

Regelung der Fördergeschwindigkeit beim Hordenschüttler

Theoretische Betrachtungen zum Einfluss der Fördergeschwindigkeit auf dem Hordenschüttler führen zu der Erkenntnis, dass in Abhängigkeit vom NKB-Durchsatz ein Fördergeschwindigkeitsoptimum existiert. Durch eine Regelung der Fördergeschwindigkeit in Abhängigkeit vom NKB-Durchsatz verläuft die Durchsatz-Verlust-Kennlinie des Hordenschüttlers vor allem im oberen Verlustniveau bedeutend flacher. Für die Regelung ist es ausreichend, die Schichthöhe auf dem Schüttler zu messen und auf einen konstanten Wert zu halten. Der Hangausgleich beim Hangmähdrescher kann in die Regelung der Fördergeschwindigkeit sowohl in der Ebene als auch am Hang mit einbezogen werden.

Dr.-Ing. Ralf Hübner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Agrarsystemtechnik (Leitung: Prof. Dr.-Ing. habil. Bernhardt), Institut für Verarbeitungsmaschinen und Mobile Arbeitsmaschinen der TU Dresden, 01062 Dresden; e-mail: huebner@ast.mw.tu-dresden.de

Schlüsselwörter

Mähdrescher, Hordenschüttler, Fördergeschwindigkeit

Keywords

Combine harvester, straw walker, conveying speed

Landwirtschaftliche Betriebe, die auf die Strohverwertung Wert legen, sind weiterhin an Schüttlermähdreschern interessiert. Doch ist die Leistungsfähigkeit des Hordenschüttlers ausgereizt. Das größte Problem ist die sehr steil verlaufende Durchsatz-Verlust-Kennlinie bei einer Überlastung. Um die Empfindlichkeit gegenüber Überlastung zu verringern, werden Betrachtungen zur Regelung der Fördergeschwindigkeit auf dem Hordenschüttler angestellt.

Problem

Die Fördergeschwindigkeit hat sowohl einen Einfluss auf die Höhe als auch auf die Verweildauer der Strohschicht auf dem Schüttler. Da beide Größen eine entgegengesetzte Wirkung auf den Schüttlerverlust besitzen, stellt sich eine optimale Fördergeschwindigkeit ein. Diese lässt sich allerdings experimentell schwierig ermitteln, da die zum Variieren der Fördergeschwindigkeit möglichen Parameter (Schüttlerdrehzahl, Kurbelwellenhub, Neigungswinkel der Schüttlerhorde) auch die anderen Kenngrößen des Trennprozesses (Anzahl der Impulse, vertikale und horizontale Aufprallgeschwindigkeit der Strohschicht auf die Schüttlerhorde) verändern. Um dieses Problem zu lösen, werden theoretische Betrachtungen zur optimalen Fördergeschwindigkeit angestellt. Diese gehen von einem längenunabhängigen Entmischungsversuchsstand aus, bei dem eine Strohschicht durch ein vertikal oszillierendes Sieb zu Schwingungen angeregt sowie eine aufgebundene Kornmasse entmischt und abgeschieden wird.

Entmischungsversuchsstand

Am Entmischungsversuchsstand erfolgt eine Bestimmung des Korndurchgangs σ , indem der Quotient aus abgeschiedener zu aufgebundener Kornmasse in Abhängigkeit von der Durchdringungszeit t_D gebildet wird. In [1] sind für mehrere NKB-Massenbelegungen m_{NKB} (Weizenstroh) die gemessenen Korndurchgänge bei einer konstanten mechanischen Anregung und Kornmassenbelegung $m_K = 2 \text{ kg m}^{-2}$ aufgeführt (Bild 1). Die

gemessenen Werte des Korndurchgangs können durch den Regressionsansatz

$$\sigma = 1 - e^{K_1 \cdot t_D + K_2} \quad (1)$$

mit $K_1 = K_{11}$ $K_2 = K_{21}$ bei $m_{NKB} = 2 \text{ kg m}^{-2}$

$K_1 = K_{12}$ $K_2 = K_{22}$ bei $m_{NKB} = 3 \text{ kg m}^{-2}$

$K_1 = K_{13}$ $K_2 = K_{23}$ bei $m_{NKB} = 4 \text{ kg m}^{-2}$

$K_1 = K_{14}$ $K_2 = K_{24}$ bei $m_{NKB} = 6 \text{ kg m}^{-2}$

$K_1 = K_{15}$ $K_2 = K_{25}$ bei $m_{NKB} = 7 \text{ kg m}^{-2}$

interpoliert werden.

Transformation auf Hordenschüttler

Um den gesamten Variationsbereich der NKB-Massenbelegung m_{NKB} , die proportional der Schichthöhe ist, einzubeziehen, wird mit den Werten der Koeffizienten $K_{11} \dots K_{15}$ und $K_{21} \dots K_{25}$ in Abhängigkeit von m_{NKB} eine weitere Regression mit den Ansätzen

$$K_1 = K_{1a} \cdot m_{NKB}^2 + K_{1b} m_{NKB} + K_{1c} \quad (2)$$

$$K_2 = K_{2a} \cdot m_{NKB}^2 + K_{2b} m_{NKB} + K_{2c} \quad (3)$$

durchgeführt. Zur Übertragung der Ergebnisse des Entmischungsversuchsstandes auf den kontinuierlichen Prozess auf dem Schüttler müssen die Durchdringungszeit t_D und die NKB-Massenbelegung m_{NKB} in Abhängigkeit von der Fördergeschwindigkeit v_F ausgedrückt werden. Das erfolgt unter Einbeziehung der Schüttlerlänge l_s sowie des direkt am Schüttler auftretenden spezifischen NKB-Durchsatzes q_{NKB} .

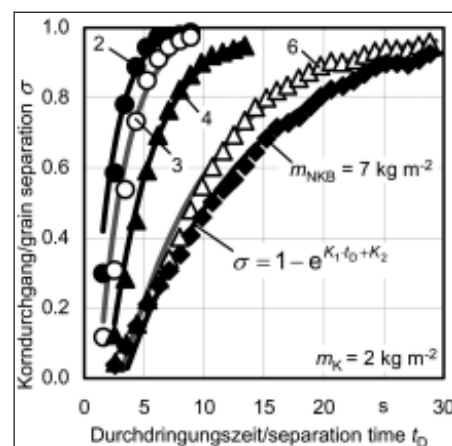


Bild 1: Korndurchgang am Entmischungsversuchsstand (nach [1])

Fig. 1: Grain separation at the decomposition test rig (acc. to [1])

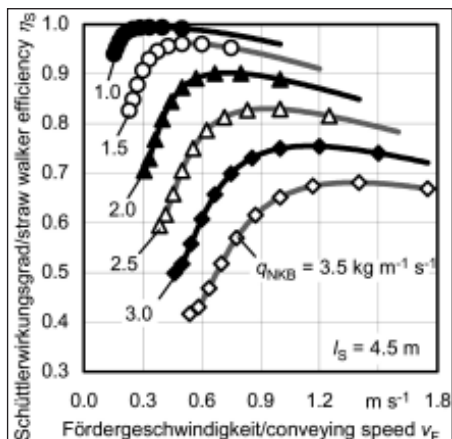


Bild 2: Schüttlerwirkungsgrad in Abhängigkeit von Fördergeschwindigkeit

Fig. 2: Straw walker efficiency vs. conveying speed

$$t_D = l_s / v_F \quad (4)$$

$$m_{NKB} = q_{NKB} / v_F \quad (5)$$

$$\sigma = \eta_s \quad (6)$$

Der Korndurchgang σ entspricht beim Schüttler dem Schüttlerwirkungsgrad η_s (Gl. 6). Gleichung 5 in die Gleichung 2 und 3 und diese wiederum zusammen mit Gleichung 4 und 6 in die Gleichung 1 eingesetzt, ergibt für den Schüttlerwirkungsgrad:

$$\eta_s = 1 - e^{-\left[K_{1a} \left(\frac{q_{NKB}}{v_F} \right)^2 + K_{1b} \frac{q_{NKB}}{v_F} + K_{1c} \right] \frac{l_s}{v_F} + K_{2a} \left(\frac{q_{NKB}}{v_F} \right)^2 + K_{2b} \frac{q_{NKB}}{v_F} + K_{2c}} \quad (7)$$

Berechnete optimale Fördergeschwindigkeit

Die Gleichung 7 ermöglicht die Berechnung des Schüttlerwirkungsgrades für verschiedene Fördergeschwindigkeiten, Schüttlerlängen und spezifische NKB-Durchsätze. Bild 2 zeigt den berechneten Schüttlerwirkungsgrad bei einer gebräuchlichen Schüttlerlänge $l_s = 4,5$ m in Abhängigkeit von v_F mit q_{NKB} als Parameter. Die Markierungen auf den Kennlinien decken den untersuchten Bereich $m_{NKB} = 2 \dots 7$ kg m⁻² ab. Für höhere v_F wurden K_1 und K_2 auf Werte $m_{NKB} < 2$ kg m⁻² extrapoliert. Der Schüttlerwirkungsgrad sinkt erwartungsgemäß mit zunehmendem spezifischen NKB-Durchsatz. Es wird aber auch deutlich, dass der Schüttlerwirkungsgrad ein Maximum durchläuft und somit ein Fördergeschwindigkeitsoptimum $v_{F,optimal}$ vorhanden ist. Das Maximum verschiebt sich mit zunehmendem q_{NKB} zu höheren Fördergeschwindigkeiten. Eine Überschreitung der optimalen Fördergeschwindigkeit hat geringeren Einfluss als eine Unterschreitung.

Regelung der Fördergeschwindigkeit

Die Fördergeschwindigkeit heute üblicher Hordenschüttler liegt in einem Bereich $v_F =$

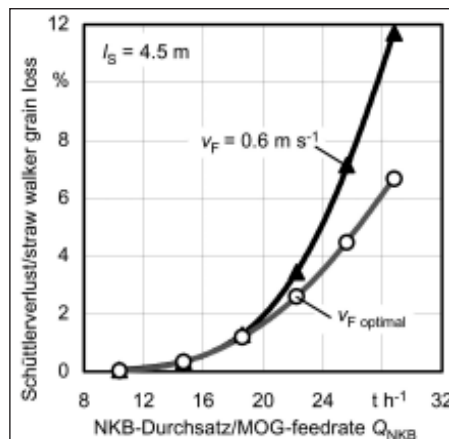


Bild 3: Berechnete Durchsatz-Verlust-Kennlinie

Fig. 3: Calculated feedrate loss curve

0,5 ... 0,7 m s⁻¹. Im Bild 2 ist zu sehen, dass dieser Fördergeschwindigkeitsbereich für spezifische NKB-Durchsätze $q_{NKB} = 1,5 \dots 2,0$ kg m⁻¹ s⁻¹ das Optimum bedeutet. Bei einer Umrechnung des direkt am Schüttler auftretenden spezifischen NKB-Durchsatzes q_{NKB} auf den NKB-Durchsatz Q_{NKB} eines realen Mähdreschers muss die Kanalbreite und NKB-Abscheidung am Dreschwerk und Schüttler des Mähdreschers mit berücksichtigt werden. Hierfür wurden Kennlinien aus Labor- und Felduntersuchungen verwendet. Die Umrechnung ergibt für einen 6-Schüttlermähdrescher einen NKB-Durchsatz $Q_{NKB} = 15 \dots 19$ t h⁻¹. Die heute verwendeten Fördergeschwindigkeiten sind also nur für diesen Bereich des NKB-Durchsatzes beim 6-Schüttlermähdrescher optimal. Bei größerem NKB-Durchsatz muss die Fördergeschwindigkeit erhöht und bei niedrigerem NKB-Durchsatz verringert werden, wobei aber eine Regelung der Fördergeschwindigkeit vor allem bei höheren NKB-Durchsätzen sinnvoll ist.

Die erzielte Leistungssteigerung durch eine Regelung nach der optimalen Fördergeschwindigkeit $v_{F,optimal}$ gegenüber einer konstanten Fördergeschwindigkeit $v_F = 0,6$ m s⁻¹ bei einer Schüttlerlänge $l_s = 4,5$ m ist in Bild 3 anhand der Durchsatz-Verlust-Kennlinien dargestellt. Zu deren Ermittlung wird der Schüttlerverlust unter Berücksichtigung von im Labor gemessenen Dreschwerkwirkungsgraden aus dem Schüttlerwirkungsgrad (Gl. 7) berechnet. Vor allem im oberen Verlustniveau verläuft die Durchsatz-Verlust-Kennlinie bedeutend flacher und verringert die Empfindlichkeit des Schüttlers bei einer Überlastung.

Eine Messung der Fördergeschwindigkeit auf dem Hordenschüttler unter Praxisbedingungen ist relativ schwierig. Deshalb wurde nach einer einfacheren Möglichkeit gesucht.

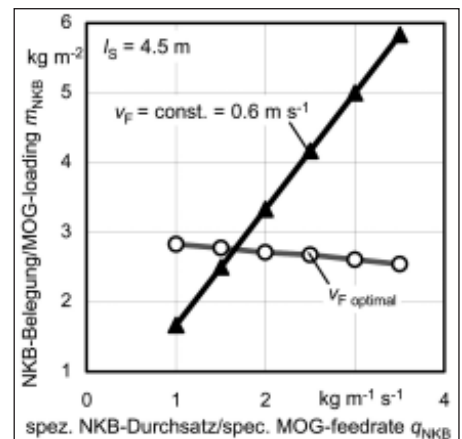


Bild 4: NKB-Massenbelegung in Abhängigkeit vom spez. NKB-Durchsatz

Fig. 4: MOG-mass loading vs. specific MOG-feedrate

Bei einer konstanten Fördergeschwindigkeit ist die NKB-Massenbelegung proportional dem spezifischen NKB-Durchsatz. Berechnet man hingegen die sich einstellenden NKB-Massenbelegungen (Gl. 5) auf dem Schüttler bei Verwendung der jeweiligen optimalen Fördergeschwindigkeiten, sind diese nahezu unabhängig vom spezifischen NKB-Durchsatz (Bild 4). Da die NKB-Massenbelegung unter Voraussetzung einer konstanten Schüttdichte proportional der Schichthöhe ist, ist daher als Führungsgröße für eine Regelung der Fördergeschwindigkeit auf dem Schüttler eine konstante Schichthöhe geeignet. Die Schichthöhe lässt sich einfacher messen als die Fördergeschwindigkeit. Möglichkeiten dazu sind beispielsweise mechanische Tastbügel, Abstandsmessung mittels Ultraschall oder Laserentfernungsmesser.

Für eine Regelung der Fördergeschwindigkeit auf dem Hordenschüttler muss das Problem gelöst werden, dass die anderen Kenngrößen des Trennprozesses dabei nicht verändert werden dürfen. Eine Möglichkeit hierfür wären zusätzliche Fördererlemente auf dem Schüttler. Weiterhin ist eine Einbindung des Hangausgleiches beim Hangmähdrescher in die Regelung der Fördergeschwindigkeit sowohl in der Ebene als auch am Hang denkbar.

Literatur

- [1] • Beck, Th.: Messverfahren zur Beurteilung des Stoffeigenschaftseinflusses auf die Leistung der Trennprozesse im Mähdrescher. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 14, Nr. 54, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1992, Dissertation, Universität Hohenheim