

Wirtschaftlichkeitsbewertung eines Feldroboters auf Basis erster Erfahrungen im Praxiseinsatz

Olivia Spykman ¹, Andreas Roßmadl², Johanna Pfrombeck ³, Stefan Kopfinger ⁴ und Axel Busboom ⁵

Abstract: Bisherige ökonomische Bewertungen von Feldrobotern basieren vorrangig auf Prototypen oder theoretischen Modellbetrachtungen. In diesem Beitrag wird ein Modell zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Feldrobotern dargestellt, das auf Basis von Feldversuchen mit dem Hackroboter Farmdroid FD20, dem aktuell in Bayern am weitesten verbreiteten Roboter, parametrisiert wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass der FD20 in bestimmten betrieblichen Szenarien zur Produktion von Ökozuckerrüben wirtschaftlich eingesetzt werden kann. In einer Sensitivitätsanalyse wurden unter anderem der Einfluss der Kosten für Saisonarbeit und notwendiger Nacharbeit mittels Handhacke betrachtet. Die Ergebnisse zeigen dabei, dass mit steigendem Mindestlohn auch der Gewinnbeitrag des FD20 steigt. Unter Annahme des aktuellen Mindestlohns erzeugt der FD20 in dem betrachteten Szenario auch dann einen positiven Gewinnbeitrag, wenn nur 42 % der Handhacke zum Reihenschluss durch Robotik ersetzt werden können. Die Analyse liefert wichtige Anhaltspunkte für weitere ökonomische Bewertungen von Feldrobotern unter besonderer Berücksichtigung arbeitswirtschaftlicher Aspekte.

Keywords: Hackroboter, Saisonarbeit, Zuckerrübe, mechanische Unkrautregulierung

1 Einleitung

Feldroboter versprechen die autonome Durchführung einzelner oder mehrerer Arbeitsschritte im Pflanzenbau. Vor allem handarbeitsintensive Tätigkeiten wie die mechanische Unkrautregulierung stehen dabei im Fokus. Die Anzahl der marktverfügbaren Systeme nahm in den letzten Jahren dynamisch zu, wobei die Roboter in Form, Funktion, Größe und Energiekonzept variieren. Es gibt sowohl Multifunktionsplattformen, die als Zugfahrzeug für landtechnische Maschinen dienen, als

¹ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Kleeberg 14, 94044

Ruhstorf a.d. Rott, olivia.spykman@lfl.bayern.de  <https://orcid.org/0000-0002-8650-9283>

² Hochschule München, Fakultät für Wirtschaftsingenieurwesen, Lothstr. 64, 80335 München, andreas.rossmadl@hm.edu

³ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Kleeberg 14, 94044

Ruhstorf a.d. Rott, johanna.pfrombeck@lfl.bayern.de  <https://orcid.org/0000-0002-6045-4878>

⁴ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Kleeberg 14, 94044

Ruhstorf a.d. Rott, stefan.kopfinger@lfl.bayern.de  <https://orcid.org/0000-0002-8455-3707>

⁵ Hochschule München, Fakultät für Wirtschaftsingenieurwesen, Lothstr. 64, 80335 München,

axel.busboom@hm.edu  <https://orcid.org/0000-0003-1032-5872>.

auch Spezialroboter, bei denen das Werkzeug und das Fahrzeug eine Einheit bilden und für einen speziellen Anwendungszweck eingesetzt werden. Eines dieser Spezialsysteme ist der Farmdroid FD20, welcher der momentan in Bayern verbreitetste Feldroboter ist.

Der Farmdroid FD20 übernimmt sowohl Aussaat als auch Unkrautregulierung von Feinsämereien, darunter überwiegend der Zuckerrübe. Aufgrund der erst kurzen Marktverfügbarkeit bestehen nur wenig Kenntnisse über dessen Wirtschaftlichkeit. Erste Modellstudien legen nahe, dass Feldrobotik die Wettbewerbsfähigkeit kleiner Betriebe stärken kann [Lo21a] und daher für diese eine zukunftsweisende Investition darstellen könnte. In diesem Kontext soll im folgenden Beitrag die Wirtschaftlichkeit des FD20 am Beispiel der bayerischen Agrarstruktur untersucht werden.

2 Literaturüberblick

In Befragungen von Landwirten zur Feldrobotik spielen die Aspekte Arbeitserleichterung und Gewinnsteigerung eine maßgebliche Rolle [RH21; RTH21; Sp21]. Von weiteren Akteuren im Landwirtschaftssektor (z. B. Maschinenherstellern) wird unter anderem die schwindende Verfügbarkeit von Arbeitskräften als Treiber für die Feldrobotik gesehen [Ri18], gleichwohl deren Beitrag für die Gesamtwirtschaftlichkeit der Technologie nicht eindeutig zugeordnet wird [RCH21]. Somit bleibt zu eruieren, ob Feldroboter die an sie gestellten Erwartungen hinsichtlich Wirtschaftlichkeit durch Arbeitszeitreduktion erfüllen können.

In einem Review zur Wirtschaftlichkeit von Feldrobotern fassen Lowenberg et al. [Lo20] zusammen, dass die analysierten Studien vor allem auf Simulationsmodellen und an Universitäten entwickelten Prototypen basieren und überwiegend den Einsatz autonomer Maschinen im Obst- und Gemüsebau betrachten. Unter den bisher analysierten ackerbaulichen Kulturen befinden sich Zuckerrübe, Getreide, Mais und Soja, wobei die jeweils zugrunde gelegten Annahmen nicht auf Feldversuchen basieren [Lo20]. Jedoch unterliegen die betrachteten Publikationen einigen Einschränkungen hinsichtlich ihrer Aussagekraft. So stellen Sørensen et al. [SMJ05] zwar arbeitsintensive Verfahren im ökologischen Anbau von Zuckerrüben in den Fokus, basieren ihr Ergebnis zur Arbeitszeitreduktion durch Robotik allerdings auf damalige Prototypen, welche nicht mit heute marktverfügbaren Modellen zu vergleichen sind. Pedersen et al. [Pe06] betrachten Robotik zur Unkrautregulierung und zur Bonitur in Getreide auf Basis einer Gegenüberstellung von eingesparten Lohn- sowie Betriebsmittelkosten und zusätzlichen Investitionskosten. Die Autoren kommen, je nach Annahmen in den Sensitivitätsanalysen, zu unterschiedlichen Ergebnissen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit von Robotik gegenüber herkömmlichen Verfahren. Gaus et al. [Ga18] untersuchen die Wirtschaftlichkeit von mechanischer Unkrautregulierung in Getreide mittels kleiner Schwarmrobotik im Rahmen einer Konzeptstudie mit der Schlussfolgerung, dass dieser Ansatz vor dem Hintergrund hoher Herbizidkosten eine Alternative darstellen könnte. Zuletzt wenden Shockley et al. [SDS19] zwar ein gesamtbetriebliches Modell mit Berücksichtigung der Lohnkosten an, berechnen damit jedoch die Gewinnschwelle für die Nachrüstung

herkömmlicher Maschinen mittels hypothetischer intelligenter, autonomer Kontrolleinheiten. Zusammenfassend über alle betrachteten Studien schlussfolgern Lowenberg-DeBoer et al. [Lo20], dass die bisherigen ökonomischen Analysen zu autonomen landwirtschaftlichen Maschinen vor allem durch mangelnde Daten aufgrund der bis dato geringen Erfahrung mit Feldrobotik limitiert sind.

Als erste gesamtbetriebliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von autonomen Maschinen legt eine Folgepublikation von Lowenberg-DeBoer et al. [Lo21a] nahe, dass autonome Bewirtschaftung sowohl für kleine als auch für große Betriebe wirtschaftliche Vorteile gegenüber konventioneller Technik haben kann [Lo21a]. Diese Erkenntnis basiert jedoch auf Erfahrungen mit nachgerüsteten Traktoren und nicht mit marktverfügbaren Robotern. Zudem ist in Bezug auf das verwendete Modell anzumerken, dass dieses die betrachtete Betriebsgröße zu 90 % als arrondierte bewirtschaftbare Fläche betrachtet [Lo21a]. Weiterhin wird in dem Modell die notwendige Arbeitszeit als pauschal 10 % der Maschinenzeit betrachtet [Lo21a], so dass trotz der gesamtbetrieblichen Analyse wesentliche Zusammenhänge zwischen Betriebsstruktur und wirtschaftlichem Einsatz von Robotik nur eingeschränkt erkenntlich werden.

Ein wesentlicher Diskussionspunkt bezüglich Feldrobotik ist die Einsparung von Arbeitskraft. Zwar können rechnerisch die Lohnkosten des Traktorfahrers eingespart werden [Ga17], gleichwohl zeigen weiterführende Untersuchungen, dass potenzielle Beaufsichtigungspflichten [Lo21b], die Häufigkeit der Fehlerbehebung durch den Menschen [Ma22b] oder auch die Effizienz des Verladevorgangs des Roboters [HB19] die Höhe dieser Einsparungen schmälern können. Da befragte Landwirte insbesondere Potenzial für kleine Robotik im Bereich der Unkrautregulierung sehen [vgl. Sp21], gilt es auch den Effekt auf die in diesem Bereich eingesetzten Saisonarbeitskräfte zu betrachten. Wie die COVID19-Pandemie verdeutlichte, ist die Saisonarbeit ein unabdingbarer Bestandteil der Landwirtschaft. Bereits vor der Pandemie sahen sich die von Saisonarbeitern abhängigen landwirtschaftlichen Betriebe mit einem schwindenden Angebot an Aushilfskräften konfrontiert, da diese aufgrund alternativer Einkommensquellen [BL22] seltener für die körperlich fordernden Tätigkeiten auf dem Feld zur Verfügung stehen. Somit bestehen im Bereich des Unkrautmanagements reelle Treiber für die Adoption von Robotik [vgl. MR20], welche die theoretischen Berechnungen untermauern.

3 Modell und Datenbasis

Für die Wirtschaftlichkeitsbewertung wurde ein Microsoft Excel-basiertes Modell erstellt, welches eine Farmdroid FD20-Variante einer ortsüblichen, nicht-autonomen Vergleichsvariante beim Anbau von Öko-Zuckerrüben gegenüberstellt (siehe Tabelle 1). Dieses Modell wurde auf Basis von Arbeitszeitdokumentation beim Einsatz des FD20 im Jahr 2021 sowie von Daten des KTBL-Feldrechners [Ku21] parametrisiert. Als Zielgröße wird der Gewinnbeitrag je Hektar und Jahr betrachtet. Dabei wird im Rahmen

dynamischer Investitionsrechnungen eine Nutzungsdauer von 10 Jahren sowie ein Kalkulationszinssatz von 3 % zugrunde gelegt.

FD20-Variante	Vergleichsvariante
1x Blindsäen ⁶	
1x Säen	1x Säen
1x Blindhacken ⁷	
3x Hacken zwischen den Reihen	1x Handhacke (1. Hacke)
3x Hacken in den Reihen	3x Maschinenhacke
0,3x Handhacke (Reihenschluss)	1x Handhacke (Reihenschluss)

Tab. 1: Berücksichtigte Arbeitsdurchgänge in den zwei betrachteten Varianten

Die Annahme eines anteiligen Durchgangs Handhacke zum Reihenschluss in der FD20-Variante basiert auf Erfahrungen aus Feldversuchen, nach denen der FD20 einen Sicherheitsabstand um die Rüben nicht bearbeitet. Zudem muss aufgrund der bauartbedingten niedrigen Durchgangshöhe des FD20 im Vergleich zu einer traktorgebundenen Hacke mit verstärkter Blattverletzung der Rüben bei Durchfahrten zu beginnendem Reihenschluss gerechnet werden. Somit können Hackdurchgänge mit dem FD20 nicht so spät wie in der Vergleichsvariante durchgeführt werden. Daraus resultierten in Feldversuchen in den Jahren 2020 und 2021 zwar vergleichbare Zuckererträge, jedoch auch eine höhere Spätverunkrautung in der FD20-Variante [u. a. KV21]. Auf Basis dieser ersten Erkenntnisse wird angenommen, dass der FD20 die menschliche Arbeitskraft nicht vollständig ersetzen kann. Diesen Beobachtungen wird in der Kalkulation des Ausgangsszenarios Rechnung getragen durch die Annahme, dass der Roboter unter den örtlichen Gegebenheiten 70 % der notwendigen Handhacke ersetzen kann und somit jedes Jahr das Äquivalent von 30 % eines Handhackdurchgangs zum Reihenschluss notwendig wird.

Ausgehend von den regionalen Gegebenheiten, in denen die Feldversuche durchgeführt wurden, sowie der Preissituation im Herbst 2022 wurde das Ausgangsszenario definiert. Die Versuchsflächen am Standort Ruhstorf a. d. Rott bestehen aus Lösslehm (Schluff,

⁶ Während des Blindsäens fährt der FD20 in Säkonfiguration seine Fahrspur entlang, ohne tatsächlich Saatgut abzulegen. Dies dient der Saatbettbereitung, der Verfestigung des Bodens und dem Räumen der Saatgutablagestellen von Steinen und Kluten.

⁷ Das Blindhacken ist ein Hackgang, der vor dem Auflaufen der Zuckerrüben durchgeführt wird. Dies dient der frühzeitigen Unkrautregulierung und ist möglich, da der Roboter mit RTK GNSS navigiert und so keine visuellen Anhaltspunkte benötigt.

tonig, feinsandig) und sind frei von Steinen, die für den Roboter problematisch werden könnten. Klimatisch befinden sich die Flächen in Klimazone 6 mit im Mittel 59 verfügbaren Feldarbeitstagen von Anfang März bis Anfang Juli [Ac20]. Die verfügbaren Feldarbeitstage wurden in Sä- und Hackzeiträume unterteilt und mit den in Feldversuchen erhobenen Daten zur Arbeitsgeschwindigkeit des FD20 bei den jeweiligen Tätigkeiten verrechnet. Für das Ausgangsszenario am Versuchsstandort ergibt sich somit eine maximal mögliche jährliche Auslastung von 18 ha, welche aufgrund der durchschnittlichen Schlaggröße in Bayern von 1,74 ha [BL14] auf zehn Schläge verteilt wird. Als Kaufpreis wurden 90.000 € netto veranschlagt [Mi22], die Lohnkosten wurden mit 21 €/Akh für Facharbeitskräfte [Ac20] und 16 €/Akh für Saisonarbeitskräfte (12 €/h Mindestlohn [DB22] zzgl. 31,2 % Sozialabgaben [Ac20], gerundet) angesetzt. Als Agrardieselpreis wurde 1,40 €/l angenommen [Of22]. Der Wiederverkaufswert von 20 % bei einem Nutzungspotential von zehn Jahren orientiert sich an den Angaben des KTBL für landwirtschaftliche Maschinen [Ac20]. Das Ausgangsszenario wurde sowohl mit als auch ohne die aktuell in Bayern verfügbare staatliche Förderung (Bayerisches Sonderprogramm Landwirtschaft Digital) von 40 % des Nettokaufpreises untersucht.

3.1 Sensitivitätsanalyse

Die in Tabelle 1 beschriebenen Arbeitsschritte beeinflussen die Modellergebnisse über die Positionen „Lohnkosten“ und „Maschinenkosten“. Jedoch besteht in beiden Fällen aufgrund der bisher nur begrenzt verfügbaren Daten keine Sicherheit. Aus diesem Grund wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, wobei die Variablen notwendige Handhacke bzw. Spätverunkrautungsgrad, Mindestlohn, bewirtschaftete Fläche, Restwert des FD20 nach zehn Jahren, Dieselpreis sowie staatliche Investitionsförderung betrachtet wurden. Im Folgenden liegt der Fokus auf den Einflussgrößen Spätverunkrautungsgrad, Mindestlohn und bewirtschaftete Fläche.

Der Variation der Handhacke in der FD20-Variante liegt die Annahme zugrunde, dass dem Betrieb Saisonarbeitskräfte zur Verfügung stehen, welche je nach Bedarf auf dem Zuckerrübenfeld oder für andere Tätigkeiten eingesetzt werden können. Somit entstehen keine über die eigentlichen Lohnkosten hinausgehenden Transaktionskosten für eine kurzfristige Suche nach Arbeitskräften bei sich abzeichnender Notwendigkeit der Handhacke in der FD20-Variante. Ebenso müssen diese Transaktionskosten nicht berücksichtigt werden, sollte die Handhacke nicht notwendig werden. Um der jährlichen und regionalen Variabilität des Handhackumfangs nach dem FD20-Einsatz Rechnung zu tragen, wurde im Modell der Einfluss der notwendigen Handhacke in der FD20-Variante in 10%-Schritten zwischen keiner Handhacke (0 %) und einem vollständigen Durchgang Handhacke (100 %) betrachtet.

Die Saisonarbeitskräfte werden mit dem deutschen Mindestlohn entlohnt, welcher im Zeitraum von Januar 2021 bis Oktober 2022 von 9,50 €/h auf 12 €/h angehoben wurde [DB22]. Nach der Addierung der Sozialabgaben [Ac20] werden aktuell Lohnkosten von rund 16 €/Akh als Ausgangswert erreicht. In der Sensitivitätsanalyse wurde dieser Wert

in 0,50 €/Akh-Schritten bis zu einem Höchstwert von 20 €/Akh gesteigert. Sinkende Lohnkosten wurde aufgrund mangelnder Plausibilität nicht betrachtet.

Die maximal pro Saison durch den FD20 bewirtschaftbare Fläche variiert mit der Klimazone. Nach Abgleich der Zuckerrübenanbaugebiete in Deutschland [WV22] mit den Klimagebieten [Ac20] wurden analog zum Ausgangsszenario die maximal zu bewirtschaftenden Flächen je Klimazone errechnet. Dies ergab eine Spanne von 8 ha bis rund 21 ha und ist somit vergleichbar mit der Herstellerangabe von maximal 20 ha pro Saison [Fa22]. Der Effekt des Gesamtflächeneinsatzes von 8 bis 20 ha auf die Wirtschaftlichkeit wurde für zwei Schlaggrößen, 2 ha und 4 ha, in den entsprechenden Divisionsschritten betrachtet.

Ein weiterer flächenbezogener Einflussfaktor ist die Schlagstruktur. Da der FD20 nicht autonom auf öffentlichen Straßen fahren darf, ist dessen Einsatz auf mehreren Feldern mit Arbeitsaufwand beim Umsetzen verbunden. Um diesen Effekt auf die Wirtschaftlichkeit zu untersuchen, wurden daher ausgehend von der Gesamteinsatzfläche von 18 ha des Ausgangsszenarios die Anzahl Schläge zwischen einem und 15 mit entsprechenden Veränderungen in der Durchschnittsfeldgröße variiert. Die Variation dieser Einflussgröße wird sowohl über die Diesel- als auch die Lohnkosten, die aufgrund der zusätzlichen Rüstarbeiten sowie Fahrten zwischen den Feldern anfallen, im Modell berücksichtigt.

4 Ergebnisse

Das Ausgangsszenario (Einsatzfläche 18 ha, 10 Schläge) resultiert in einem Gewinnbeitrag von 304 €/ha*a bei 0 % Förderung und in einem Gewinnbeitrag von 794 €/ha*a bei einer 40 %-Förderung des Feldroboters FD20. Bei einem Gesamtflächeneinsatz von 18 ha pro Saison zeigt sich, dass der Gewinnbeitrag für die betrachtete Schlagverteilung (1 Schlag à 18 ha; 15 Schläge à 1,2 ha) positiv ist – sowohl bei 0 % als auch bei 40 % Förderung. Bei einer Investitionsförderung von 40 % ist der Gewinnbeitrag auch bei dem niedrigsten betrachteten Gesamtflächeneinsatz von 8 ha pro Saison noch positiv (betrachtete durchschnittliche Schlaggrößen: 2 ha und 4 ha). Ohne Investitionsförderung wird der Gewinnbeitrag jedoch erst ab einem höheren Gesamtflächeneinsatz positiv. Der hierfür notwendige Gesamtflächeneinsatz unterscheidet sich nach durchschnittlicher Schlaggröße: so wird der Break-Even unter Annahme einer durchschnittlichen Schlaggröße von 4 ha bei ca. 11,5 ha und unter Annahme einer durchschnittlichen Schlaggröße von 2 ha bei ca. 13,7 ha erreicht.

Die Relevanz des Ersatzes von Handarbeit durch den FD20 wird durch den Effekt des Mindestlohns auf den Gewinnbeitrag unterstrichen. Der Gewinnbeitrag ist im Ausgangsszenario sowohl mit als auch ohne Förderung bei den niedrigsten betrachteten Lohnkosten von 16,00 €/Akh positiv. Die in Zukunft zu erwartende weitere Steigerung des Mindestlohns und somit der Lohnkosten für Saisonarbeitskräfte würden den Gewinnbeitrag entsprechend erhöhen (Abbildung 1).

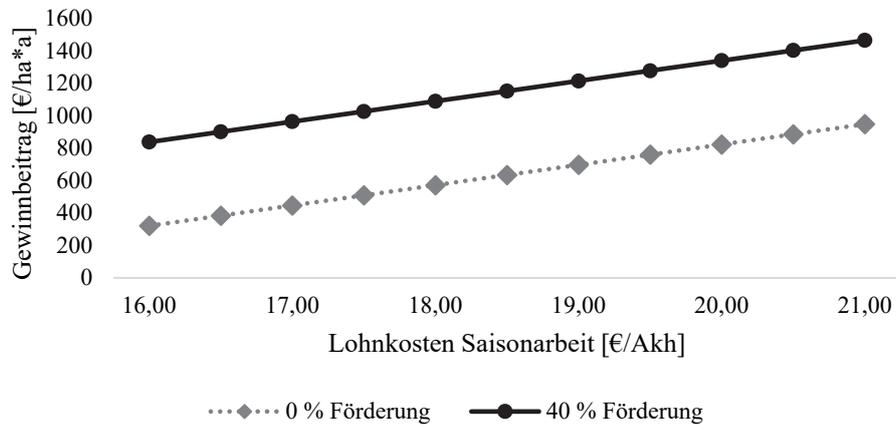


Abb. 1: Effekt der Lohnkosten auf den Gewinnbeitrag des FD20 (Gesamtflächeneinsatz: 18 ha)

Der starke Einfluss der Saisonarbeit auf die Wirtschaftlichkeit des FD20 wird durch die Untersuchung der potenziell notwendigen Nacharbeit per Handhacke verdeutlicht. Hierbei wurde im Ausgangsszenario unterstellt, dass der FD20 im Durchschnitt etwa 70 % der Handhacke zum Reihenschluss ersetzt und somit etwa 30 % eines regulären Durchgangs notwendig sind (vgl. Tabelle 1). Abbildung 2 illustriert, welche Auswirkungen im Gewinnbeitrag Veränderungen dieser Annahme mit sich bringen. Der Gewinnbeitrag nimmt mit zunehmender Notwendigkeit der Nacharbeit in Form von Handhacke bei Reihenschluss in der FD20-Variante ab. Ohne Förderung liefert die Investition in den FD20 bis zu einer Nacharbeit von 58 % eines regulären Arbeitsgangs zum Reihenschluss einen positiven Gewinnbeitrag. Mit Förderung (40 %) bleibt der Gewinnbeitrag hingegen positiv, selbst wenn stets ein voller Handhackedurchgang zum Reihenschluss benötigt wird.

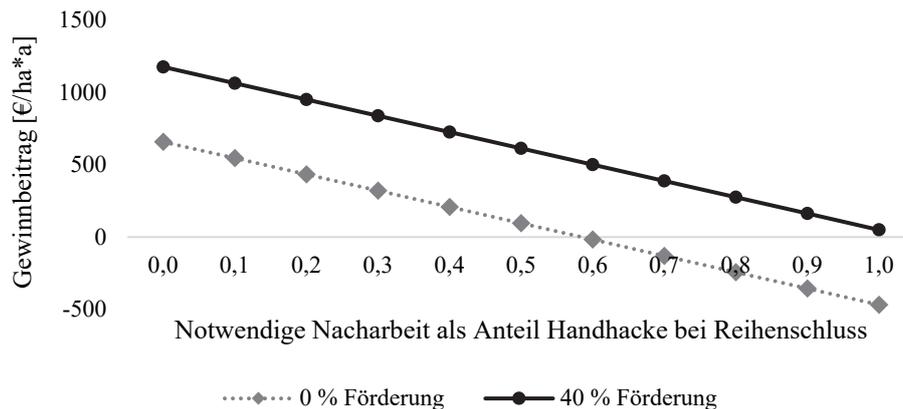


Abb. 2: Effekt der notwendigen Nacharbeit mittels Handhacke bei Reihenschluss als Anteil eines vollwertigen Arbeitsdurchgangs auf den Gewinnbeitrag des FD20 (Gesamtflächeneinsatz: 18 ha)

5 Diskussion

Die vorliegende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Feldroboters FD20 verdeutlicht, dass dieser auch unter Berücksichtigung kleiner Schlagstrukturen innerhalb der vom Hersteller angegebenen maximalen Schlagkraft von 20 ha pro Saison [Fa22] in der Nische der Ökozuckerrübenproduktion rentabel eingesetzt werden kann. Gleichwohl sollte dabei berücksichtigt werden, dass durch die Anzahl der nutzbaren Feldarbeitstage [Ac20] teilweise geringere Obergrenzen in den verschiedenen Klimazonen [Ac20] gelten, so dass sich die Wirtschaftlichkeit regional unterscheiden kann. Dieser standortbezogene Nachteil sowie auch durch kleine Agrarstrukturen bedingte wirtschaftliche Nachteile können jedoch durch eine Investitionsförderung adressiert werden, welche somit den *digital divide* zwischen kleineren und größeren Betrieben [vgl. Ma22a] abschwächen kann.

In Bezug auf die Saisonarbeit gilt es, auch die Perspektive der temporär Beschäftigten zu betrachten. Die Handarbeit auf dem Feld, ob Handhacke im Zuckerrübenanbau oder andere Tätigkeiten, stellt eine körperlich belastende Arbeit dar. Es ist daher nicht überraschend, dass die Zahl der Saisonarbeitskräfte, die in der deutschen Landwirtschaft arbeiten, stetig sinkt, da den Personen mittlerweile alternative Einkommensquellen zur Verfügung stehen [BL22]. Somit können Feldroboter zukünftig eine zunehmend größer werdende Lücke während landwirtschaftlicher Arbeitsspitzen füllen, welche zuvor mithilfe von Saisonarbeitskräften bewältigt wurden. Dieser Aspekt der Bewertung von Feldrobotern bedarf weiterer Untersuchung.

Ein zweiter Aspekt im Kontext der Automatisierung von Arbeit in der Landwirtschaft ist die Verfügbarkeit von entsprechend ausgebildeten Fachkräften. Immer komplexere Maschinen führen zu immer komplexeren Arbeitsabläufen für den Betreuer der Maschine, in kleinstrukturierten Regionen häufig der Betriebsleiter selbst. In Bezug auf digitale Technologien im Allgemeinen werden jedoch in Deutschland mangelnde IT-Kenntnisse als Hindernis für die Adoption genannt [GG21], was allerdings nicht zwangsläufig auf Robotik übertragbar ist [RH21]. Gleichwohl deuten auch internationale Ergebnisse auf die Notwendigkeit der Berücksichtigung von digitalen und autonomen Technologien in der Ausbildung landwirtschaftlicher Fachkräfte hin [Ro19], welche vor allem auf größeren Betrieben angestellt sind. Marinoudi et al. [Ma19] sprechen in diesem Zusammenhang von einer Job Polarisation, wonach gerade Arbeitsplätze der mittleren Qualifikationsebene aufgrund wachsender technischer Anforderungen schwinden. Insgesamt könnte ein Großteil der standardisierten landwirtschaftlichen Arbeit durch Robotik ersetzt werden [Ma21]. Der Ersatz von händischer Unkrautregulierung durch einen Roboter wie den FD20 würde somit nicht zwangsläufig ohne eine entsprechende Steigerung des Facharbeiterlohns möglich sein. Zukünftige Robotisierung weiterer Arbeitsabläufe sollte unter Berücksichtigung der sozialen Auswirkungen sowie von Angeboten für angepasste Weiterbildungsmaßnahmen stattfinden [vgl. Ma21].

Die dargestellten Modellergebnisse sind mit verschiedenen Limitationen versehen, die in zukünftigen Analysen zu adressieren sind. So wird modellbedingt beim Umsetzen des Roboters zwischen zwei Schlägen aktuell angenommen, dass die Fahrt zuerst zurück zur

Hofstelle und erst von dort zum nächsten Schlag führt, was das ökonomische Potential der FD20-Variante schmälern könnte. Dahingegen wurde das einmalig notwendige Einmessen eines Feldes mit dem FD20 nicht in der Berechnung berücksichtigt und somit der entsprechende Arbeitsaufwand außer Acht gelassen. In der Summe ist jedoch davon auszugehen, dass der aktuelle Modellansatz die Wirtschaftlichkeit des FD20 eher konservativ bewertet.

Schließlich ist anzumerken, dass es sich bei der vorliegenden Betrachtung um ein spezielles Szenario, sowohl in Bezug auf die Technologie als auch auf den Einsatzbereich, handelt. Der Farmdroid FD20 fordert spezielle Einsatzbedingungen hinsichtlich der Topografie, eine flächendeckende Mobilfunkabdeckung und eine möglichst feine Bodenbeschaffenheit ohne größere Steine. Nur so kann der Roboter als Präzisionswerkzeug die intendierten Arbeiten verrichten. Des Weiteren stellen sich Fragen der Übertragbarkeit auf andere Feldfrüchte, andere Arbeitsgänge und andere Roboterfabrikate. Die vorliegende Analyse kann nur einen ersten Hinweis auf mögliche Zusammenhänge liefern, welche es zur Verbesserung der Erkenntnisse auch unter anderen Annahmen zu testen gilt.

6 Schlussfolgerungen

Das vorgestellte Modell zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit des Feldroboters Farmdroid FD20 zeigt dessen ökonomisches Potential in Abhängigkeit von u. a. der Anzahl benötigter Resthandhackstunden und den Lohnkosten für Saisonarbeitskräfte, welche der FD20 ersetzt. Obwohl die Studie nur einen ersten Ansatz einer Wirtschaftlichkeitsbewertung darstellt und somit vor allem als Anhaltspunkt für weitere Untersuchungen verwendet werden sollte, verdeutlicht sie das Potenzial der Robotik für arbeits- und somit kostenintensive Verfahren. Insbesondere in Situationen mit aus Bewirtschaftungssicht ungünstiger Flächenstruktur oder begrenzter betrieblicher Flächenausstattung kann eine Investitionsförderung wichtige Impulse zur Verbreitung der Feldrobotik leisten.

Literaturverzeichnis

- [Ac20] Achilles, W. et al.: Betriebsplanung Landwirtschaft 2020/21. KTBL e.V., Darmstadt, 2020.
- [BL14] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL): Agrarstrukturentwicklung in Bayern – IBA-Agrarstrukturbericht 2014, https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/agrarstrukturentwicklung-bayern_lfl-information.pdf, Stand: 04.10.2022.
- [BL22] Bundesinformationszentrum Landwirtschaft: Warum benötigt die Landwirtschaft so viele ausländische Saisonarbeitskräfte?, <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/haetten-sies->

gewusst/pflanzenbau/warum-benoetigt-die-landwirtschaft-so-viele-
auslaendische-saisonarbeitskraefte, Stand: 27.10.2022

- [DB22] Die Bundesregierung, Anpassung des gesetzlichen Mindestlohns, <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/mindestlohn-gestiegen-1804568>, Stand: 28.09.2022.
- [Fa22] Farmdroid ApS, FAQ, <https://farmdroid.dk/de/faq-deutsch/>, Stand: 28.09.2022.
- [Ga17] Gaus, C.-C. et al.: Mit autonomen Landmaschinen zu neuen Pflanzenbausystemen. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, 2017.
- [Ga18] Gaus, C.-C. et al.: Economics of Mechanical Weeding by a Swarm of Small Field Robots. In (Sauer, J. et al. Hrsg.): Vorträge der 57. Jahrestagung der GEWISOLA, München 2017. Landwirtschaftsverlag, Münster, S. 321-322, 2018.
- [GG21] Gabriel, A.; Gandorfer, M.; Spykman, O.: Nutzung und Hemmnisse digitaler Technologien in der Landwirtschaft – Sichtweisen aus der Praxis und in den Fachmedien. Berichte über Landwirtschaft, 99(1), 2021.
- [HB19] Handler, F.; Blumauer, E.: Nebenzeiten und ablaufbedingte Wartezeiten beim Einsatz von Feldrobotern. In (Agroscope): 22. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium, Agroscope Science Nr. 94/2020, S. 19-27, 2019.
- [Ku21] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft: KTBL-Feldarbeitsrechner, <https://daten.ktbl.de/feldarbeit/home.html>, Stand: 02.12.2021
- [KV21] Kopfinger, S.; Vinzent, B.: Erprobung und Bewertung eines autonomen Feldroboters. In (Meyer-Aurich, A. et al.): Referate der 41. GIL-Jahrestagung, Gesellschaft für Informatik, Bonn, S. 175-180, 2021.
- [Lo20] Lowenberg-DeBoer, J. et al.: Economics of robots and automation in field crop production. Precision Agriculture, 21, 278-299, 2020.
- [Lo21a] Lowenberg-DeBoer, J. et al.: Economics of autonomous equipment for arable farms. Precision Agriculture, 22, S. 1996-2006, 2021.
- [Lo21b] Lowenberg-DeBoer, J. et al. Lessons to be learned in adoption of autonomous equipment for field crops. Applied Economic Perspectives and Policy, 44, 2, S. 848-864.
- [Ma19] Marinoudi V. et al.: Robotics and labour in agriculture. A context consideration. Biosystems Engineering, 184, S. 111-121, 2019.
- [Ma21] Marinoudi V. et al.: The Future of Agricultural Jobs in View of Robotization. Sustainability, 13, 12109, 2021.

- [Ma22a] Martin, T. et al.: Robots and transformations of work in farm: a systematic review of the literature and a research agenda. *Agronomy for Sustainable Development*, 42, 66, 2022.
- [Ma22b] Maritan, E. et al.: Economically optimal farmer supervision of crop robots. *Smart Agricultural Technology*, 3, 100110, 2022.
- [Mi22] Miller, C.: persönliche Mitteilung, Farmdroid-Händler Süddeutschland, 12.09.2022
- [MR20] Mitaritonna, C.; Ragot, L.: After Covid-19, will seasonal migrant agricultural workers in Europe be replaced by robots?. CEPII Policy Brief No. 33 – June 2020. Centre d'études prospectives et d'informations internationales, Paris, 2020.
- [Of22] Offermann, F. et al.: Umsetzung der EU Krisenmaßnahme nach Art. 219 GMO – Auswirkung des Preisanstiegs in Folge des Ukrainekriegs auf die verschiedenen Agrarsektoren – Stellungnahme für das BMEL. Thünen-Institut, Braunschweig, 2022.
- [Pe06] Pedersen, S.M. et al.: Agricultural robots – system analysis and economic feasibility. *Precision Agriculture*, 7, S. 295-308, 2006.
- [RCH21] Rübcke von Veltheim, R.; Clausen, F.; Heise, H.: Autonomous Field Robots in Agriculture: A Qualitative Analysis of User Acceptance According to Different Agricultural Machinery Companies. In (Gotter, C. et al. Hrsg.): Vorträge der 60. Jahrestagung der GEWISOLA, Halle (Saale) 2020. Landwirtschaftsverlag, Münster, S. 49-61, 2021.
- [RH21] Rübcke von Veltheim, F.; Heise, H.: German Farmers' Attitudes on Adopting Autonomous Field Robots: an Empirical Survey. *Agriculture*, 11, 216, 2021.
- [Ri18] Rial-Lovera, K.: Agricultural Robots: drivers, barriers and opportunities for adoption. In (ISPA Hrsg.): Proceedings of the 14th International Conference on Precision Agriculture, 24.-27. Juni 2018, Montreal, Quebec, Canada. 2018.
- [Ro19] Rotz, S. et al.: Automated pastures and the digital divide: How agricultural technologies are shaping labour and rural communities. *Journal of Rural Studies*, 68, S. 112-122, 2019.
- [RTH21] Rübcke von Veltheim, F.; Theuvsen, L.; Heise, H.: German farmers' intention to use autonomous field robots: a PLS-analysis. *Precision Agriculture*, 2021.
- [SDS19] Shockley, J.M.; Dillon, C.R.; Shearer, S.A.: An economic feasibility assessment of autonomous field machinery in grain crop production. *Precision Agriculture*, 20, S. 1068-1085, 2019.

- [SMJ05] Sørensen, C.G.; Madsen, N.A.; Jacobsen, B.H.: Organic Farming Scenarios: Operational Analysis and Costs of implementing Innovative Technologies. *Biosystems Engineering*, 91(2), S. 127-137, 2005.
- [Sp21] Spykman, O. et al.: Farmers' perspectives on field crop robots – Evidence from Bavaria, Germany. *Computers and Electronics in Agriculture*, 186, 106176, 2021.
- [WV22] Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e. V.; Verein der Zuckerindustrie e. V.: Jahresbericht 2021/2022, https://www.zuckerverbaende.de/wp-content/uploads/2022/06/WVZ_VdZ_Jahresbericht_2021-2022.pdf, Stand: 05.10.2022