

Automatisierte Beikrautregulierung – Hackroboter im Gemüsebau

Die Ergebnisse – kurzgefasst

Ziel des Forschungsprojekts "Innovative Methoden zur ökologischen Beikrautregulierung im Gartenbau" war es, Alternativen für ein ökologisches Beikrautmanagement aufzuzeigen. Es wurden autonome Hackgeräte und neueste Mulchentwicklungen getestet und bewertet.

Im Versuchsjahr 2024 waren zwei Roboter in Gemüsekulturen im Einsatz: der „Farming GT“ von Farming Revolution und der „FarmDroid FD20“. Die Funktionsweisen der autonomen Systeme basierten auf unterschiedlichen Techniken, sie beherrschten aber beide die Bearbeitung der Bereiche zwischen und in den Reihen. Grundsätzlich waren die Roboter zur ökologischen Beikrautregulierung im Gartenbau geeignet. Einige Weiterentwicklungen der Systeme würden einen noch zuverlässigeren und effizienteren Einsatz gewährleisten.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Die Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) hat im Jahr 2024 die Praxistauglichkeit von drei Hackrobotern getestet. Versuchshintergrund waren zum einen die zunehmenden Herbizideinschränkungen, zum anderen der Mangel an Saisonarbeitskräften und die steigenden Löhne. Diese Faktoren stellen viele Anbauende vor die Frage, wie in Zukunft eine effektive Beikrautregulierung im Gartenbau gestaltet werden kann. Ein Lösungsansatz ist der Einsatz von autonomer Hacktechnik. Insbesondere in den letzten Jahren ist der Markt von Produkten zur autonomen Beikrautregulierung gewachsen. Einige Betriebe beschäftigen sich aktuell mit der Anschaffung neuer Hacktechniken. Aber nur wenige Praktiker sind mit den autonomen Hackrobotern bisher in Kontakt gewesen und können schwer einschätzen, ob sich die Investition in ein solches Gerät lohnt. Im Projekt wurde daher auch der wirtschaftliche Nutzen dieser Systeme beleuchtet. Dazu wurden Daten zu Arbeitszeiten und zur



Bild 1: Der „Farming GT“ von Farming Revolution hackte in Fenchel.



Bild 2: Der „FarmDroid FD20“ bei der Aussaat auf dem Versuchsgelände der LWG in Bamberg.

Automatisierte Beikrautregulierung – Hackroboter im Gemüsebau

Hackgenauigkeit erhoben und mit der betriebsüblichen Hacktechnik verglichen. Neben der Wirtschaftlichkeit sollte auch die Funktionalität der Roboter geprüft werden. Im Versuchsjahr 2024 wurden der „Farming GT“ von Farming Revolution und der „FarmDroid FD20“ im Gemüsebau getestet (Bild 1 und 2).

Ergebnisse im Detail

1. Farming Revolution - Farming GT

Die seit Juli 2022 laufenden Versuche mit dem autonom fahrenden Hackroboter „Farming GT“ des deutschen Herstellers Farming Revolution wurden im Jahr 2024 fortgesetzt. Der Roboter beherrschte neben der Beikrautregulierung zwischen den Reihen auch das Hacken in der Reihe. Er wurde vollständig elektrisch angetrieben und hatte zusätzlich einen Generator mit Verbrennungsmotor, wodurch sich der Arbeitseinsatz auf bis zu 26 Stunden verlängern ließe. Über Multispektralkameras und tiefe neuronale Netze unterschied der Roboter zwischen Nutzpflanze, Beikraut und Boden. Entsprechend der Pflanzenerkennung wurden die beweglichen Hackscharen zur Bearbeitung in die Reihe gesteuert oder nach außen geschwenkt (Bild 3). Der „Farming GT“ konnte mittels Kamerabild der Pflanzreihe folgen. Zusätzlich wurde auf RTK-GPS Daten zurückgegriffen. Durch die spezielle Kameratechnik konnte der Roboter in jeden Bestand einfahren und navigieren, ohne dass ein vorheriges Aufzeichnen der GPS-Spur notwendig war.

Von April bis August 2024 war der Roboter auf der Fläche eines Praxisbetriebs in Zwiebel und Knollensellerie im Einsatz. Es wurde außerdem in einem Tastversuch die Hackeffizienz von Kürbis getestet. Die Versuchsfläche bestand aus 8 Beeten. Gepflanzt wurde mit einem Reihenabstand von 50 cm, die Zwiebel in 5-Korn-Horstsaat. Sofern die äußeren Bedingungen es zuließen, wurde einmal wöchentlich gehackt. Eine Bonitur fand vor jedem Hackgang statt. Es wurde die Anzahl der Beikräuter in einem festgesteckten Rahmen (50 x 50 cm) sowohl in der Reihe als auch zwischen der Reihe bestimmt. Zudem wurde die Dauer der Hackdurchgänge erfasst.

Zwiebel und Sellerie waren durchgängig bis zur Abreife hackbar. Ab August 2024 arbeitete der Roboter am Versuchsbetrieb der LWG in Bamberg. Der Roboter wurde dort auf 27 Beeten in den Kulturen Rote Bete, Fenchel, Spinat und Mairübe gefahren. Die Kultur Mairübe wurde neu eingelernt. Dazu wurden bei den Überfahrten neue Bilddaten gesammelt und kategorisiert. Es wurde eine betriebsübliche Variante mit dem Einsatz des Roboters verglichen.



Bild 3: Autonomer Hackgang des „Farming GT“ auf einem Praxisbetrieb in Sellerie. Jeweils zwei bewegliche Hockeymesser arbeiteten von links und von rechts in eine Reihe hinein. Zudem hackten Gänsefußscharen und Winkelmesser den Bereich zwischen den Reihen sowie die Spur.

Automatisierte Beikrautregulierung – Hackroboter im Gemüsebau

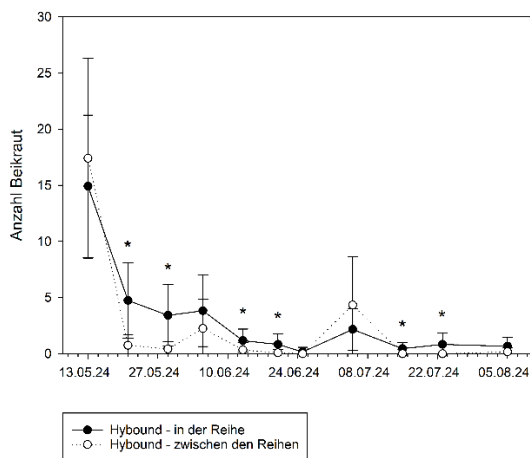


Abbildung 1: Die Anzahl der Beikräuter zeigte teilweise statistisch signifikante Unterschiede (*) beim Hacken mit dem „Farming GT“ in der Zwiebelsorte „Hybound“ (Mittelwert, 50 x 25cm, n=12)

Insgesamt konnte mit dem „Farming GT“ eine ausreichende Wirkung gegen den Beikrautdruck in den Kulturen Zwiebel, Sellerie und Rote Bete erzielt werden. Der Roboter regulierte die Beikräuter zwischen den Reihen gut, wohingegen er in der Reihe weniger präzise Ergebnisse zeigte. Dies war bei der Zwiebelsorte „Hybound“ zu beobachten, wo sich teilweise signifikante Unterschiede bezüglich der Beikrautzahl in der Reihe oder zwischen den Reihen zeigten (Abbildung 1). Der Sicherheitsabstand, mit welchem der Roboter um die Kulturpflanzen arbeitete, ließ sich einstellen. So wäre es ebenfalls möglich, besonders dicht an den Kulturpflanzen zu hacken - verbunden mit einem erhöhten Schadensrisiko an den Kulturpflanzen. Da die Zwiebeln im Horst gepflanzt wurden, kam es mitunter vor, dass das Beikraut innerhalb des Horsts wuchs. Dennoch ist mittels Horstsaat eine gute

Beikrautregulierung auch in der Reihe möglich. Der Roboter benötigte zur Bearbeitung in der Reihe einen Pflanzabstand von mindestens 12 cm, welcher durch die Horstsaat auf 16 cm gegeben war. In den Kulturen Sellerie und birnenförmige Zwiebel waren weniger signifikante Unterschiede des Beikrautdrucks in und zwischen den Reihen zu erkennen.

Die Pflanzenerkennung des Roboters funktionierte bei Sellerie, Zwiebel und Rote Bete gut, während nicht jede Fenchelpflanze erkannt wurde. Während des Versuchszeitraums wurden weitere Bilddaten für Farming Revolution gesammelt, um die Erkennung zukünftig weiter zu verbessern. Das neue Modell arbeitete laut Herstellerangaben bereits zuverlässiger in Fenchel. Es gab einige Überarbeitungen und Weiterentwicklungen im Vergleich zum Vorjahr 2023: Das App-Design wurde überarbeitet und war übersichtlicher. Die Bedienung via Smartphone wurde von Seiten des Herstellers weiter verbessert und hat nahezu störungsfrei funktioniert. Bei der Pflanzenerkennung gab es eine Erweiterung der Kulturauswahl. Die Wendigkeit des Roboters im Vorgewende wurde optimiert. Die Spuranfahrt zum Beetbeginn war präziser geworden. Da der elektrisch angetriebene Hackroboter mithilfe von Multispektralkameras, tiefen neuronalen Netzen sowie RTK-GPS-Daten der Pflanzreihe folgen konnte, war es nicht notwendig, die GPS-Spur vor dem ersten Hackgang aufzuzeichnen. Die Möglichkeit, jederzeit Unterstützung in der Bedienung und Wartung über den Fernzugriff zu erhalten, die präzise Einstellung der Werkzeuge, sowie der robuste Aufbau haben die Arbeit und Handhabung mit der Maschine vereinfacht.

In manchen Bereichen gab es noch Potential zur Nachbesserung. So wurden die ersten Meter eines Beets häufig nicht in der Reihe gehackt und manchmal erfolgte ein erst spätes Einsetzen des Hackwerks. Auch durch das automatische Freischütteln der Werkzeuge blieb das Beet stellenweise unbearbeitet. Daher bot es sich an, den Roboter mit 1-2 Handhackgängen zu kombinieren. Die genannten Optimierungen würden laut Hersteller nach und nach eingepflegt werden. Über längere Strecken oder öffentliche Straßen musste der Roboter mit einem Anhänger transportiert werden.

Automatisierte Beikrautregulierung – Hackroboter im Gemüsebau

Aufgrund des aufwendigeren Transports des Roboters auf einem PKW-Anhänger waren große zusammenhängende Anbauflächen von Vorteil. Die Arbeit mit dem Roboter wurde durch exakte Pflanzabstände und gerade Reihen erleichtert. Mindestens auf einer Seite der Fläche sollte ein Vorgewende von circa 5 m eingeplant werden. Das neue Modell des „Farming GT“, welches diesjährig auf den Markt kam, konnte im Rahmen des Projekts nicht getestet werden.

2. FarmDroid - FD20

Ab dem Jahr 2024 wurde außerdem der „FD20“ der dänischen Firma FarmDroid erprobt. Dieser war auf der Fläche des Versuchsgeländes der LWG in den Kulturen Zwiebel, Rote Bete, Kopfsalat und Chinakohl im Einsatz. Der Roboter hackte in und zwischen den Reihen. Dies machte er nicht wie der „Farming GT“ über eine Kamera mit Pflanzenerkennung, sondern um hacken zu können, musste der Roboter zuvor Aussäen. Der Roboter speicherte dabei die Aussaatpositionen ab und konnte anschließend entsprechend der Georeferenzpunkte um die Kulturpflanzen hacken. Der Roboter navigierte über RTK. Angetrieben wurde er elektrisch und funktionierte autark über Photovoltaik. Sollte die Solarenergie zum Beispiel zur Aussaat am Jahresbeginn nicht reichen, könnte eine Powerbank angeschlossen werden. Der Roboter wog 900 kg und schafft laut Herstellerangaben circa 6,5 ha am Tag. Er konnte 2-12 Reihen ab einem Reihenabstand von 22,5 cm bearbeiten. Für ein gutes Hackergebnis in der Reihe sollten mindestens 12 cm Abstand in der Reihe gewählt werden.

Die Versuchsfläche bestand aus 18 Beeten inklusive einer Kontrollvariante, welche betriebsüblich gehackt wurde. Gesät wurde mit einem Reihenabstand von 50 cm, die Zwiebel in 5-Korn-Horstsaat. Sofern die äußeren Bedingungen es zuließen, wurde ein wöchentlicher Hackrhythmus angestrebt. Eine Bonitur fand vor jedem Hackgang statt. Es wurde die Anzahl der Beikräuter in einem festgesteckten Rahmen (50 x 50 cm) sowohl in der Reihe als auch zwischen der Reihe bestimmt. Zudem wurde die Dauer der Hackdurchgänge erfasst.



Bild 4: Der „FarmDroid FD20“ hackte in Rote Bete.



Bild 5: Beschädigung der Roten Bete 7 Wochen nach Aussaat aufgrund zu geringer Einstellbarkeit der Hackmesser und -drähte



Bild 6: Ein verkrusteter Boden stellte den „FarmDroid FD20“ vor Herausforderungen.

Der „FD20“ zeigte eine grundsätzlich erfolgreiche Regulierung der Beikräuter in den Versuchskulturen Chinakohl, Kopfsalat, Zwiebel und Rote Bete (Bild 4). Der Roboter verfügte über Hackdrähte. Bei einem verkrusteten Boden konnten diese nicht gut arbeiten (Bild 6). Deshalb war der Hackzeitpunkt

Automatisierte Beikrautregulierung – Hackroboter im Gemüsebau

entscheidend. Ein Nachteil war, dass das Schwenken der aktiven Hackmesser anhand der theoretischen Saatpositionen dazu führte, dass ein regelmäßiges Ausschwenken aus der Reihe auch dann stattfand, wenn sich dort keine Kulturpflanze befand (z.B. nicht aufgegangen). Daraus resultierte wiederum ein hoher Beikrautbesatz an ebendiesen Stellen, welcher händisch zu bearbeiten war. Vor dem ersten Hackgang am ersten Boniturtermin gab es leichte Feldunterschiede bezüglich des Beikrautdrucks (Abbildung 2). Nach dem dritten Hackgang waren keine Unterschiede mehr erkennbar. Die Regulation der Beikräuter zeigte sowohl in der Reihe als auch zwischen den Reihen gute Ergebnisse. Die Robotervariante war vergleichbar mit der Kontrollvariante. Ähnlich präsentierten sich die Boniturdaten für Zwiebel und Chinakohl.

Eine hohe Einstellbarkeit der Hackwerkzeuge war nicht gegeben, sodass insbesondere bei der Roten Bete 7 Wochen nach Aussaat einige Kulturpflanzen beschädigt, bzw. ausgehackt wurden (Bild 5). Daher wurden die aktiven Hackmesser vorzeitig abgeschraubt. So konnte der Hackzeitraum noch kurz verlängert werden. Insgesamt waren die Breite der Hackwerkzeuge, bzw. die geringe Einstellbarkeit dieser nicht für jede Kultur optimal. Es würde sich anbieten, die Hackdrähte zu schmälern, bzw. die Einstellweite zukünftig von Seiten des Herstellers anzupassen. Hinderliche Begebenheiten, die für den Gemüsebau bestanden, waren außerdem die Breite des Fahrzeugs von 3 Metern sowie die Notwendigkeit der Aussaat. Große Schläge würden den Arbeitsaufwand des Robotertransports verringern. Ein Vorteil war die autarke Energieversorgung über die Photovoltaikmodule und die zuverlässige Arbeitsweise verbunden mit einer exakten Abfahrt der Spur. Aufgrund der PV-Module war kein Einplanen von Ladepausen oder Auftanken nötig.

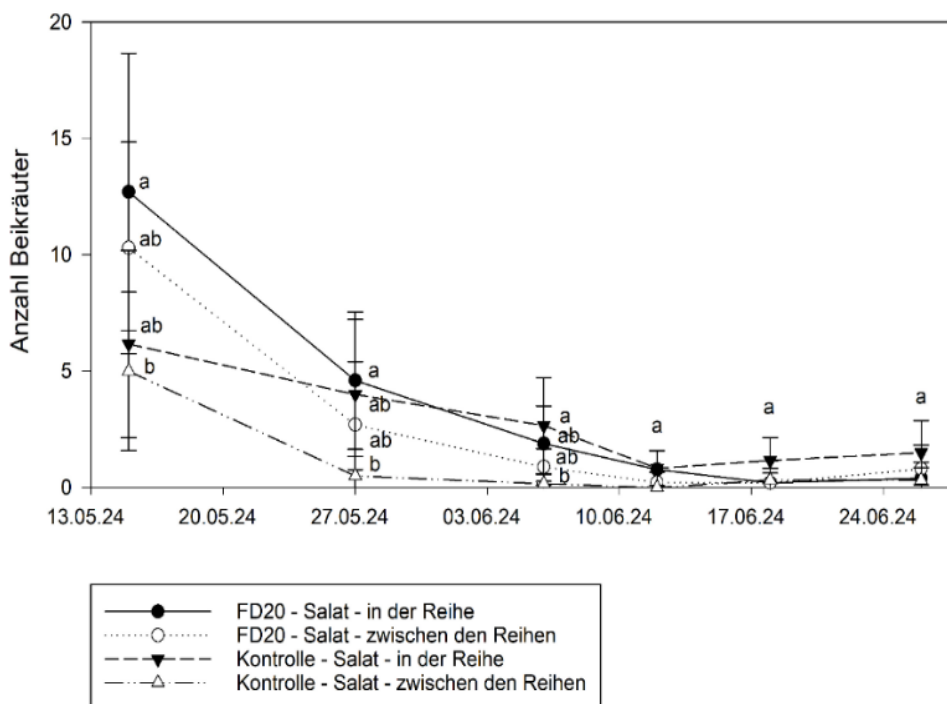


Abbildung 2: Das Hackergebnis des „FD20“ in Kopfsalat (Mittelwerte, 50x25cm, n_{Roboter}=10, n_{Kontrolle}=6)

Automatisierte Beikrautregulierung – Hackroboter im Gemüsebau

3. Zusammenfassung

Tabelle 1: Vorteile und Nachteile der beiden Hackroboter

	Farming Revolution Farming GT	FarmDroid FD20
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> kann in jeden Bestand einfahren hohe Flexibilität der Einstellungen und kamerabasierte Anpassung der Spur an Pflanzreihe 	<ul style="list-style-type: none"> Zuverlässiges Abfahren der Spur autarke Energieversorgung über Photovoltaikmodule
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> Qualität des Hackgangs abhängig von Güte der Pflanzenerkennung Ladepausen bzw. Tanken nach ca. 26 h Arbeitszeit 	<ul style="list-style-type: none"> Notwendigkeit der Aussaat mit dem Roboter Schwierigkeiten bei verkrusteten Böden

Kritische Anmerkungen

Die Daten zum Beikrautbewuchs wurden jeweils vor dem wöchentlichen Hackgang aufgenommen. Das Hacken konnte nur bei entsprechenden Witterungsbedingungen durchgeführt werden und wurde andernfalls auf den nächstmöglichen Termin verschoben. Es wurde die Anzahl der Beikräuter in einem festgesteckten Rahmen (50 x 50 cm) sowohl in der Reihe als auch zwischen der Reihe bestimmt. Der Bereich in der Reihe umfasste jeweils 12,5 cm links und rechts der Pflanzreihe. Der Bereich zwischen den Reihen umfasste die 25 cm mittig der benachbarten Pflanzreihen. Ab dem Versuchsstart im April 2024 war die Energieversorgung des „FD20“ über Photovoltaik ausreichend für den wöchentlichen Einsatz auf einer 0,2 ha großen Parzelle.