

Werden lediglich die Bodenrinnenversuche als Beurteilungskriterium herangezogen, so erweist sich eine entsprechend angepaßte Hornantenne als geeignete Antennenform. Bei bestimmten Oberflächenbeschaffenheiten, wie sie im Feldeinsatz vorkommen können, kann jedoch eine spezielle Antennenform deutliche Vorteile bringen.

## 6. Zusammenfassung

Ausgehend von den physikalischen Grundlagen, werden in diesem Beitrag die Funktionsweise von Radargeräten zur berührungslosen Geschwindigkeitsmessung erläutert und die Untersuchungsergebnisse aus Bodenrinnenversuchen und Feldversuchen dargestellt. Es hat sich gezeigt, daß bei entsprechender Anpassung an die Einsatzbedingungen in der Landwirtschaft auch relativ einfach konzipierte Radargeräte gute Ergebnisse liefern können. Eine möglichst hohe Grundfrequenz ist dabei vorteilhaft. Hinsichtlich Sendefrequenz und Sendeleistung müssen in der Bundesrepublik Deutschland die entsprechenden gesetzlichen Bestimmungen beachtet werden. Wird eine gerätebezogene Kalibrierung vorgenommen und eine günstige Anordnung des Radargerätes am Fahrzeug gewählt, so lassen sich im untersuchten Geschwindigkeitsbereich die Abweichungen vom Sollwert auf maximal 2 % begrenzen.

## Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [ 1 ] *Mertins, K.H. u. H. Göhlich*: Fahrgeschwindigkeitsmessung an landwirtschaftlichen Fahrzeugen. Grundl. Landtechnik Bd. 33 (1983) Nr. 1, S. 14/20.
- [ 2 ] *Fichtel, H. u. S.M. Ismail*: Untersuchungen zur Messung der Arbeitsgeschwindigkeit von Landmaschinen mit Hilfe eines Radargerätes. Grundl. Landtechnik Bd. 32 (1982) Nr. 4, S. 136/40.
- [ 3 ] • *Valvo Handbuch "Aktive Mikrowellenbauteile 1980"*. Unternehmensbereich Bauelemente der Philips GmbH Hamburg.
- [ 4 ] KDM 24 T Bewegungsmelder nach dem Doppler-Prinzip. Unterlagen der Kontron Hochfrequenz GmbH Eching.
- [ 5 ] Mikrowellenmodul SMX 5. Unterlagen der Siemens AG München.
- [ 6 ] Unveröffentlichte Unterlagen der AEG – Telefunken – Geschäftsbereich Hochfrequenztechnik – Ulm.
- [ 7 ] vsb-Radar 3530. Unterlagen der AEG – Telefunken – Geschäftsbereich Hochfrequenztechnik – Ulm

# Gesteuerte adaptive Regelung einer Mähdrescherreinigungsanlage

Von Dietrich Berner und Werner Hendrik Grobler,  
Stuttgart-Hohenheim\*)

DK 631.354.2:631.361.025:62-52

Eine Reduzierung der Körnerverluste und Entlastung des Mähdrescherfahrers kann erreicht werden, wenn die Luftströmung in der Reinigungsanlage selbsttätig den aktuellen Ernteverhältnissen durch die hier vorgestellte kennfeldgesteuerte, durchsatzabhängige Gebläsedrehzahlregelung angepaßt wird. Voraussetzung dafür ist die frühzeitige Erfassung der Prozeßgrößen. Der aktuelle Beladungszustand der Reinigungsanlage wird dabei indirekt über die Messung des statischen Druckes unter dem Obersieb erfaßt.

## 1. Einleitung

Bisher werden im Mähdrescher hauptsächlich Regeleinrichtungen in den Bereichen eingesetzt, in denen die Regelgrößen bzw. Störgrößen direkt mechanisch erfaßt werden können. Beispiele hierfür sind Schnitthöhenregelung, automatische Lenkung und Hangausgleichssysteme [1, 2]. Die Regelung der Dresch- und Trennsysteme wurde vielfach untersucht [3 bis 10], sie scheiterte bis heute an dem Mangel an ausreichend genauen Sensoren für eine schnelle Erfassung der Prozeßgrößen und teilweise am zu erwartenden ungünstigen Kosten/Nutzen-Verhältnis [6].

Der Beitrag basiert auf einem bei der Internationalen Tagung Landtechnik, 7./8. Nov. 1985 in Braunschweig, gehaltenen Vortrag.

\*) *Dipl.-Ing. D. Berner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl "Grundlagen der Landtechnik" (Leiter: Prof. Dr.-Ing. H.D. Kutzbach) der Universität Hohenheim; Dipl.-Ing. W.H. Grobler war Mitarbeiter an demselben Lehrstuhl und ist heute Leiter der Abteilung "Mähdruschtechnik" bei der Fa. Deutz-Fahr, Laing.*

Die Einstellung der Dresch- und Trenneinrichtungen erfolgt meist zu Beginn der Arbeit nach einer Grundeinstellung und wird im weiteren vom Fahrer stichprobenartig überprüft. Neben der Bedienung der Maschine wird die Hauptaufmerksamkeit des Fahrers von der kontinuierlichen Überwachung des Schneidvorganges und des vor ihm liegenden Arbeitsfeldes beansprucht.

Die Mähdrescherreinigungsanlage wird während der Ernte oft mit zu hoher Gebläsedrehzahl betrieben. Dadurch entstehen erhöhte Körnerverluste, da die Leistungsfähigkeit der Reinigungsanlage nicht voll genutzt wird. Eine selbsttätige Regelung kann den Fahrer hier wesentlich entlasten und zu einem besseren Bedien- und Fahrkomfort bei erhöhter Leistung beitragen.

Die Aufgabe der Gebläsedrehzahlregelung ist die automatische Anpassung der Gebläsedrehzahl vor allem an Ertragsschwankungen innerhalb des Bestandes. Darüber hinaus lassen sich in der An- und Auslaufphase auftretende erhöhte Verluste reduzieren. Dies hat vor allem Bedeutung bei der Ernte kleinerer Parzellen mit einem erhöhten Zeitanteil für Wendevorgänge, bei denen sehr schnelle und große Durchsatzschwankungen auftreten.

## 2. Prozeßverhalten der Mähdrescherreinigungsanlage

Im Mähdrescherbau werden heute allgemein Reinigungsanlagen mit luftdurchströmten Schwingsieben in unterschiedlichen Varianten eingesetzt. Für die Leistungsfähigkeit dieser Reinigungsanlagen ist neben der mechanischen Schwingungseinleitung in die Gutschicht eine sorgfältig angepaßte Luftströmung Voraussetzung. Die Luftströmung sorgt für eine gezielte Auflockerung und Entmischung des Gutes und verbessert die Abscheidung des Kornes erheblich [11]. Dabei ist es entscheidend, daß die örtliche Strömungsrichtung und -geschwindigkeit in der Reinigungsanlage dem jeweiligen Erntegut und den Erntebedingungen angepaßt wird. Die Einstellung des Luftdurchsatzes wird heute fast ausschließlich durch Variation der Gebläsedrehzahl vorgenommen.

Hauptbeurteilungskriterium für die Arbeitsqualität einer Mährescherreinigungsanlage sind neben der Gutreinheit die auftretenden Körnerverluste. Bild 1 zeigt das typische Verlustverhalten einer Mährescherreinigungsanlage bei konstantem Gutdurchsatz. Der Bereich geringster Körnerverluste wird bei dieser Reinigungsanlage bei Gebläsedrehzahlen von 500–600  $\text{min}^{-1}$  erreicht. Für Gebläsedrehzahlen unter 500  $\text{min}^{-1}$  kommt es zu einem steilen Anstieg der Körnerverluste infolge der ungenügenden Auflockerung der Gutschicht, bedingt durch die zu geringe Luftströmung. Bei höheren Gebläsedrehzahlen erschweren die zunehmenden Strömungskräfte die Kornabscheidung, so daß sich der Schwerpunkt der Kornabscheidung in Richtung auf das Siebende verlagert. Dies führt zu hohen Körnerverlusten durch Überblasen, d.h. Körner werden durch die starke Luftströmung über die Reinigungsanlage hinaus getragen.

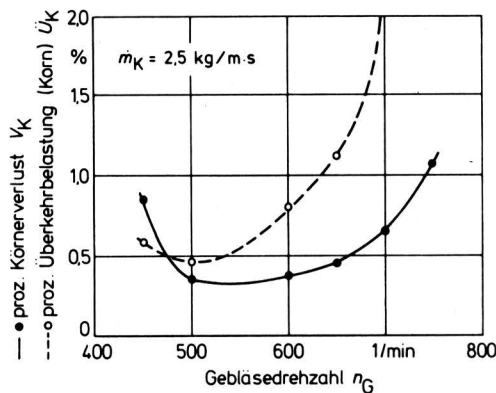


Bild 1. Körnerverlust und Überkehrbelastung in Abhängigkeit von der Gebläsedrehzahl.

Mit zunehmendem Gutdurchsatz wird eine höhere Gebläsedrehzahl benötigt, um eine genügend starke Auflockerung der Gutschicht auf dem Sieb zu erreichen. Dies zeigt das Betriebskennfeld in Bild 2, [12]. Aus diesem Betriebskennfeld kann für den aktuellen Durchsatz der Bereich für den geringsten Körnerverlust und die entsprechende Gebläsedrehzahl ermittelt werden (punktiert eingezeichnet).

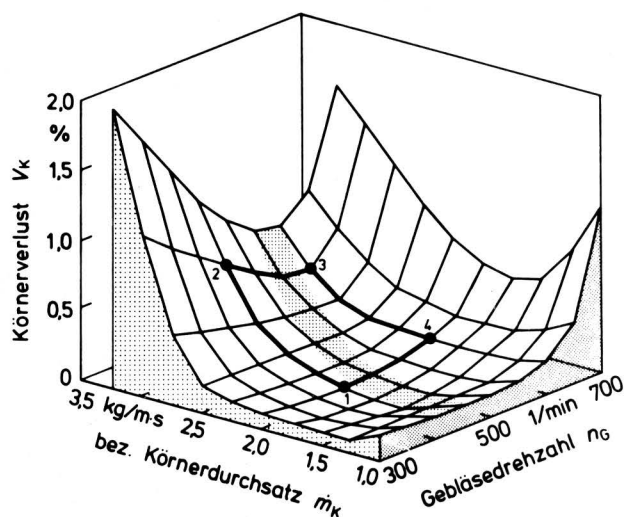


Bild 2. Betriebskennfeld einer Mährescherreinigungsanlage; proz. Anteil des Körnerverlustes in Abhängigkeit von Gebläsedrehzahl und Gutdurchsatz.

Die Gebläsedrehzahl wird durch den Fahrer meist bei Beginn des Dreschens eines Feldes auf einen konstanten Wert eingestellt. Ertragsschwankungen und geänderte Fahrgeschwindigkeit werden nicht kompensiert und führen sehr oft zu erhöhtem Körnerverlust durch einen Betrieb im nicht optimalen Betriebspunkt. In Bild 2 sind zwei Regelprozesse eingezeichnet, bei denen nach einer Änderung des Beladungszustandes die Luftströmung entsprechend angepaßt wird. Einmal wird durch Erhöhung der Gebläsedrehzahl von Punkt 2 nach Punkt 3 der Betriebspunkt der Anlage nach einer Durchsatzerhöhung (Punkt 1 nach Punkt 2) wieder optimiert. Zum andern wird bei einem Durchsatzrückgang von Punkt 3 nach Punkt 4 das Optimum durch eine Drehzahl senkung (von Punkt 4 nach Punkt 1) erreicht.

### 3. Regelkonzept

Zur Anpassung der Gebläsedrehzahl an den jeweiligen Durchsatz ist eine körnerverlustorientierte, adaptive Regelung erforderlich, bei der, zur Vermeidung der Kalibrierung auf Guteigenschaften, die Körnerverluste kontinuierlich erfaßt werden und das Betriebskennfeld laufend aktualisiert wird. Der prinzipielle Aufbau des Regelsystems ist in Bild 3 dargestellt. An der Reinigungsanlage sind hierfür die Größen Gutdurchsatz, Körnerverlust und Gebläsedrehzahl zu erfassen. Aus dem Verhältnis von Verlusten und Durchsatz wird im Regler der prozentuale Anteil der Körnerverluste bestimmt, das Betriebskennfeld aktualisiert und die für den Durchsatz optimale Gebläsedrehzahl über das Stellorgan eingestellt. Für die weitere Verfeinerung können zusätzliche Störgrößen, wie z.B. Belastung der Überkehr, Reinheit des Kornes und Hangneigung mitberücksichtigt werden. Voraussetzung sind geeignete kostengünstige, robuste Sensoren für die zuverlässige Erfassung dieser Größen.

Für die Messung der Körnerverluste stehen bis heute noch keine ausreichend genauen Körnerverlustmeßeinrichtungen zur Verfügung. Die derzeit zur Überwachung im Mährescher eingesetzten Körnerverlustmonitore genügen von der Auflösungs- und Trennqualität wie auch von der prinzipiellen Anordnung her nicht den geforderten Ansprüchen. An der Untersuchung neuer Meßsysteme wird gearbeitet [13]. Zur Realisierung der Regelung wurde deshalb parallel zu diesen Untersuchungen ein vereinfachter Weg beschritten. Aus der Erfassung des aktuellen Beladungszustandes wird durch Nutzung des bekannten Prozeßverhaltens der Reinigungsanlage die jeweils optimale Gebläsedrehzahl bestimmt und eingestellt, ohne daß Körnerverlustsensoren eingesetzt werden. Das Prozeßverhalten muß jedoch für unterschiedliche Erntegüter zunächst ermittelt werden. Die entsprechenden Betriebskennfelder bzw. Korrekturfaktoren werden im Regler abgespeichert und vor Beginn des Dreschens vom Fahrer aufgerufen.

### 4. Aufbau des Regelsystems

Für die Messung der Beladung wurde am Institut für Agrartechnik ein spezielles Verfahren entwickelt. Die Gutbeladung wird indirekt über den statischen Druck unter dem Obersieb gemessen, der proportional zum aktuellen Beladungszustand und zur Gebläsedrehzahl ist. In Bild 4 ist der Verlauf des statischen Druckes  $\Delta p$  über der Sieblänge für verschiedene Gutdurchsätze im Bereich 0 bis 4,3  $\text{kg/s m}$  für eine konstante Gebläsedrehzahl aufgetragen. Die Gebläsedrehzahl muß bei der Beladungsermittlung mitberücksichtigt werden, da sich die Druckkennlinien je nach Drehzahl zu höheren oder niedrigeren Werten verschieben.

Das sich für einen bestimmten Durchsatz einstellende Druckprofil ist anlagenspezifisch, es hängt von der konstruktiven Auslegung, von der Luftführung und der Gebläseausführung der Reinigungsanlage ab. Es muß für die jeweilige Reinigungsanlage experimentell ermittelt werden. Nach Ermittlung des Druckprofils genügt für die Durchsatzbestimmung im Ernteinsatz ein einzelner Meßpunkt im vorderen Siebbereich. Zur Erfassung einer ungleichmäßigen Gutverteilung bei Fahrt am Seitenhang können mehrere Sensoren über der Siebbreite eingesetzt werden.

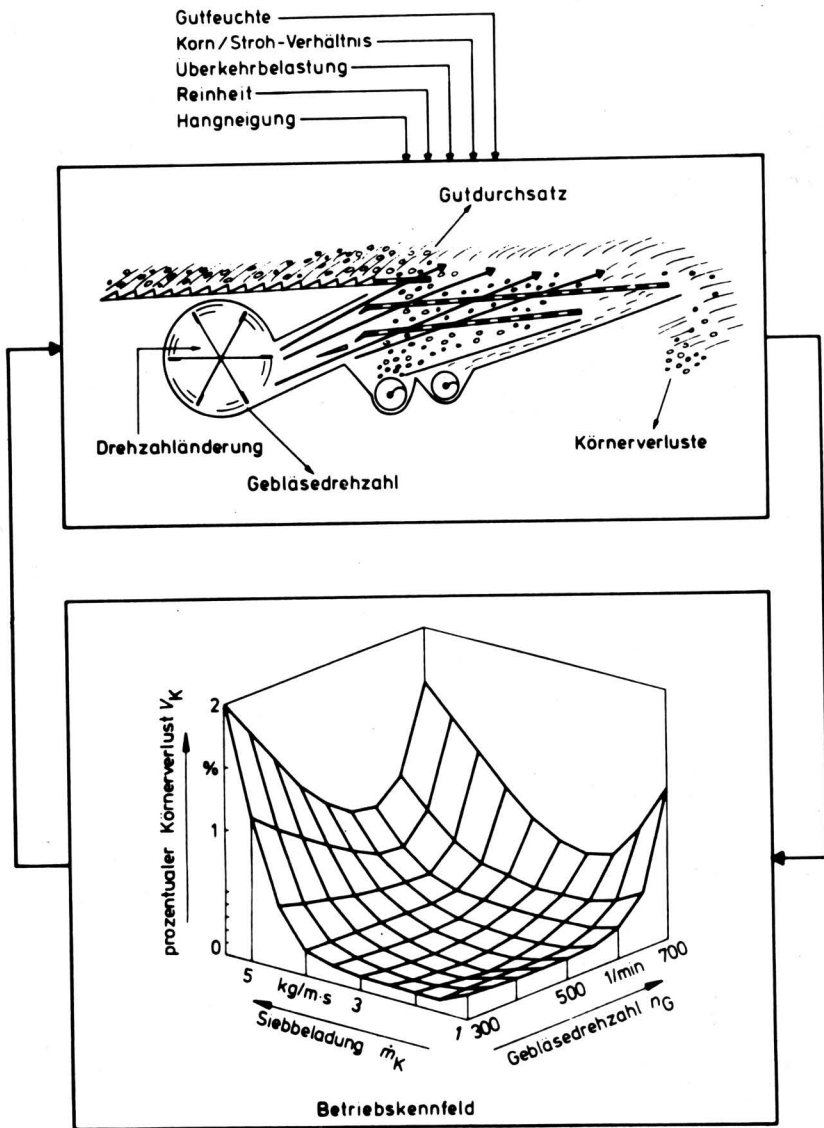


Bild 3. Aufbau des kennfeldgesteuerten Regelsystems.

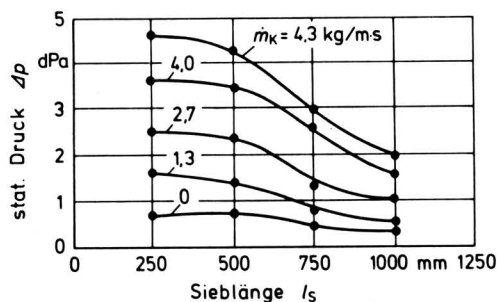


Bild 4. Statischer Druck  $\Delta p$  unter dem Obersieb in Abhängigkeit von der Sieblänge für verschiedene Gutdurchsätze.

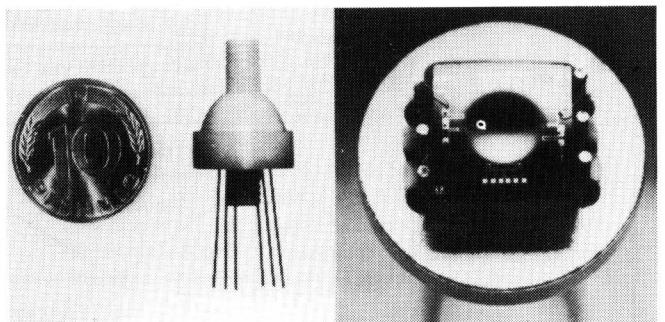


Bild 5. Halbleiter-Drucksensoren [15].

Für die praktische Realisierung der Druckmessung wurden Halbleiter-Drucksensoren, Bild 5, eingesetzt, die inzwischen auch im erforderlichen Druckbereich eine gute Kennlinie aufweisen [14, 15]. Diese Sensoren sind für ca. 50–100 DM erhältlich. Sensoren in mikroelektronik-kompatibler Ausführung und mit einer auf dem Chip integrierten Signalaufbereitung mit Temperaturkompensation, Linearisierung und Signalvorverstärkung sind vorzuziehen, da sie die Signalweiterverarbeitung wesentlich vereinfachen. Neben dem Gutdurchsatz muß als weitere Eingangsgröße die Gebläsedrehzahl erfaßt werden. Dazu sind auf dem Markt preisgünstige erprobte Systeme vorhanden (Halleffektsensoren, Magnet-aufnehmer u.a.).

Auf der Basis des ermittelten Prozeßverhaltens und des Beladungssignals wird der optimale Betriebspunkt ermittelt und eingestellt. Im Programm sind Plausibilitätsüberprüfungen eingebaut, um Fehlfunktionen zu erkennen und um Warnmeldungen auszugeben. Da für den Regelprozeß umfangreiche Rechenoperationen erforderlich sind, wurde ein digitaler Regler mit einem 8 BIT-Micro-Controller (Z8) und ROM-resistentem Betriebssystem eingesetzt [16, 17], Bild 6.

Ein Vorteil des Controllers liegt in den vielfältigen Ein-/Ausgabemöglichkeiten, die bereits mit auf der Platine installiert sind. Zur Messung analoger Signale steht ein 4-Kanal-A/D-Wandler zur Verfügung.

Für die Serienentwicklung ist ein solch universeller Regler nicht unbedingt notwendig. Hier gibt es eine Reihe preisgünstiger leistungsfähiger Single-Chip-Prozessoren (RAM-Bereich, A/D-Wandler, Ein-/Ausgabeelemente sind in einem Chip integriert), die sich für diese Aufgabe eignen und für die eine kostengünstige Hardware-Peripherie zu entwickeln ist. Dabei ist vor allem der Schutz gegen Umwelteinflüsse, Feuchtigkeit, Staub, Temperaturschwankungen sowie die Berücksichtigung von Erschütterungen durch Maschinenschwingungen und Schutz gegen Überspannung (load-dump) erforderlich. Für die Entwicklung und kurzfristige Erprobung neuer Systeme bietet der verwendete Mikro-Controller eine preisgünstige, einfache Lösung.

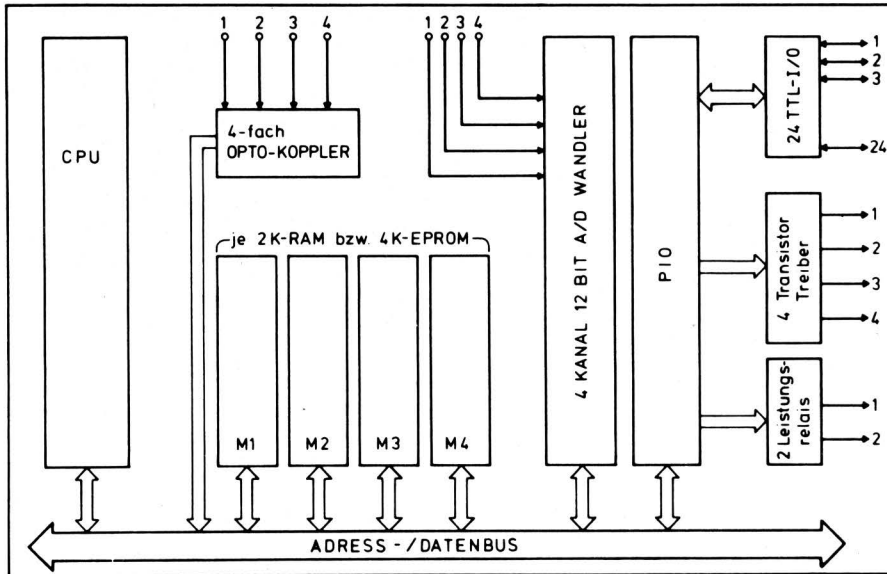


Bild 6. Hardwareaufbau des Micro-Controllers.

## 5. Regelprogramm

Das Regelprogramm wurde in der Hochsprache Basic erstellt. Vorteile der Programmierung in einer System-Hochsprache (z.B. Prozeßbasic, Fortran oder C) sind die schnelle fehlerarme Programmierung, die gute Eignung des Programmes und der sehr geringe Geräteaufwand (z.B. Entwicklungssystem). Die Programmiersprache Basic ist für die Abarbeitung von sehr schnellen Regelalgorithmen zu langsam, für die hier dargestellte Gebläsedrehzahlregelung jedoch vollkommen ausreichend. Die Plausibilitäts- und Sicherheitsüberprüfungen lassen sich in der Hochsprache einfach realisieren.

Das vereinfachte Struktogramm des Regelprogramms ist in Bild 7 dargestellt. Nach der Ermittlung der aktuellen Werte für die Gebläsedrehzahl und den statischen Druck wird anhand der Kennlinien, die im Speicher abgelegt sind, der aktuelle Gutdurchsatz bestimmt. Mit diesem Wert und der Gebläsedrehzahl wird aus dem Betriebskennfeld der Reinigungsanlage der momentane Betriebspunkt und der prozentuale Körnerverlustanteil ermittelt. Bei Überschreitung der festgesetzten Grenze werden die erforderliche Drehzahländerung errechnet und die entsprechenden Befehle an das Stellglied ausgegeben. Liegt der optimal erreichbare Betriebspunkt über der 0,5 %-Grenze, so wird eine Warnmeldung ("Reinigung überladen") an den Fahrer ausgegeben.

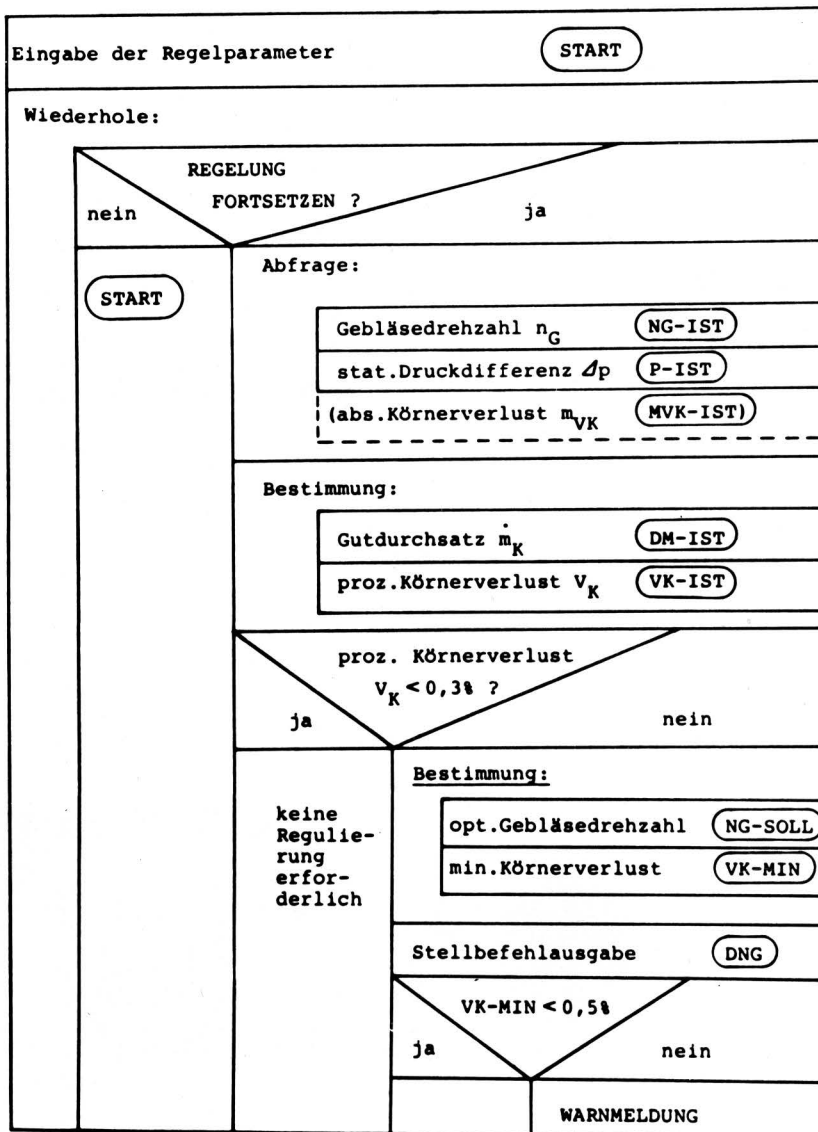


Bild 7. Vereinfachtes Struktogramm des Regelprogramms für den Z8-Controller zur Optimierung der Gebläsezahl.

## 6. Versuchsaufbau und Durchführung

Zur Erprobung des Regelsystems wurde die Trennleistung und das Betriebsverhalten einer Reinigungsanlage mit und ohne Gebläsedrehzahlregelung bei Variation des Durchsatzes untersucht. Eine serienmäßige Reinigungsanlage wurde komplett vor einem Zuführband aufgebaut, Bild 8. Das Versuchsgemisch aus 70 % Weizen-Korn und 30 % Spreu-Kurzstroh wird auf das Band aufgeschichtet. In den Behältern unterhalb der Reinigungsanlage wird das gereinigte Korn aufgefangen und ausgewogen. Die ausgetragene Spreu-Stroh-Fraktion wird im Behälter hinter der Reinigungsanlage aufgefangen, daraus werden die Körnerverluste ermittelt.

Für die automatische Gebläsedrehzeleinstellung am Prüfstand wurde zusätzlich zur manuellen Variatorbetätigung eine elektromotorisch betriebene Spindelverstellung installiert, welche in ähnlicher Form bereits an einzelnen Serienmähdreschern zu finden ist. Die Betätigung mit einem Großserien-Gleichstrommotor stellt eine preisgünstige Lösung dar und ist für den Anwendungsfall vollkommen ausreichend. Mit diesem Stellorgan können pro Sekunde Gebläsedrehzahländerungen bis ca.  $100 \text{ min}^{-1}$  erreicht werden. Bei der Stellsignalausgabe des Reglers ist das Zeitverhalten des Stellorgans zu berücksichtigen.

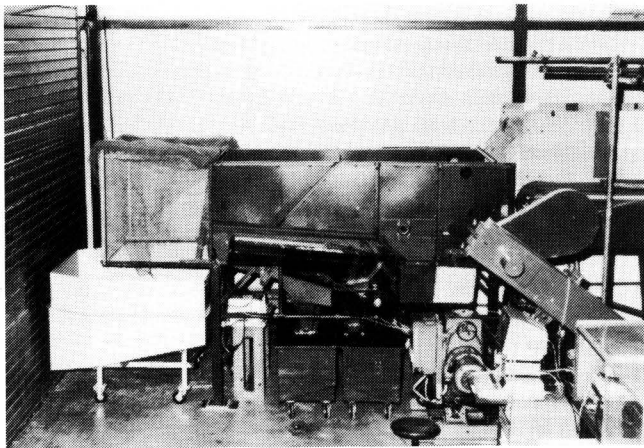


Bild 8. Versuchsaufbau zur Erprobung der Gebläsedrehzahlregelung im Funktionslabor.

## 7. Versuchsergebnisse

Die Erprobung im Funktionslabor wurde mit kurzfristigen Durchsatzänderungen (Sprungänderungen) durchgeführt. In Bild 9 ist das Zeitverhalten des statischen Druckes und der Gebläsedrehzahl für die aufgegebenen Sprungänderungen des Durchsatzes aufgezeichnet.

In der unregelmäßigten Reinigungsanlage (Bild 9 oben) erhöht sich der statische Druck bei der Änderung des Gutdurchsatzes von 1 auf 3 kg/s m infolge der verstärkten Drosselung durch die Gutschicht. Dadurch geht aufgrund der Gebläsecharakteristik der Luftdurchsatz zurück. Im geregelten System (Bild 9, Mitte) wird der Luftdurchsatz durch das Nachführen der Gebläsedrehzahl dem geänderten Durchsatz angepaßt und die Anlage weiter im optimalen Betriebsbereich gehalten. Gutdurchsatzschwankungen ähnlicher Art treten auch bei der Ernte in Hanglagen auf.

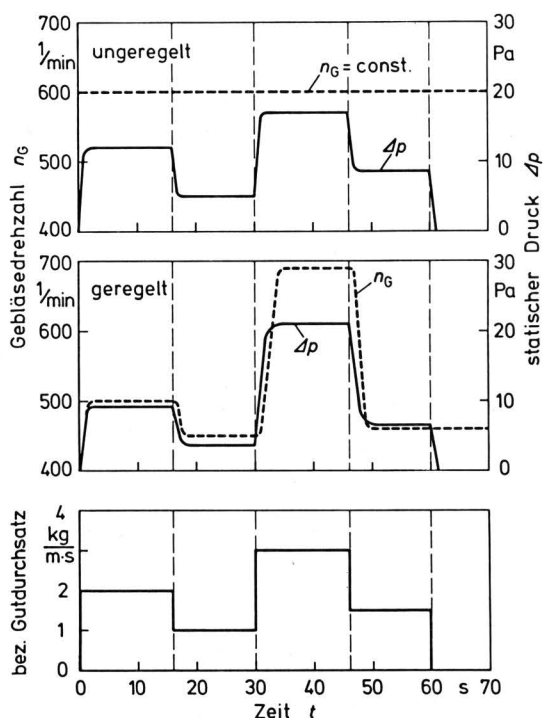


Bild 9. Zeitlicher Verlauf des statischen Druckes unter dem Ober- und der Gebläsedrehzahl bei sprunghafter Änderung des Gutdurchsatzes (unten) bei Regelung (Bildmitte) bzw. ohne Regelung der Gebläsedrehzahl (oben).

Auf dem Prüfstand wurden die Verluste mit konstanter und geregelter Gebläsedrehzahl für verschiedene Lastfälle ermittelt, Bild 10. Untersucht wurden kurzfristige Überlast, mittlere Ertragschwankungen bei durchschnittlicher Auslastung der Reinigungsanlage von 70 und 90 % sowie die Simulation einer An- und Auslaufphase. Als Verlustwerte für konstante Gebläsedrehzahlen sind jeweils die Verluste bei der günstigsten Gebläsedrehzahl aufgetragen. Auch verglichen mit dieser Einstellung der Gebläsedrehzahl, können durch die Regelung die Körnerverluste bei allen Betriebsbedingungen reduziert werden.

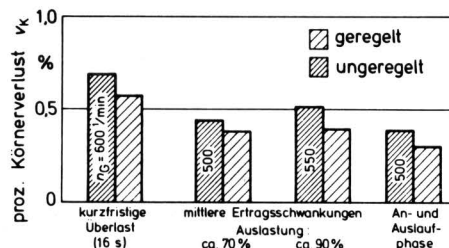


Bild 10. Prozentualer Anteil der Körnerverluste bei bzw. ohne Regelung der Gebläsedrehzahl für verschiedene Änderungen in der Siebbelastung.

## 8. Zusammenfassung

Bei Durchsatzschwankungen lassen sich die Körnerverluste der Mährescherreinigungsanlage durch eine Regelung der Gebläsedrehzahl reduzieren bzw. die Leistung steigern, und der Fahrer wird bei der Überwachung der Anlage entlastet. Der für die Regelung vorgestellte Durchsatzsensor ist preisgünstig und genügt den gestellten Anforderungen. Durch eine Integration der mechanischen Schwingungsanregung in das Regelsystem könnte das Leistungspotential der Reinigungsanlage noch weiter ausgeschöpft werden. Bis zur Serienreife müssen allerdings noch einige Voraussetzungen erbracht werden.

Bei Verzicht auf eine Kalibrierung entsprechend den jeweiligen Guteigenschaften muß der Körnerverlust kontinuierlich erfaßt und das Betriebskennfeld entsprechend angepaßt werden. Bis hierfür geeignete Meßsysteme entwickelt sind, kann die Regelung, wie hier beschrieben, auf der Basis des zuvor ermittelten Prozeßverhaltens der Reinigungsanlage aufgebaut werden. Voraussetzung ist dann die Kalibrierung auf das jeweilige Erntegut. Dazu muß das Prozeßverhalten der Reinigungsanlage für unterschiedliche Erntegüter zunächst ermittelt werden. Die entsprechenden Betriebskennfelder bzw. Korrekturfaktoren sind dann im Regler abgelegt und werden vor Beginn des Dreschens vom Fahrer durch eine Eingabe aufgerufen.

## Schrifttum

- [ 1 ] Diekhans, N.: Automatisierung am Mährescher. Grndl. Landtechnik Bd. 35 (1985) Nr. 4, S. 111/18.
- [ 2 ] Kutzbach, H.D.: Verringerung der Körnerverluste bei Mähreschern im Hangeinsatz. Landtechnik Bd. 40 (1985) Nr. 6, S. 278/80.
- [ 3 ] Huismann, W., J. van Loo u. J.J. Heijning: Automatic feed rate control of a combine harvester in wheat. Department Report. Department of Agricultural Engineering, Agricultural University, Wageningen, Netherlands, 1974.
- [ 4 ] Kawamura, T., N. Kawamura u. K. Namikawa: Adaptive feed rate control of head feeding type combine. Digital sampled data adaptive control system. J. Soc. Agr. Mach. Japan Bd. 39 (1977) Nr. 12, S. 157.

- [ 5 ] *Stahl, T., Th. Freye u. H.D. Kutzbach:* Automatic control of cleaning fan speed to reduce sidehill losses. ASAE-Paper-No. 81-1617.
- [ 6 ] *McGechan, M.B. u. C.A. Glasgey:* The benefits of different speed control systems for combine harvesters. J. agric. Engng. Res. Bd. 27 (1982) Nr. 27, S. 537/52.
- [ 7 ] *Eimer, M.:* Untersuchungen zur Durchsatzregelung am Mäh-drescher. Habilitationsschrift Univ. Göttingen 1973.
- [ 8 ] *Schueller, J.K., M.P. Mailänder u. G.W. Krutze:* Combine feedrate sensors. Trans. ASAE Bd. 28 (1985) Nr. 1, S. 2/5.
- [ 9 ] *Bernhardt, G.:* Grundsätzliche Überlegungen zu Automati-sierungskonzeptionen für Mähdrescher. Agrartechnik Bd. 34 (1984) Nr. 1, S. 23/26.
- [ 10 ] *Freye, Th. u. H.D. Kutzbach:* Verminderung der Körnerver-luste von Mähdrescher-Reinigungsanlagen im Hangbetrieb durch Regelung des Luftstroms. Grundl. Landtechnik Bd. 29 (1979) Nr. 4, S. 105/108.
- [ 11 ] *Freye, Th.:* Untersuchungen zur Trennung von Korn-Spreu-Gemischen durch die Reinigungsanlage des Mähdreschers. Diss. Univ. Hohenheim 1980, Forschungsbericht des Ar-beitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft (MEG) Nr. 47.
- [ 12 ] *Kutzbach, H.D. u. W.H. Grobler:* Regelung einer Mähdre-scher-Reinigungsanlage. Tagungsbericht 10. Internat. Kongress des CIGR, Budapest 1984, Nr. 1–5, S. 221/28.
- [ 13 ] *Berner, D., W.H. Grobler u. H.D. Kutzbach:* Sensoren zur Messung der Körnerverluste von Mähdreschern. Grundl. Landtechnik Bd. 35 (1985) Nr. 4, S. 127/32.
- [ 14 ] *Heucke, H.:* Piezoresistive Drucksensoren. EJ Information, "Und-oder-nor-Steuerungstechnik", Nr. 11/83, S. 27.
- [ 15 ] Piezoresistive Druckaufnehmer; Funktionsbeschreibung und Datenblatt des Sensor Typ PD 2. Fa. Keller-Druckmeßtech-nik, Güglingen.
- [ 16 ] Z8 Microcomputer. Preliminary Technical Manual. Best. Nr. 03-3047-02; Zilog.
- [ 17 ] Z8671 Single-Chip BASIC Interpreter. BASIC/DEBUG Software Reference Manual. Best. Nr. 03-3149-02; Zilog.

## Grundlagen zur Geschwindigkeitsmessung auf fahrenden landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen

Von Hermann Speckmann und Gerhard Jahns,  
Braunschweig-Völkenrode\*)

Mitteilung aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft,  
Braunschweig-Völkenrode

DK 631.372:631.3.076:531.76

Arbeitserfolg und Effizienz der eingesetzten Betriebsmit-tel sind bei vielen Außenarbeiten, insbesondere aber bei den verschiedenen Verteilarbeiten, unmittelbar abhängig von der Genauigkeit, mit der Fahrgeschwindigkeit und Fahrweg erfaßt und zur Steuerung und Regelung des Prozesses genutzt werden. Nach einem kurzen Überblick über Geschwindigkeitsmeß-verfahren werden die für die Landwirtschaft spezifischen Einsatzbedingungen erläutert und die Anforderungen an geeignete Verfahren unter besonderer Berücksichtigung der Radar-Dopplerverfahren zusammengestellt. Die Ergebnisse vergleichender Messungen unter praxisge-rechten Bedingungen werden in einer folgenden Arbeit dargestellt.

### 1. Einleitung

Wirtschaftliche Gründe und Gesichtspunkte des Umweltschutzes geben Anlaß, den Einsatz der landwirtschaftlichen Betriebsmittel wie Saatgut, Pflanzenbehandlungs- und Düngemittel immer wieder zu überprüfen und ihre Effizienz durch einen nach Menge und Zeitpunkt gezielteren Einsatz zu verbessern. Diese ständige Verbes-erung der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren richtet sich sowohl auf den Produktionsprozeß als Ganzes wie auch auf die eingesetzten einzelnen Arbeitsverfahren.

Eine Möglichkeit der Optimierung der Arbeitsverfahren liegt in der Anwendung weiterentwickelter Prozeßsteuerungen und -rege-lungen, wofür zwei Voraussetzungen gegeben sein müssen: zum einen die Kenntnis der jeweiligen Produktionsfunktionen und zum anderen die Verfügbarkeit geeigneter kostengünstiger Sensoren zur Erfassung der maßgebenden physikalischen Größen. Für den Be-trieb fahrender Arbeitsmaschinen kommt den Größen Fahrge-schwindigkeit und Fahrweg eine herausragende Bedeutung zu, da sie wichtige Führungsgrößen für viele Arbeitsprozesse der Außen-wirtschaft sind. Fehler bei ihrer Messung beeinträchtigen unmittel-bar den Arbeitserfolg und die Effektivität der eingesetzten Be-triebsmittel. Dies gilt besonders für alle Verteilarbeiten wie bei-spielsweise für das Ausbringen von Saatgut, Düngern und Pflanzen-schutzmitteln.

\*) Dipl.-Ing. H. Speckmann und Dr.-Ing. G. Jahns sind wiss. Mit-arbeiter am Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.