

Folker Beck, Yuanguo Zhao und Heinz Dieter Kutzbach, Hohenheim

# Mähdreschersimulation

## Modellierung der Korn/Stroh/Spreu-Trennung

Die Entwicklung von Mähdreschern erfordert großen experimentellen Aufwand, da die Trenneinrichtungen bereits sehr ausgereift und weitere Leistungssteigerungen nur schwer zu verwirklichen sind. In der Simulation lassen sich dagegen die für den Betrieb wichtigen Parameter wesentlich einfacher variieren und optimieren. Grundlage bilden dabei stets geeignete mathematische Modelle der Trennprozesse. Für die Korn/Stroh-Trennung auf dem Schüttler und die Korn/Spreu-Trennung auf der Reinigungsanlage wird ein gemeinsames mathematisches Modell vorgestellt, das auf physikalischen Gesetzen beruht und gut mit den Versuchsergebnissen übereinstimmt. Damit stellt die Simulation eine Ergänzung zu experimentellen Untersuchungen dar, indem ein Teil der Versuche eingespart und bisher nicht meßbare physikalische Größen bestimmt werden können.

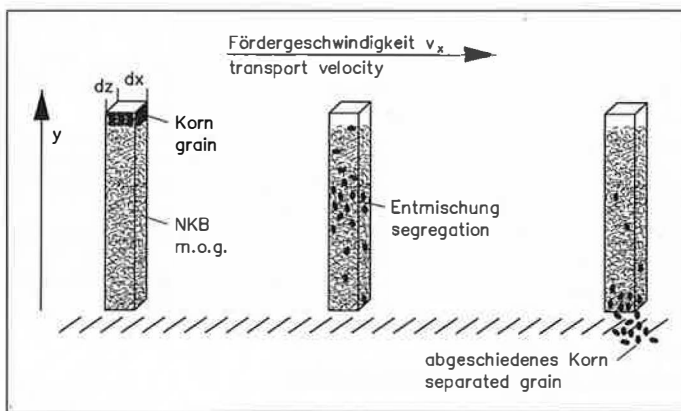


Bild 1: Modell der Korn/NKB(Nichtkornbestandteile)-Trennung auf der Reinigungsanlage

Fig. 1: Model of grain/m.o.g. separation on the cleaning shoe

Bei Mähdreschern steigt der Bedarf nach Maschinen der oberen Leistungsklasse weiter an. Dies führt zu einer stetigen Leistungssteigerung bei Neuentwicklungen. Da die Kosten für Versuche mit immer aufwendigeren Versuchseinrichtungen zunehmen und zudem bestehende Dresch- und Trenneinrichtungen bereits sehr ausgereift

sind, wird es immer schwieriger, wesentliche Leistungssteigerungen zu erzielen.

Bei der Simulation am Computer lassen sich dagegen die für den Korn/Stroh- und Korn/Spreu-Trennvorgang wichtigen Parameter wesentlich einfacher variieren. Ein mathematisches Modell unterstützt zusätzlich das Verständnis für die physikalischen Vorgänge. Da trotz verschiedener experimenteller Anstrengungen der Aufenthaltsort von Körnern in der Gutschicht nicht mit einfachen Mitteln sichtbar gemacht werden kann, soll die Simulation unter anderem auch eine Vorhersage der Kornbewegung ermöglichen.

In diesem Beitrag wird deshalb ein stochastisches mathematisches Modell für die Korn/Stroh- und Korn/Spreu-Trennung im Mähdrescher vorgestellt. Ein Vergleich mit Versuchsergebnissen von einem Grundlagen-Reinigungs-Versuchsstand und Dresch- und Schüttler-

Versuchsstand zeigt die Übereinstimmung zwischen Simulation und Versuch.

Das Modell wird anhand des Reinigungsvorgangs von Korn hergeleitet, experimentell bestätigt und auf den Schüttler-Trennvorgang übertragen.

### Modell der Korn/Spreu-Trennung auf der Reinigungsanlage

Für die Modellierung wird ein kleiner Ausschnitt aus der Gutschicht auf dem Obersieb der Reinigungsanlage betrachtet (Bild 1). Seine Abmessungen sind differentiell klein in x-(Längs-) Richtung und z-(Breiten-) Richtung. Die Höhe des Ausschnittes in y-Richtung entspricht der Schichtdicke.

Der Ausschnitt wird mit derselben Geschwindigkeit gefördert und in ihm spie-

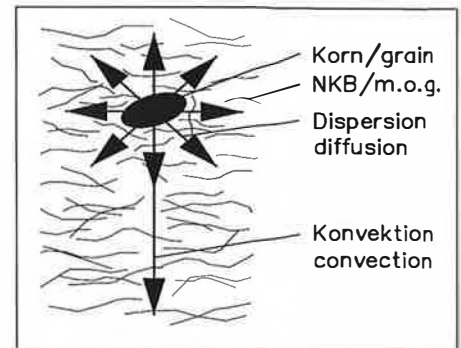


Bild 2: Bewegung von Korn in der NKB-Schicht durch Konvektion und Dispersion

Fig 2: Grain movement by convection and diffusion

len sich dieselben Vorgänge wie in der umgebenden Gutschicht ab. Am Beginn des Siebes sei sämtliches Korn in der obersten Schicht konzentriert. Im Laufe des Reinigungsvorgangs dringt Korn in die Gutschicht ein, durchdringt die Gutschicht (Entmischungsbereich) und wird nach kurzer Verzögerung auf der Siebfläche abgeschieden.

Da der Fördervorgang Zeit benötigt, können zur eindeutigen Bestimmung des Zustandes der Gutschicht sowohl der auf dem Sieb zurückgelegte Abscheideweg  $x$ , als auch die seit Siebbeginn verstrichene Zeit  $t$  angegeben werden. Für die Höhe der Verluste ist die Verweilzeit auf dem Sieb von großer Bedeutung. Mit kürzeren Verweilzeiten steigen die Verluste stark an. Damit Körner die Schicht in diesem Fall schneller durchdringen können, muß sie sehr stark aufgelockert werden, was durch intensivere mechanische Siebschwingungen oder durch Erhöhen des Luftdurchsatzes erreicht werden kann.

Der Gutschicht-Ausschnitt setzt sich aus den drei Teilbereichen „Entmischung“, „Abscheidung“ und dem „Auffangbereich“ zusammen, für die Modelle aus der Literatur kombiniert wurden. Für den Entmischungsbereich wird das Konvektions-Dispersions-Modell nach Meinel [1] angewendet. Das Modell berücksichtigt neben dem Sinkvorgang (Konvektion) mit der mittleren Sinkgeschwindigkeit  $v_y$  aller Körner stochastische Einflüsse (Dispersion) durch Stöße zwischen Korn und NKB (Nichtkornbestandteilen, Bild 2). Je größer die Dispersionskonstante  $D_y$  ist, desto unterschiedlicher ist die tatsächliche Sinkgeschwindigkeit einzelner Körner:

$$\frac{\delta}{\delta t} u(\gamma, t) = -v_y \frac{\delta u}{\delta \gamma} + D_y \frac{\delta^2 u}{\delta \gamma^2} \quad (1)$$

Die Lösung der partiellen Differentialgleichung unter Berücksichtigung von Rand- und Anfangsbedingungen führt auf die

Dipl.-Ing. Folker Beck und Dipl.-Ing. Yuanguo Zhao sind wissenschaftliche Mitarbeiter (Leiter: Prof. Dr.-Ing. H.D. Kutzbach) am Lehrstuhl Grundlagen der Landtechnik, Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Garbenstr. 9, 70599 Stuttgart. Die Arbeiten werden mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt.

Referierter Beitrag der LANDTECHNIK

Verteilungsfunktion der Kornmasse  $u(y,t)$  in Abhängigkeit vom Abstand  $y$  von der Siebfläche und der Zeit  $t$ .

Da das Sieb die Abscheidung verzögert, und die Verzögerung ebenfalls zufälligen Einflüssen unterliegt, wird ebenfalls ein stochastisches Modell für den Bereich der Abscheidung verwendet, Gl.(2), [2]. Besitzt jedes Korn dieselbe Abscheidewahrscheinlichkeit, so ist der Körnerstrom durch die Sieböffnungen  $\dot{u}_s(t)$  proportional zur abscheidbaren Kornmasse auf der Siebfläche  $u_A(t)$ , wobei die Zeitkonstante der Siebabscheidung  $T_A$  die Proportionalität herstellt.

$$\dot{u}_s(t) = \frac{1}{T_A} u_A(t) \quad (2)$$

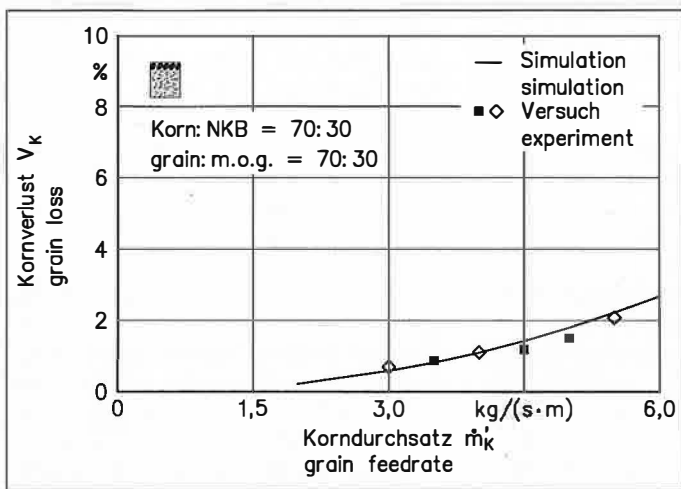


Bild 3: Durchsatz-Verlust-Verhalten der Reinigungsanlage mit Versuchen zur „Kalibrierung“  $\diamond$  und zur Überprüfung der Vorhersage  $\blacksquare$

Fig. 3: Feed rate versus loss curve of the cleaning shoe ( $\diamond$  used for „calibration“,  $\blacksquare$  used for verification)

Die bereits abgeschiedene und aufgefangene Kornmenge erhält man durch Integration des abgeschiedenen Körnerstroms.

Die beschriebenen Teilmodelle für Entmischung, Abscheidung und Auffangbereich wurden in der Programmiersprache C programmiert und anhand von verschiedenen Versuchsreihen verifiziert.

### Modellverifikation für die Reinigungsanlage

Die Modellverifikation wird anhand von Versuchen am Grundlagen-Reinigungs-Versuchsstand beschrieben, der in [3] vorgestellt ist. Da nicht alle Modellparameter meßbar sind, sondern indirekt anhand von Meßgrößen berechnet werden, sind Vorversuche zur „Kalibrierung“ nötig. Bei den nicht meßbaren Modellparametern handelt es sich um die Zeitkonstante der Siebabscheidung  $T_A$ , die mittlere Sinkgeschwindigkeit  $v_y$  und die Dispersionskonstante  $D_y$ . Sie werden anhand der Kornrestfunktion iterativ bestimmt.

Am Grundlagen-Reinigungs-Versuchsstand wird die Kornrestfunktion durch Auffangen von Korn in zehn Abschnitten bestimmt. Für Untersuchungen an Serien-Reinigungsanlagen bietet sich die Ver-

wendung von Abscheidensensoren an, wie sie von Böttinger (Prallplattensensoren [4]) oder von Herlitzius (Stabsensoren [5]) entwickelt wurden.

Bei der in Bild 3 gezeigten Verifikation des Modells wird der Korndurchsatz variiert. Die mit der Raute ( $\diamond$ ) markierten Versuche dienen zur Kalibrierung des Modells, mit dem die theoretische Durchsatz-Verlust-Kennlinie berechnet wird. Die übrigen Verlustwerte ( $\blacksquare$ ) dienen ausschließlich zur Überprüfung der Vorhersage. Das Verlustniveau liegt höher als von der Praxis gefordert, da besonderer Wert auf die Anfangsschichtung Korn-auf-NKB am Siebbeginn gelegt wurde, wie sie zur Verifikation nötig war. Die Übereinstimmung ist gut, so daß offen-

sichtlich ein Teil der Versuche ersetzt werden kann. Dies strafft die Versuchsreihen und senkt die Kosten.

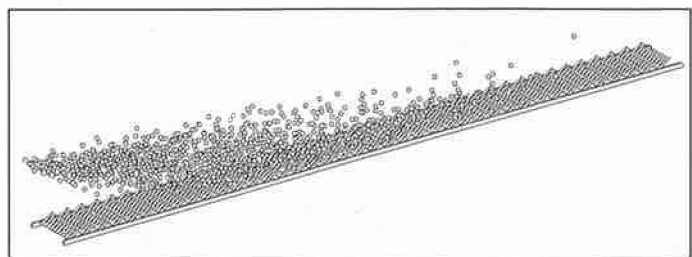
Die mit dem Simulationsmodell berechnete Kornverteilung auf dem Obersieb läßt sich zur Verbesserung des Verständnisses für die physikalischen Vorgänge graphisch anschaulich darstellen, was in Bild 4 für den Versuch mit einem auf die Siebbreite bezogenen Korndurchsatz von 4 kg/(s·m) gezeigt ist.

### Anwendung des Modells für den Schüttler

Durch die allgemein gehaltene Beschreibung der Kornbewegung durch Konvektion und Dispersion kann das Modell auch auf den Trennvorgang auf dem Schüttler angewendet werden. Ergebnis-

Bild 4: Graphische Darstellung der Kornverteilung in der Gutschicht (NKB ist nicht dargestellt)

Fig. 4: Visualization of grain distribution in the layer on a louver-type sieve (m.o.g. is not shown)



se hierzu finden sich in der Langfassung dieses Beitrags, die über die Autoren bezogen werden kann.

### Zusammenfassung und Ausblick

Zur Ergänzung experimenteller Untersuchungen in der Mähdrescherentwicklung wird ein mathematisches Modell für die Korn/Stroh- und Korn/Spreu-Trennung vorgestellt. Durch Verwendung des Konvektions- Dispersions - Entmischungsmodells trägt das Modell zum Verständnis der physikalischen Vorgänge bei. Bisherige Untersuchungen zeigen eine gute Übereinstimmung von Simulation und Versuch für Reinigungsanlage und Schüttler. Geplant sind weitere mathematische Modelle für Dreschwerk und Fallstufe, so daß der Mähdrescher als Ganzes in Simulationsrechnungen untersucht werden kann.

### Literatur

- Bücher sind mit • gekennzeichnet
- [1] • Meinel, A.: Klassierung auf Stößelschwing-siebmaschinen. Dissertation, Bergakademie Freiberg, Freiburger Forschungsheft A537, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1974
  - [2] Huynh, V.M. and T.E. Powell: Cleaning Shoe Performance Prediction, ASAE paper 78-1565, 1978
  - [3] • Dahany, A.: Verbesserung der Leistungsfähigkeit luftdurchströmter Schwingsiebe bei der Korn-Spreu-Trennung im Mähdrescher durch Optimierung der Luftverteilung. Dissertation, Universität Hohenheim, MEG Forschungsbericht Nr. 245, 1994
  - [4] • Böttinger, S.: Die Abscheidefunktion von Hordenschüttler und Reinigungsanlage in Mähdreschern. Dissertation, Universität Stuttgart, VDI Verlag Düsseldorf, VDI Fortschrittberichte Reihe 14, Nr. 66, 1993
  - [5] • Herlitzius, T.: Prozeßanalyse und Möglichkeiten der Prozeßführung am Beispiel eines Mähdreschers mit Tangentialdreschwerk. Dissertation, TU Dresden, Shaker Verlag, Aachen, 1995

### Schlüsselwörter

Mähdrescher, Trennprozeß, Simulation, mathematisches Modell

### Keywords

Combine harvester, separation process, simulation, mathematical model