

Optimierung von Verfahren kombiniert chemisch-mechanischer und mechanischer Unkrautbekämpfung in Reihenkulturen(OptiKult)

Zuwendungsempfänger

Julius Kühn-Institut

Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz (AT)

Messeweg 11-12

38104 Braunschweig

Akronym

OptiKult

Geschäftszeichen

321-06.01-28-1-91.128-19

Förderkennzeichen

289112819

Laufzeit des Vorhabens

08.02.2021 bis 07.02.2024

Inhaltsverzeichnis

I. Kurzbericht	3
I.1 Aufgabenstellung mit wissenschaftlichem Stand zu Beginn.....	3
I.2 Ablauf des Vorhabens	3
I.3 Wesentliche Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Stellen	4
II. Eingehende Darstellung.....	5
II.1 Durchgeführte Arbeiten (Verwendung der Zuwendung und Ergebnisse)	5
II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	19
II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	19
II.4 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse	20
II.5 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	21
II.6 Erfolgte Veröffentlichungen	22

I. Kurzbericht

I.1 Aufgabenstellung mit wissenschaftlichem Stand zu Beginn

Das Ziel des Projektes OptiKult war die Entwicklung, Erprobung und Bewertung verschiedener Verfahren der Unkrautkontrolle im Zuckerrübenanbau mit reduziertem Herbizideinsatz. Projektschwerpunkte waren ein zu entwickelnder Kleinroboter zur hochgenauen Saatgutplatzierung sowie für das präzise Längs- und Querhacken, die hochgenaue Aussaat mit einer marktverfügbaren Zuckerrübensämaschine (GeoSeed2) und die Herbizid-Streifenapplikation mit einem marktverfügbaren Großflächen-Feldspritzgerät (Horsch-Leeb). Aufgabe von JKI-AT war die Auswahl und Optimierung einer Einzelkornsämaschine und der Anbaugeräte für den Roboter.

Zu Projektstart belief sich das Marktangebot bei der mechanischen Unkrautbekämpfung innerhalb der Kulturpflanzenreihe im Wesentlichen auf Geräte mit aktiv gesteuerten Hackelementen die zwischen die Kulturpflanzen einschwenken. Grundlage hierfür bilden aufwändige bildverarbeitende Systeme, die definierte Entwicklungsstadien von Pflanzen erkennen können und mit 1 – 2 km/h sehr geringe Fahrgeschwindigkeiten erfordern. Zur Zeit der Antragstellung wurden bereits erste Hackroboter vorgestellt und in den Markt eingeführt. Ein Roboter arbeitete dabei auch mit GPS-Koordinaten der ausgesäten Kulturpflanze, so wie es auch im Projekt OptiKult geplant war.

I.2 Ablauf des Vorhabens

Die Wirksamkeit von vier neuen Verfahren (Szenarien) der Unkrautkontrolle sollte im Vergleich zu einem Referenzszenario untersucht werden. Die Szenarien sollten die Bestandteile Aussaat und Unkrautbekämpfung beinhalten, wobei die Aussaat in einem flächendeckenden Rechteckverband erfolgte, der entweder durch eine schleppergebundene Sämaschine oder durch einen Roboter ausgesät wurde. Die Unkrautbekämpfung sollte in zwei Szenarien rein mechanisch erfolgen, wobei der Roboter auch quer zur Aussaatrichtung hacken sollte. Für die beiden anderen Szenarien sollte die mechanische Unkrautbekämpfung durch den Einsatz einer Bandspritzeinrichtung an einem Großflächen-Feldspritzgerät bzw. einer Punktapplikation durch den Roboter ergänzt werden.

Die für die Verfahren notwendige Technik wurde zu Beginn des Projekts beschafft, an die Anforderungen angepasst und optimiert. Hierzu wurde eine Marktübersicht für Einzelkornsämaschinen und Hackgeräte erstellt, die Anforderungen definiert sowie die am besten geeigneten Geräte und Bauteile beschafft. Im Speziellen sind dies für die Aussaat von Zuckerrüben mit einem Schlepper eine „Kverneland Monopill“ mit „GeoSeed 2“-Ausstattung mit einer Arbeitsbreite von 2,7 m (6 Reihen à 45 cm), für die Aussaat mit dem Roboter vier einzelne Säaggregate ebenfalls „Kverneland Monopill“ sowie zur mechanischen

Unkrautbekämpfung mit dem Roboter fünf Hackaggregate der Firma Horsch. Die schleppergebundene Sämaschine wurde dahingehend weiterentwickelt, dass die GPS-Koordinaten jedes einzelnen Saatkorns direkt aufgezeichnet werden können. Somit stehen diese Daten für die Spurplanung des Roboters zur Verfügung. Die Genauigkeit der GPS-Daten wurde mittels Drohnenbefliegung von Parzellen untersucht.

I.3 Wesentliche Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Mit der Einzelkornsämaschine „Kverneland Monopill“ mit „GeoSeed 2“-Ausstattung ist es möglich einen flächendeckenden Rechteckverband auszusäen. Durch eine selbst entwickelte zusätzliche Elektronik wird die Saatposition jeder Rübenpflanze während der Aussaat aufgezeichnet. Die erzielte Genauigkeit der Pflanzenposition liegt im Bereich von +/- 2 cm, da sowohl zur Steuerung der Maschine als auch zur Ermittlung der Position ein RTK-korrigiertes GPS-Signal verwendet wird. Überprüft wurde die Genauigkeit der Pflanzenposition mit Hilfe von Luftaufnahmen, die vom Projektpartner IfZ von Parzellenversuchen in Göttingen aufgenommen wurden. Ebenfalls vom IfZ wurden aus den georeferenzierten Luftaufnahmen über einen Algorithmus den Pflanzen GPS-Koordinaten zugeordnet, um festzustellen, wo diese tatsächlich aufgelaufen sind.

Da der Roboter bis zum Projektende keine ausreichende Spurführung erreichen konnte, war es nicht möglich, Versuche mit der Sä- und Hacktechnik durchzuführen. Für die chemische Unkrautbekämpfung wurde ein Aufbau-Pflanzenschutzgerät für den Roboter konzipiert, mit dem eine gezielte Punktapplikation möglich ist. Für die Punktapplikation wurden Messungen im Labor durchgeführt, wie die Pflanzenschutzmittelverteilung innerhalb eines 10 x 10 cm großen Zielpunktes ist. Die Messungen zeigten klar abgegrenzte Spots, die in sich eine gleichmäßige Verteilung aufweisen. Allerdings war die Aufwandmenge bei den gewählten Parametern für Fahrgeschwindigkeit (3,6 km/h) und Zielflächenabstand (15 cm) mit 533 l/ha sehr hoch.

Eine einzelpflanzenspezifische Punktapplikation ist nach aktuellem Stand mit kleineren Applikationsgeräten und geringen Arbeitsbreiten möglich, da bei großen Arbeitsbreiten die Gestängeschwingungen einen zu großen Einfluss auf die Genauigkeit haben. Für das vom Projektpartner Horsch aufgebaute Großflächen-Feldspritzengerät mit kamerageführter Streifenspritzeinrichtung wurden seitlich angewinkelte Düsenkappen eingesetzt und untersucht. Es wurde gezeigt, dass diese Kappen die Querverteilung der Düsen gemäß JKI-Richtlinie nicht nachteilig beeinflussen.

II. Eingehende Darstellung

II.1 Durchgeführte Arbeiten (Verwendung der Zuwendung und Ergebnisse)

Das Projekt startete am 08.02.2021 und endete am 07.02.2024. Im Rahmen des Vorhabens wurden von JKI-AT die Arbeitspakete AP1 Optimierung Einzelkornsäugerät, AP4 Entwicklung Aussaatwerkzeug für Roboterplattform, AP5 Anpassung Hackwerkzeuge für Roboterplattform sowie AP6 Entwicklung Punktapplikation für Roboterplattform und Großflächenspritze geleitet. Darüber hinaus lag mit dem AP9 Querschnittsthemen die Gesamtprojektleitung bei JKI-AT. Weiterhin wurden die Projektpartner Horsch (AP2 Großflächen-Bandspritzung), Hentschel (AP3 Entwicklung und Anpassung einer Roboterplattform) sowie IfZ (AP7 Parzellenversuche und AP8 Szenarienvergleich in Praxis und Technikfolgenabschätzung) bei der Bearbeitung der jeweiligen Arbeitspakete unterstützt. Für den projektinternen Informationsaustausch wurden regelmäßige, monatliche Videokonferenzen durchgeführt.

Im Folgenden werden die durchgeführten Arbeiten und die wesentlichen Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete kurz dargestellt.

AP 1 Optimierung Einzelkornsäugerät

Zur Optimierung eines Einzelkornsäugeräts wurde zu Beginn der Projektlaufzeit eine Marktanalyse durchgeführt, welche am Markt verfügbaren Säugeräte hinsichtlich Ausstattung und Aussaatgenauigkeit die besten Voraussetzungen für die gestellten Ziele bieten. Verglichen wurden sechs speziell für die Aussaat von Zuckerrüben konstruierte mechanische Einzelkornsämaschinen der Hersteller Kverneland, Kubota, Grimme, Monosem und Schmotzer. Zusätzlich wurden mehrere pneumatische Einzelkornsämaschinen in die Betrachtung einbezogen, die auch für die Aussaat von Mais Verwendung finden. Pneumatische Sämaschinen haben jedoch im Vergleich zu den mechanischen Geräten eine größere Fallstufe zwischen dem Abgabepunkt des Saatguts und dem Boden, wodurch die Ablagegenauigkeit abnehmen kann.

Bei den mechanischen Geräten sind die Kverneland Monopill und die Kubota MP1000 bis auf den Markennamen identisch. Ebenso sind die Kverneland Unicorn und die Grimme Matrix weitestgehend baugleich. Kverneland bietet für die Geräte mit elektrischem Antrieb die „GeoSeed“-Ausstattung an, die es ermöglicht, die Saatgutablage sowohl innerhalb der Arbeitsbreite als auch über mehrere Anschlussfahrten hinweg zu synchronisieren. Da für die „GeoSeed“-Ausstattung über die gesamte Projektlaufzeit ein Patentschutz bestand und somit kein anderer Hersteller ein vergleichbares System anbieten konnte, ist die Wahl auf das Gerät Kverneland Monopill in 6-reihiger Ausführung gefallen.

Nach der Evaluierung der technischen Eigenschaften der Maschine wurde ein System zur Georeferenzierung der Ablagepositionen des Saatguts geplant und die technische Umsetzung

vorbereitet. Da ein solches System bisher noch nicht aufgebaut wurde, musste sowohl die Hardware als auch die Software von Grund auf angepasst und teilweise entwickelt werden. Die Hardware besteht im Wesentlichen aus zwei Mikrocontrollern mit SD-Karten-Anschluss. Ein Mikrocontroller sitzt auf der Maschine und ist über Optokoppler und dazugehörige elektronische Bauteile an die standardmäßig verbauten Lichtschranken angeschlossen. Der Mikrocontroller registriert die Signale der Lichtschranken und speichert diese auf der SD-Karte ab. Der zweite Mikrocontroller sitzt in der Nähe des GPS-Empfängers und zeichnet das ungefilterte GPS-Signal auf. Beide Teilsysteme werden nur aktiv, wenn sich die Maschine in Arbeitsposition befindet.

Die Software für die Mikrocontroller und für die spätere Auswertung wurde während der Projektlaufzeit im Institut entwickelt und fortwährend optimiert, sodass neben der Erstellung der GPS-Koordinaten für jedes abgelegte Saatkorn auch eine automatische Auswertung der Saatgutverteilung erfolgen konnte. Gleichzeitig kann mit demselben Programm direkt die Route für den Roboter generiert werden, die für den später folgenden Hackvorgang benötigt wird (siehe AP 5).

Begleitet wurden die Softwareoptimierungen von diversen Funktionstests. Sowohl 2022 als auch 2023 erfolgten Versuche am Standort Braunschweig, Parzellenversuche in Göttingen sowie teilweise auch auf größeren Praxisflächen. Bei Letzteren konnte der flächendeckende Rechteckverband über mehrere Arbeitsbreiten besser bewertet werden als in den Parzellenversuchen mit maximal vier Arbeitsbreiten nebeneinander. Es wurden in beiden Versuchsjahren größere Abweichungen vom Rechteckverband festgestellt, die in den Parzellenversuchen visuell nicht zu erkennen waren. Nach der Aussaat im Frühjahr 2022 wurde der Rechteckverband der aufgelaufenen Pflanzen mit Vertretern des Maschinenherstellers Kverneland begutachtet, um mögliche Gründe für die Abweichungen im Verband zu erörtern. Verschiedene Ursachen wie ein Einfluss der Topologie und ein falsches Vorgehen bei der Einstellung der Maschine konnten ausgeschlossen werden. Abb. 1 von einer Praxisfläche aus dem Jahr 2022 zeigt die Querreihen des Rechteckverbands. Die eingezeichneten Linien in diesem Teilbereich zeigen deutlich die Abweichungen vom idealen Rechteckverband.



Abbildung 1: Aussaat im Rechteckverband. Blickrichtung quer zur Aussaatrichtung mit eingezeichneten Sichtachsen.

In der Aussaatsaison 2023 wurde ein erneuter Test auf einer konventionellen Fläche durchgeführt. Durch die Einbindung eines zweiten GPS-Empfängers konnte der Fehler eindeutig auf den Schlepper und dessen Kommunikationsschnittstelle zur Sämaschine eingegrenzt werden. Die Auswertung der aufgezeichneten GPS-Signale ergab, dass in regelmäßigen Zeitabständen (ca. alle 90 Sekunden) ein Signalsprung übermittelt wird, der vom Bedienterminal der Sämaschine erkannt und akustisch signalisiert wird. Der Signalsprung führt bei einer konstanten Fahrgeschwindigkeit zu einem erhöhten Abstand zwischen zwei benachbarten GPS-Punkten, obwohl der zeitliche Abstand zwischen den Punkten gleichbleibend ist. An einer Lösung für dieses Problem wird beim Schlepperhersteller gearbeitet. Für die Parzellenaussaat im Jahr 2023 wurde aus diesem Grund ein GPS-System des Herstellers Topcon / GeoConcept verwendet, womit sehr gute Ergebnisse erzielt werden konnten (siehe hierzu AP7 Parzellenversuche). Folglich ist die georeferenzierte Aussaat mit der schleppergebundenen Sämaschine als „einsatzbereit“ zu beurteilen.

AP 2 Großflächen-Bandspritzung

Im Arbeitspaket 2 wurden gemeinsam mit dem Projektpartner Horsch für die Bandapplikation geeignete Düsen ausgewählt. Für den Einsatz an einem Großflächen-Feldspritzgerät mit einer großen Arbeitsbreite eignen sich am besten Düsen mit einem kleinen Spritzwinkel. Über den Spritzwinkel und die Applikationshöhe kann die Spritzbreite einer Düse beeinflusst werden. Spezielle Bandspritzdüsen mit einer gleichmäßigen Querverteilung werden für den Einsatz an Hackgeräten mit einem Spritzwinkel von 80° angeboten. Für eine Bandbreite von 25 cm wäre bei diesen Düsen eine Applikationshöhe von lediglich 16 cm erforderlich.

Seit 2020 sind mit den Düsen „Agrotop RowFan 40-01E“ und „RowFan 40-02E“ Bandspritzdüsen mit einem Spritzwinkel von nur 40° marktverfügbar und JKI-angemerkt. Bei

diesen kann die Applikationshöhe auf 30 cm eingestellt werden, um eine Bandbreite von 24 cm zu erreichen. Hierdurch eignen sich diese Düsen sehr gut für den Einsatz am Feldspritzgerät. Beim Projektpartner Horsch sind für die Applikation in Zuckerrüben mit 45 cm Reihenabstand gewinkelte Düsenkappen mit 8,75° und 17,5° Anstellwinkel entwickelt worden, die das Spritzband um 5 bzw. 10 cm zur Seite versetzen. Die oben genannten Düsen wurden in Kombination mit den neu entwickelten, gewinkelten Düsenkappen am JKI getestet, um zu ermitteln, wie groß der Einfluss des Winkels auf die Verteilgenauigkeit innerhalb des Spritzbandes ist. In Abbildung 2 werden die Querverteilungsmessungen der beiden Düsenkappen mit der Standardvariante (a) verglichen. Der Einfluss der Düsenkappen auf die Verteilung ist sehr gering, sodass die Anforderungen an die Querverteilung der Düse im Arbeitsbereich gemäß der JKI-Richtlinie erfüllt werden, obwohl sich die Düse nicht mittig über der Reihe (Position 0) befindet.

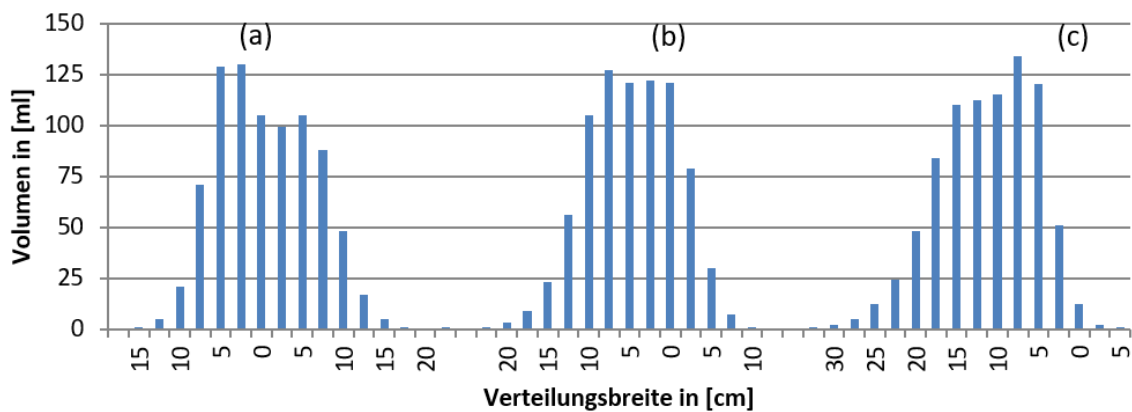


Abbildung 2: Vergleich von 3 Düsen mit unterschiedlichen Düsenkappen: Standard-Düsenkappe (a), Düsenkappe mit 8,75° Neigung nach links (b), Düsenkappe mit 17,5° Neigung nach links (c). Düse: AgrotopRowFan 40-02E, 30 cm Applikationshöhe, 3 bar Spritzdruck.

Durch die Anordnung der Düsen mit den unterschiedlich gewinkelten Düsenkappen kann der Spritzfächer seitlich so verschoben werden, dass in Kombination mit Blindkappen und einem Spritzgestänge mit Düsenabstand von 25 cm auch Flächen mit 45 cm Reihenabstand der Kultur behandelt werden können.

Versuche zur Reihenführung des Gestänges im Feld wurden federführend vom IfZ durchgeführt und sind in dem Berichtsteil des Projektpartners beschrieben. Unter bestimmten Bedingungen wurden gute bis sehr gute Ergebnisse erzielt. Am Vorgewende und bei stark kurvigen Reihen kommt das System jedoch an seine Grenzen. Im Feldinneren bei geraden Reihen erfüllt das System die Anforderungen.

AP 3 Entwicklung und Anpassung einer Roboterplattform

Zur Anpassung der Roboterplattform für Aussaat und Hacken wurde in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Hentschel System GmbH die mechanische Schnittstelle zwischen der

Roboterplattform und den vorgesehenen Anbaugeräten definiert. Eine Konsole, an der die Hubvorrichtung für Anbaugeräte befestigt ist, bildet die Verbindung zwischen Roboter und Anbaugerät. Die Hubvorrichtung ist nach Art eines Dreipunktanbaus mit zwei unteren Streben und einem längenverstellbaren Oberlenker ausgeführt. Durch den Oberlenker ist eine Winkelverstellung des an der Hubvorrichtung montierten Rechteckrohres möglich. An dem Rechteckrohr werden entweder direkt die Säaggregate oder mittels eines Adapters die Hackaggregate befestigt. Für die Nutzung des Roboters für eine Punktapplikation von Herbiziden muss die Hubvorrichtung der Säaggregate bzw. der Hackschare demontiert und der Tank mit angebautem Düsenträger direkt auf die Roboterplattform aufgesetzt werden.

Zur Anpassung der vorhandenen Roboterplattform an die Gegebenheiten im Zuckerrübenanbau (Reihenweite, Pflanzenabstand innerhalb der Reihen) wurden vom Projektpartner Hentschel die 30 cm breiten Raupenlaufbänder durch 20 cm breite Bänder ersetzt. Diese sind für normale Einsatzbedingungen im Feld sehr gut geeignet, sofern der Boden nicht zu nass und unbefahrbar ist. Allerdings zeigte sich bei wechselnden Bodeneigenschaften und Einsatzbedingungen sowie unterschiedlichen Anbaugeräten ein Optimierungsbedarf in der Spurführung. Zur Optimierung der Spurführung des Roboters wurden im Verlaufe des Projekts durch den Partner Hentschel zahlreiche Feldtests durchgeführt, die durch JKI-AT begleitet wurden.

AP 4 Entwicklung Aussaatwerkzeug für Roboterplattform

Bei der Auswahl der Einzelkornsämaschine (AP1) wurde neben der Ausstattung für den flächendeckenden Rechteckverband auch auf möglichst leichte Säaggregate geachtet. Zur Auswahl wurden neben den Säaggregaten der obengenannten spezialisierten Rübensämaschine auch Einzelkornsägeräte aus dem Gemüsebau in Betracht gezogen. Letztere zeichnen sich durch ein besonders geringes Gewicht aus. Aufgrund des Vereinzelungsaggregats, welches als Dosierwalze durch den Saatgutbehälter läuft und durch einen einfachen Abstreifer abgedichtet wird, sind die Gemüsebausägeräte nicht für den vorgesehenen Zweck geeignet. Weiterhin ist in diesen Säaggregaten ein mechanischer Bodenantrieb und keinerlei Sensorik für die Reihensynchronisierung und Georeferenzierung verbaut. Die Säaggregate der für den Schlepper beschafften Einzelkornsämaschine hingegen sind zwar etwas schwerer, enthalten aber standardmäßig bewährte Komponenten sowie die notwendige Sensorik. Da der Roboter das Gewicht von vier Säaggregaten tragen kann und bei dieser Ausstattung ein direkter Vergleich zur schleppergebundenen Variante möglich war, wurden vier Aggregate der Kverneland Monopill beschafft. Der Roboter mit angebauten Säaggregaten ist in Abb. 3 dargestellt.



Abbildung 3: Roboter der Firma Hentschel bei einem Feldtest zur Rübenaussaat.

Die Ansteuerung der Säaggregate wurde vollständig durch die Firma Hentschel in die Robotersteuerung integriert. Im Feld erfolgten Tests des Roboters mit angebauten Sägeräten, die sich zumeist auf die Spurführung beschränkten. Hierzu blieb der Antrieb der Säaggregate zunächst deaktiviert, sodass kein Saatgut ausgebracht wurde. Versuche mit aktiviertem Antrieb der Säaggregate zeigten anschließend eine gute Synchronisierung der drei Reihen innerhalb der Arbeitsbreite. Die Synchronisation der Saatgutablage bei Anschlussfahrten mit direkt angrenzenden Arbeitsbreiten konnte aufgrund der unzureichenden Spurführung des Roboters nicht überprüft werden.

Der Abstand der Rübenpillen innerhalb einer Reihe entsprach mit 25 cm dem eingestellten Wert, wobei eine Streuung im Bereich von ± 3 cm gemessen wurde. Eine exakte Bestimmung der Ablagegenauigkeit sowie ein Vergleich mit der schleppergebundenen Sämaschine konnten nicht durchgeführt werden. Hierfür wäre eine exakte Spurführung des Roboters notwendig gewesen, die jedoch im Projektzeitraum aus zuvor genannten Gründen nicht realisiert werden konnte.

AP 5 Anpassung Hackwerkzeuge für Roboterplattform

Vor der Anpassung von Hackwerkzeugen wurde zuerst eine Marktübersicht an verfügbaren Hackgeräten und zugehörigen Hackaggregaten erstellt. Hierbei wurden 22 Hackgeräte näher betrachtet, von denen drei bereits als InRow-Hackgeräte mit automatischer Pflanzenerkennung ausgestattet sind. Eine automatische Pflanzenerkennung ist für den im

Projekt entwickelten Roboter systembedingt nicht vorgesehen. Als Hauptauswahlkriterien für die Hackaggregate wurden vor allem ein möglichst geringes Gewicht und geringe Abmessungen gewählt, um die Hackwerkzeuge problemlos am Roboter implementieren zu können. Die Hackaggregate der verschiedenen Hersteller unterscheiden sich in ihren Einstellmöglichkeiten nicht wesentlich voneinander, sondern eher in der Art der Verstellung. In die nähere Auswahl sind ein Hackaggregat der Firma Schmotzer Hacktechnik (Serie EKP) und eines der Firma Horsch gekommen. Letztendlich wurde vom Projektpartner Horsch eine in der Erprobung befindliche leichtere Version der Horsch Transformer VF- Hackaggregate zur Verfügung gestellt. Diese wurden mittels eines Adapters an den Roboter angebaut.

Zur Planung der Fahrspuren des Roboters und damit zur Führung der Hackwerkzeuge können die von der Aussaat bekannten Pflanzenpositionen verwendet werden. Hierzu wird im Anschluss an die Aufzeichnung der Pflanzenpositionen direkt der Routenplan für den Hackvorgang generiert. Die Übertragung der geplanten Fahrspuren erfolgt derzeit auf Wunsch von Firma Hentschel in einer .plan-Datei. Dieses Dateiformat kann von der Robotersteuerung direkt eingelesen und verarbeitet werden. Alternative Dateiformate sind möglich, wie z.B. das in der Landwirtschaft gängige ISO-XML-Format. Hierdurch wäre eine Übertragung der Fahrspuren/ Pflanzenreihen auch auf Schlepper möglich, um weitere Bearbeitungsschritte durchführen zu können.

Der Roboter wurde mit der Hackeinrichtung im Zuckerrübenbestand mit einer Reihenweite von 45 cm getestet. Bei diesen Versuchen wurde eine Bearbeitungsbreite von 30 cm eingestellt, woraus ein theoretischer Abstand von Schar zur Reihenmitte von 7,5 cm resultiert. In den Abbildungen 4 und 5 ist die Wirkung des Hackvorgangs nach einmaligem Einsatz deutlich zu erkennen. Die Fotos sind bei einem Funktionstest entstanden. Bei weiteren Versuchen in



Abbildung 4 u. 5: Einsatz vom Hackgerät am Roboter. Links am Hacktermin, rechts 5 Tage später. Jeweils unbearbeitete Fläche angrenzend.

Göttingen wurden durch die unzureichende Spurführung des Roboters teilweise die Rüben geschädigt oder komplett weggehackt, sodass auch hier keine Auswertung erfolgen konnte.

Bei verbesserter Spurführung des Roboters kann die Bearbeitungsbreite der Hackschare vergrößert werden, sodass näher an die Rübenreihen gehackt werden kann. Unter Einbeziehung der GPS-Toleranzen bei Aussaat und Hacken könnte ein Abstand von 5 cm zur Pflanzenreihe erreicht werden. Unter zusätzlicher Verwendung einer kameragestützten Präzisionsführung des Hackgeräts sind auch noch geringere Abstände zur Kulturreihe denkbar. Dies müsste in weiteren Untersuchungen überprüft werden.

AP 6 Entwicklung Punktapplikation für Roboterplattform und Großflächenspritze

Für die Entwicklung der Punktapplikation mit dem Roboter wurden zunächst die Anforderungen definiert und die notwendigen Komponenten für den 3-reihigen Testaufbau beschafft. Aufgrund der maximalen Zuladung der Roboterplattform von 300 kg wurde ein Tankvolumen von 200 l ausgewählt. Da der Roboter elektrisch angetrieben wird, ist eine Elektro-Membranpumpe sinnvoll. Ausgehend vom maximalen Durchfluss der Düsen in Höhe von 2,2 l/min für 4 Düsen der Größe 01 wurde eine Pumpe mit einer Förderleistung von max. 4,3 l/min ausgewählt, die einen maximalen Druck von 10 bar erzeugen kann. Zum punktgenauen Ein- und Ausschalten der Düsen werden elektrisch geschaltete Ventile verwendet, die speziell für die pulsweitenmodulierte Applikation entwickelt wurden. Bei der Punktapplikation werden dieselben Düsen wie für die Bandapplikation verwendet, da diese eine gleichmäßige Querverteilung der Einzeldüse aufweisen.

Zur Überprüfung der grundlegenden Eignung von Düse und PWM-Ventil für die Punktapplikation wurden diese auf der Labor-Applikationsstrecke des Instituts untersucht. Nach eingehenden Tests zum Öffnungs- und Schließverhalten und zur minimalen Einschaltdauer des Ventils konnte festgestellt werden, dass das Ventil für mindestens 10 ms angesteuert werden muss, um zu öffnen und dabei 30 ms geöffnet bleibt. Für die geplanten Fahrgeschwindigkeiten des Prototyps ist dieses Verhalten ausreichend, da bei einer Fahrgeschwindigkeit von 1 m/s die Ventile für einen 10x10 cm großen Spot unter Berücksichtigung des Spritzfächers der Düsen 89 ms geöffnet sein müssen.

In weiteren Untersuchungen wurde die Verteilgenauigkeit bei der Punktapplikation ermittelt. Hierzu wurden auf der Labor-Applikationsstrecke Versuche mit einer wässrigen Lösung des fluoreszierenden Farbstoffs Pyranin durchgeführt. Appliziert wurde bei einem Spritzdruck von 2 bar, 4 bar und 6 bar und mit Zielflächenabständen von 15 cm und 20 cm. Als Zielfläche wurde ein waagrecht ausgelegtes Kunststoffgewebe (Tyvek) verwendet, das anschließend analysiert wurde. Abbildung 6 zeigt eine solche Punktapplikation, bei der die Tropfen durch UV-Beleuchtung sichtbar gemacht werden.

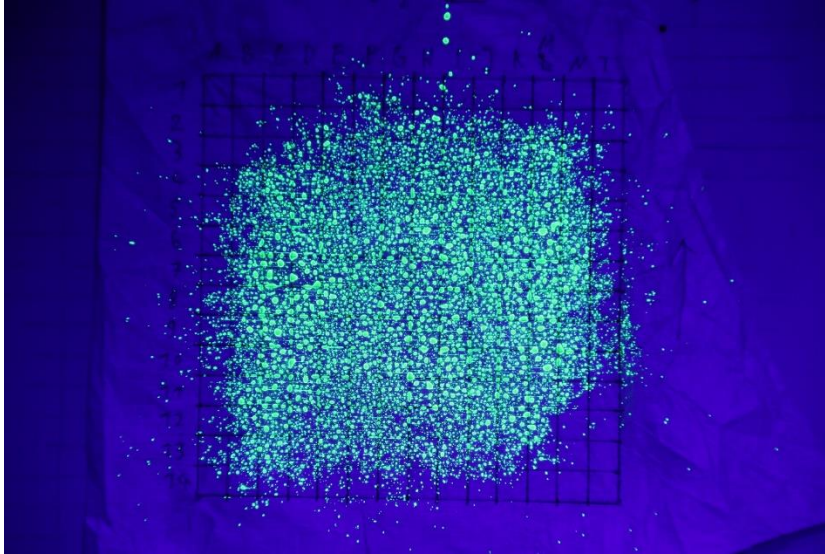


Abbildung 6: Punktapplikation mit Farbstoff Pyranin auf Tyvek, verstärkt durch UV-Beleuchtung. Düse Agrotop RowFan 40-01E; Druck 2 bar; Zielflächenabstand 15 cm; Rastergröße 1x1 cm

Die Analysefläche wurde nach der Applikation bei Umgebungsbedingungen getrocknet, in kleine Quadrate geschnitten und der Farbstoff mit einer definierten Menge Wasser von den ausgeschnittenen Quadraten abgespült. Die abgespülte Lösung wurde fluorometrisch analysiert und hinsichtlich der Verteilung des Farbstoffs ausgewertet.

Die Spritzbilder zeigen deutlich abgegrenzte Spots. Bei einem Druck von 2 bar und der für die Untersuchungen gewählten Fahrgeschwindigkeit von 1 m/s (3,6 km/h) und 15 cm Zielflächenabstand wird je Spot eine Fläche von 10x10 cm mit einer durchschnittlichen Aufwandmenge von 533 l/ha benetzt. Für die Versuche wurde eine sehr niedrige Fahrgeschwindigkeit von 1 m/s gewählt, um den Versuchsaufbau zu entwickeln. Bei höheren Fahrgeschwindigkeiten verringert sich die Aufwandmenge entsprechend.

Die Anwendung einer einzelpflanzenspezifischen Punktapplikation mit einem konventionellen Großflächen-Feldspritzgerät, wie es im AP 3 zur Bandapplikation verwendet wurde, stellt mehrere Herausforderungen dar. Bei großen Gestängebreiten von aktuell meist 27 bis 36 m treten an den Gestängeenden durch Bodenunebenheiten und Kurvenfahrten horizontale Schwingungen in Fahrtrichtung auf. Eine punktgenaue Applikation bedarf jedoch einer exakt berechneten Düsenposition, die durch diese Schwingungen nur schwierig umgesetzt werden kann. Stabile Spritzgestänge mit geringeren Arbeitsbreiten könnten eine punktgenaue Applikation ermöglichen, was in weiteren Untersuchungen bestätigt werden muss. Geringere Anforderungen an die Genauigkeit stellt das Patchspraying, also die Applikation auf Unkrautnester mit einer Größe von min. 50x50 cm. Da dies allerdings ein vollkommen anderer Ansatz ist und bereits marktverfügbar ist, wird hierauf nicht weiter eingegangen.

AP 7 Parzellenversuche

In Parzellenversuchen sollten verschiedene Szenarien zur Aussaat mit dem Roboter und der GeoSeed-Ausstattung (Kverneland Monopill) angelegt werden. Diese sollten im weiteren Verlauf durch den Roboter gehackt und teils mit der Punktapplikation durch den Roboter gespritzt werden. Die Einteilung der Szenarien mit ihren unterschiedlichen Kombinationen der Unkrautbekämpfungsmaßnahmen wird in AP8 (Szenarienvergleiche in Praxis und Technikfolgenabschätzung) und in Abb. 9 dargestellt.

Die Parzellenversuche wurden im Jahr 2022 am Standort Sieboldshausen und 2023 an den Standorten Sieboldshausen und Lenglern auf Flächen des IfZ in Göttingen angelegt. Hierbei wurden je Szenario zwei Parzellen ausgesät. Mit der Einzelkornsämaschine am Schlepper wurden für zwei Szenarien somit je Standort vier Parzellen gesät. Ebenso wurde mit der Roboteraussaat verfahren. Durch die praxisbewährten Komponenten der am Schlepper angebauten Sämaschine ist die Tiefe und Qualität der Einbettung der Saatpillen gut an unterschiedliche Bodeneigenschaften anpassbar. Abhängig von der Wasserverfügbarkeit müssen die Rübenpillen flacher oder tiefer gelegt werden. Optimale Maschineneinstellungen bei der Aussaat und gute Witterungsbedingungen während der Auflaufphase führten zu hohen und gleichmäßigen Feldaufgängen. Zur Bewertung des Feldaufgangs und der Pflanzenanordnung wurden durch das IfZ georeferenzierte Luftbildaufnahmen mit der Drohne von Teilbereichen der Parzellen aufgenommen. Auf diesen Bildern wurden die Positionen der Rübenpflanzen bestimmt und jeder Pflanze eine GPS-Koordinate zugeordnet. Abbildung 7 zeigt für einen Ausschnitt die Luftbildaufnahme, die daraus ermittelten Pflanzenpositionen (blaue Punkte) sowie die bei der Aussaat aufgezeichneten Pflanzenpositionen in Gelbgrün. Es sind visuell nur geringe Abweichungen erkennbar.



Abbildung 7: Luftbildaufnahme eines Versuchs zur Ablagegenauigkeit der Kverneland Monopill. Vergleich der Pflanzenpositionen aus Luftaufnahme ermittelt (blaue Punkte) und während der Aussaat aufgezeichnet (gelbgrüne Punkte)

Die Auswertung der Ablagegenauigkeit der Sämaschine erfolgte auf Basis der Parzellenversuche sowohl über die bei der Aussaat aufgezeichneten GPS-Koordinaten der Pflanzen, als auch auf Basis der über die Luftaufnahmen bestimmten Pflanzenpositionen. Hierzu wurde ein virtuelles Gitter über die betrachtete Fläche gelegt, dessen Knotenpunkte entsprechend des idealen Reihen- bzw. Pflanzenabstands zueinander angeordnet sind. Anschließend wird der Abstand der GPS-Koordinate zum nächstgelegenen Gitterknoten berechnet. Die Gesamtheit dieser Abweichungen geht je Saatreihe in ein Boxplotdiagramm ein, das für einen Versuch, bestehend aus zwei nebeneinanderliegenden Parzellen à 2 Arbeitsbreiten, in Abb. 8 dargestellt ist.

Während der Aussaat wird die Sämaschine von demselben GPS-Signal gesteuert, wie es zur Aufzeichnung der Pflanzenposition genutzt wird. Daher sind die Abweichungen vom idealen Gitter deutlich geringer, als bei der anschließenden Drohnenbefliegung. Da das GPS-System des Schleppers auch mit RTK-Korrektur eine maximale Genauigkeit von nur +/- 2 cm erreichen kann, ist die Streuung der tatsächlichen Pflanzenpositionen entsprechend größer. Hinzu kommt, dass eine Rübepflanze nicht immer senkrecht aus dem Saatkorn bzw. dem Boden herauswächst.

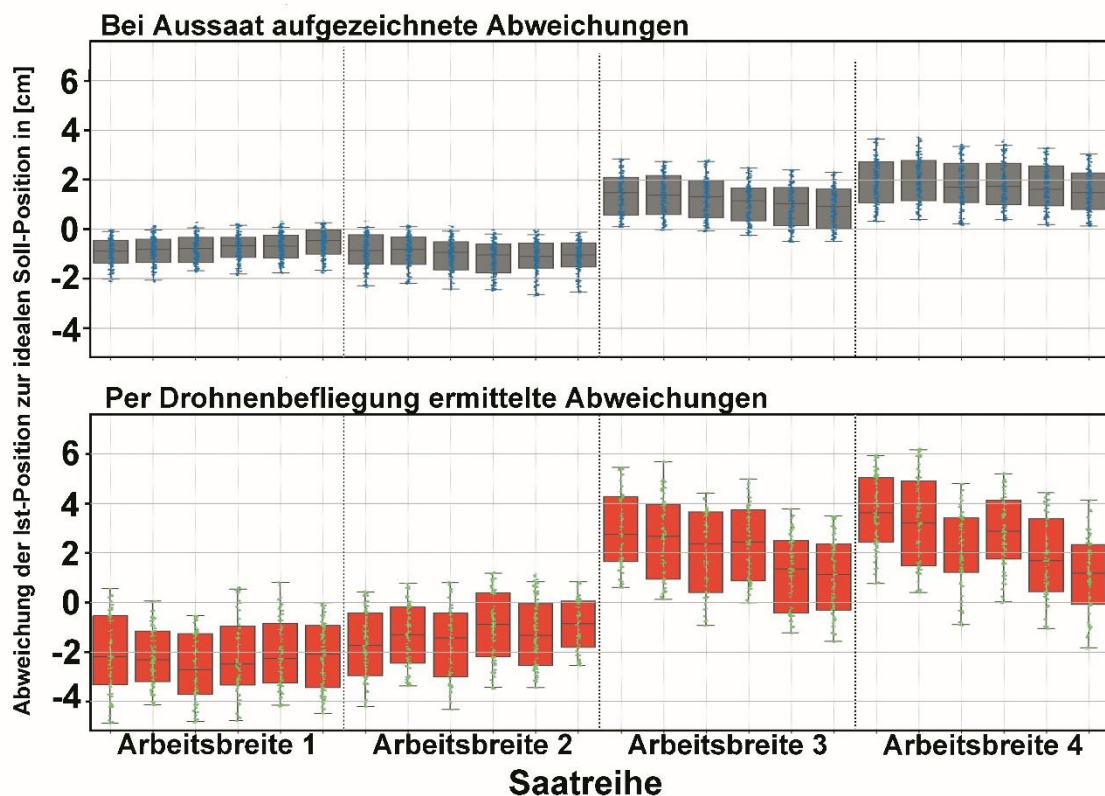


Abbildung 8: Abweichungen der bei der Aussaat aufgezeichneten bzw. per Drohnenbefliegung ermittelten Pflanzenpositionen je Reihe bei 4 Arbeitsbreiten.

Bei den Arbeitsbreiten 1 und 2 in Abb. 8 ist in dieselbe Richtung ausgesät worden, da es sich hierbei um eine Parzelle handelt. Bei den Arbeitsbreiten 3 und 4 ist in genau entgegengesetzter Richtung gesät worden. Der entstandene Offset ist für einen exakten Rechteckverband in der Maschinensteuerung einstellbar und muss zu Beginn jedes Ackers ermittelt werden. Dies muss in Zukunft in der Praxis durch die ermittelten Daten automatisch erfolgen können.

Im Rahmen der technisch bedingten Toleranzen stellt diese Art der Pflanzenpositionserfassung eine gute Grundlage für eine anschließende mechanische Unkrautbekämpfung dar. Unter Berücksichtigung der GPS-Genauigkeit sollte das Hackgerät so eingestellt sein, dass ein Bereich von 5 cm um die Pflanzenposition unbearbeitet bleibt.

Eine Bewertung der Hackqualität des Roboters konnte nicht erfolgen. Die Probleme mit der Spurführung des Roboters konnten im Projektzeitraum nicht behoben werden, so dass keine verwertbaren Versuche durchgeführt werden konnten.

AP 8 Szenarienvergleiche in Praxis und Technikfolgenabschätzung

Für die Szenarienvergleiche in der Praxis wie auch für die vorausgehenden Parzellenversuche ist einsatzsichere Technik sowie Erfahrung unter verschiedenen Einsatzbedingungen notwendig. Geplant war ein Vergleich von vier verschiedenen Szenarien untereinander mit

einer konventionellen Referenzvariante. Die vier Szenarien sollten sich, wie in Abb. 9 dargestellt, zusammensetzen. Aufgrund der technischen Herausforderungen wurden nicht alle Szenarien wie geplant durchgeführt.

	Szenario				Ref.
	1	2	3	4	A
Aussaat					
Rechteckverband konventionell, GeoSeed	x	(x)	x	(x)	x
Rechteckverband georeferenziert, Roboter		x		x	
Hacken					
Längshacken konventionell, Schlepper	x		x	x	
Längshacken, Roboter		x			
Querhacken, Roboter (getrennte Überfahrt)	x	x		x	
Spritzen					
vollflächig konventionell					x
Großflächen-Bandspritzgerät			x		
Punktapplikation Roboter (Kultur)				x	

(x) zusätzliche/alternative Aussaat im Feld

Abbildung 9: Geplante Szenarien für Aussaat, Hacken und Spritzen.

Hierbei erreichten wie zuvor beschrieben die georeferenzierte Aussaat im Rechteckverband mit der schleppergebundenen Sämaschine und die Bandapplikation mit dem Großflächen-Feldspritzgerät den Status „einsatzbereit“. Die Maschinen zum konventionellen Längshacken mit einem Schlepper sind seit langer Zeit Stand der Technik. In den Szenarien 1, 2 und 4 bildet das Querhacken mit dem Roboter hingegen einen wesentlichen Bestandteil, der in Szenario 2 auch durch Längshacken mit dem Roboter und in Szenario 4 mit der Punktapplikation durch den Roboter ergänzt werden sollte. Da mit dem Roboter die wesentliche Technik für drei von vier Szenarien aufgrund der Spurführungsprobleme nicht zur Verfügung stand, ergab sich innerhalb der Projektlaufzeit keine Gelegenheit, den Szenarienvergleich durchzuführen.

Szenario 3 als Kombination der Arbeitsschritte Längshacken und Bandapplikation wurde beim Projektpartner Horsch mit mehreren Partnerbetrieben durchgeführt. Dieses eine Szenario ist allerdings nicht ausreichend für eine aussagekräftige Technik-Folgen-Abschätzung. Hierzu hätten auch die anderen Szenarien durchgeführt werden müssen.

AP 9 Querschnittsthemen

Der Fokus im Arbeitspaket 9 lag seitens des JKIs neben der Präsentation des Projektes und dessen Ergebnissen in der Projektleitung und -koordination. Um einen regelmäßigen Informationsaustausch zwischen den Projektpartnern zu gewährleisten, wurde zusätzlich zu

den halbjährlichen Projekttreffen monatlich Videokonferenzen durchgeführt und bei Bedarf um kurzfristige Termine ergänzt. In Tabelle 1 sind die Kernthemen der Projekttreffen zusammengefasst.

Tabelle 1: Termine der Projekttreffen mit Themen

	Ort	Thema
22.02.21	Videokonferenz	Kick-Off-Meeting; Vorstellung der Projektpartner; Besprechung des Arbeits- und Zeitplans
26.10.21	Braunschweig	Aktueller Stand nach erster Vegetationsperiode; Maschinenentwicklung und –beschaffung
04.05.22	Göttingen	Geplant: Begutachtung Roboter/ Schlepperaussaat Durchgeführt: Besprechung Versuchsdesign; Versuchsplanung zur Bandspritzung mit Horsch Feldspritzgerät
27.10.22	Schwandorf	Ergebnisse und Herausforderungen des ersten Versuchsjahres; Spurführung von Roboter und Schlepper → unzureichende Spurführung vom Roboter
09.05.23	Hannover	Versuchsplanung für Göttingen (2 Standorte) für die Saison 2023;
08.11.23	Videokonferenz	Vorbereitung des Abschlussberichts

Zur Außendarstellung des Projekts wurden seitens des JKIs die in Tabelle 2 aufgeführten Termine wahrgenommen. Eine Präsentation des Roboters war auch für die Agritechnica 2021 im Februar 2022 geplant, hat allerdings durch den coronabedingten Ausfall der Veranstaltung nicht stattgefunden.

Tabelle 2: Veranstaltungsbeiträge

Datum	Veranstaltung	Thema der Präsentation
10.06.21	Forum Zuckerrübe Nord	Projektpräsentation
17.05.22	Feldtag Digitale Hacktechnik vom LLH	Entwicklungsgeschichte der Hacktechnik im Zuckerrübenanbau vom Pferdezug über kombinierte Verfahren in den 1960ern zur aktuellen Technik. Als Ausblick über zukünftige Entwicklungen folgte eine Projektvorstellung.
10.06.22	Vorlesung Innovative Pflanzenschutztechnik	Projektpräsentation
14.06. – 16.06.22	DLG-Feldtage	Präsentation des Roboters zusammen mit Firma Hentschel sowie eines Posters am Stand der BLE-Innovationsförderung; Projektvorstellung im Rahmen eines DLG-Forums
08.03. – 10.03.23	Wissenschaftstagung ökologischer Landbau	Präsentation von Ergebnissen der Versuche zur georeferenzierten Aussaat mit der schleppergebundenen Sämaschine
26.09. – 29.09.23	Deutsche Pflanzenschutztagung	Präsentation von Ergebnissen der Versuche zur georeferenzierten Aussaat mit der schleppergebundenen Sämaschine

27.02. – 29.02.24	Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung	Entwicklung einer Punktapplikation für die Anwendung von Herbiziden in Reihenkulturen
----------------------	---	--

Um bereits im Jahr 2021 zu Beginn des Projekts erste Erfahrungen auf dem Gebiet der mechanischen Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben, insbesondere auch unter Verwendung der Kverneland Monopill mit GeoSeed-Ausstattung, zu sammeln, wurde vom IfZ eine Beteiligung an einem Versuch des Experimentierfeldes „Farmerspace“ ermöglicht. Hierbei konnten wichtige Erkenntnisse zur korrekten Bedienung und Einstellung der Sämaschine gesammelt werden.

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Als wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises beim JKI sind die Personalkosten für die Position des wissenschaftlichen Mitarbeiters und des Ingenieurs zu nennen. Diese machten einen Anteil von ca.80 % an den beim JKI angefallenen Gesamtkosten für das Vorhaben aus. Weitere große Positionen sind die Einzelkornsämaschine (11%) und die Miete des Schleppers (7,5%). Einen geringeren Anteil machten Reisekosten für Treffen mit den Projektpartnern sowie für Teilnahme an Tagungen und die Kosten für Verbrauchsmaterial aus.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Zur Erreichung der Ziele des European Green Deal sind in verschiedenen Bereichen umfangreiche Maßnahmen und Forschungsarbeiten notwendig. Im Bereich der Landwirtschaft ist eines der zentralen Ziele, den Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln bis 2030 um 50% zu reduzieren. Dies ist mit dem aktuellen Stand der Technik in Kulturen wie der Zuckerrübe nur mit einem intensiven Einsatz von Handarbeit möglich, wodurch die Produktionskosten in erheblichem Maße steigen würden. Dies hätte u.a. einen Rückgang der heimischen Zuckerproduktion zur Folge. Um die Ziele des Green Deal zu erreichen und dennoch die Produktionskosten in einem wirtschaftlichen Rahmen zu halten, sind neue Techniken zu entwickeln, zu erproben und miteinander zu vergleichen. Im Rahmen dieses Projekts wurde ein Roboter entwickelt, der die Aussaat und die mechanische sowie optional die chemische Unkrautbekämpfung durchführen soll. Im Laufe der Bearbeitungszeit stellte sich ein weiterhin hoher Entwicklungsbedarf bei der Navigation und Spurführung des Roboters heraus. Demzufolge sind in diesem Bereich vermehrte Funktionstests im Feld durchgeführt worden.

Zeitgleich wurden die notwendigen Werkzeuge für den Roboter konzipiert und an die Plattform angepasst. Für Aussaat und mechanische Unkrautbekämpfung konnten die ausgewählten Werkzeuge ersten Funktionstests im Feld unterzogen werden. Die Einrichtung zur Punktapplikation konnte nicht im Feld getestet werden, da die Integration der Ansteuerung in den Roboter der Verbesserung der Spurführung untergeordnet wurde. Die Eignung der Komponenten (Pflanzenschutzdüsen und Schaltventile) für den geplanten Einsatzzweck hingegen wurde im Rahmen einer Masterarbeit im Labor nachgewiesen.

Die Untersuchungen zur Bandapplikation mit einem konventionellen Großflächen-Feldspritzengerät des Projektpartners Horsch verliefen erfolgreich. Mit dieser Technik in Kombination mit einem Hackgerät ist mit relativ geringem Mehraufwand eine Pflanzenschutzmitteleinsparung bis zu 60 % erreichbar. Allerdings zeigen die bisherigen Erfahrungen, dass in kurvigen Teilflächen und am Vorgewende eine vollflächige Applikation notwendig ist.

Mit der bei JKI-AT entwickelten Technik zur georeferenzierten Aussaat von Zuckerrüben ist es erstmals möglich, die Positionen jeder einzelnen Nutzpflanze direkt während der Aussaat aufzuzeichnen. Hierbei wird eine Genauigkeit von wenigen Zentimetern erreicht. Die Pflanzenpositionen können zur Spurführung bei nachfolgenden Arbeitsschritten genutzt werden, selbst wenn die Pflanzen z.B. im Voraufbau für optische Systeme nicht erkennbar sind. Dies führt zu einer deutlich erhöhten Einsatzsicherheit der mechanischen Unkrautbekämpfung. Darüber hinaus können die Pflanzenkoordinaten auch für eine einzelpflanzenspezifische Düngung genutzt werden und bieten so auch bei anderen Anwendungen Möglichkeiten für veränderte Abläufe.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die georeferenzierte Aussaat, wie sie im Projekt OptiKult für die Einzelkornsaat von Zuckerrüben entwickelt wurde, ist direkt auf weitere Kulturarten wie z.B. Mais, Kürbis oder Sonnenblumen übertragbar. Somit eröffnet sich sowohl für die Wissenschaft als auch für die landwirtschaftliche Praxis durch die Kenntnis der genauen Pflanzenpositionen eine einzelpflanzenspezifische Bewirtschaftung und Pflege des Bestands. Weiterhin steht durch die georeferenzierte Aussaat eine Alternative zur aktuell bereits weit verbreiteten Kamerasteuerung von Hackgeräten zur Verfügung. Ein gravierender Vorteil ist vor allem, dass eine Unkrautbekämpfung bereits im Voraufbau ermöglicht wird. Auch bei starken Verunkrautungen im Frühjahr hat eine Steuerung der Hackgeräte per GPS den Vorteil, dass die Pflanzen nicht erkennbar sein müssen. Es ergeben sich somit neue Einsatzmöglichkeiten und Einsatzzeiträume bei der mechanischen Unkrautbekämpfung.

Weiterhin können georeferenzierte Pflanzenpositionen beim selektiven Hacken dahingehend unterstützen, dass die Bilderkennung nur einen kleinen Bereich detailliert auswerten muss. Dies führt zu einer deutlichen Verringerung der benötigten Rechenkapazität.

II.5 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Auf dem Gebiet des Vorhabens sind in den Bereichen der chemischen und mechanischen Unkrautbekämpfung verschiedene Neuheiten bekannt geworden. Im Bereich der georeferenzierten Aussaat von landwirtschaftlichen Kulturen hingegen sind neben dem bereits in der Projektbeschreibung für Aussaat und Hacken genannten Farmdroid-Roboters keine marktfähigen oder im Entwicklungsstadium befindlichen Produkte veröffentlicht worden.

Im Bereich der nicht-chemischen Unkrautbekämpfung sind im Laufe der Projektlaufzeit diverse Verbesserungen, Weiterentwicklungen und neuartige Ansätze vorgestellt worden. Neben der kontinuierlichen Verbesserung der Bilderkennung zur Reihenführung von Hackgeräten schreitet auch die Entwicklung der InRow-Hackgeräte mit KI-Bildverarbeitung weiter voran.

Ebenso wird eine KI-Bildverarbeitung bei Verfahren zur laserbasierten Unkrautbekämpfung genutzt, um die Nutzpflanze vom Unkraut zu unterscheiden. Bei der laserbasierten Unkrautbekämpfung wird ein Laserstrahl punktgenau in den Vegetationskegel der Unkrautpflanze gelenkt, wodurch diese ohne weiteren Eingriff in den Boden oder die Umwelt nachhaltig geschädigt wird. Haupteinsatzgebiete hierfür sind bisher Sonderkulturen, insbesondere Salat und Karotten. Dieses unter dem Namen Laser-Weeding bekannte Verfahren ist in Deutschland noch im Forschungsstadium (u.a. Laser-Zentrum Hannover) bzw. wurde auf der Agritechnica 2023 durch die Firmen Weedbot und Kult Kress gemeinsam vorgestellt. In den USA hingegen ist bereits ein System von Carbon Robotics am Markt.

Weiterhin wird an einer Unkrautbekämpfung mittels Wasserstrahl geforscht, bei der ein Hochdruckwasserstrahl, ähnlich wie der Laserstrahl, zielgerichtet auf die Unkrautpflanze geschossen wird. Ziel ist, dass der Vegetationskegel der Unkrautpflanze nachhaltig zerstört wird. Hierzu laufen insbesondere an der HFWU Nürtingen Versuche im Projekt „SpotteeJet“.

Im Bereich des chemischen Pflanzenschutzes wurden im Projekt „OptiKult“ die Themen Bandapplikation mit Großflächen-Feldspritzgerät sowie einzelpflanzenspezifische Punktapplikation mit Robotik betrachtet. Einrichtungen zur Bandapplikation mit Großgeräten werden mittlerweile neben dem Projektpartner Horsch auch von den Firmen Dammann, Amazone und Agrifac angeboten. Während bei Geräten von Amazone und Agrifac lediglich die Ansteuerung der Düsen angepasst wird und Reihenweiten von 50 oder 75 cm möglich sind, wird bei Geräten von Horsch und Dammann der Düsenbalken per Bilderkennung den Reihen entsprechend gesteuert. Bei dem System von Horsch wird das Spritzgestänge über

eine Ansteuerung der Achsschenkellenkung so geführt, dass sich die Düsen über den Pflanzenreihen befinden. Zusätzlich sorgen im Projekt entwickelte Winkelkappen dafür, dass der Spritzfächer der Bandspritzdüsen um 5 bzw. 10 cm zur Seite verlagert wird. Durch eine Kombination der Düsenkappen am Gestänge kann so auch die in Zuckerrüben verbreitete Reihenweite von 45 cm behandelt werden.

Firma Dammann hingegen setzt bei ihrem System auf einen zusätzlichen Düsenbalken an dem die Düsen vollkommen frei positioniert werden können, der an einem Parallelogramm unter das eigentliche Gestänge gehängt wird. Es sind somit beliebige Reihenabstände möglich. Der zusätzliche Düsenbalken kann in seiner Arbeitsbreite entsprechend der Arbeitsbreite der Sämaschine gestaltet sein. Jedes Balkensegment wird von einer separaten Kamera exakt geführt. So stellen ungenaue Anschlussfahrten während der Aussaat kein Problem dar.

Für eine Punktapplikation im Sinne des Projekts ist im Jahr 2021 auf Basis des Farmdroids ein Prototyp von Amazone aufgebaut worden. Im Jahr 2022 sind vom deutschen Importeur OrganicAgrar und der Berner Fachhochschule jeweils ein weiterer Prototyp gebaut worden. Zur Agritechnica 2023 präsentierte Farmdroid eine eigene Version, die voraussichtlich so in den Handel gehen wird. Alle vier Versionen applizieren auf Grundlage der berechneten Rübenposition genau in den Bereich, in dem nicht gehackt wird.

Darüber hinaus sind während der Projektlaufzeit verschiedene Präzisionspflanzenschutzgeräte vorgestellt worden, die per Bildanalyse Unkräuter von den Nutzpflanzen unterscheiden können und diese gezielt mit einem Herbizid bekämpfen. Allen voran ist hier der 2021 von Ecorobotix vorgestellte ARA zu nennen, der einen minimalen Bereich von 6x6 cm über einer Unkrautpflanze appliziert. Weitere Geräte sind beispielsweise zur Ampferbekämpfung im Grünland entwickelt worden. Weitere Roboter zur gezielten Punktapplikation hingegen sind bisher eher für den Gemüsebau konzipiert. Beispiel hierfür ist der Kilter AX1 aus Norwegen.

II.6 Erfolgte Veröffentlichungen

Veröffentlichungen in Praxiszeitschriften

Tomforde, M.; von Hörsten, D.; Fishkis, O.; Koch, H.-J. 2023. Georeferenzierte Aussaat für eine gezielte Unkrautbekämpfung. Zuckerrübe 6 (J. 72).

Fishkis, O.; Stangl, J.; Tomforde, M.; Koch, H.-J. 2024. Wie präzise ist die Herbizidapplikation in Streifen? Zuckerrübe 2 (J. 73).

Vorträge

Tomforde, M. (2021): Optimierung von Verfahren kombiniert chemisch-mechanischer und mechanischer Unkrautbekämpfung in Reihenkulturen, Forum Zuckerrübe Nord, 10.06.2021, online.

Tomforde, M. (2022): Kombinierte chemisch-mechanische Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben – ein Verfahren für die Zukunft, Feldtag „Digitale Hacktechnik“ vom Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, 17.05.2022, Rauschenberg.

Tomforde, M. (2022): OptiKult: Optimierung von Verfahren kombiniert chemisch-mechanischer und mechanischer Unkrautbekämpfung in Reihenkulturen, DLG Feldtage 2022, 16.06.2022, Kirschgartshausen

Tomforde, M. (2023): OptiKult: Georeferenzierte Aussaat von Zuckerrüben für eine gezielte Unkrautbekämpfung, DPG 63. Pflanzenschutztagung 2023, 26.-29.09.2023, Göttingen

Poster

Tomforde, M., Lipkowski, S. (2022): Optimierung von Verfahren kombiniert chemisch-mechanischer und mechanischer Unkrautbekämpfung in Reihenkulturen (OptiKult), DLG Feldtage 2022, 14.-16..06.2022

Tomforde, M., von Hörsten, D., Wegener, J.K. (2023): Georeferenzierte Aussaat als Basis für eine exakte mechanische Unkrautbekämpfung, Wissenschaftstagung ökologischer Landbau, 07.-10.03.2023, Frick (Schweiz)

Fishkis, O.; Tomforde, M.; von Hörsten, D.; Stangl, J.; Koch, H.-J. 2023. Optimierung der Verfahren mechanischer und mechanisch-chemischer Unkrautkontrolle in Zuckerrüben. 63. Deutsche Pflanzenschutztagung 26.-29. 09.2023, Georg-August Universität Göttingen

Abschlussarbeiten

Lass, T. (2023): Masterarbeit: Untersuchungen zur Verteilgenauigkeit bei der Punktapplikation im chemischen Pflanzenschutz, 11.11.2023, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Optimierung von Verfahren kombiniert chemisch-mechanischer und mechanischer Unkrautbekämpfung in Reihenkulturen(OptiKult)

Zuwendungsempfänger

Julius Kühn-Institut

Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz (AT)

Messeweg 11-12

38104 Braunschweig

Akronym

OptiKult

Geschäftszeichen

321-06.01-28-1-91.128-19

Förderkennzeichen

289112819

Laufzeit des Vorhabens

08.02.2021 bis 07.02.2024

Inhaltsverzeichnis

III. Erfolgskontrollbericht.....	3
III.1 Wissenschaftlich-technische Ergebnis des Vorhabens.....	3
III.2 Fortschreibung des Verwertungsplans	3
III.3 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben	4
III.4 Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung.....	5

III. Erfolgskontrollbericht

III.1 Wissenschaftlich-technische Ergebnis des Vorhabens

Im Teilprojekt des JKI wurde ein System zur georeferenzierten Aussaat entwickelt, welches erstmals die GPS-Positionen jedes einzelnen Saatkorns während der Aussaat aufzeichnet. Mit der im Laufe des Projekts herausgearbeiteten Genauigkeit des Systems von wenigen Zentimetern bilden diese Daten eine sehr gute Grundlage, um diverse Verfahren zur Bestandsführung von Einzelpflanzen zu entwickeln.

Das bisher einzige System, welches in Zuckerrüben und ähnlichen Kulturen rein auf Basis von GPS-Koordinaten sät und hackt ist der Farmdroid-Roboter. Dieser speichert die Positionen der ersten abgelegten Saatkörner und berechnet davon ausgehend die Ablageorte aller weiteren Saatkörner. Aufgrund seiner extrem geringen Fahrgeschwindigkeit von lediglich 600m/h während der Aussaat können diese berechneten Pflanzenpositionen eingehalten werden.

III.2 Fortschreibung des Verwertungsplans

FKZ:	289112819
Projekttitle:	Optimierung von Verfahren kombiniert chemisch-mechanischer und mechanischer Unkrautbekämpfung in Reihenkulturen

1. Angestrebte Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und bereits erteilte Schutzrechte		
Lfd. Nr.	Konkrete Verwertung	Zeithorizont
1.1	Eine Schutzrechtsanmeldung wird seitens des JKIs nicht angestrebt.	-

2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende		
Lfd. Nr.	Konkrete Verwertung	Zeithorizont
2.1	Direkte wirtschaftliche Erfolgsaussichten können nach Projektende nur von den beiden beteiligten Industriepartnern realisiert werden.	
2.1	Die Hauptzielsetzung des Projekts liegt in der Entwicklung, Erprobung und Bewertung von verschiedenen Verfahrenskombinationen, mit denen der Einsatz von Herbiziden beim Zuckerrübenanbau zugunsten einer mechanischen Unkrautkontrolle wesentlich reduziert oder gar vollständig entfallen kann. Durch eine erhebliche Reduzierung des Herbizideinsatzes ist eine weite Verbreitung in der Praxis sehr wahrscheinlich.	ab 2025
2.2	Während einer Markteinführungsphase nach Projektende ist damit zu rechnen, dass insbesondere Betriebe mit einem hohen Anteil an Reihenkulturen in der Fruchtfolge oder Lohnunternehmer Robotiklösungen zur Aussaat sowie zur mechanischen oder kombiniert mechanisch-chemischen Unkrautbekämpfung anwenden.	ab 2025

2.3	Mit einer Pflanzenschutzmitteleinsparung in großem Umfang werden die Risiken, die von einem Pflanzenschutzmitteleinsatz für Mensch und Naturhaushalt ausgehen, weiter minimiert. Die Ergebnisse der Innovation dienen durch eine Reduzierung des PSM-Eintrags in die Umwelt der Allgemeinheit, durch eine Verminderung des PSM-Einsatzes und der damit verbundenen Kosteneinsparung dem Landwirt und durch neue marktfähige Technologien dem Gerätehersteller.	ab 2025
-----	--	---------

3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende		
Lfd. Nr.	Konkrete Verwertung	Zeithorizont
3.1	Die Hauptzielsetzung des Projekts liegt aus wissenschaftlicher Sicht in der praxisnahen und anwenderorientierten Verwertung der Forschungsergebnisse. Die Resultate können durch die beteiligten Verbundpartner schnell in ein marktfähiges Produktumgesetzt werden.	ab 2025
3.2	Es ist geplant, die gewonnenen Erkenntnisse in Fachzeitschriften und auf Tagungen dem nationalen und internationalen Publikum zugänglich zu machen. Hier stehen neben der Wissenschaft auch die Praxis und die Beratung im Fokus, um eine schnelle und weite Verbreitung der Erkenntnisse sicherzustellen.	ab 2022
3.3	Das Projekt steigert die wissenschaftliche Expertise von JKI-AT in den Forschungsfeldern 1. mechanische und kombiniert mechanisch-chemische Unkrautbekämpfung, 2. Einsatz von Robotiklösungen im Pflanzenbau und 3. Digitalisierung in der Landwirtschaft.	ab 2021
3.4	Die gewonnenen Erkenntnisse werden in die akademische Lehre an Universitäten integriert und kritisch mit Studierenden diskutiert.	ab 2022

4. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit		
Lfd. Nr.	Nächste Phase / nächste Schritte	Zeithorizont
4.1	Als Teilaspekt des Forschungsfeldes Digitalisierung in der Landwirtschaft bietet der Einsatz von Robotik eine Basis für weitere Entwicklungen Prozessoptimierungen in Pflanzenschutz und Pflanzenbau.	ab 2022
4.2	Neue Projektideen können in den genannten Forschungsfeldern basierend auf dem Projekt entwickelt werden.	ab 2023
4.3	Für die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses können somit attraktive Stellen angeboten werden.	ab 2024
4.4	Die Forschungsergebnisse werden in Lehrveranstaltungen im Themengebiet Pflanzenschutztechnik einbezogen, die seitens des Antragsstellers an mehreren Universitäten durchgeführt werden. Somit werden die Ergebnisse künftigen Entscheidungsträgern schnell zugänglich gemacht.	ab 2022

III.3 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Im Verlaufe des Projekts wurden viele Feldversuche zur georeferenzierten Aussaat am Standort Braunschweig durchgeführt. Die Bewertung der Aussaatgenauigkeit im Rechteckverband und die Übereinstimmung der aufgezeichneten GPS-Daten zu den tatsächlichen Pflanzenstandorten (bezogen auf auffällige Muster in den Daten) erfolgte zumeist visuell und subjektiv. Versuche, den Abstand zwischen den Pflanzen in einer Reihe systematisch zu messen, wurden aufgrund sehr geringer Flächenleistung und geringer Aussagekraft bezüglich des Saatmusters (Rechteckverband) verworfen. Auch Versuche die Pflanzenpositionen auf dem Feld mit einem GPS-Handmessgerät aufzunehmen, wurden

aufgrund mangelnder Präzision und Wiederholgenauigkeit verworfen. Problem bei dieser Methode ist, dass das GPS-Signal zwar per RTK korrigiert wird und somit eine Genauigkeit von 2-3 cm erreichen kann, das Gerät aber an einem 2 m langen Stab montiert ist, um Abschattungen durch den Bediener zu vermeiden. Hierbei kommt es unvermeidlich dazu, dass das Handmessgerät während der Messung nicht exakt senkrecht über dem zu vermessenden Punkt gehalten wird. Folglich entstehen ungenaue Messwerte. Um eine objektive Betrachtung des Bestands hinsichtlich Aussaatmuster durchführen zu können, bleibt die Befliegung mittels Drohne, wie sie vom IFZ durchgeführt wurde, als einzige Methode bestehen.

Größere Probleme hat auch der eingesetzte Mietschlepper bereitet, da dieser fehlerhafte GPS-Daten zur Verfügung gestellt hat. Dies wird seitens des Herstellers behoben, während der Projektlaufzeit konnte lediglich ein alternativ eingesetzter GPS-Empfänger Abhilfe schaffen.

Versuche die Firma Hentschel bei der Spurführung des Roboters zu unterstützen, blieben auf die Erstellung unterschiedlicher Testfälle und beratende Tätigkeiten beschränkt, da die Ansteuerung des Roboters nur über einen Laptop mit verschiedenen miteinander verknüpften Programmen möglich ist. Anregungen zu alternativen Roboterkonzepten, die von Grund auf neu aufgebaut werden müssten, wurden mit Verweis auf „nur noch kleine Unstimmigkeiten“ verschoben. Mit einem radgetriebenen Roboterkonzept mit klassischer Lenkung und einer darauf angepassten Spurführung wäre voraussichtlich ein anderes Ergebnis erzielt worden. Gerade die Ansteuerung einer Differentiallenkung im Raupenfahrzeug bei stark wechselnden Untergründen und Beladungszuständen stellt erhebliche Herausforderungen an die Regelungstechnik.

Im Verlaufe des dritten Projektjahres wurde intensiv über eine Verlängerung des Projekts bis Ende 2024 diskutiert. Ziel wäre es gewesen, eine weitere Vegetationsperiode für die abschließenden Feldversuche in der Praxis nutzen zu können, um daraus auch eine Technik-Folgen-Abschätzung erstellen zu können. Grundvoraussetzung hierfür wäre eine garantierte Einsatzbereitschaft der gesamten Technik gewesen, die für ein weiteres Projektjahr 2024 nicht sichergestellt werden konnte. Folglich wurde einvernehmlich keine Verlängerung des Projekts beantragt.

III.4 Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung.

Der aufgestellte Zeitplan wurde durch verspätete Lieferungen wichtiger technischer Komponenten (Einzelkornsämaschine, Säaggregate) im ersten Projektjahr 2021 verzögert, wodurch sich die Arbeiten am JKI in dem Jahr weitestgehend auf Recherche und Planung beschränkten. Mit Lieferung der Sämaschine Ende November 2021 (ursprünglicher Liefertermin Juli) konnte mit den Detailplanungen begonnen werden und nach der

Maschineneinweisung durch den Hersteller Mitte März 2022 mit den notwendigen Umrüstungen. Somit entfiel die Saison 2021 komplett für Feldversuche. Die Saison 2022 und 2023 wurden für Feldversuche trotz widriger Witterungsbedingungen soweit effektiv genutzt, dass die georeferenzierte Aussaat erfolgreich getestet und abgeschlossen werden konnte. Weiterhin wurden diverse Versuche zur Steuerung des Roboters mit Sä- und Hackgeräten von der Firma Hentschel begleitet und unterstützt. Die Fortschritte in diesem Bereich werden maßgeblich im Bericht vom Projektpartner Hentschel beschrieben.

Seitens JKI-AT konnten einige ursprünglich geplante Versuche wie Funktionstests der Säaggregate des Roboters im Labor nicht durchgeführt werden, da der Roboter über keine geeignete Bedienoberfläche verfügte. So wurden die verbleibenden Testzeiträume mit Firma Hentschel vorrangig für Spurführungstests genutzt. Versuche mit der Punktapplikationseinheit am Roboter konnten auf Grund der Spurführung ebenfalls nicht durchgeführt werden. Entsprechend wurden die Parzellenversuche zwar mit der schleppergebundenen Sämaschine durchgeführt, aber nicht mit dem Roboter verglichen.

Die Kostenplanung für die Mieten des Schleppers und für die Beschaffung der Sämaschine und Säaggregate entsprach den tatsächlich entstandenen Ausgaben. Für die Umrüstung der Sämaschine auf georeferenzierte Aussaat sind durch Nutzung geeigneter günstiger Komponenten und vorhandener Sensorik weniger Kosten im Bereich Verbrauchsmaterial entstanden als veranschlagt worden war.

Durch witterungsbedingt schwer kalkulierbare Aussaat- und Wachstumsbedingungen wurde auf studentische Hilfskräfte verzichtet. Ein weiterer Punkt war hierbei auch der Entwicklungsstand der Robotik, der einen kalkulierbaren Bedarf an zusätzlicher Arbeitskraft nicht erkennen ließ.

Aufgrund der verzögerten Lieferung der Sämaschine und des damit verbundenen Bedarfs an der Besetzung der Ingenieurs-/Bachelor-Stelle wurde diese zum Oktober 2021 besetzt. Mit Ablauf des Jahres 2022 hat der Mitarbeiter den Job gewechselt, worauf eine zweifache erneute Ausschreibung der Stelle Anfang 2023 zu keiner Neueinstellung geführt hat. Hierdurch wurden von der E10-Stelle nur 15 von den bewilligten 27 Monaten beansprucht. Die E13-Stelle hingegen wurde nach der Bewilligung schnellstmöglich besetzt und hat das Projekt maßgeblich bearbeitet.

Vom **Projektkoordinator** ist eine **öffentlichkeitswirksame Projektdarstellung** mit den Ergebnissen des Gesamtverbundes in deutscher und englischer Sprache
Diese Darstellung (max. jeweils 1000 Zeichen) dient der Veröffentlichung und sollte keine sensiblen Inhalte enthalten.

Optimierung von Verfahren kombiniert chemisch-mechanischer und mechanischer Unkrautbekämpfung in Reihenkulturen (OptiKult)

Ziel des Projektes war die Entwicklung, Erprobung und Bewertung von verschiedenen Verfahrenskombinationen, mit denen der Einsatz von Herbiziden beim Zuckerrübenanbau zugunsten einer mechanischen Unkrautkontrolle wesentlich reduziert oder gar vollständig entfallen kann.

Hierzu wurde eine Roboterplattform entwickelt, dessen Aussaat-, Hack- sowie Spot-Sprüheinrichtungen mit schlepperangebauten Geräten verglichen wurden. Es wurde eine georeferenzierte Aussaat im exakten Rechteckverband entwickelt, bei der jeder Pflanze eine GPS-Position zugeordnet wird.

Die chemische Unkrautbekämpfung der Kulturreihen wurde mittels eines mit Streifenspritzeinrichtung und kameragesteuerter Lenkung ausgerüsteten Großflächen-Feldspritzen durchgeführt. Eine Spot-Sprüheinrichtung für den Roboter wurde entwickelt, um die Einsparung von PSM weiter zu erhöhen. Die Verfahren wurden bezüglich der Genauigkeit der Anwendung in Parzellenversuchen und auf Großflächen bewertet.

Optimisation of chemical-mechanical and mechanical weed control in row crops. (OptiKult)

The aim of the project was to develop, test and evaluate various combinations of methods that can significantly reduce or even completely eliminate the use of herbicides in sugar beet cultivation in favour of mechanical weed control.

For this purpose, a robot platform was developed whose sowing, hoeing and spot spraying equipment was compared with tractor-mounted equipment. Georeferenced sowing in an exact rectangular pattern was developed, in which each plant is assigned a GPS position.

The chemical weed control of the crop rows was carried out using a large-area field sprayer equipped with a strip spraying device and camera-controlled steering. A spot spraying device for the robot was developed to further increase the savings of PPP. The methods were evaluated with regard to the accuracy of application in plot trials and on large areas.

Abschlussbericht

Thema des Forschungsprojektes

Optimierung von Verfahren kombiniert chemisch-mechanischer und mechanischer Unkrautbekämpfung in Reihenkulturen (OptiKult)

Institut

Julius Kühn-Institut, Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz

Projekt-Nr. FoPro: AT-08-1156 **Projektleiter:** Herr Wegener **Bearbeiter:** Herr Tomforde

HV- Auftragsnr.: 2484

HV-Projektsachbearbeiter: Frau Achilles

Projektlaufzeit Beginn: 08.02.2021

Ende: 07.02.2024

Finanzierung Drittmittelgeber: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)

Kurze Beschreibung der Ergebnisse bzw. Angaben zu Veröffentlichungen und Relevanz des Vorhabens für JKI und BMEL (Bezug zum Forschungsprogramm des JKI; Wissenschaftlicher Erkenntnisgewinn; Verwertbarkeit der Ergebnisse für Politik und Administration des BMEL).

Zielsetzung des Projektes ist die Entwicklung einer marktfähigen Roboterplattform zur herbizidreduzierten Unkrautbekämpfung in Reihenkulturen sowie einer verbesserten Bandspritzeinrichtung für ein Feldspritzgerät. Beide Teilbereiche werden von der Praxis intensiv beobachtet und bieten nach erfolgreicher Praxiserprobung sehr gute Möglichkeiten zur Verringerung des Herbizideinsatzes in Reihenkulturen, insbesondere in Zuckerrüben. Zudem werden unterschiedliche Kombinationen aus mechanischer und chemischer Unkrautbekämpfung miteinander verglichen. Erkenntnisse werden der Politikberatung und der landwirtschaftliche Praxis zugänglich gemacht.

Abstract für die Forschungsprogrammdatenbank in Englisch

The objective of the project is to develop a marketable robot platform for herbicide-reduced weed control in row crops as well as an improved band spraying device for a crop protection sprayer. Both sub-areas are being intensively observed by practitioners and offer very good possibilities for reducing herbicide use in row crops, especially in sugar beet. In addition, different combinations of mechanical and chemical weed control are compared with each other. Findings from this will be made available to policy advisors and agricultural practitioners.

Dieser Vordruck mit dem Zwischen-/ Abschlussbericht wurde gesendet

per E-Mail an:

LA2 (Thema Pflanzenschutz) - holger.beer@julius-kuehn.de

LA3 (Thema Pflanzenzüchtung) - florian.bittner@julius-kuehn.de

und drittmittel@julius-kuehn.de

in Papierform an:

HVH-Q

HVH-BS

21.06.2024

Datum

Unterschrift des Institutsleiters

V.

2) Kenntnisnahme:

Präsident

3) Kenntnisnahme:

Vertreter Präsident

4) Urschriftlich zurück an:

HVH-Q

HVH-BS