 8, 1984.
- [6] Axmann, M.: Aspekte optimierter Schnitthöhen beim Mähdrusch. agrartechnik, Berlin 35 (1985) 4, S. 158–160.
- [7] Lehmann, H.-G.; Große, W.: Steigerung der Flächenleistung und Senkung der Körnerverluste beim Mähdrusch durch Anwendung größerer Schnitthöhen. Wiss. Zeitschrift der TU Dresden 23 (1974) 2, S. 445–448. A 4903

Regelung der Haspeldrehzahl an Getreideschneidwerken für Mähdrescher

Dipl.-Ing. H. Dümichen/Dipl.-Ing. K. Richter
Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

Verwendete Formelzeichen

a	U/min	Schaltsschwelle des Dreipunktgliedes
f_i	Hz	Impulsfrequenz
k_A	U/min	Übertragungsfaktor Fahrtrieb
	m/s	
k_G	Hz	Übertragungsfaktor Meßwertgeber
	U/min	
k_S	U/min	Übertragungsfaktor Regelstrecke
	mm	
M_d	Nm	Lastdrehmoment
n_B	U/min	Bremsscheibendrehzahl
n_H	U/min	Haspeldrehzahl
n_M	U/min	Motordrehzahl
n_{VP}	U/min	Drehzahl der Variatorprimärwelle
n_{VS}	U/min	Drehzahl der Variatorsekundärwelle
Δn_{VSZul}	U/min	zulässige Drehzahldifferenz Variator sekundär
t_S	s	Streckenzeitkonstante
t_T	s	Totzeit
t_{Tab}	s	Abschaltverzögerung (Nachlaufzeit)
t_{Train}	s	Einschaltverzögerung (Totzeit)
U	V	Spannung
V	%	Kornverluste
v_A	km/h	Arbeitsgeschwindigkeit
v_S	mm/s	Stellgeschwindigkeit
v_{UH}	m/s	Haspelumfangsgeschwindigkeit
Δv_{UHzul}	m/s	zulässige Abweichung der Haspelumfangsgeschwindigkeit
w		Führungsgröße
x		Regelgröße
x_G		Dreipunktglied
x_W		Regelabweichung
y_A		Stellgliedausgangsgröße
y_S		Streckeneingangsgröße
z		Störgröße
λ		Verhältnis von v_{UH} zu v_A
$\Delta \lambda$		λ -Stufungen
$\Delta \lambda_{zul}$		zulässige Abweichung vom eingestellten λ -Wert

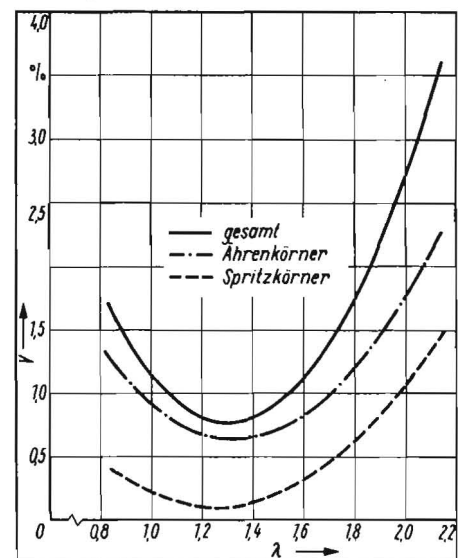
1. Einleitung

Die Schneidwerksverluste beim Mähdrusch erreichen, wie vielfältige Untersuchungen ergaben, bis rd. 2% und stellen somit einen

bedeutsamen Teil der Gesamtverluste dar [1]. Ihre Senkung wird als eine ökonomisch relevante Teilaufgabe für die Mähdrescherentwicklung und den Mähdreschereinsatz bewertet. Für DDR-Bedingungen werden Schneidwerksverluste von $< 1,5\%$ gefordert. Davon ausgehend sind nach Herrmann [1] u. a. automatisierte Schneidwerkeinstellungen in Abhängigkeit von den wechselnden Einsatzbedingungen in Getreideschneidwerken notwendig.

Für die Senkung der Schneidwerksverluste ist die optimale Anpassung der Haspelumfangsgeschwindigkeit an die Mähdruschbedingungen und besonders an die variierenden Arbeitsgeschwindigkeiten der Mähdrescher eine wirkungsvolle und notwendige Maßnahme [2 bis 5]. Untersuchungsergeb-

Bild 1. Körnerverluste am Schneidwerk in Abhängigkeit von λ für $v_A = 4 \dots 5$ km/h in Roggen [5]



nisse des Forschungszentrums für Mechanisierung Schlieben/Bornim (1983), des VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen Neustadt und der Martin-Luther-Universität Halle–Wittenberg (1983/84) bestätigen deutlich diese Forderung. Darauf aufbauend bestand die Aufgabe, geeignete steuerungstechnische Einrichtungen zu entwickeln und in die Praxis überzuführen. In sozialistischer Forschungskoooperation zwischen dem Forschungszentrum für Mechanisierung Schlieben/Bornim und dem VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen Neustadt wurde deshalb von einem gemeinsamen Jugendforscherkollektiv eine elektronische Haspeldrehzahlregelung für den Mähdrescher E516 geschaffen, erprobt und als Demonstrationsmuster auf der Zentralen Messe der Meister von morgen 1984 in Leipzig erstmals vorgestellt [6].

2. Problem- und Aufgabenstellung

Die Haspelumfangsgeschwindigkeit, d. h. besonders ihr Verhältnis λ zur Arbeitsgeschwindigkeit, hat vorrangig einen nachgewiesenen Einfluß auf die Schneidwerksverluste. Die Funktionsverläufe für die Schneidwerksverluste über λ (Bild 1) weisen i. allg. ein ausgeprägtes Minimum im Bereich $\lambda = 1,0 \dots 2,0$ auf.

Die quantitativen Verhältnisse sind von den Getreidearten und den Bestandsbedingungen abhängig. Wesentlich ist, daß Abweichungen von den optimalen λ -Werten höhere Verluste bedingen. Praxisanalysen zeigen, daß in der Mehrheit Abweichungen vom optimalen Verhältnis λ durch häufige Arbeitsgeschwindigkeitsvariation bei überwiegend konstant gehaltener Haspeldrehzahl auftreten. Das führt zu zum Teil deutlich erhöhten Schneidwerksverlusten ($\geq 3\%$ für Getreide). Andererseits sind die Mähdrescherfahrer überfordert, wenn die häufig auftretende Steuerungsaufgabe manuell und