

# Kornabstandsverteilungen aus Drillmaschinen-dosierungen bei schwankender Säwellendrehzahl

## Berechnung und Simulation

*Drillmaschinen weisen üblicherweise Volumendosierungen auf. Diese erzeugen im Optimalfall einparametrisch exponentialverteilte Kornabstandsfolgen mit einem Variationskoeffizient (VK) von 100%. Durch Schwankungen in der Antriebsdrehzahl der Dosierung wird diese Verteilung gestört. Über eine Formel lässt sich für niedrigfrequente Drehzahlschwankungen aus dem Drehzahlverlauf die Veränderung des VK auf einfache Weise näherungsweise bestimmen. Mit Hilfe einer statistischen Simulation ist es möglich, für beliebige Drehzahlverläufe sowohl die Auswirkung auf den VK als auch auf die Verteilung zu ermitteln.*

Dr. sc .agr. Dipl.-Ing. Justus Dreyer ist geschäftsführender Gesellschafter der Amazonenwerke H. Dreyer GmbH & Co. KG in Hasbergen; e-mail: [Dr.Justus.Dreyer@amazon.de](mailto:Dr.Justus.Dreyer@amazon.de)

### Schlüsselwörter

Sämaschine, Kornlängsverteilung, Berechnung, Simulation, Statistik

### Keywords

Seeding machines, longitudinal seed distribution, computation, simulation, statistics

### Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 06SH04 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Unter normalen Bedingungen (keine extremen Aussaatstärken oder Fahrgeschwindigkeiten) ergeben sich für Volumendosierungen bei Drillmaschinen zeitliche Kornabstände, die mit sehr guter Annäherung einparametrisch exponentialverteilt sind [1]. Störungen im Dosierantrieb, die eine ungleichförmige Dosierwellendrehzahl zur Folge haben, führen zu ungleichmäßigeren Kornabstandsverteilungen und höheren VK. Die ungleichförmige Dosierwellendrehzahl kann beispielsweise durch unregelmäßigen Schlupf am Spornrad entstehen, welches auf dem Ackerboden abrollt und über ein Getriebe die Säwelle antreibt. Auch das Getriebe, meistens als Freilaufgetriebe ausgeführt, kann Ungleichförmigkeiten in der Säwelle erzeugen, die eine Verschlechterung der Kornabstandsverteilung bewirken.

### Berechnung des VK-Grenzwertes für niedrigfrequente Drehzahlschwankungen

Zur Bestimmung der Auswirkungen von - im Verhältnis zur Kornfrequenz - niedrigfrequenten Drehzahlschwankungen, die in der Praxis häufig vorkommen, lässt sich eine einfache Formel anwenden. Die Formel ermöglicht durch Integration die Berechnung von VK-Grenzwerten für niedrigfrequente Störungen (VK<sub>∞</sub>) [2]:

$$VK_{\infty} = \sqrt{\left\{ \frac{2}{t_{ges}} \cdot \int_0^{t_{ges}} \frac{\bar{n}}{n(t)} \cdot dt \right\} - 1} \quad (1)$$

Zur Berechnung des Grenzwertes wird die mittlere Drehzahl  $\bar{n}$  sowie der zeitliche Drehzahlverlauf im Betrachtungszeitraum  $[0, t_{ges}]$  benötigt. Die Formel basiert auf der Annahme, dass die Dosierung im ungestörten Fall eine ideal exponentialverteilte Kornfolge mit einem VK von 100% erzeugt.

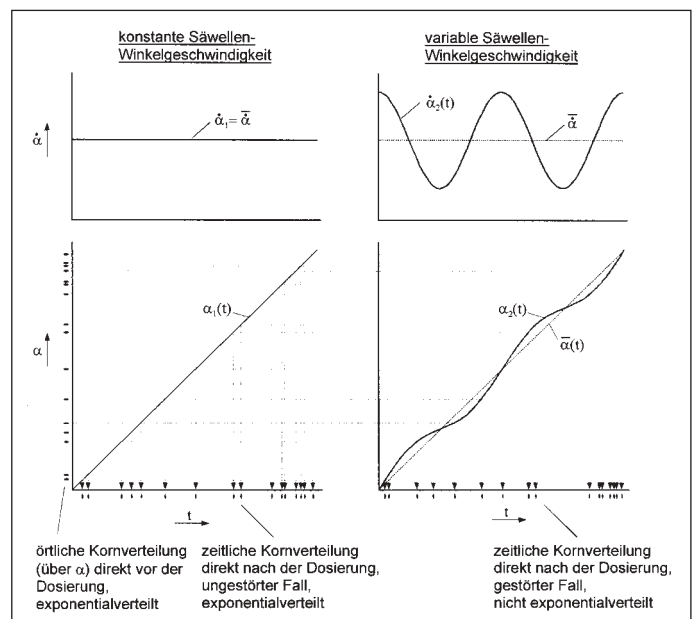
### Simulation der dosierten Verteilungen und des VK für beliebige Drehzahlschwankungen und Kornfrequenzen nach der Monte-Carlo-Methode

Zur präzisen Bestimmung der Auswirkungen von beliebigen Störungen des Drehzahlverlaufs im Dosierantrieb steht eine statistische Simulation nach dem Monte-Carlo-Verfahren [2, 3] zur Verfügung.

Bild 1 zeigt die Modellvorstellung, die der Simulation zugrunde liegt. Für das numerische Verfahren wird angenommen, dass die Kornfolge bezogen auf den Drehwinkel des Dosierers exponentialverteilt ist (idealisierter Volumendosierer). Daraus folgt, dass bei gleichförmiger Antriebsdrehzahl die Exponentialverteilung erhalten bleibt. Es entsteht eine ideal exponentialverteilte Folge zeitlicher Kornabstände (Bild 1, links).

Bild 1: Modellvorstellung zur numerischen Berechnung dosierter Kornabstandsfolgen bei beliebig schwankender Säwellendrehzahl nach dem Monte-Carlo-Verfahren

Fig. 1: Model presentation for numeric computation of dispensed seed distance sequences with continuously variable feed shaft revolution acc. to the Monte-Carlo method



Bei variabler Säwellendrehzahl werden die exponentialverteilten Kornabstände auf den zeitlichen Verlauf des Säwellenwinkels  $\alpha$  projiziert. Die daraus entstehende zeitliche Kornverteilung ist gegenüber der Exponentialverteilung verzerrt, da die Kornabstände in Phasen überdurchschnittlicher Winkelgeschwindigkeit gestaucht und bei unterdurchschnittlicher Drehzahl gestreckt werden.

Die Simulation nach der Monte-Carlo-Methode liefert für beliebige Drehzahlverläufe Häufigkeitsverteilungen und VK. Sie kann somit für alle Störungen im Drehzahlverlauf der Dosierwelle die Auswirkungen auf die dosierte Kornfolge beschreiben.

### Validierung

Die beschriebenen Berechnungs- und Simulationsverfahren ließen sich mit berechenbaren, künstlich erregten Ungleichförmigkeiten an der Säwelle validieren [2].

### Ergebnisse bei sinusförmiger Schwin- gung der Säwellendrehzahl

Bei einem sinusförmigen Verlauf der Säwellendrehzahl  $n(t)$ , beschrieben durch

$$n(t) = a + b \cdot \sin(t) \quad (2)$$

mit dem Mittelwert  $a$  (für  $t \rightarrow \infty$ ) und der Amplitude  $b$  ergeben sich durch Anwendung der beschriebenen Berechnungs- und Simulationsverfahren die in Bild 2 dargestellten VK. Die VK-Werte sind in Abhängigkeit von dem Verhältnis von Sinus- zu Kornfrequenz dargestellt.

Es zeigt sich, dass die VK bei niedrigen Sinusfrequenzen dem nach Formel 1 berechneten oberen Grenzwert und bei hohen Sinusfrequenzen dem unteren Grenzwert von 100 % nahe kommen. Zwischen den Sinus-Kornfrequenz-Verhältnissen  $10^{-3}$  und 0,1 befindet sich ein Bereich, in dem ein ungestörter, harmonischer Übergang von einem zum anderen grenzwertnahen Bereich stattfindet.

Bild 3 zeigt Häufigkeitsverteilungen, welche für die Sinusfunktion mit dem Am-

plitude-Mittelwert-Verhältnis von 0,8 simuliert wurden. Die Quotienten aus Sinus- und Kornfrequenz lagen bei  $10^{-4}$ , 0,1 und 0,5.

Bei sehr niedrigen Störfrequenzen (Bild 3, oben) wird der bei der Exponentialverteilung vorhandene Anteil mittlerer Kornabstände auf sehr kleine und sehr große Kornabstände verteilt. Auf diese Weise entsteht eine gegenüber der Exponentialverteilung stärker gekrümmte Häufigkeitsverteilung mit einem deutlich schlechteren VK von über 150 %.

Ein anderes Bild ergibt sich bei mittleren Störfrequenzen (Bild 3, Mitte). Die exponentielle Häufigkeitsverteilung wird durch die sinusförmigen Störungen in der Säwellendrehzahl wellenförmig verzerrt. Die negative Auswirkung dieser Verzerrung auf den VK ist jedoch minimal, der Wert liegt nur leicht über 100 %. Bei der niedrigfrequent gestörten Verteilung (Bild 3, oben) handelt es sich auch um eine wellenförmig verzerrte Exponentialverteilung. Die Verzerrung ist jedoch so langgestreckt, dass innerhalb des dargestellten Wertebereichs nur die Überhöhungen bei sehr kleinen und sehr großen Kornabständen abgebildet werden.

Die Verteilung bei hohen Störfrequenzen (Bild 3, unten) liegt sehr nahe an der idealen Exponentialverteilung. Die wellenförmige Verzerrung macht sich nur noch in einem minimal unruhigen Verlauf der Häufigkeitswerte bemerkbar. Der VK beträgt  $\sim 100$  %.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass den Simulationen zufolge sinusförmige Ungleichförmigkeiten in der Säwellendrehzahl nur dann das Dosierverhalten in relevanter Weise verschlechtern, wenn deren Frequenz im Verhältnis zur Kornfrequenz niedrig ist (Störfrequenz/Kornfrequenz  $< 0,1$ ). In diesem Fall kommt es vermehrt zu sehr kleinen Kornabständen sowie zu größeren Lücken, das heißt zu einer schubweisen Dosierung.

Ist die Störfrequenz im Verhältnis zur Kornfrequenz hoch, ist mit keiner relevanten Verschlechterung der Dosiergleichförmigkeit zu rechnen. Die zufallsverteilten Körner sind nur einer weiteren zufälligen Verschie-

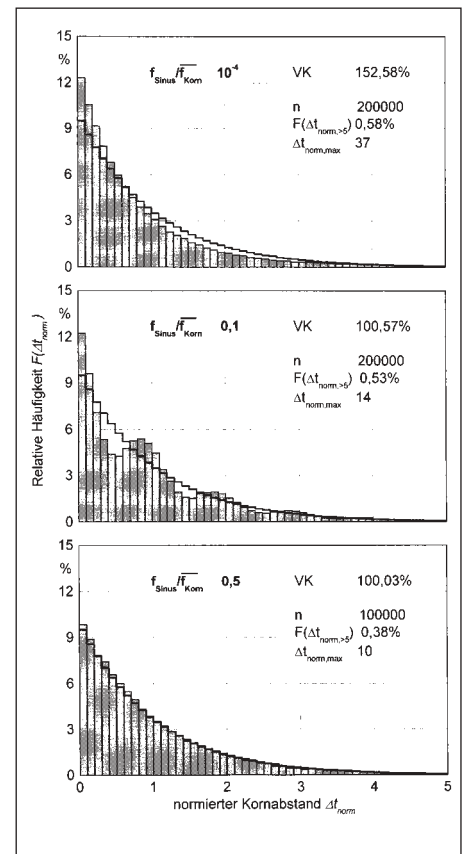


Bild 3: Simulierte Verteilungen der dosierten zeitlichen Kornabstände bei sinusförmig und mit unterschiedlicher Frequenz schwankender Säwellendrehzahl

Fig. 3: Simulated distributions of the dispensed chronological seed distances with sinusoidal and with differing frequency varying feed shaft revolutions

bung unterworfen, ohne dass es zu einer Änderung des VK kommt.

Im Übergangsbereich, das heißt bei mittlerem Verhältnis von Stör- zu Kornfrequenz, tritt keine bedeutende Verschlechterung des VK ein. Die Verteilung wird aber wellenförmig verformt, was einer Bevorzugung bestimmter Kornabstände entspricht. Bei Betrachtung der kleinen Kornabstände ist festzustellen, dass sich aus dieser Verzerrung eine größere Wahrscheinlichkeit für Doppelstellen (direkt nebeneinander liegende Körner) ergibt.

### Zusammenfassung

Für Volumendosierungen lassen sich mit statistischer Simulation für beliebige Drehzahlverläufe der Säwelle sowohl der VK als auch die Häufigkeitsverteilung der erzeugten Kornfolgen ermitteln. Beispielsimulationen zeigen, dass sich nur solche Drehschwingungen in der Säwellendrehzahl auf die Kornlängsverteilung auswirken, die eine Frequenz deutlich unterhalb der Kornfrequenz aufweisen. Bei hohen Drehschwingungsfrequenzen bleibt die einparametrisch exponentielle Verteilung mit dem VK von 100 % trotz Verschiebungen einzelner Körner erhalten.

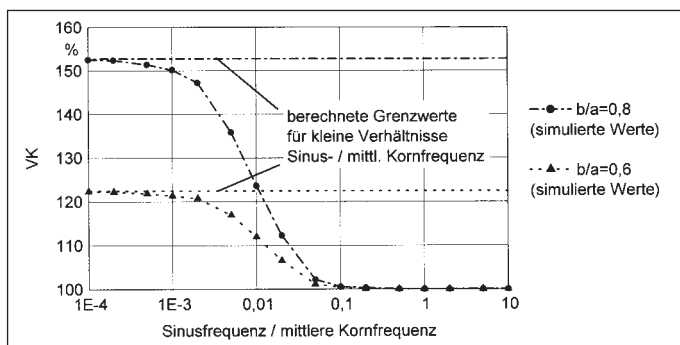


Bild 2: VK simulierter Kornabstandsfolgen bei sinusförmig schwankender Säwellendrehzahl im Vergleich zu den nach Formel 1 analytisch berechneten Grenzwerten

Fig. 2: Coefficient of variation (VK) of simulated seed distance sequences with sinusoidal varying feed shaft revolutions compared to equation 1 with analytically computed marginal values