

Arbeitswirtschaftliche Aspekte am Beispiel eines teilautonomen Feldroboters beim Säen und Hacken von Biozuckerrüben

Moritz Jungwirth¹ und Franz Handler¹

Abstract: Die teilautonome Arbeitsweise von Feldrobotern für das Säen und Hacken von Biozuckerrüben bedingt einen deutlich geringeren Zeitbedarf der Bedienperson im Verhältnis zu jenem des Roboters. Allerdings muss für die Beseitigung möglicher Störungen immer eine Person zur Verfügung stehen. Moderne traktorgezogene Anbaugeräte zur Aussaat und mechanischen Beikrautregulierung in Biozuckerrüben sind so effizient, dass das Einsparungspotenzial durch Entfall der Bedienperson nicht die hohen Kosten des Roboters ausgleichen kann. Erst die Einsparung von Handarbeitskräften durch die Fähigkeit des Roboters, in der Reihe zu hacken, kann zu geringeren Arbeiterledigungskosten durch den Robotereinsatz führen.

Keywords: Roboter, Saat, Beikrautregulierung, Biozuckerrübe, Arbeitszeitbedarf, Kosten

1 Einleitung

Im biologischen Landbau stellt die mechanische Beikrautregulierung eine große Herausforderung dar. Speziell in Reihenkulturen wie der Biozuckerrübe hinterlassen traktorangebaute Hackgeräte systembedingt ein sogenanntes unbearbeitetes Band. Beikräuter in diesem Bereich müssen durch Handhacke entfernt werden, was hohe Personalkosten nach sich zieht. Deshalb haben verschiedene Hersteller Roboter auf den Markt gebracht, die durch die Fähigkeit zum Hacken in der Reihe zur Lösung dieses Problems beitragen. Weiters stellten verschiedene Autoren in Literaturrecherchen [Ma19; Lo20] fest, dass für eine ökonomische Bewertung von Feldrobotern Daten bezüglich ihres Arbeitszeitbedarfes und der Veränderung von Arbeitsabläufen fehlen. Im Folgenden werden deshalb der Arbeitszeitbedarf der Bedienperson und des Roboters untersucht und die Arbeiterledigungskosten des Roboters mit jenen einer herkömmlichen Traktormechanisierung für das Säen und Hacken von Biozuckerrüben verglichen.

2 Material und Methode

Die Untersuchungen wurden mit einem Farmdroid FD20 durchgeführt, der in Dänemark für das Säen und Hacken von Zuckerrüben entwickelt wurde. Der dreirädrige Roboter ist elektrisch angetrieben. Vier Photovoltaikmodule bilden das „Dach“ des Roboters und

¹ HBLFA Francisco Josephinum, Verfahrenstechnik, Rottenhauser Straße 1, 3250 Wieselburg,
moritz.jungwirth@josephinum.at, franz.handler@josephinum.at

versorgen ihn mit Energie. Ein Energieüberschuss, wie er an sonnigen Tagen entstehen kann, wird in zwei Lithium-Ionen-Akkus für den Betrieb nach Sonnenuntergang zwischengespeichert. Beim sechsstufigen Gerät nehmen insgesamt zwölf Werkzeugträger die Hackdrähte zur mechanischen Beikrautregulierung zwischen den Reihen auf. An jedem zweiten Werkzeugträger sind für die Aussaat die Säeinheiten und für das Hacken in der Reihe je ein von einem Servomotor bewegtes Hackschar montiert. Die Säeinheiten vereinzeln das Saatgut mittels Lochscheiben und sind für eine möglichst präzise Ablage mit einem Säventil knapp über dem Boden ausgestattet. Die Steuerung der Säventile und Hackschare erfolgt auf Basis der Position des Roboters, welche durch zwei GNSS-Empfänger und das Korrektursignal der mitgelieferten RTK-Basisstation bestimmt wird. Eine umlaufende Sicherheitsleine schützt bei Kollisionen vor Schäden. Für den Transport von Feld zu Feld wird ein Anbaurahmen für den Traktor mitgeliefert.

Ausgehend von einer Ablaufanalyse aus der Sicht des Roboters und der Bedienperson wurden die zu erhebenden Arbeitsteilvorgänge der Bedienperson und des Roboters beim Säen und Hacken ermittelt. Dabei wurde die von [WF14] vorgestellte Gliederung angewandt. Die Zeitmessungen wurden im Rahmen von Arbeitsbeobachtungen beim Einsatz in Biozuckerrüben durchgeführt. Unregelmäßig auftretende Störzeiten wurden auf Basis der Fehlermeldungen über das Webportal und durch Aufzeichnungen der Bedienperson erhoben. Aufbauend auf den durch die statistische Auswertung der erhobenen Daten ermittelten Arbeitszeitbedarfe für die Teilvorgänge wurden Simulationen durchgeführt, um Effekte von Einflussgrößen wie Schlaggröße und Schlagform zu untersuchen.

Der Vergleich der Kosten für das Säen und Hacken zwischen dem Roboter und der üblichen Traktormechanisierung erfolgte auf Basis der Arbeitserledigungskosten [KT20].

3 Ergebnisse und Diskussion

Nach dem Transport des Roboters zum Schlag muss im ersten Schritt der virtuelle Schlag angelegt werden. Dazu werden mit dem am Traktor angebauten Roboter der Reihe nach die Eckpunkte des Schlages angefahren und nach dem Positionieren der vorderen GNSS-Antenne über dem Eckpunkt dessen Koordinaten aufgenommen. Gebogene Schlaggrenzen müssen in gerade Teilstücke zerlegt werden. Der Zeitbedarf für die Feldaufnahme setzt sich aus der Punktaufnahmezeit und der Fahrzeit zwischen den Punkten zusammen. Die Fahrzeit ist umfangabhängig. Der Feldumfang ergibt sich aus der Form und Größe des Schlages. Ein rechteckiger Schlag mit einem Seitenverhältnis von 1 zu 4 hat bei 1 ha 500 m Umfang und bei 10 ha 1.581 m. Bei einem rechtwinkligen Dreieck mit gleichem Kathetenverhältnis reicht der Umfang von 645 m bei 1 ha bis 2.040 m bei 10 ha. Bezogen auf die Schlaggröße ergeben sich so bei rechteckigen Schlägen 33,50 AKmin/ha bei 1 ha und 3,67 AKmin/ha bei 10 ha Schlaggröße. Bei Dreiecksflächen ergeben sich Zeitbedarfe von 25,94 AKmin/ha beim 1-ha-Schlag und 3,01 AKmin/ha beim

10-ha-Schlag. Bei gebogenen Schlaggrenzen erhöht sich die Anzahl der Punkte und somit auch der Zeitbedarf (siehe Abb. 1).

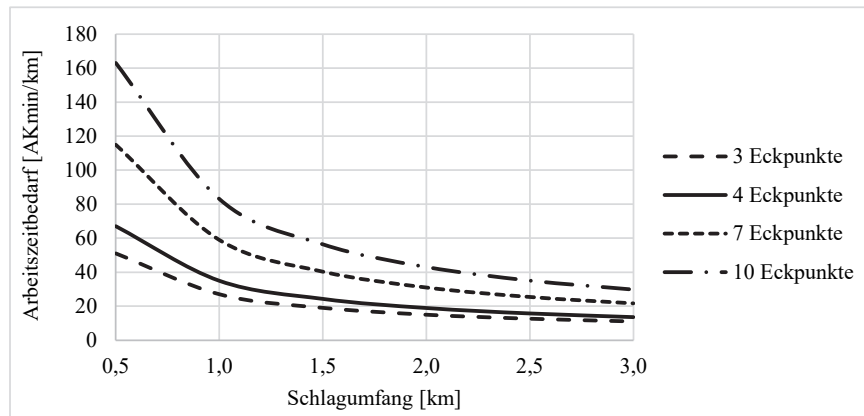


Abb. 1: Arbeitszeitbedarf für die Erstellung des virtuellen Schlages

Nach dem Anlegen der Eckpunkte und Hindernisse sowie dem Festlegen der Referenzlinie müssen weitere Einstellungen am System vorgenommen werden. Für das Wenden ist mindestens eine Vorgewendespur erforderlich. Nach diesen Einstellungen wird im System das Muster für die Aussaat erstellt, auf dessen Basis das Saatgut abgelegt wird.

Wie bei herkömmlicher Sätechnik muss nach Beginn der Aussaat die Ablage kontrolliert und gegebenenfalls angepasst werden. Dazu können diverse mechanische und elektronische Einstellparameter verändert werden. Im Mittel ist dafür rund eine Arbeitskraftstunde (AKh) pro Schlag erforderlich. Bei der Aussaat wurde eine Geschwindigkeit von 720 m/h erreicht, für das Anfahren des Endpunktes nach Fertigstellung der Aussaat sind maximal 950 m/h möglich.

Die Ergebnisse in Abbildung 2 beziehen sich auf rechteckige Schläge mit einem Seitenverhältnis von 1 zu 4. Die Flächenleistung des Roboters ist auf die Gesamtarbeitszeit bezogen. Sie umfasst die Arbeitsteilvorgänge von der Abfahrt am Hof bis zur Rückkehr am Hof nach Beendigung der Arbeit. Die Arbeitsverrichtungszeit ist die reine Saat- bzw. Hackzeit. Die Fahrgeschwindigkeit ist beim Säen und Hacken gleich. Der Anteil der Arbeitsverrichtungszeit an der Gesamtzeit und damit die Flächenleistung des Roboters ist auf Grund des Nachfüllens des Saatgutes und höherer Störzeiten beim Säen geringer als beim Hacken.

Nach Beendigung der Aussaat muss der Roboter für den Hackeinsatz umgerüstet werden. Dafür sind 0,75 bis 0,95 AKh erforderlich. Der Arbeitszeitbedarf für das Umrüsten von Hacken auf Säen liegt im gleichen Bereich.

Die auf RTK-GNSS basierende Arbeitsweise des Farmdroid FD20 erfordert bei jedem Hackeinsatz eine Kontrolle der im System hinterlegten Pflanzenpositionen. Aufgrund der

begrenzten absoluten Genauigkeit kann es sein, dass die tatsächlichen Pflanzenpositionen wenige Zentimeter Versatz zur virtuellen Position aufweisen. Dieser Versatz muss vor Arbeitsbeginn im System des Roboters korrigiert werden. Um die unbearbeitete Fläche um die Kulturpflanzen und gleichzeitig die Kulturpflanzenverluste gering zu halten, sind bei jedem Hackeinsatz die Werkzeugeinstellungen zu kontrollieren. In Summe erfordern diese Arbeiten im Mittel etwa eine AKh pro Schlag.

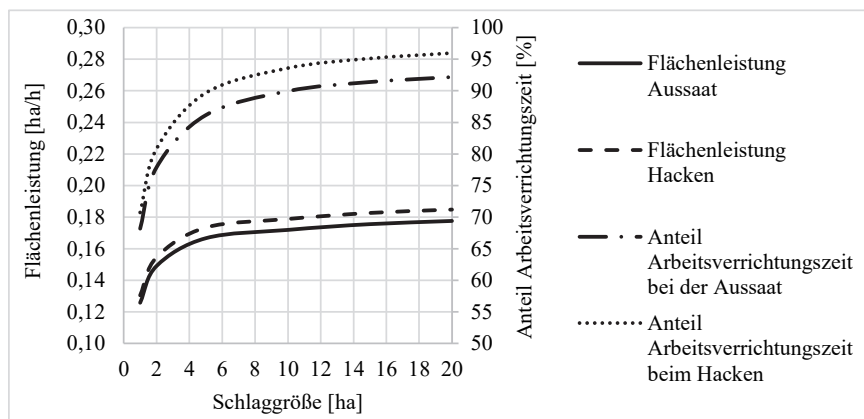


Abb. 2: Flächenleistung und Anteil der Arbeitsverrichtungszeit an der Gesamtzeit bei Aussaat und Hacken

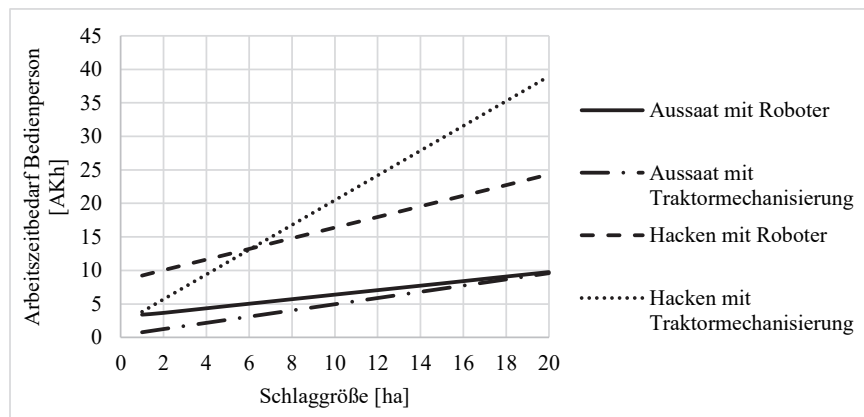


Abb. 3: Arbeitszeitbedarf pro Schlag der Bedienpersonen von Roboter und Traktormechanisierung für Aussaat und maschinelles Hacken

Abbildung 3 vergleicht den Arbeitszeitbedarf der Bedienperson des Roboters mit jenem der Bedienperson des Traktors mit einer zwölfreihigen Einzelkornsämaschine bzw. einem ungesteuerten zwölfreihigen Hackgerät bei vier Hackdurchgängen. Der Arbeitszeitbedarf für die Traktormechanisierung ist dem KTBL-Feldarbeitsrechner entnommen [KT21].

Der angeführte Arbeitszeitbedarf umfasst alle Arbeiten am Schlag inklusive der Wegzeiten zwischen Feld und Hof. Auf Grund der anfallenden Neben- und Störzeiten ist der Arbeitszeitbedarf der Bedienperson des Roboters beim Säen auch bei sehr großen Schlägen höher als bei der Traktormechanisierung. Beim viermaligen Hacken hat die Bedienperson des Roboters, unter den unterstellten Rahmenbedingungen, ab einer Schlaggröße von 6 ha einen geringeren Arbeitszeitbedarf als die Bedienperson am Traktor.

Einstellungsabhängig werden etwa 85 % der Fläche des Schlages durch die Hackdrähte zwischen den Reihen bearbeitet. Durch das Hacken in der Reihe von nur einer Seite können weitere 5-6 % bearbeitet werden. Weitere 3 % der Fläche können bearbeitet werden, wenn bei jedem Hackdurchgang die Fahrtrichtung gewechselt wird. Dadurch kann ein Teil der 92-280 AKh/ha [Ag21; Re04; SB18], die pro Saison für die Handhacke beim Einsatz von herkömmlichen traktorangebauten Hackgeräten in der Biozuckerrübe anfallen, eingespart werden.

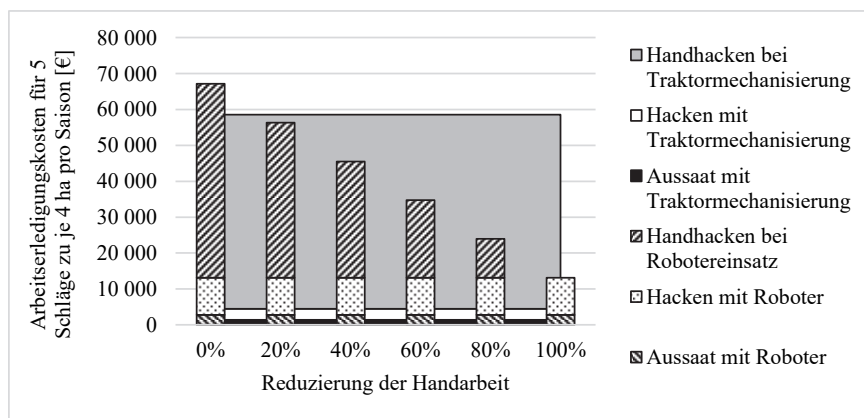


Abb. 4: Arbeitserledigungskosten für Aussaat und mechanische Beikrautregulierung in Biozuckerrüben

Damit können die Arbeitserledigungskosten verringert und die erhöhten Kosten für die Aussaat und maschinelle Beikrautregulierung mittels Roboter ausgeglichen werden. Ein Beispiel dafür ist in Abbildung 4 dargestellt. Darin ist unterstellt, dass der Roboter 20 ha Biozuckerrübe verteilt auf fünf Schläge sät und viermal hackt. 20 ha ist die vom Hersteller angegebene Auslastungsgrenze. Die Fläche im Hintergrund des Diagramms repräsentiert die Kosten für die Aussaat und viermaliges maschinelles Hacken mittels zwölffreihiger Traktormechanisierung sowie die anfallenden Kosten der Handhacke bei 200 AKh/ha und Saison. Die gestapelten Säulen im Vordergrund geben die Kosten für Aussaat und maschinelles Hacken mittels Roboter und die durch den Robotereinsatz reduzierten Kosten für die manuelle Beikrautregulierung an. Bei einer Reduktion des Handarbeitszeitbedarfs von 16 % gleichen die verringerten Personalkosten die im Vergleich zur Traktormechanisierung höheren Kosten für Aussaat und maschinelles Hacken aus.

4 Schlussfolgerungen

Für den Einsatz des Farmdroid FD20 müssen in einem ersten Schritt die physischen Schlaggrenzen digitalisiert werden. Die Punkte dieser Polygone sind durch Geraden verbunden, weshalb bei gebogenen Schlaggrenzen die Anzahl und somit der erforderliche Arbeitszeitbedarf zur Digitalisierung erheblich ansteigen. Sowohl bei der Aussaat als auch beim Hacken mittels Roboter bedingt die geringe Fahrgeschwindigkeit eine geringere Schlagkraft und dadurch höhere Arbeitserledigungskosten als der Einsatz herkömmlicher Traktormechanisierung. In Verbindung mit dem Betreuungsaufwand bietet die autonome Arbeitsweise des Roboters der Bedienperson erst ab Schlaggrößen über 6 ha einen zeitlichen Vorteil. Trotzdem können die höheren Arbeitserledigungskosten für Aussaat und maschinelles Hacken mittels Roboter erst durch die Einsparung an Handarbeit ausgeglichen und dadurch der Robotereinsatz wirtschaftlich werden.

Dieser Beitrag entstand im Rahmen der Innovation Farm (www.innovationfarm.at), die von Bund, Ländern und der Europäischen Union im Rahmen des ländlichen Entwicklungsprogrammes LE 14–20 unterstützt wird.

Literaturverzeichnis

- [Ag21] Agroscope: LabourScope – Der Arbeitsvoranschlag für Land- und Hauswirtschaft. Web-Anwendung unter www.arbeitsvoranschlag.ch abgerufen am 20.10.2021.
- [KT20] KTBL: Betriebsplanung Landwirtschaft 2020/21. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt 2020, S. 31.
- [KT21] KTBL: Feldarbeitsrechner. Web-Anwendung unter www.ktbl.de/webanwendungen/feldarbeitsrechner abgerufen im August 2021.
- [Lo20] Lowenberg-DeBoer, J., Huang, I.Y., Grigoriadis, V., Blackmore, S.: Economics of robots and automation in field crop production. *Precision Agriculture* (2020) 21: 278–299, doi:10.1007/s11119-019-09667-5.
- [Ma19] Marinoudi, V., Sørensen, C. G., Pearson, S., Bochtis, D.: Robotics and labour in agriculture. A context consideration. *Biosystems Engineering*, Volume 184, August 2019, S. 111–121.
- [Re04] Redelberger, H.: Management-Handbuch für die ökologische Landwirtschaft. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt 2004, S. 135.
- [SB18] Staub, S.; Brell, S.: Automatische Steuerungssysteme zur effizienten mechanischen Beikrautregulierung. In Tagungsband Angewandte Forschung und Entwicklung für den ökologischen Landbau in Bayern, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan 2018, S. 167–170.
- [WF14] Winkler, B.; Frisch, J.: Weiterentwicklung der Zeitgliederung für landwirtschaftliche Arbeiten. In Tagungsband 19. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium, Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 83, Potsdam-Bornim 2014, S. 14–21.