

Modellierung des Abscheideverhaltens von Mähdrescher-Reinigungsanlagen

Die Kornabscheidung durch Mähdreschersiebe kann mit verschiedenen Modellfunktionen beschrieben werden. Die Anpassung der Modellfunktionen an experimentell ermittelte Werte von Restkornverlauf und Abscheiderate erfolgt durch verschiedene Parameter der Modellfunktionen. Dieser Beitrag stellt eine Methode vor, mit der eine solche Modellfunktion vereinfacht und durch anschauliche Parameter definiert wird.

Durch die steigende Durchsatzleistung des Mähdreschers werden immer größere Anforderungen an die Dresch- und Abscheideorgane gestellt. Die Leistung der Siebe ist aufgrund des begrenzten Bauraums von besonderer Bedeutung. Mathematische Modelle der Abscheidung, die in die Praxis übertragbare Ergebnisse liefern, bieten eine kostengünstige und schnelle Möglichkeit, diese Prozesse zu optimieren.

Mathematisches Modell

Für das Abscheideverhalten eines Korn-Spreu-Gemisches auf einem Sieb können nach Kutzbach [1] verschiedene Näherungsfunktionen zugrunde gelegt werden, um den Verlauf zu modellieren. Böttinger [2] hat ein Verfahren entwickelt, welches zwei e-Funktionen kombiniert. Durch diese wird der Entmischungsvorgang des Korn-Spreu-Gemisches und der Abscheidevorgang des entmischten Kornes am Sieb gut dargestellt. Die allgemeinste Form der Gleichungen für die auf die Masse bezogene Restkornfunktion R und die Abscheiderate δ in Abhängigkeit der Sieblänge l lautet nach Böttinger [2]:

$$R(l) = \frac{1}{B-A} \left(B \cdot e^{-\frac{A}{D+1} l^{D+1}} - A \cdot e^{-\frac{B}{D+1} l^{D+1}} \right) \quad (1)$$

$$\delta(l) = -\frac{dR(l)}{dl} = \frac{A \cdot B}{B-A} \cdot l^D \cdot \left(e^{-\frac{A}{D+1} l^{D+1}} - e^{-\frac{B}{D+1} l^{D+1}} \right) \quad (2)$$

Dabei wird der Verlauf dieser Kurven durch die Parameter A, B und D gekennzeichnet. Da diese abhängig voneinander sind, können Veränderungen eines Parameters durch Veränderung der anderen nahezu vollständig kompensiert werden, ohne den Kurvenverlauf zu ändern. Dies trifft insbesondere für die Parameter A und B zu. Bei Näherung der Gleichungen an Messwerte wird deutlich, dass diese Parameter häufig sehr ähnliche Werte annehmen. Hieraus ergibt sich der Ansatz, eine Limesbetrachtung für A strebt gegen B durchzuführen. Nach Lösung dieser Grenzwertbetrachtung des Typs $\lim(0/0)$ ergeben sich für R_K und δ_K folgende Zusammenhänge:

$$R_K = \lim_{B \rightarrow A} (R(l)) = \left(\frac{A \cdot l^{(D+1)}}{(D+1)} + 1 \right) \cdot e^{-\frac{A}{(D+1)} l^{(D+1)}} \quad (3)$$

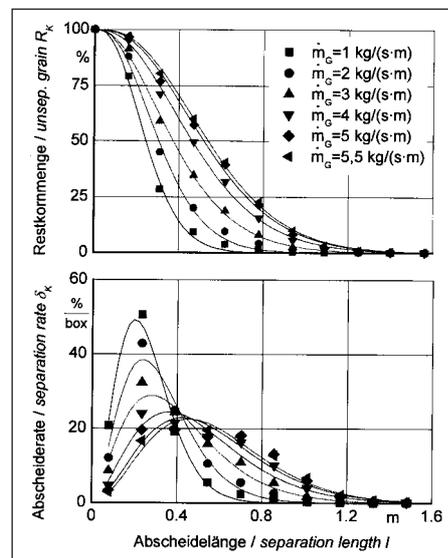


Bild 1: Näherung der Abscheidekurven an Versuchsergebnisse von Zhao [4].

Fig. 1: Approximation of grain separation equations to the experimental data by Zhao [4]

$$\delta_K = \lim_{B \rightarrow A} (Z(l)) = \frac{A^2 \cdot l^{(2D+1)}}{(D+1)} \cdot e^{-\frac{A}{(D+1)} l^{(D+1)}} \quad (4)$$

R_K in Gl.(3) gibt die Restkornmenge an der Position l auf dem Sieb an, δ_K in Gl.(4) ist der abgeschiedene Anteil der Gesamtkornmenge je Meter an der Stelle l. In verschiedenen Versuchseinrichtungen wird das Korn in Behältern unter dem Sieb aufgefangen. Um aus δ_K den Anteil des abgeschiedenen Kornes je Behälter zu berechnen, muss δ_K mit der Behälterlänge (im Hohenheimer Reinigungs-Versuchsstand 0,156 m [3]) multipliziert werden. In den folgenden Schaubildern ist der Kornanteil je Behälter dargestellt, die Gleichungen (2) und (4) beziehen sich auf die Abscheiderate je Meter. Durch Näherung der Gleichungen (3) und (4) an Versuchsergebnisse von Zhao [4] wird deutlich, dass sehr gute Übereinstimmungen erzielt werden können (Bild 1). Der Korrelationskoeffizient liegt bei Werten von $r^2 > 0,98$. Somit können die Gleichungen von Böttinger [2] ohne nennenswerten Qualitätsverlust bezüglich der Übereinstimmung um einen Parameter reduziert werden.

Ein weiterer Schritt zur besseren Einordnung und schließlichen Vorhersage von Ab-

Dipl.-Ing. sc. agr. Matthias Schreiber ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Fachgebiet Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion mit Grundlagen der Landtechnik (Leiter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H. D. Kutzbach) Garbenstr. 9, 70599 Stuttgart; e-mail: schreib@uni-hohenheim.de.

Schlüsselwörter

Mähdrescher, Reinigungsanlage, Simulation, Kornabscheidung

Keywords

Combine harvester, cleaning unit, simulation, grain separation

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 03403 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

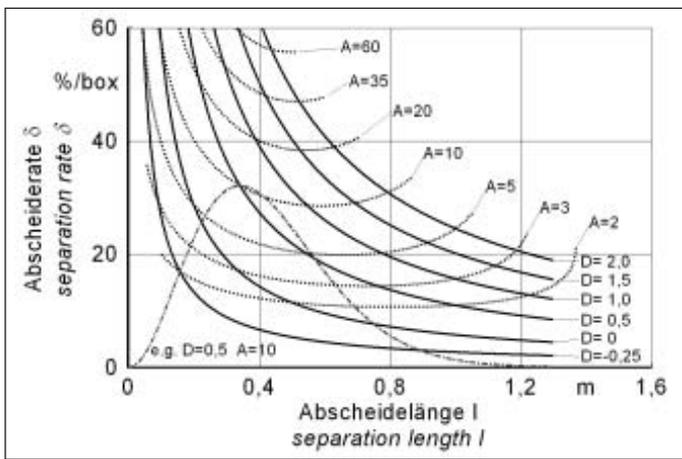


Bild 2: Lage der Hochpunkte der Abscheiderate für definierte Parameter A und D

Fig. 2: Position of local maxima of the separation curves for given parameters A and D

scheiderate und Restkornfunktion ist die Charakterisierung der Kurven durch markante Punkte, um nicht auf unanschauliche Parameter angewiesen zu sein. Bei diesen Kurven bietet sich das Maximum der Abscheiderate an. Die x-Koordinate kennzeichnet den Punkt maximaler Abscheidung l_{HP} auf dem Sieb, die y-Koordinate gibt die Höhe dieses Maximums $\delta_K(l_{HP})$, also die Steigung der Restkornfunktion an dieser Stelle an.

Dieses Maximum (Hochpunkt HP) hat die Koordinaten:

$$l_{HP} = \left(\frac{2 \cdot D + 1}{A} \right)^{\frac{1}{D+1}} \quad (5)$$

$$\delta_K(l_{HP}) = \frac{(2 \cdot D + 1)^2}{(D + 1) \cdot e^{\frac{D}{D+1}} \cdot \left(\frac{2 \cdot D + 1}{A} \right)^{\frac{1}{D+1}}} \quad (6)$$

Mit der Angabe dieser Koordinaten sind die Gleichungen (3) und (4) eindeutig definiert, da ein eindeutig lösbares Gleichungssystem mit zwei Gleichungen und zwei Unbekannten entsteht. Umgekehrt lassen sich aus l_{HP} und $\delta_K(l_{HP})$ die Parameter A und D jedoch nur iterativ bestimmen, da ein rechnerisches Auflösen des Gleichungssystems nach A und D nicht möglich ist.

Zur Vereinfachung kann l_{HP} in Gl.(6) eingesetzt und somit δ_K in Abhängigkeit von l_{HP} und D angegeben werden. Da l_{HP} im Nenner steht, ergibt sich für D=konstant eine Hyperbel der Form

$$\delta_K(l_{HP}) = \frac{k}{l_{HP}} \quad (7)$$

mit

$$k = \frac{(2 \cdot D + 1)^2}{(D + 1) \cdot e^{\frac{D}{D+1}}} \quad (8)$$

auf der alle Hochpunkte für unterschiedliche Werte von A liegen. Hiervon kann die Umkehrfunktion nicht bestimmt werden, jedoch gibt es verschiedene Näherungen, die D in Abhängigkeit von k gut darstellen. besser eignen sich allerdings iterative Verfahren. Nachdem D ermittelt wurde, wird A durch Umstellen von Gl.(5) berechnet

$$A = \frac{2 \cdot D + 1}{l_{HP}^{D+1}} \quad (9)$$

Entsprechend kann jede beliebige Abscheidfunktion durch die Lage des Hochpunktes der Abscheiderate definiert werden. In Bild 2 sind die Hyperbeln für D-Werte von -0,25 bis 2 dargestellt, ebenso die Kurven für konstante A-Werte. Es zeigt sich, wie die Parameter durch die Lage des Hochpunktes beeinflusst werden. Beispielhaft ist dieser Zusammenhang in Tabelle 1 für die verschiedenen Kurven aus Bild 1 dargestellt.

Es kann der Ansatz verfolgt werden, mit der Hyperbel die Guteigenschaften und die Sieb- oder Windeinstellungen zu charakterisieren, die Stelle des Hochpunktes kennzeichnet dann den Durchsatz.

Bei dieser Darstellung bleibt die Frage, wie sich die Kurve bei vollständiger Entmi-

schung von Korn und Spreu vor dem Sieb verhält. Die Abscheidung sollte dann dem Verlauf einer einfachen e-Funktion folgen. Eine Überführung in eine solche Funktion ist für diesen Ansatz jedoch nicht möglich. Unter Praxisbedingungen ist die vollständige Entmischung vor dem Sieb jedoch unrealistisch, daher kann für die Näherung an Messwerte auf diesen Grenzfall verzichtet werden. Schon durch eine leichte Verschiebung des Abscheidemaximums in den positiven Bereich kann eine e-Funktion sehr gut genähert werden. Eine Aussage über die genaue Lage dieses Maximums ist ohnehin nicht möglich, da es innerhalb des ersten Behälters nicht exakt lokalisiert werden kann. Somit kann auch die e-Funktion durch Gl.(3) gut genähert werden. Diese Näherungen sind in Bild 3 für unterschiedliche Werte von λ dargestellt.

Fazit

Die Abscheidkurven können auf die gezeigte Art und Weise einfacher und mit einem Parameter weniger als durch die bisherigen Näherungen charakterisiert werden. Auch wenn die Annahme zugrunde gelegt wurde, dass sich die Werte für A und B in Gl.(3) und (4) nur minimal unterscheiden, können auch für stark abweichende Werte, die ein Vielfaches von einander betragen, ähnlich gute Näherungen erzielt werden wie mit der ursprünglichen Gleichung von Böttinger [2]. Den genauen Zusammenhang zwischen den gewonnenen Kennwerten und dem Abscheidverhalten gilt es in Versuchsreihen zu prüfen, um den Kurvenverlauf anhand von Sieb- und Guteigenschaften abschätzen zu können. Die Koordinaten des Abscheidemaximums sind durch ähnliche Berechnungen auch auf andere Modelle übertragbar. Somit sind die Ergebnisse verschiedener Versuchseinrichtungen mit unterschiedlichen Auswertungsmethoden direkt miteinander vergleichbar.

Tab. 1: Parameter A und D sowie die Koordinaten des Hochpunktes für verschiedene Durchsätze. Messwerte von Zhao [4]

Table 1: Parameters A and D as well as the coordinates of the local maximum different throughputs. Data measured by Zhao [4].

| Durchsatz [kg/s·m] | Parameter | | Kennwerte | |
|-----------------------|-----------|------|-----------------|-------------------------------|
| | A | D | l_{HP} [m] | $\delta_K(l_{HP})$ [%/box] |
| 1,0 | 21,92 | 0,50 | 0,20 | 54,11 |
| 2,0 | 14,60 | 0,44 | 0,24 | 42,98 |
| 3,0 | 7,87 | 0,28 | 0,28 | 31,04 |
| 4,0 | 5,81 | 0,28 | 0,36 | 24,54 |
| 5,0 | 5,39 | 0,34 | 0,42 | 22,44 |
| 5,5 | 5,70 | 0,42 | 0,45 | 22,60 |

Bild 3: Näherung von Gl.(3) an die e-Funktion für verschiedene λ -Werte

Fig. 3: Approximation of equation (3) to the e-function for different λ -values.

