

Einfluss von schlagformspezifisch geplanten Befahrungsstrategien auf die Wendezeiten in der Bodenbearbeitung

Matthias Stettmer¹, Maximilian Treiber¹, Valentin Heizinger¹ und Heinz Bernhardt¹

Abstract: Der Einsatz GPS-gestützter Lenksysteme senkt die Arbeiterledigungskosten. Parallelfahrssysteme optimieren den Arbeitsprozess und ermöglichen es den Maschinenführern, verschiedene Fahrmuster einzusetzen. Die Wendezeiten unterschiedlicher Fahrmuster variieren je nach Schlagform stark. Durch reduzierte Wendezeiten mittels Routenplanung, auf Basis verschiedener genutzter Fahrmuster in Abhängigkeit von der Schlagform, könnten Kosten gespart und Maschinen effizienter eingesetzt werden. Daher ist das Ziel dieser Arbeit, zu überprüfen, ob sich durch schlagformspezifisch geplante Befahrungsstrategien die Wendezeiten in der Bodenbearbeitung reduzieren lassen. Zu diesem Zweck wurden Praxisversuche durchgeführt. Dabei wurden die Befahrungen von fünf Feldern vergleichend untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass das Routing die Zeit am Vorgewende senkt. Die geplante Variante erreicht gegenüber der Referenzvariante um 20-40 % reduzierte Wendezeiten.

Keywords: Lenksystem, Wendezeit, Routenplanung

1 Einleitung

Viele neue Anforderungen und strukturelle Veränderungen erfordern einen Umbruch in der heutigen Landwirtschaft. Die Effizienzsteigerung durch die Digitalisierung ist derzeit von großer Bedeutung in der Landtechnikbranche. Autonom arbeitende Schlepper oder Trägerfahrzeuge werden nach einer Studie der Kleffmann Group in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering (IESE) ihre Marktanteile zukünftig deutlich erhöhen [Dö19]. Demnach sollen sich die Marktanteile von autonomen überwachten Schleppern in Westeuropa von aktuell weniger als 10 % auf über 80 % im Jahre 2045 entwickeln. Die Anteile von völlig autonomen Schleppern sollen sich laut der Studie in den meisten Regionen der Welt von aktuell 0 % auf 10-50 % ausdehnen. Trotz dieser deutlichen Zahlen ist zu erkennen, dass der Wandel zu autonomer Landtechnik einem langsamen, aber kontinuierlichen Prozess folgt. Die Einführung autonomer Systeme wird je nach Markt und Region erheblich variieren [Dö19]. Aktuell sind in der praktischen Landwirtschaft vor allem vom Menschen gesteuerte Traktoren mit Assistenzsystemen wie GPS-gestützten Lenksystemen etabliert. Dabei übernimmt das Umdrehen am Vorgewende in aller Regel der Fahrer, welcher auch entscheidet, welche

¹ Technische Universität München, Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik, Dürnast 4, D-85354 Freising, stettmer@wzw.tum.de, maximilian.treiber@wzw.tum.de, valentin.heizinger@wzw.tum.de, heinz.bernhardt@wzw.tum.de

Spurlinie er als nächstes anfährt. Folglich kommen die Vorteile des Parallelfahrsystems hauptsächlich im Arbeitsprozess zur Geltung, beim Wendeprozess hingegen ergibt sich keine systemgestützte Hilfe zur Reduktion der Wendezeit. Die Nutzung eines Lenksystems ermöglicht es jedoch, verschiedene Muster („Beet“, „auf und ab“, „jede 2te“ etc.) zu fahren und so diverse Befahrungsstrategien zu nutzen. [St17], [Ok07] und [En04] stellen in ihren Untersuchungen in Abhängigkeit von der Art der Befahrung und der Schlagform erhebliche Unterschiede bei Wendezeiten fest. [Sa15] und [BV08] belegen deutlich differenzierte Wendeweglängen durch verschiedene Fahrstrategien. Die unterschiedlichen Fahrmuster eignen sich je nach Winkel gut oder schlecht [Be18]. Daher ergibt sich als Zielstellung für diese Arbeit, zu eruieren, inwieweit Wendezeiten beim Einsatz von Lenksystemen durch ein geplantes Routing, basierend auf der abwechselnden Nutzung verschiedener Fahrmuster, in Abhängigkeit von der Schlagform reduziert werden können.

2 Material und Methoden

2.1 Datenerhebung

Die Datengrundlage für diese Untersuchung liefern GPS-Positionsdaten aus der Bodenbearbeitung. Dazu wurden beim Stoppelsturz mittels Scheibenegge und bei der Grundbodenbearbeitung mittels Grubber die Koordinaten (latitude, longitude) des Maschinenspanns mit einer Frequenz von einem Hz aufgezeichnet. Verwendet wurden dafür Datenlogger der Firma Qstarz International Co. Ltd, da diese die Kriterien für die Datenaufzeichnung zur Auswertung von landwirtschaftlichen Positionsdaten nach Forschungen von [He14] am besten erfüllen. Diese Datenlogger wurden bei der Tätigkeit am Schlepper befestigt, sodass sich im Nachgang aus den aufgezeichneten Koordinaten die Befahrung rekonstruieren und analysieren lässt.

2.2 Versuchsaufbau

Basis dieser Untersuchung sind Daten von fünf Schlägen eines Ackerbaubetriebes in Mecklenburg-Vorpommern. Der Versuch wurde so aufgebaut, dass alle fünf Felder jeweils zweimal mit derselben Technik in derselben Richtung bearbeitet werden. Bei der einen Überfahrt wurden die Fahrmuster anhand der Schlagform geplant, während bei der anderen Überfahrt durchgängig ein Fahrmuster verwendet wurde. Bei der Variante mit Routenführung wurden die Fahrmuster anhand des Winkels zwischen Bearbeitungsrichtung und Vorgewende geplant. Die Analyse der Winkel erfolgte mit der Geoinformationssystemsoftware QGIS. Dabei wurde eine Unterteilung in vier Winkel-Bereiche (0,00 – 22,5 Grad; 22,5 – 45,0 Grad; 45,0 – 67,5 Grad und 67,5 – 90,0 Grad) vorgenommen. Anhand dieser Unterteilung entstanden einzelne Teilabschnitte, denen jeweils das Fahrmuster mit den günstigsten Wendezeiten zugewiesen wurde. Als

Datengrundlage dafür dienen Untersuchungen von [St17], [Sa15] und [BV08]. Grundsätzlich beinhaltet die geplante Variante vier gängige Fahrmuster. Bei der Referenzbefahrung wurde ebenfalls eines dieser vier Fahrmuster genutzt und durchgängig auf der ganzen Fläche angewendet. Die Auswahl erfolgte betriebsüblich durch die jeweiligen Maschinenführer, sodass die Fläche in der Referenzvariante genauso befahren wird wie sie sonst standardmäßig auf dem Betrieb bearbeitet wird. Nachfolgend sind die vier verwendeten Fahrmuster in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

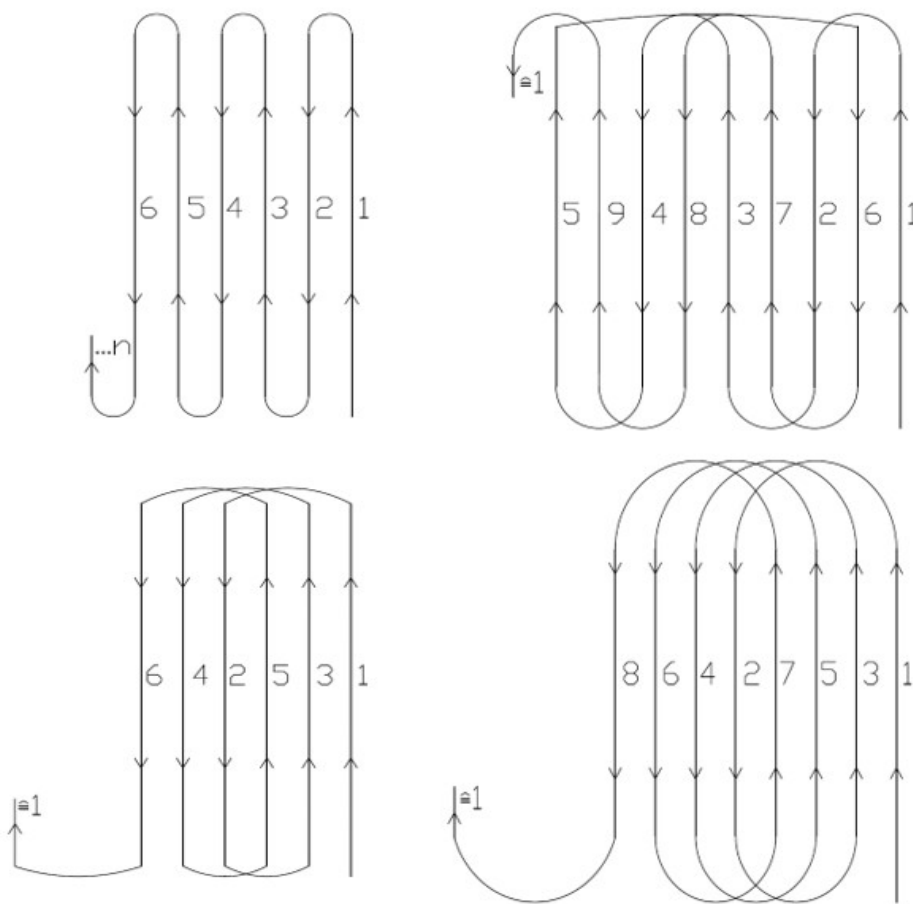


Abb.1: Darstellung der vier verwendeten Fahrmuster

Die schematische Darstellung zeigt jeweils einen Zyklus der Fahrmuster. Die Zahlen zeigen, in welcher Reihenfolge die Spurlinien abgefahren werden. Die Muster sind wie folgt angeordnet: „auf und ab“ (links oben), „jede 2te“ (rechts oben), „2er-Beet“ (links unten) und „3er-Beet“ (rechts unten).

2.3 Datenanalyse

Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mit einem algorithmischen Analysesystem von [He14]. Dieses System ist für die Analyse von landwirtschaftlichen Prozesszeiten entwickelt und eignet sich daher zur Analyse von Wendezeiten sehr gut. Die Anwendung agiert als Analyse-Tool auf Basis der Software MATLAB. Mit diesem Programm können die Positionsdaten differenziert und in verschiedene Klassen eingeteilt werden. Es handelt sich dabei um Punktdaten. So konnten bei der Datenanalyse die Zeitsummen pro Wendevorgang ermittelt werden.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Analyse der Wendezeiten ergab ein deutliches Einsparpotenzial der geplanten Variante gegenüber der Referenzvariante auf allen fünf Testschlägen. Der Vorgang wurde auf den fünf Versuchsflächen voneinander unabhängig wiederholt. Durch das Routing lässt sich die Wendezeit um rund 20 -40 % reduzieren. Tabelle 1 zeigt die Wendezeiten der „Routing“-Variante und der entsprechenden Referenzvariante der fünf Felder.

| | Wendezeit „Referenz- befahrung“ [min] | Wendezeit „Routing“ [min] | Wendezeit- ersparnis [min] | Wendezeit- ersparnis [%] |
|----------|--|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Schlag 1 | 18,83 ^A | 12,58 ^B | 6,25 | 33,19 |
| Schlag 2 | 13,40 ^A | 10,77 ^B | 2,63 | 19,63 |
| Schlag 3 | 29,65 ^A | 19,55 ^B | 10,10 | 34,06 |
| Schlag 4 | 17,43 ^A | 13,76 ^A | 3,67 | 21,05 |
| Schlag 5 | 38,78 ^A | 22,48 ^B | 16,30 | 42,03 |

Tab. 1: Wendezeiten beider Überfahrten auf den fünf Testschlägen

Zur statistischen Absicherung der Unterschiede kam eine einfaktorielle ANOVA zur Anwendung. Dabei wurden die Wendezeiten der Variante „Routing“ mit der Variante „Referenzbefahrung“ jeder Wiederholung paarweise verrechnet. Als Signifikanzniveau wurde $p < 0,05$ gewählt. Dabei zeigen die Schläge 1, 2, 3 und 5 nachweislich signifikante Unterschiede. Schlag 4 weist ebenfalls einen Unterschied auf, jedoch lässt sich dieser bei einem P-Wert von 0,07 statistisch nicht nachweisen. Die Tatsache, dass bei allen fünf Vergleichen die geplante Variante bessere Werte liefert, untermauert die eindeutigen positiven Auswirkungen der Routenplanung deutlich. Durchschnittlich lassen sich so rund 30 % der Wendezeit einsparen.

4 Fazit und Ausblick

Es zeigt sich, dass die Vorteile von Lenksystemen durch weitere Planungsschritte noch deutlich verbessert werden können. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die

Ergebnisse großes Potenzial bei der Routenplanung offenbaren. Diese Ergebnisse stellen wichtige Grundlagen für die Entwicklung des autonomen Fahrens dar und sollten daher auch weiter erforscht werden. Bereits frühere Untersuchungen zeigen, dass besonders der Einfluss von Schlagform und Fahrmuster eine deutliche Wirkung auf die Prozesszeiten hat [Be18]. Werden diese Erkenntnisse zur Routenplanung verwendet, können diese Auswirkungen positiv genutzt und dadurch Wendezeiten reduziert werden. Zukünftige Untersuchungen sollten auch den Einfluss der Arbeitsgeräte berücksichtigen, da speziell die Arbeitsbreite ein wichtiger Faktor bei der Auswahl der Fahrmuster ist.

Literaturverzeichnis

- [Be18] Bernhardt, H.; Bartenschlager, J.; Stettmer, M.; Mederle, M.: Turning structures and driving strategies of different fields. In ASABE Annual International Meeting (p. 1), American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2018.
- [BV08] Bochtis, D.; Vougioukas, S.: Minimising the non-working distance travelled by machines operating in a headland field pattern. *Biosystems Engineering* 101 (1), S. 1-12, 2008.
- [Dö19] Dörr, J.; Fairclough, B.; Henningsen, J.; Jahic, J.; Kersting, S.; Mennig, P.; Peper, C.; Scholten-Buschhoff, F.: Scouting the Autonomous Agricultural Machinery Market. IESE-Report Nr. 041.19/E, S. 40-43, 2019.
- [En04] Engelhardt, H.: Auswirkungen von Flächengröße und Flächenform auf Wendezeiten, Arbeiterledigung und verfahrenstechnische Maßnahmen im Ackerbau. Gießen, 2004.
- [He14] Heizinger, V.: Algorithmische Analyse von Prozessketten in der Agrarlogistik. Freising, 2014.
- [Ok07] Oksanen, T.: Path Planning Algorithms for Agricultural Field Machines. Helsinki, 2007.
- [Sa15] Sabelhaus, D.: Fahrspur- und Routenplanung für teilautonome, GNSS-gestützte Landmaschinen. Bonn, 2015.
- [St17] Stettmer, M.: Analyse von Wendezeiten unterschiedlicher Befahrungsstrategien in der Bodenbearbeitung unter Berücksichtigung verschiedener Schlagformen. Freising, 2017.