

Oliver Schmittmann, Hing Kam und Peter Schulze Lammers

# Entwicklung eines Präzisions-säegeräteantriebs zur koordinatengesteuerten Ablage von Saatgut

Die koordinatengesteuerte Ablage von Saatgut findet ihre Verwendung für die Anlage von Parallelverbänden und ermöglicht eine mechanische Unkrautbekämpfung in Längs- und Querrichtung. Hierdurch kann auf bis zu 95 % der Fläche gehackt werden ohne Kulturpflanzen zu beschädigen. Die technischen Voraussetzungen zur Aussaat in Parallelverbänden liegen neben der exakten georeferenzierten Positionsbestimmung in Echtzeit in der präzisen Saatgutablage und Entwicklung eines geeigneten Steueralgorithmus. Erste Versuche zeigen, dass mit der entwickelten Technik eine Positionsgenauigkeit von  $\pm 2$  cm realistisch ist.

## Schlüsselwörter

Mechanische Unkrautbekämpfung, Anbausysteme, Reihenkulturen, Parallelsaart

## Keywords

Mechanical weeding, cropping systems, row crops, cross compound

## Abstract

Schmittmann, Oliver; Kam, Hing and Schulze Lammers, Peter

Development of a precise actuator for sowing machines due to georeferenced deposition of seeds

Landtechnik 65 (2010), no. 2, pp. 286-289, 5 figures, 3 references

Coordinate related deposition of seeds can be an application for built up cross-compounds of plants in order to support mechanical weeding in length and additional in cross direction. Therefore up to 95 % of the field area can be hoed without damages of the cultivated plants. The technical requirements for cross-compounds are the online determination of position, the precise seed deposition and the development of a steering algorithm. First trials have shown, that an accuracy of  $\pm 2$  cm in regard of seed and its target position can be achieved.

■ In Reihenkulturen wird die Unkrautregulierung überwiegend mit Herbiziden durchgeführt. Für den Anbau der Kulturpflanzen lässt die Beseitigung konkurrierender Kräuter und Gräser hinsichtlich des Ertrags, der Qualität und Beerntbarkeit kaum Kompromisse zu [1]. Totalherbizide für die Vorauflaufanwendung und Spezialherbizide sind damit die erste Wahl. Seitens der chemischen Industrie wird bei der Entwicklung teurer, neuer Wirkstoffe oder der Verlängerung der Zulassung vorhandener Herbizide abgewogen, ob sich dies bei dem zu erwartenden Produktabsatz rentiert. Umweltrelevante Aspekte, wie Grundwasserbelastung oder die Produktion von Ökoerzeugnissen bzw. die Teilnahme an Markenprogrammen sind weitere Argumente, die es erforderlich machen, intensiver als bisher über Alternativen zum chemischen Pflanzenschutz nachzudenken.

Somit erlangt die mechanische Unkrautbekämpfung wieder mehr Aufmerksamkeit. Schwachstellen sind höhere Kosten für die Arbeitserledigung (geringere Arbeitsbreiten und geringere Arbeitsgeschwindigkeit) und die geringere Wirksamkeit, da in den Pflanzenzwischenräumen keine Unkrautbekämpfung stattfinden kann. Beispielsweise können bei Zuckerrüben mit Reihenabständen von etwa 45 cm unter Berücksichtigung eines Sicherheitsabstandes zur Pflanze nur etwa  $\frac{2}{3}$  der Fläche gehackt werden.

Diese Gegebenheiten führen zu dem Ansatz, Parallelverbände auszusäen, bei denen eine mechanische Unkrautbekämpfung in Längs- und Querrichtung möglich ist, und somit bis zu 90 % der Fläche bearbeitet werden können.

## Anforderungen an die Technik

Bestandesdichten von über 100 000 Pflanzen/ha werden beim Anbau von Zuckerrüben angestrebt, dazu haben sich Abstände von  $45 \times 20$  cm etabliert. Für die Gleichstandsart sind nur Ab-

stände von  $30 \times 30$  bis maximal  $35 \times 35$  cm möglich. Einerseits muss die Bestandesdichte so hoch sein, dass keine Ertragseinbußen zu befürchten sind, andererseits müssen sowohl die Schleppeireifen als auch die Hackwerkzeuge zwischen die Pflanzen passen und dürfen diese nicht beschädigen oder gar zerstören.

Die Standgenauigkeit der aufgelaufenen Pflanze wird mit  $\pm 2$  cm festgelegt. Sie wird durch die Qualität der Positionsbestimmung des Zielortes, die Ablagegenauigkeit, die Variation der Abwurfkurven, Verrolleffekte und den erektophilen Wuchs des Keimlings beeinflusst. Für die Aussaat mit der gewünschten Präzision gilt es zu beachten, dass die Säscheibe aufgrund von Korrekturmaßnahmen und Beschleunigungen des Schleppers variiert, das heißt beschleunigt und abgebremst werden muss. Die Fahrgeschwindigkeit soll mindestens der praktisch üblichen entsprechen, angestrebt werden 1–3 m/s.

Zu den Betriebsforderungen zählen alle Aspekte, die von praxistauglichen Maschinen erwartet werden, hierzu gehören unter anderem geringe Störanfälligkeit und geringer Wartungsaufwand.

Zur Aussaat im Versuch sollte keine neue Maschine entwickelt werden, vielmehr stand die Ausrüstung von konventionellen Sägeräten mit einem Präzisionsantrieb im Vordergrund. Damit unterschiedliche Ablageabstände (20–35 cm), unterschiedliche Verbände (z. B. Rechteck- oder Dreieckverbund) oder auch Muster erzeugt werden können, müssen beispielsweise die Informationen über die geplanten Ablagepositionen im Voraus berechnet und die tatsächlichen Ablagepositionen während der Saat ermittelt werden. Beide Informationen müssen über eine Datenschnittstelle und einem Speichermedium austauschbar sein.

### Versuchskonzeption

Zum variablen Antrieb der Säscheibe wurde ein Schrittmotor mit Controller-Steuerung eingesetzt und ein Algorithmus entwickelt, mit dem individuell für jedes Säaggregat und jedes Saatkorn der Ablageort variiert werden konnte. Die Bestimmung der Position wurde mit RTK-GPS, verschiedenen Wegsensoren und einem dafür entwickelten Kalman-Filter umgesetzt.

Die Steuerung des Antriebs ermöglichte eine Ablagegenauigkeit von unter 1 cm. Mit dem Positionsbestimmungssystem konnten die Abstände ebenfalls in der gewünschten Genauigkeit bestimmt werden. Zur Erzeugung von Parallelverbänden musste noch das Auffinden der Position der ersten Ablage bei Anschlussfahrten gelöst werden.

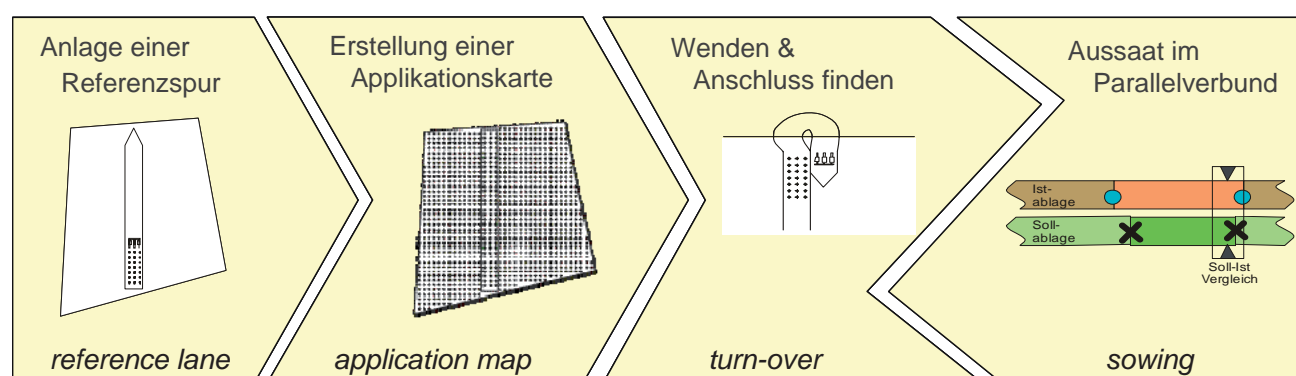
Für jedes Säaggregat wurde ein individuell ansteuerbarer elektrischer Antrieb, bestehend aus Schrittmotor, Zahnriemenübersetzung, Controllersteuerung und einem System zur Ablagekontrolle entwickelt. Die jeweilige Zielablage wurde mit einem Zentralrechner gesteuert, der die aktuelle georeferenzierte Position der Maschine (Koppelortung mit DGPS und Wegsensoren) und der letzten tatsächlichen Ablage errechnete und mit der sich daraus ergebenden Variation die Säscheibenwinkelgeschwindigkeit umsetzte.

### Versuchsdurchführung

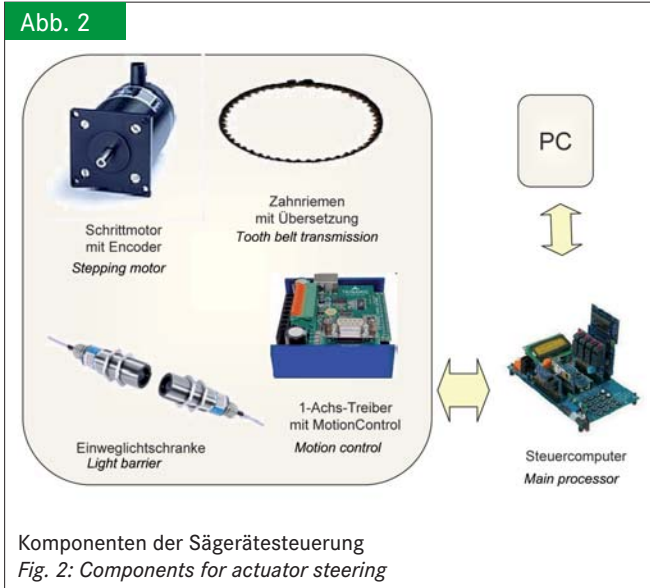
Die Aussaat geschah in folgenden Schritten (**Abbildung 1**): Die erste Spur wurde in einer geraden Linie, bei der alle Aggregate synchron liefen, ausgesät und war die Grundlage für die spätere parallele Ablage. Die jeweiligen Koordinaten der Ablage wurden erfasst. Auf Grundlage dieser Koordinaten wurde eine dreidimensionale Applikationskarte berechnet, in der jede Zielablageposition enthalten war. Danach wendete der Schlepper und die Sämaschine wurde parallel zur letzten Spur abgesetzt. Die einzelnen Säscheiben wurden justiert und so eingestellt, dass nach dem Losfahren die gewünschte Ablageposition erreicht wurde. Während der Fahrt wurde kontinuierlich ein Vergleich der Soll- und Ist-Ablage durchgeführt und gegebenenfalls die notwendige Korrekturmaßnahme durchgeführt.

Endeten die Reihen in einem Winkel, so wurden die Säscheiben individuell angehalten oder die zuviel ausgesäten Pflanzen wurden später ausgehackt. Auf unebenen Feldern haben gleiche Abstände zur Folge, dass in kurvigen Bahnen gehackt werden muss. Dementsprechend musste in Abhängigkeit von der Hackmaschinenbreite alle 6, 12 oder 18 Reihen eine Korrektur vorgenommen werden.

Abb. 1



Konzept zur Erzeugung von Quadratverbänden  
Fig. 1: Conception of creating cross-compounds

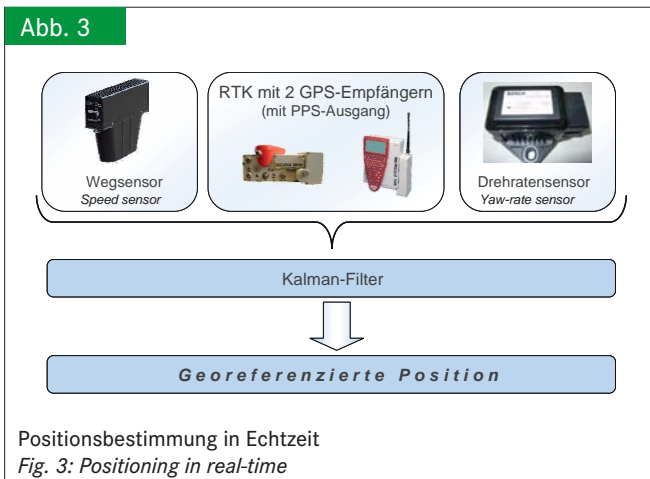


**Technische Umsetzung**

Die technische Umsetzung bestand aus zwei Teilen: Erstens der Entwicklung eines Präzisionsantriebs inklusive Steuereinheit und Programmierung und zweitens der Entwicklung eines Ortungssystem mit einer Genauigkeit von möglichst unter 1 cm in Echtzeit.

**Entwicklung eines Präzisionsantriebs inklusive Steuereinheit.** Als Grundgerät für dieses Projekt diente ein herkömmliches, mechanisch angetriebenes Einzelkornsägerät „Mono-pill S“ der Firma Kverneland Accord. Der Antrieb wurde durch einen Schrittmotor und eine Zahnriemenübersetzung ersetzt (Abbildung 2). Aus konstruktionstechnischen Gründen wurde der Motor hinter dem Saatgutbehälter angebracht. Um ein ausreichendes Antriebsmoment mit einem 24-V-Motor zu gewährleisten, wurde ein Übersetzungsverhältnis von 4 : 1 gewählt.

Gesteuert wurde durch Variation der Motordrehzahl, die technische Realisierung erfolgte durch die Anzahl von Steuerimpulsen pro Zeiteinheit. Daraus ergab sich, dass der Lochabstand auf der Säscheibe nicht mehr als Abstand in Zentimeter, sondern als Impulsanzahl betrachtet wurde. Der tatsächliche



Ablageabstand ergab sich aus dem geplanten Ablageabstand der aktuellen Fahrgeschwindigkeit. Durch mögliche Doppelbelegungen in der Lochscheibe, bei dem eventuell eine Saattülle durchgeschert werden musste, entstand ein Maximum an Kraftbedarf. Der hierdurch mögliche Motorschlupf wurde mit einem Encoder erfasst und mittels Controllersteuerung ausgeglichen. Parallel neben der Säscheibe wurde eine zweite Scheibe installiert. An ihr befanden sich jeweils parallel zu den Abwurfstellen Bohrungen, die mit einer Lichtschranke detektiert wurden. So konnte mit dieser Indikatorscheibe jeder theoretische Abwurf bestimmt und mit dem geplanten Abwurf verglichen werden. Bei auftretenden Abweichungen wurde für die nächste Ablage die Motordrehzahl entsprechend erhöht oder reduziert.

**Bestimmung der Position in Echtzeit.** Um die erforderliche Genauigkeit in Echtzeit erzielen zu können, entwickelte das Institut für Geodäsie und Geoinformation der Universität Bonn ein Ortungssystem bestehend aus RTK-DGPS und unterstützenden Wegsensoren (Abbildung 3). Alle Messwerte wurden mit einem Kalman-Filter integriert und die Position konnte genau berechnet werden [2]. Problematisch war die Positionsbestimmung während und nach Wendevorgängen. War das Signal der Wegsensoren bei Geradeausfahrten stabil und eindeutig, so waren Richtungsänderungen und Fahrtrichtungswechsel nicht mit der notwendigen Präzision zu berechnen. DGPS alleine half nicht beim Auffinden der ersten Sollablageposition.

**Untersuchung des Präzisionsantriebs**

Bei der Beurteilung der Arbeitsqualität von Einzelkornsägeräten ist der Begriff der Ablagegenauigkeit relevant. Im Institut für Landtechnik der Universität Bonn war ein Abstandsaufzeichnungssystem [3] entwickelt worden, mit dem es möglich ist, unter standardisierten Bedingungen folgende Größen objektiv zu bestimmen:

- Ist-Abstand (nach ISO-Norm 7256/1)
- Relativer und absoluter Anteil von Soll-, Doppel- und Fehlstellen
- Standgenauigkeit als relativer und absoluter Anteil der Ablagen im Bereich von ±25 mm

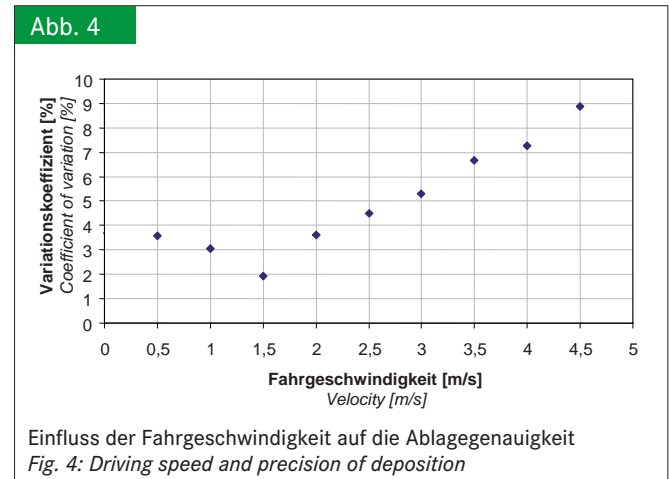
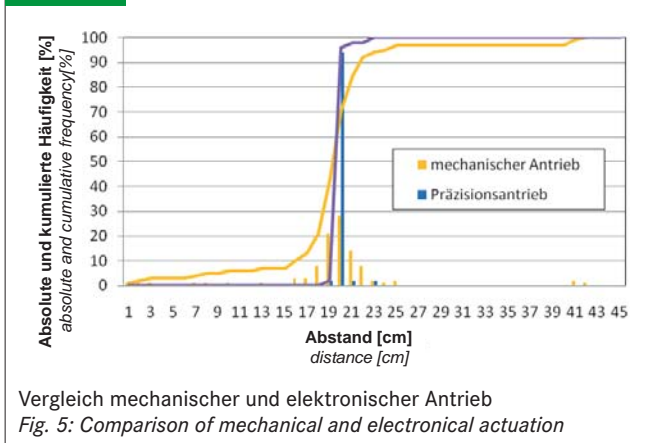


Abb. 5



#### ■ Standardabweichung und Variationskoeffizient

Der neue Präzisionsantrieb wurde unter Verwendung des Abstandsaufzeichnungsgerätes mit dem konventionellen Antrieb verglichen und bewertet.

In einem Versuch wurde der Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit bzw. den Variationskoeffizienten untersucht (**Abbildung 4**). Als Sollablageabstand wurde 20 cm gewählt. Die Geschwindigkeit betrug zwischen 0,5 und 4,5 m/s, beinhaltete also auch Varianten mit unüblich hoher Geschwindigkeit. Der Variationskoeffizient ergab bei 1,5 m/s mit 1,9 den besten Wert. Bei reduzierter Geschwindigkeit stieg er aufgrund des verstärkten Auftretens von Doppelbelegungen. Stieg die Geschwindigkeit über 1,5 m/s, stieg erwartungsgemäß auch der Variationskoeffizient bis auf 8,9 % bei 4,5 m/s. Obwohl gesiebtes Saatgut verwendet wurde, hatte der höhere Variationskoeffizient seine Ursache in den unterschiedlichen Abwurfkurven. Der Vergleich des herkömmlichen konventionellen und des neu entwickelten elektronischen Antriebs in

**Abbildung 5** zeigt, dass die Ablageabstände beim konventionellen Antrieb stärker variieren. Beim elektronischen Antrieb liegen 99 % aller Ablagen im Bereich um  $\pm 1$  cm und entsprechen damit den gestellten Forderungen.

### Schlussfolgerungen

Die technischen Voraussetzungen zur Aussaat von Parallelverbänden bestehen in der exakten georeferenzierten Positionsbestimmung in Echtzeit, in der präzisen Ablage des Saatgutes und in der Steuerung.

Die Zielgenauigkeit der Ablage wurde auf  $\pm 2$  cm festgelegt. Erste Versuche zeigten, dass sie mit der entwickelten Technik erreicht werden konnte. Die Steuerung des Antriebs ermöglichte eine zentimetergenaue Ablage. Mit dem Positionsbestimmungssystem konnten die Abstände ebenfalls mit der gewünschten Genauigkeit bestimmt werden. Weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich des Auffindens der Position der ersten Ablage bei Anschlussfahrten.

### Literatur

- [1] Schmittmann, O. und P. Schulze Lammers: Mechanische Unkrautbekämpfungsmaßnahmen – Technische Möglichkeiten zur Steigerung ihrer Wirksamkeit. Landtechnik 59 (2004), H. 2, S. 90–91
- [2] Schölderle, F.; Siemes, M.; Kuhlmann, H.; Schulze Lammers, P. and Schmittmann, O.: Functionality of a position-steered seed deposition against an agricultural background. 2<sup>nd</sup> Conference on Precision Crop Protection, 10.–12. Oktober, Bonn, 2007
- [3] Heier, L. und K.H. Kromer: Das Bonner Abstands-Aufzeichnungs-System. Landtechnik 51 (1996), H. 4, S. 204–205

### Autoren

**Dr. agr. Oliver Schmittmann** und

**Dipl.-Ing. agr. Hing Kam** sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl Systemtechnik in der Pflanzenproduktion (Leitung: **Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze Lammers**) am Institut für Landtechnik der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Nußallee 5, 53115 Bonn, E-Mail: o.schmittmann@uni-bonn.de