

Hing Kam, Christian Peveling-Oberhag und Peter Schulze Lammers

# Quantifizierung von Einflussfaktoren auf die Ablagegenauigkeit von Zuckerrübensaatgut

Für den präzisen Aufbau von Pflanzenverbänden ist ein Sägerät erforderlich, welches das Saatgut mit hoher Präzision an den dafür vorgesehenen Stellen ablegt. Die Genauigkeit dieser Ablage wird jedoch von technischen und natürlichen Faktoren beeinflusst, was dazu führen kann, dass die vorgegebene Position des jeweiligen Saatkorns unter bestimmten Bedingungen nicht genau eingehalten wird. Ziel der hier vorgestellten Untersuchungen war es daher, die Auswirkungen der verschiedenen Einflussfaktoren auf die Ablagepräzision zu überprüfen und die auftretenden Abweichungen von den definierten Saatgutpositionen (Sollstellenabweichungen) zu quantifizieren.

## Schlüsselwörter

Gleichstandsaat, Einzelkornsaat, Einzelkornsägerät, EKS, Präzisionspflanzenbau, Zuckerrübe, standraumoptimierte Saat

## Keywords

Precision drill, seeding technology, precision farming, sugar beet, plant compound, optimized plant spacing

## Abstract

Kam, Hing; Peveling-Oberhag, Christian and Schulze Lammers, Peter

## Quantification of impact-factors on seeding accuracy of sugar beets

Landtechnik 65 (2010), no. 5, pp. 357-359, 2 figures, 9 references

The creation of precisely positioned plant compounds requires precision drills with high accuracy of seed-placement at a pre-defined position. However, technical and environmental conditions have a significant influence on the precision of seed-placement which leads to a deviation of actual seed-position to the target seed-position under certain conditions. In order to determine impact and dimensions of these conditions on deviation of seed-placement several experiments were conducted, which are presented in this paper.

■ Für den Anbau von Zuckerrüben, wie für andere Hack- und Reihenfrüchte auch, werden besondere Anforderungen an die Etablierung der Pflanzen auf dem Acker und damit an die Aussaat gestellt. Dies geschieht einerseits aus pflanzenbaulichen Gründen, da eine gleichmäßige Verteilung der Pflanzen im Bestand eine gleichmäßige Entwicklung begünstigt. Andererseits bestehen technische Gründe, da die Pflege und Ernte z. B. von Zuckerrüben bei gleichem Reihenabstand wesentlich einfacher werden [1]. Seit der Entwicklung von monogermem Saatgut haben sich deshalb Einzelkornsägeräte (EKS) durchgesetzt, die für die Erzeugung gleichmäßiger Zuckerrübenbestände am besten geeignet sind. Neben einer exakten Ablage des Saatgutes (Vermeidung von Fehl- und Doppelstellen) und einer genauen Einhaltung der Ablagetiefe ist ein gleichmäßiger Kornabstand innerhalb der Reihe eine wesentliche Forderung, die an Einzelkornsägeräte gestellt wird [2].

Die Arbeitsqualität dieser EKS kann an mobilen oder stationären Prüfeinrichtungen überprüft werden, mit denen die Abstände der einzelnen Rübenpillen mithilfe einer Lichtschranke gemessen werden [3]. Die Standgenauigkeit im Feld wird durch Bestimmung des Einzelpflanzenabstandes kontrolliert, entweder mithilfe einfacher Maßbänder oder mit speziellen Messeinrichtungen [4].

Ein zentrales Problem bei dieser Art von Messungen ist allerdings, dass Effekte wie das Verrollen oder Verspringen des Saatgutes in der Säfurche sowie die Abwurfcharakteristik des Sägerätes unberücksichtigt bleiben. Diese Effekte sind für zukünftige Anwendungen wesentlich, z. B. für eine standraumoptimierte Aussaat in Dreieckverbänden oder eine mechanische Unkrautbekämpfung in Längs- und Quer-

richtung des Feldes [5; 6; 7], die die Anlage präziser Quadratverbände mithilfe von positionsgesteuerter Saatgutablage [8] voraussetzen. Für diese Art der Anwendungen wird eine Standraumgenauigkeit von  $\pm 10$  mm gefordert [8].

### Ursachen für die unpräzise Ablage des Saatgutes

Wird ein Saatkorn im Zellenrad eines Sägerätes transportiert, so geschieht dies mit der Umfangsgeschwindigkeit des Zellenrades ( $v_{zr}$ ). Bei gleichzeitiger Fahrt des Sägerätes auf dem Acker wird außerdem die Vorfahrtsgeschwindigkeit des Zugfahrzeuges ( $v_f$ ) auf das Saatkorn übertragen. Wenn beide Geschwindigkeiten gleich groß sind, heben sie sich gegenseitig auf, da die beiden Geschwindigkeitsvektoren entgegengesetzt gerichtet sind (Nullablage). Sobald das Saatkorn das Sägerät verlässt, wirkt zusätzlich die Erdbeschleunigung ( $g$ ) auf seine Bewegung ein. Die hierbei entstehende kinetische Energie ( $E_{kin}$ ) muss beim Auftreffen des Saatgutes in der Säfurche wieder abgebaut werden. Je nach Beschaffenheit der Bodenoberfläche kann sich dieser Energieabbau als Rollen oder Springen äußern, wodurch sich das Saatkorn von seiner Sollposition entfernt. Zusätzlich hat auch die Abwurfcharakteristik einen Einfluss, da die Flugbahn des Saatgutes innerhalb bestimmter Grenzen variiert [8].

### Teststand zur Quantifizierung der Ablagegenauigkeit

Für die Untersuchung dieser Zusammenhänge wurde ein Bodenversuchsstand mit 9 m Länge und 2 m Breite genutzt. Dieser gliedert sich in drei verschiedene Bodenkompimente mit unterschiedlichen Böden (Lehmiger Sand, Toniger Schluff und Schluffiger Ton). Die spezifischen Eigenschaften dieser Böden können [9] entnommen werden. Das Sägerät wurde an einem Portalschlitten angebaut, der über ein Rad mit direktem Bodenkontakt angetrieben wurde. Zwei Kunststoffrollen links und rechts des Versuchsstandes sorgten für eine präzise Führung des Portalträgers. Als Antrieb wurde ein 0,45 kW Elektromotor mit stufenlosem Getriebe benutzt. Weitere Details des Versuchsstandes sind bei [9] zu finden.

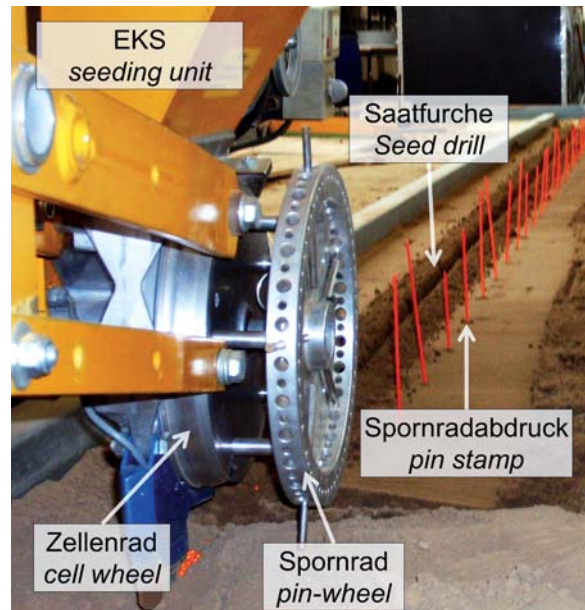
Als Sägerät wurde ein Unicorn Synchrodrive der Firma Franz Kleine GmbH (Salzkotten) verwendet, dessen mechanischer Antrieb zur besseren Geschwindigkeitsanpassung gegen einen stufenlosen, elektrischen Antrieb ausgetauscht wurde. Ein separates Führungsrad steuerte die Tiefenführung. Die Achse des Zellrades wurde verlängert und ein Spornrad aufgesetzt, welches die Position der Zelle beim Verlassen des Saatgutes auf der Bodenoberfläche markierte (**Abbildung 1**). Zustricher und Druckrollen des Sägerätes wurden demontiert.

Der Boden wurde nach jedem Versuchsdurchgang gelockert und mit einem Brett plan gezogen. Dann wurde er mit einer handgeführten Walze rückverfestigt und visuell auf Unebenheiten kontrolliert.

Das Saatgut war pilliertes Zuckerrübensaatgut der Sorte „Pauletta“ (KWS, Einbeck) (Durchmesser 3,5–4,75 mm, Einzelkorngewicht 0,02–0,036 g).

Nach jedem Versuchsdurchgang wurden die Spornradabdrücke mithilfe von Rundstäben markiert und anschließend manuell mit der Position der Rübenpillen abgeglichen. Dazu

Abb. 1



Versuchsstand für die Bestimmung der Sollstellenabweichung  
Fig. 1: Experimental site for measurement of seed-placement deviation

wurde ein  $90^\circ$  Montagewinkel senkrecht an das Vierkanthrohr gelegt und der lange Schenkel an den Rundstab geschoben, bis dieser eine annähernd senkrechte Position einnahm. Die Abstände zwischen den Markierungen im Boden und den tatsächlichen Positionen der Rübenpillen wurden, unter Abzug des Rundstabdurchmessers, für jede Bodenart einzeln erfasst und im Anschluss mit der Statistiksoftware SPSS (Version 17) ausgewertet.

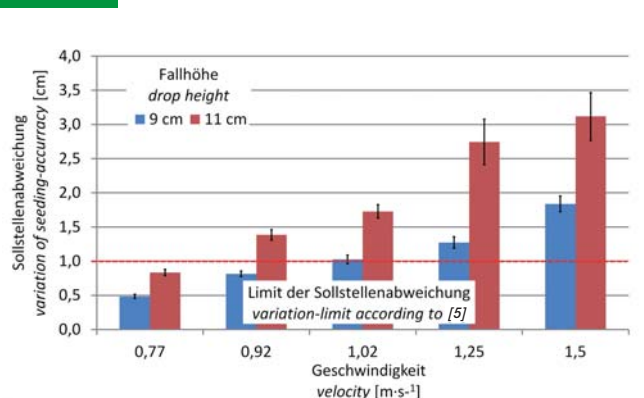
### Ergebnisse

Unter den hier vorgestellten Versuchsbedingungen wurde die Forderung nach einer Sollstellenabweichung von maximal 10 mm nur bei Fahrgeschwindigkeiten bis  $0,92 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  für eine Fallhöhe von 9 cm und für Geschwindigkeiten bis  $0,77 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  für 11 cm Fallhöhe eingehalten. Bei höheren Geschwindigkeiten war die mittlere Sollstellenabweichung signifikant höher als der definierte Grenzwert und nahm mit zunehmender Fallhöhe und zunehmender Geschwindigkeit überproportional zu, wie in **Abbildung 2** dargestellt. Ein Einfluss der verschiedenen Bodenarten auf die Sollstellenabweichung konnte, über alle Geschwindigkeiten betrachtet, weder für eine Fallhöhe von 9 cm noch für eine Fallhöhe von 11 cm statistisch gesichert nachgewiesen werden.

### Diskussion

Das hier vorgestellte Verfahren zur Bestimmung der Sollstellenabweichung bei der Einzelkornsaat von Zuckerrüben zeigte unter den gegebenen Versuchsbedingungen eine gute Anwendbarkeit und konnte auch bei mehrfacher Wiederholung der Versuche reproduzierbare Ergebnisse liefern. Die Höchstge-

Abb. 2



Sollstellenabweichung in Abhängigkeit von Zellenradgeschwindigkeit und Fallhöhe; Fehlerindikatoren zeigen den einfachen Standardfehler

Fig. 2: Deviation of seed-placement in relation to cell-wheel velocity and drop-height; error-bars indicate single-value of standard-error

geschwindigkeit von  $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  war den Abmessungen des Versuchsstandes geschuldet, da höhere Geschwindigkeiten eine längere Beschleunigungs- und Bremsstrecke des Portalträgers erfordern, wodurch die Menge an auswertbaren Einzelmessungen sinkt. Für zukünftige Messungen mit höheren Geschwindigkeiten müssen diese Strecken entsprechend verlängert werden. Wegen der mechanischen Sollstellenmarkierung sind Versuche derzeit nur bei identischer Zellenrad- und Vorfahrts-geschwindigkeit möglich.

Die Ergebnisse der Messungen zeigten, dass eine hohe Zellenradgeschwindigkeit erwartungsgemäß mit höheren Sollstellenabweichungen einhergeht. Gleiches gilt für eine Vergrößerung der Fallhöhe. Dieser Umstand wird den höheren kinetischen Energien ( $E_{\text{kinZr}}$  bzw.  $E_{\text{kinFH}}$ ) zugeschrieben. Bei größerer Fallhöhe resultiert diese aus einer höheren potenziellen Energie ( $E_{\text{potFH}}$ ) aufgrund der Höhendifferenz zwischen Abwurfpunkt und Boden. Da die so entstehende Bewegungsenergie beim Aufprall des Saatkorns auf dem Boden in andere Energieformen umgewandelt werden muss, kommt es je nach Beschaffenheit des Bodens entweder zu einer Verformung des Bodens durch einen plastischen Stoß, den das Saatkorn verursacht oder durch einen elastischen Stoß zu einem Abprallen des Saatkorns, das sich als Verrollen oder Verspringen äußert.

Dieser Ansatz kann die Sollstellenabweichung aber nur teilweise erklären, da weitere Faktoren ebenfalls eine wichtige Rolle spielen. So ist neben dem Abwurfverhalten auch das Zustreichen und Andrücken der Rübenpille durch das Sägerät eine Quelle für mögliche Sollstellenabweichungen, die hier, aufgrund der offenen Furche, nicht untersucht werden konnten. Ansätze zur Beschreibung des Einflusses der Abwurfcharakteristik finden sich in [6] und [8]. Die in der vorliegenden Untersuchung erzielten Ergebnisse müssen aufgrund der Messanordnung als Summe der Effekte Verrollen und Verspringen und Abwurfverhalten interpretiert und können nicht einzeln betrachtet werden.

## Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass Fallhöhe und Zellenradgeschwindigkeit einen wesentlichen Einfluss auf die Ablagequalität von Zuckerrübensaatgut haben. Eine Verringerung der Geschwindigkeit ist aufgrund der daraus resultierenden geringen Flächenleistung nicht empfehlenswert und daher nicht umsetzbar. Inwieweit die Fallhöhe des Saatgutes reduziert werden kann hängt von den konstruktiven Grenzen ab, denen ein Sägerät unterliegt.

Weitere Untersuchungen müssen in diesem Zusammenhang klären, welchen Einfluss die Verrollung bzw. das Verspringen auf der einen und die Abwurfcharakteristik des Sägerätes auf der anderen Seite auf die Sollstellenabweichung ausüben, da hier nur die Summe beider Faktoren betrachtet wurde. Darüber hinaus müssen der Einfluss von Zustreichern und Andruckrollen untersucht und die Messungen auf mehr als ein Sägerät ausgedehnt werden, um die Größenordnungen der verschiedenen technischen und natürlichen Einflussfaktoren voneinander abgrenzen zu können.

Da Zuckerrübensaatgut durch das Pillieren eine Kugelform besitzt, können die Ergebnisse nicht auf Saatgut mit anderen Formen (z.B. Mais) übertragen werden. Für diese Arten von Saatgut sind auch wegen der abweichenden Einzelkornmasse separate Versuche notwendig.

## Literatur

- [1] Diepenbrock, W.; Fischbeck, G.; Heyland, K.-U.; Knauer, N. (1999): Spezieller Pflanzenbau. Stuttgart, Ulmer Verlag, 3. Auflage, S. 185–208
- [2] Kromer, K.-H. (1986): Zuckerrübenbau. In: Landtechnik Bauwesen. Hg. Wenner, H.-L., München, BLV Verlagsgesellschaft, 8. Auflage, S. 220–233
- [3] Heier, L. (2001): Das Bonner Abstands-Aufzeichnungs-System – Ein System zur Prüfung von Einzelkornsäegeräten, auch für die Praxis. Landtechnik 56 (Sonderheft 1), S. 192–194
- [4] Heier, L. (1996): Das Bonner Abstands-Aufzeichnungs-System – System zur Bestimmung der Arbeitsqualität von Einzelkornsäegeräten und Drillmaschinen. Landtechnik 51 (4), S. 204f
- [5] Schmittmann, O.; Kam, H.; Schulze Lammers, P.; Siemes, M.; Schölderle, F.; Kuhlmann, H. (2008): Position Steered Sowing of Row Crops – Parallel Sowing of Sugar Beet. International Conference on Agricultural Engineering (EurAgEng 2008), 23–25 June 2008, Hersonissos, Greece
- [6] Schmittmann, O.; Kam, H.; Schulze Lammers, P. (2010): Position Steered Sowing of Sugar Beet – Technology and Precision. 2nd International Conference on Machine Control & Guidance, Bonn, March 9–11, 2010
- [7] Götz, S.; Bernhardt, H. (2010): Produktionsvergleich von Gleichstands- und Normalsaat bei Silomais. Landtechnik 65 (2), S.107–110
- [8] Schmittmann, O.; Kam, H.; Schulze Lammers, P. (2010): Entwicklung eines Präzisions-säegeräteantriebes zur koordinatengesteuerten Ablage von Saatgut. Landtechnik 65 (4), S. 286–289
- [9] Konstantinovic, M. (2007): In-Soil Site-Specific Measuring of Sugar Beet Yield Using UWB Radar Sensor System. Dissertation, Universität Bonn

## Autoren

**Dipl.-Ing. agr. Hing Kam** und **Dipl.-Ing. agr. Christian Peveling-Oberhag** sind Wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn, E-Mail: hing.kam@uni-bonn.de

**Prof. Dr. Peter Schulze Lammers** ist Leiter des Bereichs Systemtechnik in der Pflanzenproduktion am Institut für Landtechnik der Universität Bonn.