

Meßgenauigkeit bei der Ermittlung der Schüttlerverluste zur Unterscheidung von Stellbereichen für eine Steuerung

Dr.-Ing. S. Zwiebel, KDT, Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

1. Problemstellung

Bei der Steuerung eines Mähdreschers im Ernteprozeß sind zwei Ebenen zu unterscheiden:

– Ebene 1: Ermittlung der Vorgabewerte für den Mähdreschereinsatz (Off-line-Optimierung)

In dieser Ebene werden die Einsatzzeit und die Richtwerte für die Maschineneinstellung (z. B. Durchsatz) oder die Prozeßausgangsgrößen (z. B. Körnerverlustanteil, Bruchkornanteil) festgelegt. Diese Entscheidungen werden aus Optimierungsbetrachtungen mit verschiedenen Zielgrößen (z. B. geringe Gesamternteverluste, geringe Verfahrenskosten) gefällt.

– Ebene 2: Automatisches Einhalten der Vorgabewerte am Mähdrescher beim Mähdreschereinsatz (On-line-Optimierung)

In dieser Ebene werden die in der Ebene 1 vorgegebenen Größen des Prozesses durch Automatisierungseinrichtungen eingehalten. Diese vorgegebenen Größen sind aber technisch nur innerhalb vorgegebener Toleranzbereiche konstant zu halten. Das Vorgeben der Toleranzbereiche kann nicht willkürlich erfolgen, sondern nur auf der Grundlage der Prozeßkenntnis. Für konkret festzulegende Bedingungen sind die Toleranzbereiche abzuschätzen.

Für die Zielgröße „Schüttlerverluste“ (Körnerverluste am Hordenschüttler) des Mähdruschprozesses wurde eine Abschätzung des Toleranzbereichs unter Laborbedingungen vorgenommen. Die Information, daß sich die Schüttlerverluste über den Toleranzbereich hinaus vom Sollwert entfernt haben, ist dann zur On-line-Optimierung im Mähdrescher zu verwenden.

2. Untersuchungsbedingungen

Die Untersuchungen wurden an einem Laborversuchsstand durchgeführt. Die Körnerverluste am Schüttler wurden mit Hilfe eines hinter der Versuchseinrichtung angeordneten zweiten Schüttlers ermittelt. Eingelagertes Getreide von einem Feld wurde als Druschgut mit konstanten Bedingungen definiert. Die Untersuchungen wurden in verschiedenen Jahren mit vier Versuchsgutarten als Versuchsserien durchgeführt (Bild 1).

3. Ermittlung von Streuungsmaßzahlen

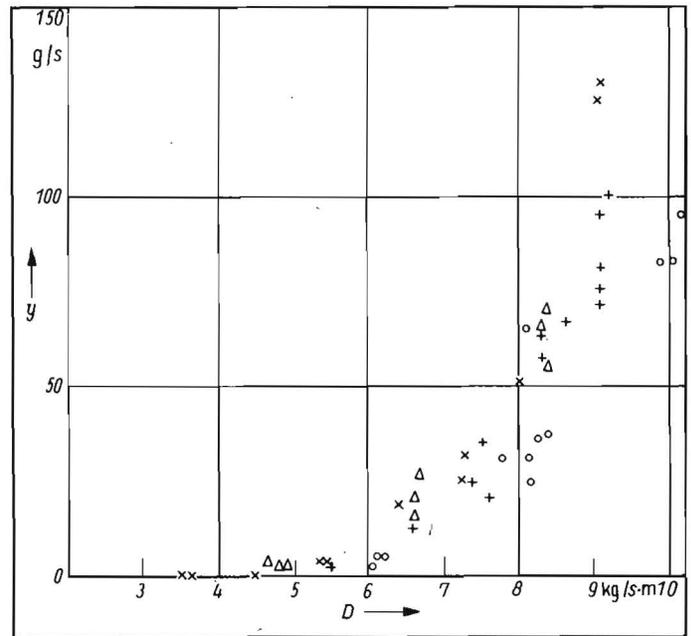
Vor der Berechnung der Toleranzbereiche für die Schüttlerverluste müssen Schätzwerte für die Streuungsmaßzahlen der Schüttlerverluste bereitgestellt werden.

Ausgehend von den Versuchsergebnissen (Bild 1) wurden zwei Schätzmethoden angewendet. Als Streuungsmaßzahl wurde der Variationskoeffizient gewählt, da die Abweichungen der Meßwerte vom Mittelwert verhältnisskaliert sind.

Bei der ersten Methode wurden zur Berechnung der Variationskoeffizienten nur die Versuchswiederholungen, die unter konstanten Bedingungen für Laborverhältnisse durchgeführt wurden, herangezogen.

Unter diesen Bedingungen ergibt sich ein

Bild 1
Zusammenhang zwischen Durchsatz D und Schüttlerverlusten y für vier Versuchsserien



Mittelwert des Variationskoeffizienten $V = 18\%$ für 14 Wiederholungsgruppen. Die obere Vertrauensgrenze für diesen Mittelwert ergibt sich mit $\hat{V} = 27\%$.

Bei der zweiten Methode wurde eine Ausgleichsfunktion für die Durchsatz-Verlust-Kennlinie zu jeder Versuchsserie berechnet. Auf dieser Grundlage wurden die Reststreuungen S_R der relativen Abweichungen ermittelt. Diese Werte sind für die betrachtete Aufgabe den Variationskoeffizienten V gleichzusetzen. Aus den Versuchsergebnissen wurde $S_R = V = 34\%$ ermittelt.

4. Abschätzen der Toleranzbereiche (Kontrollgrenzen)

Zum Abschätzen der Toleranzbereiche wird von den Methoden der statistischen Qualitätsregulierung die Methode der Mittelwertkarte ausgewählt. Für die Ermittlung der Toleranzbereiche (Kontrollgrenzen k_u und k_o) wird von 4 Verlustmessungen mit der Meßzeit von 20 s entsprechend der Versuchsdurchführung ausgegangen. Weiterhin wird als Streuungsmaßzahl der Variationskoeffizient $\hat{V} = 27\%$ verwendet. Damit werden z. B. für einen Verlustsollwert von 0,8% als untere Kontrollgrenze $k_u = 0,48\%$ Körnerverluste und als obere Kontrollgrenze $k_o = 1,12\%$ Körnerverluste errechnet.

5. Vergleich der Toleranzbereiche und der Stellbereiche für die Schüttlerverluste

Für eine Drescheinrichtung mit dem Trommeldurchmesser $d = 800$ mm wurde ein Stellbereich für die Trommeldrehzahl n und den Durchsatz D bezüglich der Änderung der Schüttlerverluste y untersucht. In den Bildern 2 und 3 sind die unter den im Abschn. 4 aufgeführten Bedingungen ermittelten Kontrollgrenzen für einen Verlustsollwert von 0,8% und 2% eingetragen. Aus Bild 2 ist abzuleiten, daß mit der in den Be-

trachtungen zugrunde gelegten Meßgenauigkeit für die Schüttlerverluste keine gesicherte Information für eine On-line-Optimierung und damit für die Steuerung der Dreschtrommeldrehzahl bereitgestellt werden kann. Für größere Änderungen des Durchsatzes und damit der Verluste sind unter den festgelegten Bedingungen die Verlustsollwertbereiche von $y_s = 0,8\%$ und $y_s = 2\%$ gesichert zu unterscheiden.

6. Schlußfolgerungen

Mit der dargestellten Methode sind die Toleranzgrenzen für Meßgrößen festzulegen.

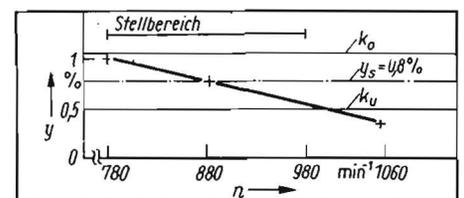
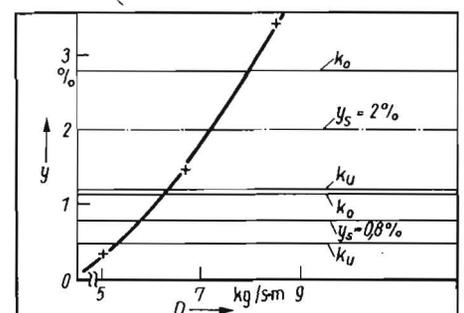


Bild 2. Vergleich der Schüttlerverluste y im Stellbereich der Dreschtrommeldrehzahl n mit Kontrollgrenzen (Nenndurchsatz $7 \text{ kg/s} \cdot \text{m}$)

Bild 3. Vergleich der Schüttlerverluste y in Stellbereichen des Durchsatzes D mit Kontrollgrenzen



Erst wenn die Störgrößen oder Stellgrößen in ihrem durch den Prozeß begrenzten Änderungsbereich bewirken, daß die untersuchte Meßgröße mit festgelegter statistischer Sicherheit die ermittelten Toleranzgrenzen überschreitet, ist die Meßgröße für Steuermaßnahmen (On-line-Optimierung) zu verwenden.

Damit sind als Folgeaufgabe der Änderungsbereich der Störgrößen und Stellgrößen und die damit erreichbaren Auswirkungen auf

die Meßgröße abzuschätzen, um die Aufgaben für eine On-line-Optimierung festzulegen.

Der Änderungsbereich der Störgrößen und Stellgrößen wird entscheidend vom Stand der Off-line-Optimierung und von den dort festgelegten Aufgaben bestimmt. Daraus ist abzuleiten, daß für den Mähdruschprozeß die Aufgaben einer On-line-Optimierung erst beurteilt werden können, wenn aufgrund der Off-line-Optimierung der Einflußbereich der

Stellgrößen und Störgrößen auf die gewählten Meßgrößen abgeschätzt worden ist. Mit den Untersuchungen wurden Möglichkeiten der Abschätzung der Toleranzbereiche für die Meßgröße „Schüttlerverluste“ gezeigt. Mit diesen Ergebnissen sind in Verbindung mit den erreichbaren Verluständerungen innerhalb vorgegebener Bereiche von Stellgrößen die Effekte einer On-line-Optimierung abzuschätzen.

A 4762

Computersimulation der Belüftungskonservierung – eine Methode zur optimalen Konstruktion und Bewirtschaftung von Trocknungsanlagen

Dr.-Ing. A. Spittel, KDT, Institut für Futterproduktion Paulinenaue der AdL der DDR

Verwendete Formelzeichen

a		Vorwelleffizient, Konstante
A	m ² /kg	spezifische Oberfläche der Trockensubstanz
b		Infektionskoeffizient, Konstante
c	J/kg · K	spezifische Wärme
f	m ²	Flächenelement
h	m	Höhe des Belüftungsgutes
ṁ	kg/s	Massestrom
p	Pa	Druck
P	W	Leistung
r	J/kg	Verdampfungswärme
R	mgCO ₂ /gTS · h	Respirationsrate
t	s	Zeit
T	K	Temperatur
u	%	Gutfeuchte auf nasser Basis
v	m/s	Geschwindigkeit im freien Querschnitt
V̇	m ³ /s	Volumenstrom
W	Nm	Energie
x	kg/kg	Feuchtegrad der Luft
X	kg/kg	Gutfeuchte auf trockener Basis
z	m	Höhe
α	W/m ² · K	Wärmeübergangszahl
η		Wirkungsgrad
θ	°C	Temperatur
Θ	K/h	Temperaturgradient der enzymatischen Selbsterwärmung
ξ		Stadium der Schimmelbildung
ρ	kg/m ³	Dichte
τ	h	schimmelfreie Konservierungszeit
φ	%	relative Luftfeuchte

Indizes

e	im Gleichgewicht
EWP	Entfeuchtungswärmepumpe
f	feucht
F	Frischgut Gras
ges	gesamt
G	Belüftungsgut
H	Weilgut Gras
K	Getreide
L	Luft
s	gesättigt
t	trocken

1. Einleitung

Die notwendige Weiterentwicklung der Verfahren der Belüftungskonservierung von Heu, Getreide, Saatgut und vielen Sonderkulturen erfordert die Aufdeckung bislang ungenutzter Gesetzmäßigkeiten und kausaler

Zusammenhänge. Durch die gezielte Anwendung des in den letzten Jahren erweiterten Grundlagenwissens und der am Arbeitsplatz installierten Mikrorechenteknik ist die Computersimulation zu einer möglichen und sehr nutzbringenden Methode für die Forschung und Prozeßautomatisierung geworden. Sie ermöglicht ein qualitativ spürbar höheres Niveau der Optimierung von relevanten Einflußparametern.

Mit der Computersimulation sind die örtliche und zeitliche Berechnung der Temperatur- und Feuchteprofile, der Trockensubstanzverluste, der Schimmelbildung, des Energieaufwands und der Verfahrenskosten in praktischer Adäquatheit möglich. Damit verfügt man über alle erforderlichen Bewertungsgrößen zur Optimierung der Konstruktion und Bewirtschaftung von Trocknungsanlagen.

Über experimentelle Untersuchungen beispielsweise die Optimierung von Algorithmen zur Belüftungssteuerung vorzunehmen oder Wechselwirkungen zu begründen, ist nicht möglich, da einerseits der Versuchsaufwand viel zu hoch ist und andererseits die experimentelle Forschung stets nicht ausschließenden Störeinflüssen unterliegt.

Die Simulation dauert im Gegensatz zum Experiment nur einige Minuten oder Stunden und gestattet zu jeder Jahreszeit und Stunde beliebige Simulationsbedingungen. Die Anwendungen an Arbeitskraftstunden, Material und Energie betragen nur einen Bruchteil der experimentellen Aufwendungen.

Nachfolgend wird über die thermodynamischen und pflanzenphysiologischen Grundlagen und deren Anwendung zur Computersimulation der Belüftungskonservierung berichtet.

2. Wasser- und Wärmeaustausch zwischen Luft und Gut

Zur analytischen Darstellung des gekoppelten Wasser- und Wärmeaustausches bei der Belüftungskonservierung sind das Differentialgleichungsmodell oder das Gleichgewichtsmodell bevorzugt anzuwenden. Das logarithmische Modell und das adiabate Modell sind wegen notwendiger konstanter Luft Eintrittsbedingungen bzw. wegen unzulässiger Vereinfachungen zur Simulation der Belüftungskonservierung mit wechselnden Witterungsbedingungen ungeeignet.

2.1. Differentialgleichungsmodell

Die Berechnungsgleichungen werden an einem in z-Richtung von Luft durchströmten Volumenelement des Belüftungsgutes hergeleitet. Erstens ist eine *Energiebilanz* formulierbar. Die von der strömenden Luft abgegebene Wärmemenge dient der Erhöhung der fühlbaren Speicherwärme des Gutes sowie der Verdunstung der abgeführten Gutfeuchtigkeit abzüglich der Eigenerwärmung des Gutes:

$$\alpha A \varrho_{Gf} (\vartheta_L - \vartheta_G) f dz dt = \varrho_{Gf} c_{Gf} \frac{\partial \vartheta_G}{\partial t} f dz dt + r \frac{\partial X}{\partial t} \varrho_{Gf} f dz dt - \Theta \varrho_{Gf} c_{Gf} f dz dt. \quad (1)$$

Zweitens ergibt die *Stoffbilanz*, daß die vom Luftstrom aufgenommene Dampfmenge der Wasserabgabe des Belüftungsgutes im Volumenelement entspricht:

$$v_L f dt \varrho_{Lf} \frac{\partial x}{\partial z} dz = f dz \varrho_{Gf} \frac{\partial X}{\partial t} dt. \quad (2)$$

Drittens besagt die *dynamische Betrachtung der Energiebilanz*, daß die in einer Zeiteinheit von der Luft abgegebene Wärmemenge in der gleichen Zeiteinheit vom Gut aufgenommen wird und umgekehrt:

$$\frac{\partial \vartheta_L}{\partial t} \varrho_{Lf} c_{Lf} f dz + \frac{\partial \vartheta_G}{\partial t} \varrho_{Gf} c_{Gf} f dz = 0. \quad (3)$$

Mit einer vierten, zweckmäßigerweise experimentell ermittelten Gleichung für das *Trocknungs- und Befeuchtungsverhalten* des Belüftungsgutes steht ein System von 4 partiellen Differentialgleichungen zur Berechnung der Feuchtegrade und Temperaturen von Gut und Luft in Abhängigkeit von Zeit und Ort zur Verfügung.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial X}{\partial t} (X, x, \vartheta_G, \vartheta_L) \quad (4)$$

$$\frac{\partial \vartheta_G}{\partial t} = \frac{\alpha A \varrho_{Gf} (\vartheta_L - \vartheta_G)}{\varrho_{Gf} c_{Gf}} + \Theta - r \frac{\varrho_{Gf}}{\varrho_{Gf} c_{Gf}} \frac{\partial X}{\partial t} \quad (5)$$

$$\frac{\partial x}{\partial z} = \frac{\varrho_{Gf}}{\varrho_{Lf} v_L} \frac{\partial X}{\partial t} \quad (6)$$

$$\frac{\partial \vartheta_L}{\partial z} = - \frac{\partial \vartheta_G}{\partial t} \frac{\varrho_{Gf}}{\varrho_{Lf}} \frac{c_{Gf}}{c_{Lf}} \frac{1}{v_L} \quad (7)$$