

Erprobung und Bewertung eines autonomen Feldroboters

Stefan Kopfinger¹ und Beat Vinzent¹

Abstract: Der autonome Feldroboter Farmdroid FD20 wurde hinsichtlich seiner Fähigkeit, Zuckerrüben zu säen und unkrautfrei zu halten, erprobt und bewertet. Die Bearbeitung mit dem Feldroboter wurde dabei unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus mit einem konventionellen Verfahren zur Aussaat und zur mechanischen Unkrautregulierung, bestehend aus einer traktorgebundenen Hacke (mit Kamera zur Reihenerkennung und Verschieberahmen) und zusätzlicher Handhacke verglichen. Bewertet wurde (a) der Erfolg der Unkrautregulierung, (b) der Rübenertrag und (c) der Verfahrensaufwand für die mechanischen Pflegearbeiten. Die (a) Unkrautregulierung, die rein mit dem Feldroboter erfolgte, schnitt signifikant schlechter ab als die Unkrautregulierung mit traktorgebundener Hacke und Handhackstunden. Jedoch gab es hinsichtlich der (b) Ertragshöhe der Rüben wie auch des Zuckerertrags keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten. Bei ansonsten ähnlichem (c) Verfahrensaufwand konnten durchschnittlich 144 Handhackstunden pro ha durch eine roboter-basierte Unkrautregulierung eingespart werden.

Keywords: Agrarrobotik, Unkrautregulierung, Hacken, RTK-GNSS, Zuckerrüben, Digitalisierung

1 Einleitung

Die mechanische Unkrautregulierung gewinnt im Pflanzenbau wieder zunehmend an Bedeutung. Gründe hierfür sind ein wachsender Markt für Bioprodukte, aber auch gesetzliche Anwendungsrestriktionen und Resistenzen bei Herbiziden im konventionellen Landbau. Mechanische Verfahren sind jedoch meist kostenintensiv und mit viel Handarbeit verbunden, was die Verfahrenswirtschaftlichkeit negativ beeinflusst [He18].

Autonom fahrende und arbeitende Feldroboter zur mechanischen Unkrautregulierung können ein vielversprechendes Konzept darstellen, um dieser Problematik zu begegnen. Sie können abgesehen vom Zeitbedarf für Initialisierung und Wartung ohne menschliches Zutun ihre Arbeit verrichten. Aus der Unabhängigkeit von einem Bediener vor Ort ergeben sich auf diese Weise offensichtliche Vorteile:

Es werden beispielsweise ausgedehnte und unterbrechungsfreie Einsatzzeiten ermöglicht, da Roboter – anders als Menschen – unabhängig von sozialen und körperlichen Bedürfnissen arbeiten können. Daraus ergibt sich ebenso eine bessere Skalierbarkeit der Geräte auf die geplante Einsatzfläche, weil diese nicht von der Anzahl an Fahrern abhängt [He18].

¹ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Arbeitsbereich Digitalisierung, Kleeberg 14, 94099 Ruhstorf a.d. Rott, stefan.kopfinger@lfl.bayern.de, beat.vinzent@lfl.bayern.de

Dabei darf allerdings nicht vergessen werden, dass auch autonome Feldroboter eine gewisse menschliche Betreuung (Rüstzeiten) z. B. beim Transport zum Feld, bei der Pfadplanung oder bei der Einstellung der Werkzeuge benötigen.

2 Problemstellung

Aktuell liegen keine wissenschaftlichen Studien vor, welche am Markt verfügbare autonom arbeitende Technik zur Unkrautregulierung hinsichtlich Regulierungserfolg, Ertragswirkung sowie arbeitswirtschaftlichen Aspekten für landwirtschaftliche Kulturen erproben und bewerten. Die wissenschaftliche Literatur [Fe14, La16, MLP15] bezieht sich in diesem Bereich in der Regel auf gartenbauliche Kulturen, da diese Technologien ursprünglich für den Feldgemüsebau entwickelt wurden. Aus diesem Grund herrscht noch Unsicherheit, inwiefern autonome Hackroboter in Kulturen wie der Zuckerrübe funktions sicher und wirtschaftlich eingesetzt werden können [He18].

Zur Klärung dieser Aspekte wurde ein marktverfügbarer autonomer Feldroboter zur Erprobung und Bewertung ausgewählt: Der autonome Sä- und Hackroboter Farmdroid FD20 soll hinsichtlich seines Vermögens zur Unkrautbekämpfung und der Ertragswirkung auf die Kultur sowie hinsichtlich arbeitswirtschaftlicher Aspekte für landwirtschaftliche Kulturen erprobt und bewertet werden.

3 Methode

In einem Feldversuch wurde im Jahr 2020 der Rübenanbau mithilfe des genannten Roboters mit einer herkömmlichen Bewirtschaftungsvariante (im Folgenden „Vergleichsstandard“ genannt) verglichen und bewertet. Da der Farmdroid FD20 als Komplettlösung zur Aussaat und Pflege der Rüben konzipiert ist, wurden die Vergleichsvarianten als verschiedene Systemansätze insbesondere zur Aussaat und Unkrautregulierung betrachtet. Die Vergleichsparameter waren dabei die Verunkrautung der Parzellen, der Rübenertrag sowie der Zuckergehalt der Rüben und der Verfahrensaufwand zur Unkrautregulierung.

Der randomisierte Streifenversuch umfasste ursprünglich drei Varianten. Eine Variante mit gepflanzten Rüben wurde jedoch aus technischen Gründen nicht zu Ende geführt. Die verbliebenen beiden vierfach wiederholten Varianten wurden ausgewertet. Es wurden Parzellenstreifen mit je 6 m x 200 m angelegt. Pro Parzelle wurden 12 Reihen Zuckerrüben mit 50 cm Reihenabstand und 18 cm Säabstand in der Reihe gesät (angestrebte Bestandsdichte von ca. 111.000 Pflanzen/ha). Aufgrund der Vorfrucht Körnermais und der allgemein sommerungslastigen Fruchtfolge ist der Unkrautdruck auf der Versuchsfläche vor allem für ein ökologisches Betriebssystem als sehr hoch zu bewerten. Die Bearbeitungsschritte der Varianten sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Variante	Farmdroid	Vergleichsstandard
Aussaat	Farmdroid FD20	Einzelkorndrille
Unkrautregulierung	Zwischen und in den Reihen: Farmdroid FD20	<ul style="list-style-type: none"> Zwischen den Reihen: Traktorgebundene Hacke mit Kamera zur Reihenerkennung und Verschieberahmen + Fingerhacke In den Reihen: Handarbeitskräfte mit Handhacke

Tab. 1: Übersicht der Bearbeitungsschritte der Varianten Farmdroid FD20 und Vergleichsstandard

(a) *Messung des Unkrautregulierungserfolgs*: Die Verunkrautung wurde durch eine Unkrautbonitur am 23.07.2020 bestimmt. Hierbei wurden pro Parzelle in 6 randomisierten Stichproben die Beikräuter auf jeweils 1 m² gezählt.

(b) *Messung der Ertragswirkung*: Für die Bestimmung des Ertrags wurden pro Parzelle 3 Stichproben mit je 7 m einer Reihe geerntet. Es erfolgte wie bereits bei der Unkrautbonitur eine Gleichverteilung über die gesamte Streifenlänge. Um Randeffekte zu vermeiden, wurde die Merkmalerfassung in der Mitte der jeweiligen Streifen vorgenommen. Die Stichproben wurden anschließend im Labor ausgewertet. Gemessen wurden das Gewicht und der Zuckergehalt der Stichproben.

(c) *Messung des Verfahrensaufwands*: Zur Bestimmung des Verfahrensaufwands für die mechanische Unkrautregulierung wurden die Arbeitsgeschwindigkeit der Maschinen und die menschlichen Arbeitsstunden (Rüstzeiten, Maschinenbedienung, Handarbeit) der verschiedenen Bearbeitungsschritte betrachtet. Der Fokus lag hier auf der Handarbeitszeit für die mechanische Unkrautregulierung im Vergleichsstandard, da hier das höchste Einsparpotenzial erwartet wurde.

4 Ergebnisse

(a) *Unkrautregulierungserfolg*: Die Unkrautbonitur ergab einen Mittelwert von 12,91 ($SD = 6,09$) Unkrautpflanzen pro m² in den rein mit dem Farmdroid FD20 bearbeiteten Parzellen. In den standortüblich bearbeiteten Flächen (Vergleichsstandard) ergab sich ein Mittelwert von 6,79 ($SD = 3,04$) Unkräutern pro m². Der Unterschied ist in Abbildung 1 graphisch dargestellt.

Ein Mann-Whitney-U-Test wurde berechnet, um zu überprüfen, ob es signifikante Unterschiede zwischen den Varianten gab. In der Farmdroid-Variante wurden signifikant mehr Unkräuter ermittelt als im Vergleichsstandard ($U = 107.50$, $Z = -3.602$, $p < .001$).

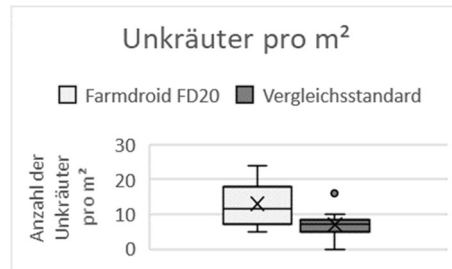


Abb. 1: Anzahl der Unkräuter der Varianten Farmdroid FD20 und Vergleichsstandard

(b) *Ertrag*: Zur Messung des Ertrags wurden das Rübengewicht in dt/ha sowie der Zuckergehalt in % und der daraus resultierende Zuckerertrag in dt/ha ermittelt. Tabelle 2 zeigt den Vergleich zwischen Farmdroid und konventioneller Bearbeitung.

	Rübengewicht (dt/ha)	Zuckergehalt (%)	Zuckerertrag (dt/ha)
Farmdroid FD20	$M = 769,5$ $SD = 64,5$	$M = 14,8$ $SD = 0,4$	$M = 113,6$ $SD = 10,8$
Vergleichs- standard	$M = 816,2$ $SD = 82,1$	$M = 14,5$ $SD = 0,1$	$M = 118,5$ $SD = 11,7$

Tab. 2: Ertragsdaten der Bewirtschaftung mit dem Farmdroid und dem Vergleichsstandard

Zwischen der Bearbeitung mit dem Farmdroid und dem Vergleichsstandard der Bearbeitung gab es keinen signifikanten Unterschied bezüglich des Rübenertrages in dt/ha ($U = 6.00$, $Z = -.577$, $p = .564$), des Zuckerertrages in dt/ha ($U = 5.00$, $Z = -.866$, $p = .386$), sowie im Zuckergehalt der Rüben in % ($U = 4.00$, $Z = -1.169$, $p = .243$).

(c) *Verfahrensaufwand der Unkrautregulierung*:

Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Farmdroid FD20: Säen mit dem Farmdroid FD20, Durchschnittsgeschwindigkeit mit Wenden 0,6 km/h, Arbeitsbreite 3m, Zeitanatz ca. 5,5 h/ha. Der Farmdroid hackte zweimal blind, dreimal zwischen und in den Reihen und einmal nur zwischen den Reihen. Die durchschnittliche Arbeitszeit betrug hier ebenso ca. 5,5 h/ ha. Die Feldgrenzen mussten einmalig eingemessen werden. Der Aufwand zum Einstellen der Werkzeuge ist ähnlich zum Aufwand zur Einstellung der Werkzeuge einer traktorgebundenen Hacke. Für den Straßentransport muss der Roboter auf einen Tieflader verladen werden.
- Vergleichsstandard: Säen mit einer Einzelkorndrille, Durchschnittsgeschwindigkeit mit Wenden ca. 5 km/h, Arbeitsbreite 6 m, Arbeitszeitbedarf ca. 0,3 h/ha. Es wurde viermal mit der traktorgebundenen Hacke mit einer Arbeitsbreite von 6 m gehackt.

Hier wurde ebenso etwa 0,3 h pro ha benötigt. Außerdem wurde in den Reihen zweimal mit Handhacken gearbeitet. Hier wurden je Durchgang ca. 72 h pro ha benötigt. Insgesamt lag die Handarbeitszeit bei 144 h/ha.

5 Diskussion

Bei der Unkrautbonitur wurde fast die doppelte Anzahl an Unkräutern in den robotisch bearbeiteten Parzellen festgestellt. Für diesen Umstand gibt es mehrere mögliche Gründe:

Die Ablagekoordinaten des Saatguts werden mit dem Hackwerkzeug umfahren. Hierbei wird ein einstellbarer Sicherheitsabstand von meist 2-4 cm vor und nach der Position des Saatguts eingehalten, um eine Sicherheitszone zu schaffen (Vermeiden von Verschütten und Pflanzenbeschädigungen). Unkräuter, welche sich innerhalb dieser Sicherheitszone befinden, werden deshalb nicht erfasst. Handarbeitskräfte hingegen sind in der Lage, auch sehr nah an einer Rübenpflanze wachsende Unkräuter zu detektieren und gezielt aushacken.

Ebenso besitzt der Farmdroid FD20 mit 800 W eine geringe Antriebsleistung und eine Arbeitsgeschwindigkeit von unter 1 km/h. Das System wird rein über Solarzellen mit insgesamt 1,6 kW Peak-Leistung mit Energie versorgt und hat infolgedessen relativ filigrane Hackwerkzeuge. Größere Unkräuter oder Wurzelunkräuter können somit unter Umständen nicht mit ausreichender Kraft abgeschnitten oder entwurzelt werden.

Durch die langsame Arbeitsgeschwindigkeit hat der Roboter auch eine deutlich geringere Flächenleistung gegenüber traktorgebundenen Geräten. In Jahren mit geringen möglichen Feldarbeitstagen können vor allem ausdauernde Unkräuter dem System davonwachsen. Berücksichtigt werden muss auch der organisatorische Aufwand, der dadurch entsteht, dass der Roboter aufgrund seiner Breite von knapp 3,7 m nur mit einem Tieflader über öffentliche Straßen bewegt werden kann. Somit entsteht eine leicht erhöhte Rüstzeit im Vergleich zu einer traktorgebundenen Hacke.

Auf der anderen Seite entstand durch die zweimalige Bearbeitung mit der Handhacke mit insgesamt 144 h pro ha eine beachtliche Humanarbeitszeit in der Vergleichsvariante, die in der Robotikvariante eingespart wurde. Der finanzielle Vorteil dieser Einsparung ist hoch, wobei hier noch nicht einmal ein Totalausfall von Handhackkräften berücksichtigt wurde. Für den Einsatz der traktorgebundenen Hacke wurde ebenfalls – wenn auch im weit geringeren Umfang – Humanarbeitszeit benötigt, welche in der Robotikvariante eingespart wurde. Dazu kamen noch Kosten für Treibstoff und Verschleiß. Da der Roboter seine Energie selbst erzeugt und der Werkzeugverschleiß durch die geringe Arbeitsgeschwindigkeit minimal ist, sind hier auch die nutzungsabhängigen Kosten verschwindend gering.

Der Ertrag der rein durch den Feldroboter bearbeiteten Variante unterschied sich in den vorliegenden Untersuchungen nicht signifikant von der Landwirtvariante als

Vergleichsstandard. Dies ist erstaunlich, da die Bodenbedingungen bei der Rübenaussaat sehr trocken waren. Trotzdem gelang es in beiden Varianten, einen gleichmäßigen Rübenbestand ohne größere Fehlstellen zu etablieren. Allerdings muss beachtet werden, dass die Verunkrautung (obwohl als Spätverunkrautung hier nicht ertragsrelevant) der rein robotisch bearbeiteten Flächen verglichen mit dem Vergleichsstandard fast doppelt so hoch war. Die hohe Verunkrautung kann die Ernte und Verarbeitung der Rüben erschweren und zu Qualitätsabzügen führen, sollte die Spätverunkrautung nicht mit Sichelmähern oder Doppelmessermähbalken reguliert werden.

Ebenso begünstigt ein Aussamen von Unkräutern in der Robotikvariante eine Erhöhung des Samenpotenzials im Boden, was in engen Fruchtfolgen einen erhöhten Unkrautdruck und damit einhergehende Ertrags- und Qualitätsverluste in den Folgejahren begünstigen kann. Allerdings kann kontrovers diskutiert werden, für welche Anbaubetriebe dieses Szenario tatsächlich Bedeutung hat.

Für zukünftige Forschungsvorhaben könnte eine kombinierte Unkrautregulierung aus Farmdroid FD20 und weiteren Unkrautregulierungsverfahren wie Striegel oder Handhacke – jedoch mit reduzierten Arbeitsstunden pro ha – eine sinnvolle Strategie darstellen, um die Verunkrautung weiter zu reduzieren. Eine Handarbeitskraft, die auf die Bedienung des Roboters geschult ist und Managementaufgaben hinsichtlich des Roboters übernimmt, könnte außerdem noch weitere arbeitswirtschaftliche Vorteile bringen.

Literaturverzeichnis

- [Fe14] Fennimore, S.A. et.al.: Evaluation and economics of a rotating cultivator in Bok Choy, Celery, Lettuce, and Radicchio. *Weed Technology*, 28 (1), S. 176-188, 2014.
- [He18] Heuser, S. et.al: Automatisierte mechanische Unkrautregulierung. In: (Ruckelshausen, A et. al., Hrsg.), 38. GIL-Jahrestagung, Digitale Marktplätze und Plattformen. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., S. 99-102, 2018.
- [La16] Lati et.al: Intra-Row Weed Removal in Broccoli and Transplanted Lettuce with an Intelligent Cultivator. *Weed Technology* 30(3): S. 655-663, 2016.
- [MLP15] Melander, B.; Lattanzi, B.; Pannacci, E.: Intelligent versus non-intelligent mechanical intra-row weed control in transplanted onion and cabbage. *Crop Protection* 72, S. 1-8, 2015.