

Abschlussbericht der Operationellen Gruppe „Robotergestützte Unkrautregulierung im Praxistest“



Innovationsprojekt

„Digitalisierung im Bioanbau – Praxistest der automatischen Unkrautregulierung bei Bio-Möhren im 8-Spur Betrieb mittels spezieller IT-Infrastruktur bzgl. der geforderten Flächenleistung und Kostenerwartungen“

Im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft (EIP)

Wir fördern den ländlichen Raum



Landesprogramm ländlicher Raum: Gefördert durch die Europäische Union - Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) und das Land Schleswig-Holstein
Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete



Abschlussbericht der Operationellen Gruppe „Roboter- gestützte Unkrautregulierung im Praxistest“

Im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft (EIP)

Inhaltsverzeichnis

A	Kurzdarstellung	1
	I. Ausgangssituation und Bedarf	1
	II. Projektziel und konkrete Aufgabenstellung	1
	III. Mitglieder der Operationellen Gruppe (OG)	1
	IV. Projektgebiet	2
	V. Projektlaufzeit und -dauer	2
	VI. Budget	3
	VII. Ablauf des Vorhabens	3
	VIII. Zusammenfassung der Ergebnisse	4
B	Eingehende Darstellung	6
	I. Verwendung der Zuwendung	6
	II. Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn	7
	a) Ausgangssituation	7
	b) Projektaufgabenstellung	8
	III. Ergebnisse der OG in Bezug auf	8
	a) Gestaltung der Zusammenarbeit	8
	b) Mehrwert des Formates einer OG für die Durchführung des Projektes	8
	c) Weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projektes	9
	IV. Ergebnisse des Innovationsprojektes	9
	a) Zielerreichung	9
	b) Abweichungen zwischen Projektplan und Ergebnissen	9
	c) Projektverlauf	10
	d) Öffentlichkeitsarbeit während der Projektlaufzeit	21
	e) Beitrag der Ergebnisse zu förderpolitischen EIP Zielen	25
	f) Nebenergebnisse – „by-catches“	26

g) Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben	26
V. Nutzen der Ergebnisse für die Praxis	26
VI. Verwertung und Nutzung der Ergebnisse	26
VII. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit	26
VIII. Administration und Bürokratie	27
a) Bürokratischer Aufwand	27
b) Schwierigkeiten bei der Administration	28
c) Verbesserungsvorschläge	28
IX. Nutzung des Innovationsbüros (Innovationsdienstleister, IDL)	28
X. Kommunikations- und Disseminationskonzept	28
XI. Schlussfolgerung und Zusammenfassung	29

A Kurzdarstellung

I. Ausgangssituation und Bedarf

Es wird zunehmend schwieriger, Arbeitskräfte zur manuellen Unkrautregulierung zu finden. Die Qualität des Prozesses, bedingt durch die menschlichen Arbeitskräfte ist außerdem inhomogen. Der aufwändige Personaleinsatz ist bei arbeitsintensiven Kulturen im Bio-Anbau der größte Kostenfaktor. Aus diesen Gründen ist die Dörscher & Carstens (D&C) Bio GbR auf die FHW zugegangen und hat nach einer Lösung des Problems für den Biomöhrenanbau gesucht. Im Rahmen der Diskussionen hat sich die OG „Robotergetützte Unkrautregulierung im Praxistest“ formiert und das hier beschriebene Projekt durchgeführt.

II. Projektziel und konkrete Aufgabenstellung

Das Projektziel war es, einen vorhandenen Prototypen für die automatische Beikrautregulierung bei Bio-Möhren im 1-Spur Betrieb (siehe Abb. 1) auf einen 8-Spur Betrieb umzubauen, so dass er die nötige Flächenleistung für einen wirtschaftlichen Betrieb erreichen kann. Das im Rahmen dieses Projektes entwickelte System soll dabei in den nächsten Jahren die Flächenleistung und Anwenderfreundlichkeit des Systems bis zur Praxisreife sukzessiv steigern.



Abb. 1: Prototyp „Bonirob“ auf den Feldern der Dörscher & Carstens Bio GbR in Friedrichsgabekeog in Dithmarschen (1-Spur Betrieb).

III. Mitglieder der Operationellen Gruppe (OG)

Landwirtschaftliche und gartenbauliche Unternehmen der Urproduktion:

- Dörscher & Carstens Bio GbR, Rainer Carstens, Friedrichsgabekeog
- Demeterbetrieb Rolf Hach, Grothusenkoog

Forschungs- und Versuchseinrichtungen:

- Fachhochschule Westküste (FHW), Fachbereich Technik, Heide,
Prof. Dr.-Ing. Stephan Hußmann

Verbände, Vereine, landwirtschaftliche Organisationen und Körperschaften des öffentlichen Rechts:

- Versuchs- und Beratungsring Ökologischer Landbau im Norden e.V. (Ökoring e.V.),
Rendsburg, Dipl. Ing. agr. Romana Holle

IV. Projektgebiet

In Abb. 2 ist die Lage des Westhofs im Friedrichsgabekoog mit einem Fadenkreuz markiert. Die meisten Schläge die den Westhof umgeben, gehören dem Westhof oder werden von ihm gepachtet. Auf diesen Schlägen wurden die Feldarbeiten durchgeführt. Die FHW befindet sich in Heide (roter Punkt in Abb. 2). Dort wurde der Prototyp aufgebaut und die entsprechende Hard- und Software entwickelt.



Abb. 2: Felder der Dörscher & Carstens Bio GbR in Friedrichsgabekoog in Dithmarschen.

V. Projektlaufzeit und -dauer

Das Projekt startete am 01.06.2018 und endete am 31.05.2022. Laut Förderbescheid vom 08.05.2018 ging der eigentliche Förderzeitraum vom 01.06.2018-31.05.2021. Es wurde jedoch ein Änderungsantrag am 24.08.2020 auf kostenneutrale Projektverlängerung bis zum 31.05.2022 gestellt, welcher am 26.08.2020 genehmigt wurde.

VI. Budget

Das bewilligte Budget lag bei 369.368 €. Dieser Betrag wurde jedoch nicht ganz ausgeschöpft.

VII. Ablauf des Vorhabens

Für den Ablauf des Projektes wurde ein indikativer Zeitplan erstellt. Dieser ist in Tabelle 1 dargestellt. Entsprechend der zeitlichen Abwicklung und des zu erwartenden Erkenntnisgewinns wurde das Innovationsprojekt in klar voneinander abgrenzbare Arbeitspakete (AP) untergliedert. Die geplanten Personenmonate der einzelnen AP sind auch mit angegeben.

Tabelle 1: Indikativer Zeitplan mit Arbeitspaketen (AP) und Personenmonate (PM)

Arbeitsplan	geplante Projektlaufzeit (36 Monate)																																				Personenmonate FHW (1 MA)	Personenmonate D&C GbR (1/4 MA)	
	2018												2019												2020														
Arbeitspakete	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez			
AP 1 Parallelisierung Sensor-/Aktor-System																																							
1.1 Design und Realisierung	█																																				5	0	
1.2 Aufbau Teststand FHW	█																																				3	0	
1.3 Test Westhof													█																								2	0,25	
1.4 Überarbeitung S-/A-System + Teststand													█												█												8	0	
AP 2 Feldversuche																																							
2.1 Zugfahrzeug-Infrastruktur													█												█												7	2,75	
2.2 Feldversuchsplanung													█												█												1	2	
2.3 Datenauswertung (Flächenleistung)																									█												4	1	
AP 3 Übergeordnete Aspekte																																							
3.1 Feldlogistik	█												█												█												2	2	
3.2 Berichte, Doku, Koordination, Messen, etc.	█												█												█												4	1	
	Summe																																				36	9	
Meilensteine																																							
M 1	Fertigstellung Teststand													█																									
M 2	Fertigstellung S-/A-Parallelsystem													█																									
M 3	Erster Feldtest: S-/A-Parallelsystem													█																									
M 4	Fertigstellung Zugfahrzeug-Infrastruktur													█																									
M 5	Optimiertes S-/A-Parallelsystem+Teststand													█																									
M 6	Feldtest: Validierung Gesamtsystem																									█													
M 7	Optimiertes Gesamtsystem																									█													
M 8	Abschluss Dokumentation																									█													

Aufgrund der kostenneutralen Projektverlängerung, wurde dieser Plan noch einmal angepasst. Der neue indikative Zeitplan ist in Tabelle 2 abgebildet. Dort sind auch die erreichten und geplanten Meilensteine aufgeführt.

Der Zeitplan konnte durch die Projektverlängerung überwiegend eingehalten werden (siehe Tabelle 3). Das ursprünglich geplante 8-Spur-System konnte leider nicht erfolgreich umgesetzt und getestet werden. Dafür konnte aber ein 4-Spur-System erfolgreich aufgebaut und evaluiert werden. Die Untersuchung einer Drohnenbasierten Unkrautregulierung konnte leider aus Zeitgründen nicht durchgeführt werden. Dies wurde jedoch in einem Folgeprojekt in 2022 nachgeholt. Die tatsächliche Umsetzung des Zeitplans ist in Tabelle 2 aufgeführt. Eine ausführliche Schilderung des Projektablaufs folgt im Teil B in Kapitel IV. c).

Tabelle 2: Neuer indikativer Zeitplan mit Arbeitspaketen (AP) und Personenmonate (PM)

Arbeitsplan		geplante neue Projektaufzeit (48 Monate)																																																Personenmonate FHW (1 MA)
		2018				2019				2020				2021				2022																																
Arbeitspakete		Jun	Jul	Aug	Sep	Ok	Nov	Dez	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Ok	Nov	Dez	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Ok	Nov	Dez	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Ok	Nov	Dez	Jan	Feb	März	Apr	Mai	
AP 1	Parallelisierung Sensor-/Aktor-System																																																	7
1.1	Design und Realisierung																																																	3
1.2	Aufbau Teststand FHW																																																	4
1.3	Test Westhof																																																	9
1.4	Überarbeitung S-/A-System + Teststand																																																	
AP 2	Feldversuche																																																	6
2.1	Zugfahrzeug-Infrastruktur																																																	3
2.2	Feldversuchsplanung																																																	6
2.3	Datenauswertung (Flächeneistung)																																																	
AP 3	Übergeordnete Aspekte																																																	3
3.1	Feldlogistik																																																	1
3.2	Droheneinsatz																																																	6
3.3	Berichte, Doku, Koordination, Messen, etc.																																																	
		Summe																																																48
Meilensteine																																																		
M 0	Projektstart																																																	
M 1	Fertigstellung Teststand																																																	
M 2	Fertigstellung S-/A-Parallelsystem (3 Einheiten)																																																	
M 3	Erster Feldtest: S-/A-Parallelsystem (3 Einheiten)																																																	
M 4	Fertigstellung S-/A-Parallelsystem (8 Einheiten)																																																	
M 5	Erster Feldtest: S-/A-Parallelsystem (8 Einheiten)																																																	
M 6	Optimiertes S-/A-Parallelsystem+Teststand (3 Einheiten)																																																	
M 7	Optimiertes S-/A-Parallelsystem+Teststand (8 Einheiten)																																																	
M 8	Fertigstellung Zugfahrzeug-Infrastruktur (3 Einheiten)																																																	
M 9	Fertigstellung Zugfahrzeug-Infrastruktur (8 Einheiten)																																																	
M 10	Abschluss Drohnenuntersuchung																																																	
M 11	Feldtest: Validierung Gesamtsystem																																																	
M 12	Optimiertes Gesamtsystem																																																	
M 13	Abschluss Dokumentation + Projektende																																																	

■ Meilensteine wurden erreicht
■ Geplante Meilensteine

Tabelle 3: Umsetzung des Zeitplans mit Arbeitspaketen (AP) und Personenmonate (PM)

Arbeitsplan		geplante neue Projektaufzeit (48 Monate)																																																Personenmonate FHW (1 MA)
		2018				2019				2020				2021				2022																																
Arbeitspakete		Jun	Jul	Aug	Sep	Ok	Nov	Dez	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Ok	Nov	Dez	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Ok	Nov	Dez	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Ok	Nov	Dez	Jan	Feb	März	Apr	Mai	
AP 1	Parallelisierung Sensor-/Aktor-System																																																	7
1.1	Design und Realisierung																																																	3
1.2	Aufbau Teststand FHW																																																	4
1.3	Test Westhof																																																	9
1.4	Überarbeitung S-/A-System + Teststand																																																	
AP 2	Feldversuche																																																	6
2.1	Zugfahrzeug-Infrastruktur																																																	2
2.2	Feldversuchsplanung																																																	6
2.3	Datenauswertung (Flächeneistung)																																																	
AP 3	Übergeordnete Aspekte																																																	3
3.1	Feldlogistik																																																	0
3.2	Droheneinsatz																																																	5
3.3	Berichte, Doku, Koordination, Messen, etc.																																																	
		Summe																																																45
Meilensteine																																																		
M 0	Projektstart																																																	
M 1	Fertigstellung Teststand																																																	
M 2	Fertigstellung S-/A-Parallelsystem (3 Einheiten)																																																	
M 3	Erster Feldtest: S-/A-Parallelsystem (3 Einheiten)																																																	
M 4	Fertigstellung S-/A-Parallelsystem (8 Einheiten)																																																	
M 5	Erster Feldtest: S-/A-Parallelsystem (8 Einheiten)																																																	
M 6	Optimiertes S-/A-Parallelsystem+Teststand (3 Einheiten)																																																	
M 7	Optimiertes neues S-/A-Parallelsystem+Teststand (4 Einheiten)																																																	
M 8	Fertigstellung Zugfahrzeug-Infrastruktur (3 Einheiten)																																																	
M 9	Fertigstellung Zugfahrzeug-Infrastruktur (4 Einheiten)																																																	
M 10	Abschluss Drohnenuntersuchung																																																	
M 11	Feldtest: Validierung Gesamtsystem																																																	
M 12	Optimiertes Gesamtsystem																																																	
M 13	Abschluss Dokumentation + Projektende																																																	

■ Meilensteine wurden erreicht

VIII. Zusammenfassung der Ergebnisse

Aus den ersten Ergebnissen aus 2020 ging hervor, dass das derzeitige Unkrautbekämpfungsgerät nicht alle Unkrautgrößen gleich gut entfernt. Daher wurde die Bewertung der Ergebnisse von 2021 in folgende drei Kategorien unterteilt: kleines, mittleres und großes Unkraut. Durch diese Unterteilung des Unkrauts in drei Wachstumsgrößen wurde festgestellt, dass beim Einsatz des

Roboters in den ersten 4 Wochen nach der Aussaat eine Genauigkeit von 81 % erreicht werden kann. In dieser Phase übertrifft der Roboter (siehe Abb. 3) die menschliche Hilfskraft. Vergleicht man dieses Ergebnis mit dem des Jahres 2021, so ergibt sich eine Steigerung von ca. 26%. Es zeigte sich, dass die Gesamtkosten für den Betrieb des Robotersystems nur einen Bruchteil der Kosten für die manuelle Arbeit betragen.



Abb. 3: Feldtest des optimierten 4-Spur-Roboters.

B Eingehende Darstellung

I. Verwendung der Zuwendung

Die folgenden Tabellen entsprechen den förderfähigen Ausgaben laut Kostenplan gemäß Ziffer 5 der Richtlinie.

Tabelle 4: Laufende Kosten der Zusammenarbeit der OG in € (5.1.1)

	Budget	Abgerufene Mittel	Verbleibende Mittel
Personalausgaben für die Koordination bzw. Administration einer OG	39.450 €	23.967,26 €	15.482,74 €
Verwaltungspauschale in Höhe von 15 % der zuwendungsfähigen Personalausgaben für Ausgaben 5.1.1	5.918 €	3.594,63 €	2.323,37 €
Ausgaben für Öffentlichkeitsarbeit der gesamten OG einschließlich Veranstaltungsausgaben	3.000 €	580,31 €	2.419,69 €
Zwischensumme 1	48.368 €	28.142,20 €	20.225,80 €

Tabelle 5: Ausgaben für die Durchführung des Innovationsprojektes in € (5.1.2)

	Budget	Abgerufene Mittel	Verbleibende Mittel
Personalausgaben, soweit sie in unmittelbarem Zusammenhang mit der Durchführung des Projekts entstanden und nachgewiesen sind (auch Dienstleister)	263.000 €	289.267,68 €	-26.267,68 €
Ausgaben für die Arbeit von Forschern im Kontext des Innovationsprojekts, Untersuchungen, Analysen und Tests, einschließlich Nutzungskosten für Maschinen und Geräte soweit sie für das Innovationsprojekt beschafft werden	30.000 €	30.257,31 €	-257,31 €
Ausgaben für Aufwandsentschädigungen und Nutzungskosten, die landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Unternehmen der Urproduktion bei der	20.000 €	0 €	20.000 €

Umsetzung von Innovationsprojekten auf einzelbetrieblicher Ebene entstanden und nachgewiesen sind			
Reisekosten der Projektpartner	8.000 €	3.800,54 €	4.199,46 €
Ausgaben für Material, Bedarfsmittel und dergleichen	0 €	0 €	0 €
Ausgaben für den Zukauf von Patenten und Rechten sowie Lizenzgebühren	0 €	0 €	0 €
Ausgaben für die Anschaffung von kleinen/geringfügigen Investitionsgütern bis zu einem Anschaffungswert von 410,00 €	0 €	0 €	0 €
Innovative Investitionsausgaben für Maschinen, Instrumente und Ausrüstungsgegenstände einschl. der dafür erforderlichen baulichen Anlagen	0 €	0 €	0 €
Zwischensumme 2	321.000 €	323.325,53 €	-2.325,53 €

Tabelle 6: Zusammenfassung des Budgets sowie der abgerufenen und verbleibenden Mittel

	Budget	Abgerufene Mittel	Verbleibende Mittel
Zwischensumme 1	48.368 €	28.142,20 €	20.225,80 €
Zwischensumme 2	321.000 €	323.325,53 €	-2.325,53 €
./ Abzug MELUND		-463,44 €	-463,44 €
Insgesamt	369.368 €	351.004,29 €	17.436,83 €

II. Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

a) Ausgangssituation

Die Erhöhung des Ertrags von Pflanzen (Lebensmittel, Energiepflanzen) bei gleichzeitiger Schonung der Umwelt (z.B. durch Reduktion chemischer Mittel) stellt eine wesentliche globale Herausforderung für die Zukunft dar. Dabei stellt die manuelle Unkrautregulierung bei einem Verzicht auf chemischen oder synthetischen Pflanzenschutzmittel, wie dies im Bioanbau der Fall ist, eine kostenintensive Aufgabe dar. Die Dörscher & Carstens Bio GbR in Friedrichsgabekoog investiert beispielsweise jährlich mehr als 170.000 € zur manuellen Unkrautregulierung durch menschliche Arbeitskräfte. Dabei wird es zunehmend schwieriger, diese Arbeitskräfte zu finden. Zudem ist die

Qualität des Prozesses bedingt durch die menschlichen Arbeitskräfte inhomogen. Die automatisierte nicht-chemische Unkrautregulierung ist daher seit längerer Zeit Gegenstand von Forschungsarbeiten, die bisher jedoch aufgrund der Zielapplikationen und der verwendeten Technologien noch keine gravierenden Erfolge erzielen konnten. Aus diesen Gründen ist die Dörscher & Carstens (D&C) Bio GbR auf die FHW zugegangen und hat nach einer Lösung des Problems für den Biomöhrenanbau gesucht. Im Rahmen der Diskussionen hat sich die OG „Roboter-gestützte Unkrautregulierung im Praxistest“ formiert und das hier beschriebene Projekt durchgeführt.

b) Projektaufgabenstellung

Das Projektziel war es, einen vorhandenen Prototypen für die automatische Beikrautregulierung bei Bio-Möhren im 1-Spur Betrieb (siehe Abb. 1) auf einen 8-Spur Betrieb umzubauen. Dies kann erreicht werden durch die Parallelisierung von mehreren Erkennungs- und Vernichtungseinheiten (Sensor/Aktor-System). Das im Rahmen dieses Projektes entwickelte System soll dabei durch technische Innovationen wie beispielsweise den Einsatz von spezieller IT-Infrastruktur dafür sorgen, dass in den nächsten Jahren die Flächenleistung und Anwenderfreundlichkeit des Systems bis zur Praxisreife sukzessiv gesteigert wird. Dieser Vorgang soll kontinuierlich evaluiert werden. Die Ergebnisse des EIP Projektes werden der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Nichts desto trotz ist es geplant bei erfolgsversprechenden Ergebnissen eine Vermarktung des Systems voranzutreiben, um den Bioanbau in Schleswig-Holstein langfristig zu sichern.

III. Ergebnisse der OG in Bezug auf

a) Gestaltung der Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit der OG „Roboter-gestützte Unkrautregulierung im Praxistest“ wurde in einem Kooperationsvertrag geregelt und hat sich zum Ziel gesetzt, eine robotergesteuerte Unkrautregulierung bei Biomöhren im 8-Spur Betrieb mittels spezieller IT-Infrastruktur bzgl. der geforderten Flächenleistung und Kostenerwartungen im Praxistest durchzuführen. Die Zusammenarbeit in der Gruppe war von hoher Fachkompetenz, kollegialem Umgang, gegenseitigem Vertrauen sowie intensiver Diskussions- und Handlungsbereitschaft geprägt. Dadurch konnten immer wieder neue Impulse in der Projektarbeit gesetzt werden. Über den OG-Partner Ökoring im Norden e.V. wurde gewährleistet, dass die Ergebnisse der OG an interessierte Betriebsleiter weitergeleitet wurden.

b) Mehrwert des Formates einer OG für die Durchführung des Projektes

In einer OG fließen unterschiedliche Sichtweisen, Kenntnisse und Erfahrungen zusammen. So entsteht ein breites Spektrum an Ideen und Lösungsansätzen. Kommunikationsbarrieren zwischen unterschiedlichen Bereichen können durch die gemeinsame Arbeit abgebaut werden. Landwirt*innen bekommen die Möglichkeit das Projekt aktiv mitzugestalten. Außerdem wird nicht

nur zwischen Berufskolleg*innen, sondern auch zwischen Akteur*innen unterschiedlicher Bereiche wie Wissenschaft und Praxis das Vertrauen gestärkt. Gemeinsame Ziele werden deutlich und die gemeinsame Arbeit liefert zusätzlich einen Beitrag zum gegenseitigen Verständnis, Respekt und Erkennen sowie Anerkennen der jeweiligen Stärken.

c) Weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projektes

Während der Laufzeit des geförderten Projektes wurde im Dezember 2018 der Start-Up naiture® GmbH & Co. KG mit Sitz im Friedrichsgabekoog gegründet. Die neu gegründete Firma gehört zur Westhof-Gruppe und soll die Ausgründung der an der FHW entwickelten Technologien auch nach dem Ablauf des EIP-Projektes vorantreiben. Die Firma naiture wird maßgeblich die Weiterentwicklung des 4-Spur Roboters verantworten. Die FHW wird dabei unterstützend zur Seite stehen.

Es ist aber geplant in einem Folgeprojekt in 2023 mit allen OG-Mitgliedern die gute Zusammenarbeit fortzusetzen. Zurzeit wird eine Antragsskizze („Drohnenbasiertes KI-Sensorsystem für die Landwirtschaft in Zeiten des Klimawandels“) bei der UAM-InnoRegion SH überarbeitet, die bereits positiv bewertet wurde.

IV. Ergebnisse des Innovationsprojektes

a) Zielerreichung

Im Wesentlichen wurden die im Projekt gesetzten Ziele erreicht. Es wurde jedoch nicht, wie ursprünglich geplant, ein 8-Spur- sondern ein 4-Spur-System final aufgebaut und evaluiert. Die aufgebauten Sensor-/Aktor-Einheiten mussten noch einmal robuster durch einen externen Industriepartner aufgebaut werden. Ein 8-Spur-System hätte dabei den Kosten- und Zeitrahmen gesprengt. Die Erreichung der Projektziele war nur möglich, da einer kostenneutralen Projektverlängerung um ein Jahr zugestimmt wurde. Die Untersuchung einer Drohnenbasierten Unkrautregulierung konnte leider aus Zeitgründen nicht durchgeführt werden. Dies wurde jedoch in einem Folgeprojekt in 2022 nachgeholt.

b) Abweichungen zwischen Projektplan und Ergebnissen

Es ergaben sich Verzögerungen in der Projektdurchführung aus folgenden Gründen:

- Durch die allgemeine Verzögerung des Projekts von 01/18 auf 06/18 konnten 2018 keine Feldversuche durchgeführt werden. In dem ursprünglich geplanten Projektzeitraum hätten dadurch anstatt drei Feldversuchen lediglich zwei durchgeführt werden können.
- Durch die Ausschreibungspflicht der Vollzeitstelle, bedingt durch die EIP-Richtlinien, wurde darüber hinaus das Projekt um 7 Wochen später als geplant begonnen.
- Durch die hohe Komplexität der Vernichtungseinheiten werden anstatt von acht Systemen zunächst nur drei aufgebaut und getestet. Diese Entscheidung wurde getroffen, um

erste Erkenntnisse des Feldtests beim Aufbau der restlichen Vernichtungseinheiten nutzen zu können. Diese Entscheidung führt dazu, dass ein vollständiger Test des Gesamtsystems erst im Jahre 2020 durchgeführt werden konnte.

- Bedingt durch die Corona-Epidemie verzögerten sich die Laborarbeiten durch die Arbeit im Homeoffice. Hinzu kamen noch Liefer- und Entwicklungsschwierigkeiten eines externen Industriepartners, der die Sensor-/Aktoreinheiten robuster auslegen sollte. Aus diesem Grund wurde darauf verzichtet den vollständigen 8-Spurbetrieb zu testen und es wurde stattdessen das derzeitige 4-Spur-System aufgebaut und evaluiert.

Trotz der Verzögerungen, konnte dennoch ein erster 4-Spur Roboter aufgebaut werden, der unter gewissen Rahmenbedingungen jetzt schon die Performance der menschlichen Hilfskräfte übertrifft.

c) Projektverlauf

Durch die allgemeine Verzögerung des Projekts von 01/18 auf 06/18 und der Ausschreibungspflicht der Vollzeitstelle, bedingt durch die EIP-Richtlinien, konnten in 2018 keine Feldversuche durchgeführt werden. Im Herbst 2018 wurde ein Teststand für die Vernichtungseinheiten aufgebaut. Es wurden die ersten Vernichtungseinheiten und die Trägerfahrzeuginfrastruktur für einen ersten Feldtest in 2019 vorbereitet. Abb. 4 (a) und (b) zeigen eine fertige Vernichtungseinheit und zwei sich im Aufbau befindlichen Vernichtungseinheiten. Diese drei Einheiten wurden für den ersten Feldtest an das Trägerfahrzeug (siehe Abb. 5) montiert. Das Trägerfahrzeug wurde im 4. Quartal 2018 vom Westhof zur FHW transportiert und nach einer Einweisung übergeben. Auf dem Trägerfahrzeug werden darüber hinaus zwei Stromaggregate sowie ein Druckluftkompressor montiert. Diese dienen der Versorgung der elektrischen und pneumatischen Komponenten der Vernichtungseinheiten.

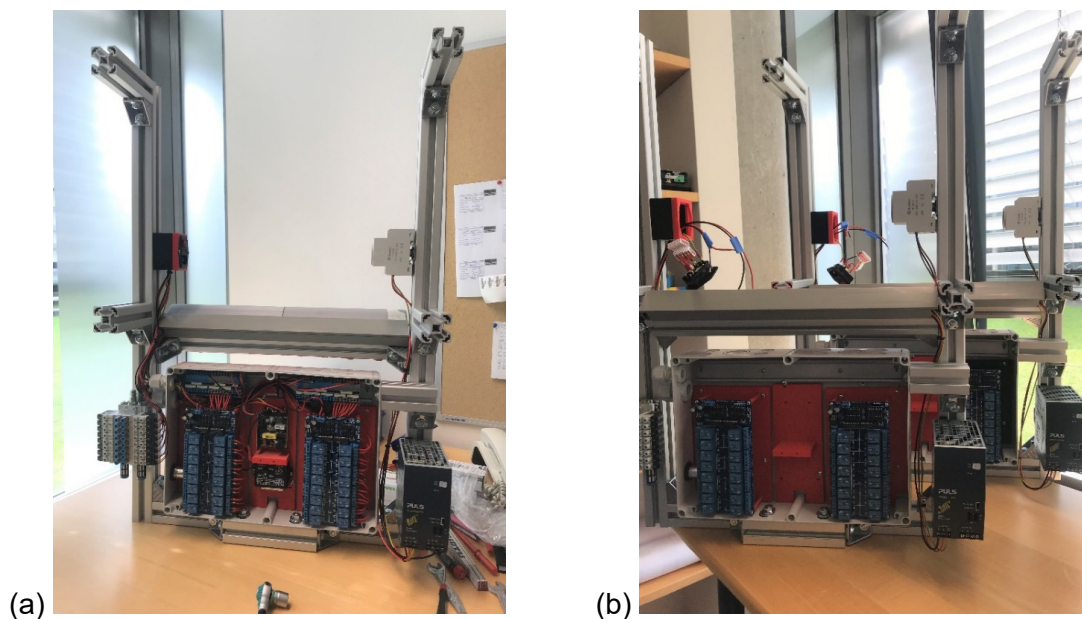


Abb. 4: (a) Fertiggebaute Vernichtungseinheit mit angeschlossenen Elektronik-Komponenten.
(b) Zwei sich im Aufbau befindliche Vernichtungseinheiten.



Abb. 5: Trägersystem der Vernichtungseinheiten („Solarflieger“).

Nach der Fertigstellung des Trägersystems und der drei Vernichtungseinheiten wurde das System (siehe Abb. 6 (a)) im Frühjahr 2019 zum Westhof transportiert (siehe Abb. 6 (b)), um vor Ort Feldtests durchzuführen. Ab Juli 2019 wurden dann die ersten Feldtests durchgeführt, die gezeigt haben, dass das System grundsätzlich wie geplant funktioniert, jedoch weitere Optimierung für die Praxisreife nötig sind. Hierzu zählen insbesondere eine Geschwindigkeitsoptimierung und die Entwicklung einer Staubabdeckung für die Elektronik und beweglichen Teile der Vernichtungseinheiten (Höhenregelung). Zusätzlich ist auch vorgesehen, den Transport und die Montage der Jäte-Einheiten zu vereinfachen. Abb. 7 (a) zeigt den Entwicklungsstand der Bio-Möhren während des ersten Feldtests und Abb. 7 (b) zeigt das fertiggestellte Trägersystem bei dem ersten Feldtest.

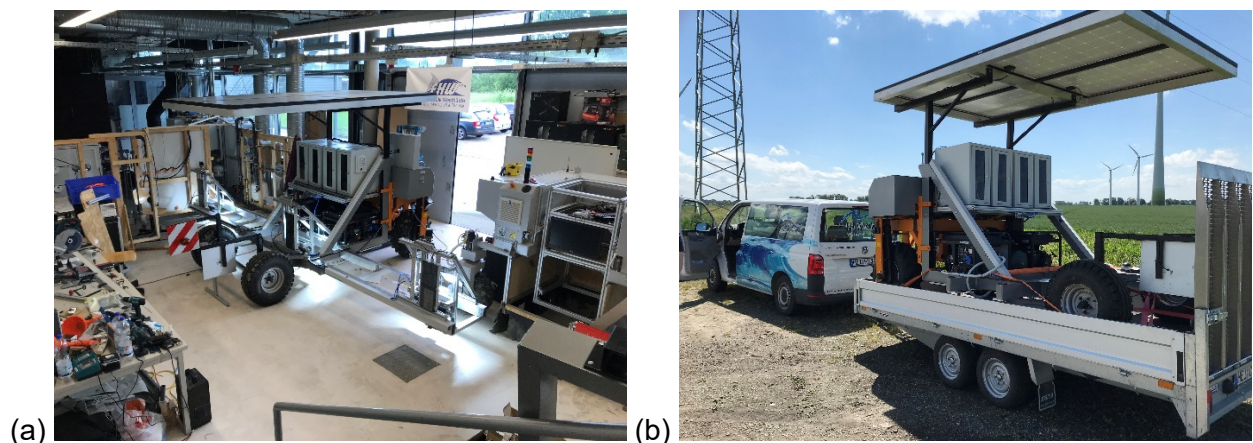


Abb. 6: (a) Fertiggestelltes Trägersystem mit drei angeschlossenen Jäte-Einheiten.
(b) Transport des Trägersystems zu den Feldern des Westhofs.

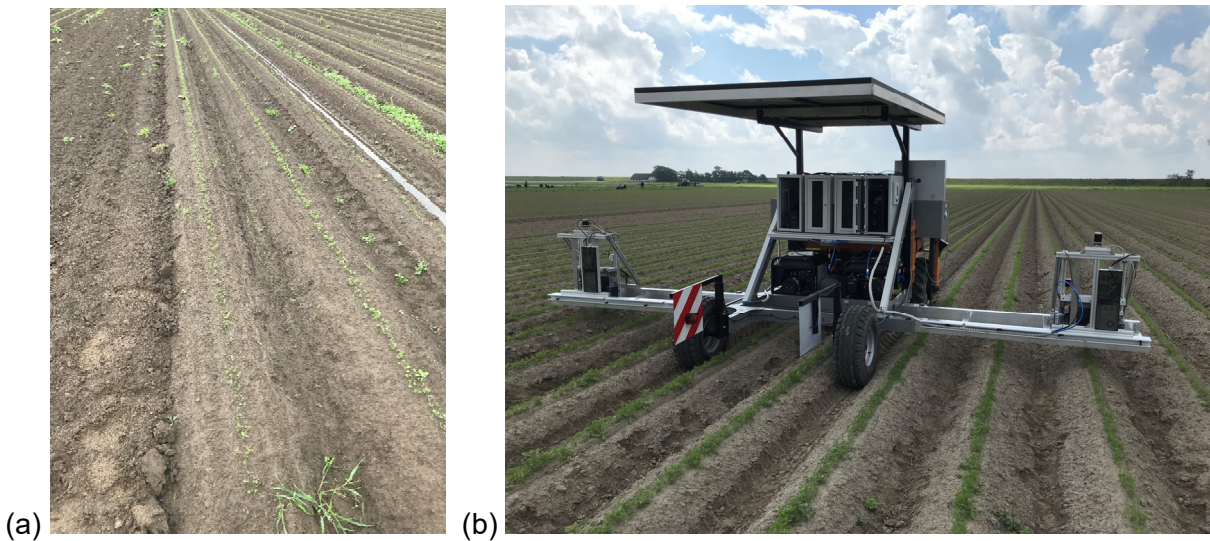


Abb. 7: (a) Entwicklungsstand der Bio-Möhren während des ersten Feldtests.
 (b) Erster Feldtest des Gesamtsystems.

Im Januar 2020 wurden weitere notwendige Materialien und Technikkomponenten, die im Zuge der Optimierung des Sensor-Aktor-Parallelsystems identifiziert wurden, über das EIP-Budget beschafft. Hierzu zählen insbesondere die Ultraschallsensoren der Firma Pepperl + Fuchs. Weiterhin wurden wichtige Komponenten der Höhenregelung, wie z.B. Schrittmotor-Endstufen und Spannungswandler, angeschafft. Bei der Optimierung des Systems wurde neben den Sensoren ebenfalls die Software für die Bildverarbeitung neu strukturiert und verbessert.

Die neuen Sensoren der Höhenregelungen wurden in einem selbstgebauten Versuchsaufbau hinsichtlich der analogen Ausgangskennlinie untersucht (siehe Abb. 1(a)). Abb. 1 (b) zeigt die gemessenen Spannungswerte des Sensors bei fest definierten Entfernungen. Innerhalb der Detektionsgrenzen (5 cm und 30 cm) verhalten sich die Sensoren annähernd linear. Dieses Verhalten kann mit der Funktion $f(x) = 0,13636x + 0,1992$ beschrieben werden.

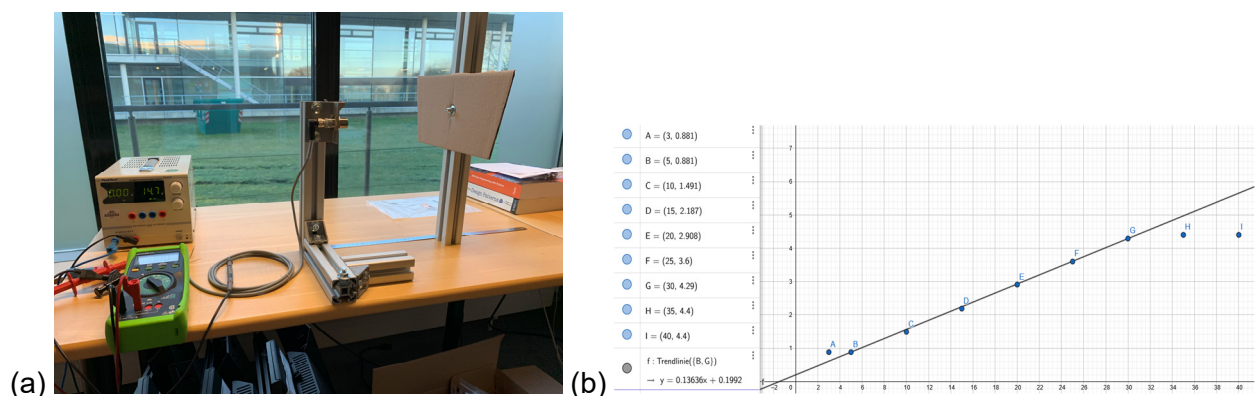


Abb. 8: (a) Versuchsaufbau zur Untersuchung des Ultraschallsensors.
 (b) Analoge Kennlinie des Ultraschallsensors.

Das Trägerfahrzeug wurde um weitere Sicherheitsschranke erweitert, um Platz für insgesamt 8 Recheneinheiten zu bieten. Weitere Anpassungen am Trägerfahrzeug wurden vorgenommen, um die Komponenten an die Generatoren und die Kameras anzuschließen. Im 4. Quartal 2019 / Anfang 2020 wurden die letzten 5 Vernichtungseinheiten aufgebaut.

Die Arbeiten am Trägerfahrzeug und den Vernichtungseinheiten konnten im Frühjahr 2020 erfolgreich abgeschlossen werden. Es wurden Ersatzteile für das System angeschafft, dazu zählen Distanzsensoren, USB-Hub, HDMI-Switch und Hutschienen-Steckdosen. Zusätzlich wurden für eine bessere Feld-Logistik und Leistungsmessung zusätzlich Bosch-Profilen, -Winkel und – Schrauben sowie ein CE-Stecker und eine CE-Kupplung angeschafft. Dies ermöglicht einen einfacheren Transport der Einheiten zu den Feldern, sowie die Leistungsmessung des Gesamtsystems.

Zwischen Mai und September 2020 konnte das Gesamtsystem auf den Feldern des Westhofs in Friedrichsgabekoog und Umgebung getestet werden (siehe Abb. 9). Zunächst wurde die Leistungsaufnahme des Gesamtsystems getestet. Die Messung zeigt, dass das Gesamtsystem unter Beachtung der Testbedingungen durch eine maximale Leistungsaufnahme von 2,794 kW gekennzeichnet ist. Für das Projekt bedeutet dies, dass zukünftig eine vollständige Stromversorgung durch eine Erweiterung der Solarmodule des Trägerfahrzeugs durch die Erweiterung der Solarfläche möglich ist. Hierdurch würde sich die ökologische Nachhaltigkeit des Systems deutlich erhöhen.

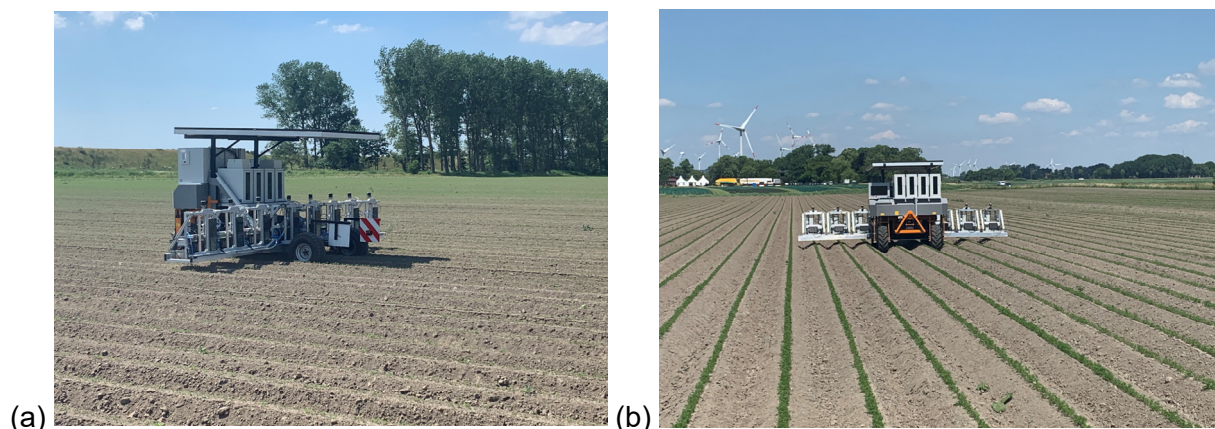


Abb. 9: (a) +(b) Feldtest des 8-Spur-Roboters.

Der erste Feldtest in 2020 mit dem entwickelten 8-Spur System zeigte, dass das System aktuell eine niedrigere Genauigkeit und Flächenleistung im Vergleich zur manuellen Unkrautregulierung aufweist. Es wurden einige Verbesserungspotenziale während der Tests erkannt, insbesondere

die Höhenregelung, die Breite des Bildausschnitts für die Klassifikation und das Timing zur Auslösung der mechanischen Unkrautregulierung. Die Ergebnisse wurden auf der internationalen Konferenz, der *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference* (I2MTC 2021 in Glasgow, England) unter dem Titel "[Area Yield Performance Evaluation of a Non-chemical Weeding Robot in Organic Farming](#)" einem breitem internationalen Publikum vorgestellt.

Im Herbst 2020 wurde ein Folientunnel (siehe Abb. 10) durch den Westhof angeschafft und auf dem Gelände der Westhof Bio GmbH errichtet, um das System auch bei schlechten Witterungen evaluieren zu können. Erste Versuche mit einer verbesserten Vernichtungseinheit wurden durchgeführt, die eine signifikant höhere Stabilität gegenüber der aktuellen Einheit aufweist. Diese Einheit wurde in Zusammenarbeit mit dem Metallverarbeitungsunternehmen Leuka e.K aufgebaut.



Abb. 10: Test des Systems im Folientunnel der Westhof Bio GmbH.

Am Anfang des Jahres 2021 wurde aufgrund der im vorherigen Jahr erzielten Ergebnisse beschlossen, das 8-Spur-System im Hinblick auf Robustheit der mechanischen Bauteile zu optimieren. Dafür wurden in Zusammenarbeit mit dem Metallverarbeitungsunternehmen Leuka e.K zunächst nur vier neue Sensor/Aktor-Einheiten aus Kosten- und Zeitgründen entwickelt und aufgebaut. Unter anderem wurden die Führungsschienen stabilisiert, die flexiblen Wellen verstärkt, die Höhenregelung durch eine integrierte Lineareinheit ersetzt und die Zylinder optimiert. Abb. 11 zeigt die technische Zeichnung und das neu entwickelte Sensor/Aktor-System. Die Kosten für diese Entwicklung wurden vom Westhof übernommen, der ja Mitglied der operationellen Gruppe ist und diese Entwicklung maßgeblich vorantreibt.

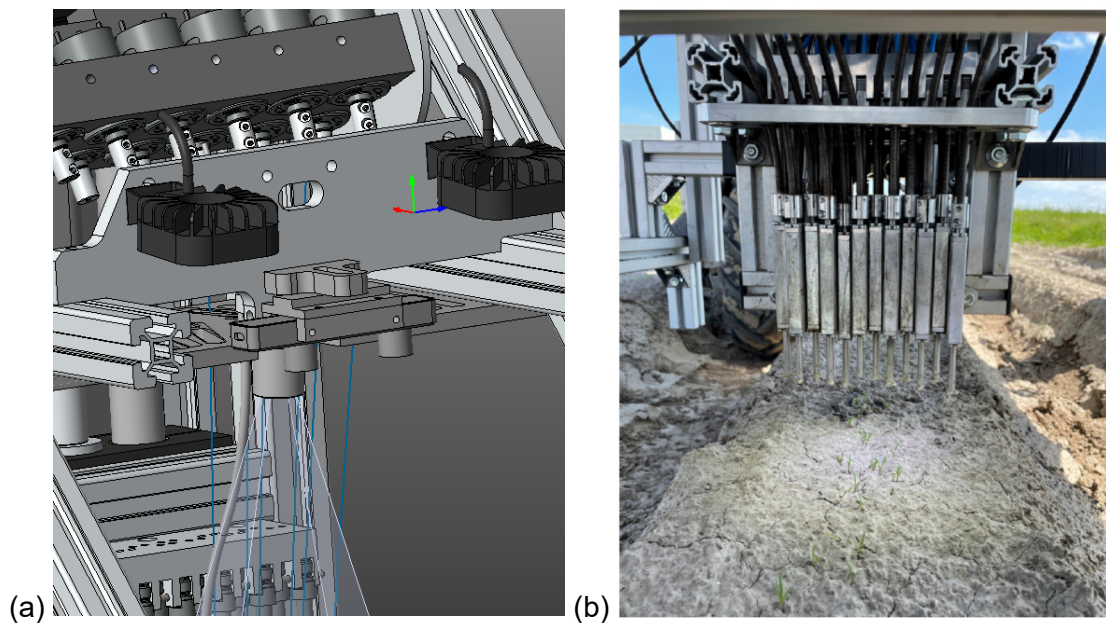


Abb. 11: (a) Technische Zeichnung und (b) neu entwickeltes Sensor/Aktor-System.

Im Hinblick auf den Energieaufwand wurde zusätzlich in Q1 in 2021 das vorherige Klassifikationssystem verworfen und gegen ein energieeffizienteres System ersetzt. Dieser Klassifikator ermöglicht den Einsatz von „Edge Devices“ (max. 15 W Leistungsaufnahme) und erreicht damit zum vorherigen Modell eine Energieeinsparung von 94 %. Die Berechnungsgeschwindigkeit konnte dabei sogar von 15 Bildern/Sekunde auf 30 Bildern/Sekunde verdoppelt werden. Des Weiteren konnte die Beleuchtungsleistung von 100 W pro Einheit auf 20 W reduziert werden, welches einer Energieeinsparung von 80 % entspricht.

Die im vorherigen Jahr ermittelten Probleme mit der Höhenregelung konnten durch eine in sich geschlossene Lineareinheit gelöst werden. Umwelteinflüsse wie Staub und Regen haben damit keinen Einfluss mehr auf die Langlebigkeit. Der Ultraschallsensor zur Messung der Höhe wurde durch eine 3D-Kamera ersetzt, welche eine wesentlich genauere Messung der Höhe erreicht.

Um die Bedienung und Ergonomie zu verbessern, wurde eine kabellose Fernsteuerung und Parametrierung der Einheiten mittels Smartphone / Tablet entwickelt. Zusätzlich wurden mehrere Taster und Schalter angebaut.

Die ersten Feldtests mit dem entwickelten 4-Spur System zeigten, dass die Einheiten wesentlich robuster und damit länger ohne Reparaturen arbeiten konnten. Im gesamten Testzeitraum in 2021 konnten damit ca. 5 ha bearbeitet werden. Um die Testphase zu verlängern, hat der Westhof Anfang August ein weiteres Feld mit Karotten bestellt und für Testzwecke zur Verfügung gestellt. Abb. 12 zeigt das 4-Spur System auf dem Testfeld.



Abb. 12: Evaluierung der neuen Sensor/Aktor-Einheiten auf dem Testfeld des Westhofs.

Zum Ende der Projektlaufzeit wurde eine vergleichende Bewertung der Flächenertragsleistung zwischen den alten Sensor-/Aktor-Einheiten und der aktuellen Lösung (siehe Abb. 13) durchgeführt. Die Ergebnisse wurden erneut auf der internationalen Konferenz, der *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference* (I2MTC 2022 in Ottawa, Kanada) unter dem Titel "[Accuracy Evaluation of a Weeding Robot in Organic Farming](#)" einem breitem internationalen Publikum vorgestellt.



Abb. 13: Der aktuelle Roboter mit den neuen Sensor/Aktor-Einheiten auf einem Karottenfeld in Friedrichsgabekoog.

Auf vier verschiedenen Feldern mit vier verschiedenen Möhrensarten wurden bei der Westhof Bio GmbH im Jahr 2021 mit dem Robotersystem eine Reihe von Versuchen unter normalen kommerziellen Anbaubedingungen durchgeführt. Im gesamten Versuchszeitraum wurden etwa 5 ha damit bearbeitet.

Tabelle 7 zeigt die vier verschiedenen Möhrenarten, die während des Versuchs bearbeitet wurden, und ihre Aussattermine. Alle Möhrenarten wurden nach dem Zufallsprinzip auf Feldern in Friedrichsgabekoog ausgesät.

Tabelle 7: Verarbeitete Möhrenarten

Karottenart	Bearbeitete Fläche	Aussaatzeitpunkt
Jerada	0.2 ha	31.03.2021
Romance	0.3 ha	14.04.2021
Nerac	1.8 ha	18.05.2021
Cadance	2.8 ha	02.06.2021

Die Unkrautbekämpfungsmodule arbeiten in einem 6 cm breiten Bereich über jeder Reihe, in der die Möhren ausgesät werden. Eine feste Geschwindigkeit von 300 mm/s wurde auf der Grundlage der Unkraut-Erkennungsgeschwindigkeit auf dem Robotiksystem eingestellt.

Um die Testergebnisse auswerten zu können, wurden Video- und Fotoaufnahmen für die in Tabelle 7 aufgeführten Bereiche gemacht. Zwei Basler Daa1920 Kameras wurden vor und hinter dem Gerät montiert, um Bilder aufzunehmen. Diese Bilder wurden so aufgenommen, dass sie bei der Verfahrensgeschwindigkeit von 300 mm/s eine Überlappung von etwa 1 cm hatten. Außerdem wurde ein Video des Tests aufgezeichnet, um auffällige Fehler bei der Unkrauterkenung und beim Jäten zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurde eine Sony A7iii mit 120 FPS verwendet, um Zeitlupenaufnahmen zu erzielen.

In 2020 zeigte sich, dass das derzeitige Unkrautbekämpfungsgerät nicht alle Unkrautgrößen gleich gut entfernt. Daher wurde die Bewertung in drei Kategorien unterteilt: *kleines Unkraut* (0 - 1,5 cm), *mittleres Unkraut* (1,6 - 4 cm) und *großes Unkraut* (>4 cm). Zu Beginn des Praxistests war geplant, die Auswertung teilweise zu automatisieren. Dazu sollten die Unkräuter in den Vorher-Nachher-Bildern durch den Klassifikator gezählt werden. Dies konnte jedoch nicht realisiert werden, da die geschnittenen Unkräuter im Nachher-Bild sehr oft noch sichtbar waren und daher falsch erkannt wurden. Daher musste die gesamte Auswertung manuell durchgeführt werden. Dazu wurden die aufgezeichneten Videos komplett gesichtet und jede Auslösung protokolliert und folgende Daten festgehalten: Anzahl der Unkräuter *klein*, *mittel*, *groß*.

Für die nicht entfernten Unkräuter wurden folgende Daten erfasst: *zu früh* oder *zu spät* ausgelöst, Höhenkontrolle *nicht korrekt* und *getroffen, aber nicht entfernt*. Um eine Gleichverteilung zwischen den drei Unkrautgrößen zu erreichen, wurden die Videos in verschiedenen Wachstumsstadien aufgenommen. Der Zeitpunkt der Aufnahmezeitpunkt lag zwischen 2 und 8 Wochen nach der Aussaat.

Die ersten Feldversuche mit dem entwickelten 4-Spur-System zeigten, dass die Einheiten wesentlich robuster waren und somit im Vergleich zu den Ergebnissen aus dem Vorjahr länger ohne Reparaturen auskamen.

Tabelle 8: Genauigkeit des Jätroboters für verschiedene Pflanzengrößen

Unkrautgröße	Anzahl erkannte Unkräuter	Anzahl entfernte Unkräuter	Genauigkeit in %
Klein	72.318	58.577	81 %
Mittel	68.438	42.257	62 %
Groß	49.912	13.975	28 %
Gesamt	190.688	114.809	60 %

Auf den aufgezeichneten Videos wurden insgesamt 190.688 Auslöser der Unkrautbekämpfungseinheit dokumentiert. Davon wurden 114.809 Unkräuter vernichtet. Dies ergibt eine Genauigkeit von 60 %. Vergleicht man dieses Ergebnis mit dem des letzten Jahres, so ergibt sich eine Steigerung von ca. 26 %. Es ist jedoch anzumerken, dass dieses Mal eine viel größere Bandbreite an Testszenarien erfasst wurde.

In der Veröffentlichung auf der I2MTC 2021 war nur ein Feld für eine bestimmte Wachstumsphase enthalten. Nach dem derzeitigen Stand der Forschung würde das aktuelle System in dieser Wachstumsphase eine Genauigkeit von 70-80 % erreichen. Aus Tabelle 8 ist ersichtlich, dass die Genauigkeit für die drei erfassten Unkrautgrößen sehr unterschiedlich ist. Bei einer Unkrautgröße von etwa 0-1,5 cm (*klein*) erreicht das System 81 %. Sobald das Unkraut größer wird, sinkt die Genauigkeit sehr schnell auf 62 % (*mittel*) und 28 % (*groß*).

In Tabelle 9 sind die identifizierten Probleme des Jätroboters aufgeführt. Das *Problem mit dem Auslösezeitpunkt* lässt sich auf die Wechselwirkung zwischen Erkennung und Totzeit des Gesamtsystems zurückführen. Das derzeitige Erkennungssystem verwendet den Anfang der Begrenzungsrahmen als Auslösezeitpunkt. Aufgrund der Inkonsistenz der Totzeit wird der perfekte Treffpunkt nicht immer erreicht, insbesondere bei sehr kleinem Unkraut. Dies gilt vor allem dann, wenn der Unkrautdruck sehr hoch ist und sich daher viele Unkräuter an einer Stelle befinden. Wie bereits erwähnt, verwendet das System Druckluft, um die Zylinder auf Bodenhöhe auszufahren.

Je mehr Zylinder gleichzeitig ausgelöst werden, desto weniger Druck bleibt für die einzelnen Zylinder übrig und die Fahrgeschwindigkeit sinkt unvorhersehbar. Dies macht die Totzeit nicht einfach zu berechnen und führt zu Ausfällen. 34 % der Fehlschläge traten in der Kategorie der kleinen Unkräuter auf. Je größer die Unkräuter werden, desto weniger Einfluss hat die Auslösezeit. Nur 3 % der großen Unkräuter wurden aufgrund der Auslösezeit nicht entfernt.

Tabelle 9: Identifizierte Probleme des Jätroboters

Unkrautgröße	zu früh / zu spät ausgelöst		Problem der Höhenkontrolle		Getroffen aber nicht entfernt	
	Anzahl	Prozentsatz	Anzahl	Prozentsatz	Anzahl	Prozentsatz
Klein	4.672	34 %	8.657	63 %	412	3 %
Mittel	3.142	12 %	5.498	21 %	1.7541	67 %
Groß	1.078	3 %	1.797	5 %	3.3062	92 %

Im Folgenden wird auf das *Problem der Höhenkontrolle* eingegangen. Die Höhe wird über eine 3D-Kamera gemessen. Dazu wird ein 30 x 30 Raster auf das Bild gelegt und der gemittelte niedrigste Wert wird als Referenzwert an die Lineareinheit gesendet. Da der Roboter auf relativ unebenem Gelände fährt, kommt es zu Schwankungen bei der Höhenmessung. Diese Schwankungen können zu Problemen führen, insbesondere bei sehr kleinem Unkraut, das sich in Bodennähe befindet. Um die Klingen nicht zu sehr zu verschleifen, sollte der Bodenkontakt beim Jäten so gering wie möglich sein. Dadurch wird es jedoch schwieriger, den richtigen Aufschlagpunkt zu finden. Tabelle 9 zeigt, dass 63 % der Probleme bei der Höhenkontrolle auf kleine Unkräuter zurückzuführen sind.

Das letzte *Problem der Unkrautentfernung* besteht darin, dass einige Unkräuter zwar den perfekten Auslösezeitpunkt und die perfekte Höhe hatten, aber nicht entfernt wurden. Dies war vor allem bei den großen Unkräutern der Fall. 92 % der großen Unkräuter wurden von den Klingen getroffen, aber nicht abgeschnitten. Bei den kleinen Unkräutern wurden nur 3 % nicht entfernt. Nach eingehender Untersuchung lässt sich dies auf die Klingengeometrie und insbesondere die Klingengröße zurückführen. Die Klingen sind wie kleine, doppelseitige Sensen geformt. Eine Seite hat eine Länge von 4 mm. Bei größeren Unkräutern reicht das offenbar nicht aus, um den Stängel unter den Blättern zu treffen.

Ein weiteres Problem betrifft die Karottenpflanze. Bei den Aufzeichnungen wurde zusätzlich protokolliert, wie oft eine Karotte von den Messern getroffen wurde. Dabei wurde nicht zwischen der vollständigen Zerstörung und dem Abschneiden einiger Blätter unterschieden. Insgesamt wurden etwa 6 % der Möhren getroffen. Vor allem in späteren Wachstumsphasen, wenn die Pflanzen wenig Abstand zueinander haben oder wenn es viel Unkraut gibt. Eine mögliche Lösung des Problems besteht darin, einen anderen Entscheidungsbaum zu erstellen. Befindet sich eine

Möhre im Trefferradius des Unkrauts, soll entschieden werden, ob dieses Unkraut noch entfernt werden soll, oder ab wie viel Unkraut die Möhre vernachlässigt werden kann. Hier kann der Landwirt dann über einen Parameter einstellen, wie aggressiv der Klassifikator arbeiten soll. Ganz ohne Verluste wird es mit der jetzigen Lösung nicht gehen, denn selbst die menschlichen Hilfskräfte entfernen im Schnitt bis zu 5% der Karottenpflanzen.

Ein sehr großer Vorteil der Roboterlösung ist die sehr hohe Auflösung der Erkennungseinheit und des damit verbundene Deep-Learning-Ansatzes. Abb. 14 zeigt die Genauigkeit der Erkennungseinheit und einen Größenvergleich.

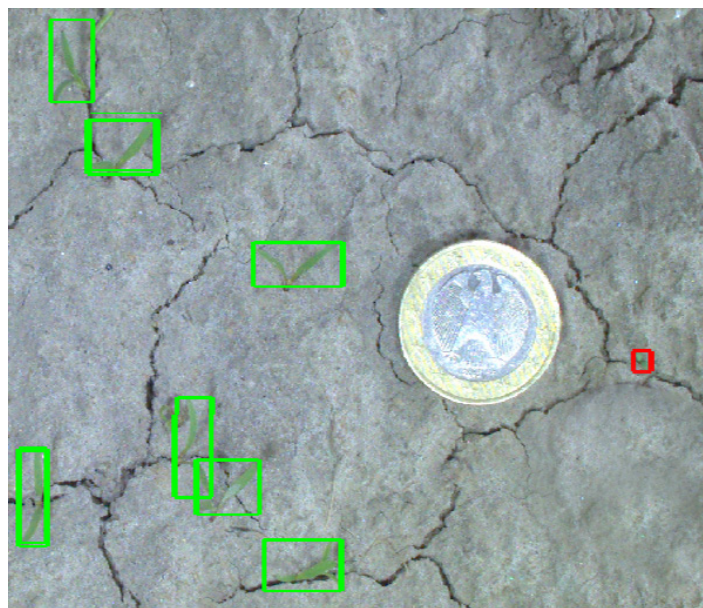


Abb. 14: Größenvergleich zwischen Karotten (grün) und Unkraut (rot).

Die Nutzpflanze ist grün und das Unkraut rot umrandet. Eine 1€-Münze dient als Größenvergleich. Aufgrund dieser Auflösung kann das Robotersystem viel früher zum Jäten eingesetzt werden. Die Hilfskräfte können das Feld erst betreten, wenn das Unkraut etwa 3-4 cm hoch ist. Das hat den Nachteil, dass sich die Nutzpflanze die Nährstoffe im Boden sehr lange mit dem Unkraut teilen muss und das Wachstum dadurch wahrscheinlich verzögert wird. Ein weiterer Aspekt beim Vergleich zwischen der manuellen Unkrautbekämpfung und ihrer Alternative sind die Betriebskosten. Die Gesamtkosten für den Betrieb des Robotersystems betragen nur einen Bruchteil der Kosten für die manuelle Arbeit. Das Jäten der 120 Hektar würde 16.800 € im Vergleich zu den Kosten für manuelle Arbeit von 209.440 € kosten. Der wichtigste Kostenfaktor bei den 16.800 € sind die Kosten für den Transport des Systems und der Benzinpreis für den Betrieb der Generatoren. Dies könnte dazu führen, dass das Robotersystem eine praktikable Option ist, um manuelle Unkrautbekämpfung zu ersetzen, sobald die Wirksamkeit ein akzeptables Niveau erreicht.

d) Öffentlichkeitsarbeit während der Projektlaufzeit

Über die gesamte Projektlaufzeit wurden verschiedene Wege genutzt, um die Öffentlichkeit über die Projektinhalte zu informieren. Die OG-Treffen spielten dabei eine entscheidende Rolle, da die dabei besprochenen Inhalte und Fortschritte unmittelbar durch die OG-Mitglieder an Berufskolleg*innen weitergetragen werden konnten.

Die folgende Liste beschreibt die Öffentlichkeitsarbeit seit 2018 bis zum Ende der Projektlaufzeit. In 2020 war es sehr schwierig zu Beginn der Corona-Pandemie die Öffentlichkeit über die Projektinhalte zu informieren. Später setzten sich dann Online-Formate durch.

2018

- Gründung des FHW Start-Ups naiture® GmbH & Co. KG mit Sitz im Friedrichsgabekoog im Dezember 2018. Die neu gegründete Firma gehört zur Westhof-Gruppe und soll die Ausgründung der an der FHW entwickelten Technologien vorantreiben.
- Besuch der SPD-Landtagsfraktion an der FH Westküste. Vorstellung des EIP-Projektes „Roboter-gestützten Unkrautregulierung“ am 18.12.2018.
- [Vortrag auf dem 52. Arbeitskreis](#) der Initiative Bildverarbeitung e.V. „Verwendung eines CNN für die Erkennung von Arten bei Gartenvögeln“ bei der Firma VISHAY BCcomponents BEYSCHLAG GmbH in Heide am 04.12.2018.
- Fernsehbeitrag: [„Feldroboter - Algorithmen für Landwirte“](#) am 06.11.2018 auf der Deutschen Welle (DW) in „Made in Germany – Das Wirtschaftsmagazin“.
- Vorstellung des EIP-Projektes „Roboter-gestützte Unkrautregulierung im Praxistest“ bei der Veranstaltung „Dithmarschen digital“ in der Dithmarsia in Meldorf am 29.10.18.
- Besuch von Herrn Bernd Voß, Sprecher für Landwirtschaft, Klimaschutz und Energie der Landtagsfraktion in Schleswig-Holstein. Vorstellung des EIP-Projektes „Roboter-gestützten Unkrautregulierung“ am 9.10.2018.
- Presseartikel „Jätroboter vor Durchbruch – Möhren sind die Königsklasse“ erschienen DLZ am 25.09.2018.
- Vortrag auf der KTBL-Tagung (Robotics und Automatisierung im Gartenbau), „Unkraut erkennen und bekämpfen“ an der FH Erfurt in Erfurt am 17.09.2018.
- Radiobeitrag: „Digitalisierung in der Landwirtschaft“ am 09.09.2018 auf NDR1 Welle Nord in der Sendung „Zur Sache“ von 18 bis 20 Uhr.
- Presseartikel „Gesichert: Der Bonirob der FH Westküste rollt weiter“ in „Frischer-Wind“ Ausgabe Juli 2018.
- Presseartikel „Der Bonirob rollt weiter“ in Sonntags Anzeiger für Dithmarschen vom 24.06.2018.
- Förderbescheidübergabe durch Minister Dr. Robert Habeck für das EIP-Projekt „Digitalisierung im Bioanbau – Praxistest der automatischen Unkrautregulierung bei Bio-Möhren im 8-Spur Betrieb mittels spezieller IT-Infrastruktur bzgl. der geforderten Flächenleistung und Kostenerwartungen“ im MELUND in Kiel am 30.05.2018.

2019

- Teilnahme als Hochschulvertreter bei der Podiumsdiskussion „Hochschulen, Startups und Unternehmen zeigen, welche Probleme sie mit KI lösen können“ an der Veranstaltung der IHK Kiel „KI4YOU – KI-Projekte richtig aufgesetzt“ am 30.09.2019 in Kiel.
- Presseartikel „Roboter vernichtet Unkraut – Achtspursystem für die BIO-Landwirtschaft kommt ohne Chemie aus“ in Badische Neueste Nachrichten vom 17.09.2019.
- Ausstellung des Bonirobs auf der [LandTechnikDigital 2019](#) unter dem Motto „Ein Tag für die Zukunft“ im Gildepark in Kiel am 12.09.2019.
- Ausstellung des Bonirobs auf der [BodenständigDigital](#) unter dem Motto „Landwirtschaft 4.0“ an der Christian-Albrechts-Universität (CAU) in Kiel am 11.09.2019.
- Presseartikel „[Digitale Praxisbeispiele in der Landwirtschaft](#)“ in Eilbote-Online-Das Landtechnikportal vom 10.09.2019.
- Fernsehbeitrag: „[Westhof: Hightech auf dem Bio-Acker](#)“ am 6.09.2019 im Wirtschaftsmagazin „makro“ in 3SAT.
- Vortrag auf dem 5. EIP-Forum Schleswig-Holstein „Robotergestützte Unkrautregulierung im Bio-Möhrenanbau“ auf der [norla 2019](#) in Rendsburg am 06.09.2019.
- Presseartikel „[Smarte Assistenten für die Arbeitswelt – Die fünf Finalisten des Innovationspreises NEO2019 stehen fest](#)“ in IHK Magazin „Wirtschaft in der TechnologieRegion Karlsruhe“ September 2019.
- Presseartikel „[Künstliche Intelligenz hinterm Deich](#)“ in IHK Magazin Wirtschaft „Zwischen Nord- und Ostsee“ September 2019.
- Ausstellung des Bonirobs auf der [Baumschultechnik 2019](#) unter dem Motto „Innovation trifft Tradition“ im Gartenbauzentrum der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein in Ellerhoop vom 29-30.08.2019.
- Vortrag auf der [Florum 2019](#) – Forum für grünes Wissen „Ist eine automatisierte Unkrautregulierung in Baumschulen möglich?“ im Gartenbauzentrum der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein in Ellerhoop am 29.08.2019.
- Presseartikel „[Rupf-Roboter für Maikes Möhrchen](#)“ in Bild vom 19.08.2019.
- Radiobeitrag: [RSH Interview über Naiture GmbH & Co. KG](#) am 14.08.2019.
- Besuch des Vorsitzenden des Bundestagsausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung Herrn Dr. Ernst-Dieter Rossmann und dem Agrarpolitischen Sprecher der SPD Rainer Spierung. Vorführung des 8-Spur-Jäteroboter am 13.08.2019.
- Presseartikel „Die Kunst des intelligenten Jätens“ in SHZ vom 8.08.2019.
- Presseartikel „Automatisch ökologisch“ in DLZ vom 8.08.2019.
- Fernsehbeitrag: „[Landwirt aus Friedrichsgabekoog setzt Unkraut-Roboter ein](#)“ am 7.08.2019 auf SAT.1 Regional.
- Besuch des Landwirtschaftsminister Jan Philip Albrecht am Westhof. Vorführung des 8-spurigen Jätroboters auf den Feldern des Westhof am 7.08.2019.

- Teilnahme an dem deutschlandweiten ausgeschriebenen Innovationspreis der TechnologieRegion Karlsruhe / Künstliche Intelligenz für die Arbeitswelt. Jury nominiert den FHW Start-Up naiture® GmbH & Co. KG mit Sitz im Friedrichsgabekoog am 30.07.2019 als einen der fünf Finalisten. Die naiture® GmbH & Co. KG ist die einzige Firma, die nicht aus Karlsruhe kommt. Die Preisverleihung findet am 23.10.2019 im Zentrum für Kunst und Medien in Karlsruhe statt.
- Teilnahme am EIP AGRI Innovation Summit in Lisieux, Frankreich vom 24-27.06.2019.
- Presseartikel „Ein Jäte-Roboter wird zum Überflieger“ in Kieler Nachrichten vom 6.06.2019.
- Presseartikel „Dithmarscher fliegen ins Silicon Valley“ in Dithmarscher Landeszeitung vom 6.06.2019.
- Gewinner des „Überflieger - Der Start-up-Wettbewerb für Schleswig-Holstein“ Wettbewerbes mit der neu gegründeten Firma naiture® GmbH & Co. KG (<https://www.naiture.org/>) mit Sitz im Friedrichsgabekoog am 04.06.2019.
- Austauschtreffen EIP IDL aus Berlin/Brandenburg und EIP Gruppe Robotergesteuerte Unkrautregulierung aus SH am Unternehmen Westhof Bio im Friedrichsgabekoog am 28.05.2019.
- [Vortrag auf dem ECSE & IEEE NZ North Section IES/IAS Society research seminar](#), „The use of AI in organic farming“ an der University of Auckland in Neuseeland am 23.05.2019.
- Presseartikel „Robotergestützte Unkrautregulierung im Bio-Möhrenanbau“ in Bauernblatt vom 20.04.2019.

2020

- Presseartikel „Gemüsebau: Per Roboter Beikraut in Biomöhren reduzieren“ in Ökoring Rundbrief Dezember 2020.
- Teilnahme am [„Human-centric Artificial Intelligence : 2nd French-German-Japanese Symposium“](#) in den folgenden Sessions:
 - als [Vortragender](#) in der [AI & Agriculture Session](#) am 17.11.2020
 - als Startup [„naiture GmbH“](#) in der [Startup Session](#) am 21.11.2020
- Presseartikel [„EIP aktuell: Modellprojekt in Dithmarschen - Automatische Unkrautregulierung“](#) in Bauernblatt vom 06.06.2020 auf Seite 48.

2021

- [Vortrag auf dem 58. Arbeitskreis mit 10 Jahresfeier](#) der Initiative Bildverarbeitung e.V. „Evaluation des Deep-Learning-Netzwerkes MobileNet-SSD auf eingebetteten Systemen“ auf der Veranstaltung am 9.12.2021 an der FH Westküste in Heide.
- Presseartikel „EIP Projekt Robotergestützte Unkrautregulierung auf Platz eins“ in Bauernblatt vom 13.11.2021 auf Seite 36-37.
- [Vortrag auf der Fokusfinderpreisverleihung 2021](#) der Initiative Bildverarbeitung e.V. „Echtzeitfähiges Deep-Learning-Klassifikationssystem für die Flora im Bioanbau“ im Wissenschaftszentrum Kiel an der CAU in Kiel am 8.10.2021.

- Presseartikel „Millionen-Zuschlag für Drohnen-Zentrum auf dem Flugplatz Leck“ in Nordfriesland Tageblatt vom 1 Oktober 2021.
- Presseartikel „Forscher der FHW gewinnt Wettbewerb“ in Dithmarscher Landeszeitung vom 30 September 2021.
- Online-Vortrag auf dem [NEXT Summit](#) in Singapore „Automation in Agriculture - Securing Food Supplies for Future Generations“ am 29.09.2021.
- Presseartikel „Robotikforscher der FH Westküste gewinnt internationalen Wettbewerb“ in Hanse Science Magazin: www.hansescience.de und Hanse Digital Nachrichten HANSENEWS: www.hansenevents.de, 28 September 2021.
- Vortrag auf der Mitgliederversammlung des Förderforums der FHW „KI gestützte UAVs für die ökologische Land- und Forstwirtschaft“ am 23.09.2021.
- Das Projekt „High-Precision Weed Control in Organic Farming“ hat am 23. September 2021 bei der Online-Preisverleihung „Digital Excellence in Agriculture“ im Rahmen des ITU Regional Innovation Forum for Europe den ersten Platz in der Kategorie „Agriculture innovations systems and sustainable farming - Farm automation, robots, drones“ belegt.
- Presseartikel „Projekt zur Unkrautbekämpfung in Forstsaatbeeten gestartet“ in Newsletter der Landwirtschaftskammer SH (Gartenbauzentrum), Ausgabe 4, September 2021.
- Am 3.09.2021 wurde das Projekt „UAM-InnoRegion-SH“ für eine Förderung in der Umsetzungsphase des Programms „WIR! – Wandel durch Innovation in der Region“ (2. Auswahlrunde) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) bewilligt. Für die Durchführung dieser Maßnahme stehen bis zu 15 Millionen € in den nächsten 6 Jahren zur Verfügung. Diese Entscheidung erfolgte auf Grundlage der Empfehlungen, die die WIR!-Jury nach Prüfung und Bewertung aller 44 Bündnisse ausgesprochen hat. Ihr liegt eine sorgfältige Abwägung der Konzepte und Präsentationen unter Berücksichtigung der Ziele und Kriterien des Förderprogramms zugrunde.
- Übergabe des Förderbescheids in Höhe von 394 T€ für das Projekt „KI gestützte UAVs für die ökologische Land- und Forstwirtschaft“ an der FHW durch den Chef der Staatskanzlei des Landes Schleswig-Holstein, Dirk Schrödter am 22.07.2021.
- Im Juli 2021 hat die Jury des [ITU-FAO „Digital Excellence in Agriculture in Europe and Central Asia - Regional Contest“](#) entschieden, dass das Projekt „High-Precision Weed Control in Organic Farming“ zu den 28 Finalisten gehört. Es wurde der Kategorie „Agriculture innovations systems and sustainable farming - Farm automation, robots, drones“ zugeordnet. Die Projekte der 28 Finalisten wurden als wirkungsvoll, nachhaltig, hochskalierbar und innovativ identifiziert, die eine Kombination mehrerer Technologien verwenden und den digitalen Wandel der Agrarsektoren Europas und Zentralasiens verbessern können. Die 28 Finalisten erhalten die Möglichkeit, ihre Innovationen und herausragenden Leistungen bei der Online-Preisverleihung „[Digital Excellence in Agriculture](#)“ am 23. September 2021 im Rahmen des ITU Regional Innovation Forum for Europe zu präsentieren. Es gab insgesamt 200 Anträge aus 38 Ländern. Davon wurden 171 Anträge zugelassen, die die hohen Qualitätskriterien erfüllten.
- Vortrag auf der [Frühjahrstagung der Agrarsozialen Gesellschaft e.V.](#) „[Robotergestützte Unkrautregulierung im Bio-Möhrenanbau](#)“ am 05.05.2021 (Online-Veranstaltung).
- Presseartikel „Flugplatz Leck als Testfeld für Drohnen: Im Mai muss das Konzept stehen“ in Nordfriesland Tageblatt vom 19 Februar 2021.

- Presseartikel „Netzwerke und Robotik im Biopflanzenbau“ in Ökologie & Landbau, Februar 2021.
- [Vortrag auf dem 56. Arbeitskreis](#) der Initiative Bildverarbeitung e.V. „Intelligent and chemical-free robotic system for autonomous weed control“ auf der Online-Veranstaltung am 29.01.2021.

2022

- Vortrag auf den EIP-AGRI-TAGEN des [Agronym e.V.](#) „Digitalisierung im Bioanbau – Praxistest der automatischen Unkrautregulierung bei Bio-Möhren im 8-Spur-Betrieb mittels spezieller IT-Infrastruktur bzgl. der geforderten Flächenleistung und Kostenerwartung“ am 17.02.2022 (Online-Veranstaltung).

e) Beitrag der Ergebnisse zu förderpolitischen EIP Zielen

Die Zuwendung fällt unter die Förderung der ländlichen Entwicklung durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER-Verordnung). Ziel ist es einen Beitrag für eine wettbewerbsfähige, nachhaltig wirtschaftende und tierartgerechte Land- und Ernährungswirtschaft zu leisten. Mit dem Projekt „Digitalisierung im Bioanbau – Praxistest der automatischen Unkrautregulierung bei Bio-Möhren im 8-Spur Betrieb mittels spezieller IT-Infrastruktur bzgl. der geforderten Flächenleistung und Kostenerwartungen“ wurde genau diese Zielsetzung erreicht.

Sollte es gelingen, basierend auf unseren Projektergebnissen, ein praktikables und ökonomisch tragfähiges Verfahren zur Robotergestützten Unkrautbekämpfung im Bioanbau (in diesem Projekt Bio-Möhren) zu erarbeiten, so ist das ein wichtiger Meilenstein für die Zukunftsfähigkeit des Bioanbaus in Schleswig-Holstein. Aber auch die konventionelle Landwirtschaft könnte von den Ergebnissen dieses Projektes profitieren. Der Einsatz von chemischen oder synthetischen Pflanzenschutzmittel wird in Zukunft durch Gesetzesänderungen und das Verhalten der Verbraucher immer schwieriger durchzuführen sein.

Die in diesem Projekt vorgeschlagene robotergestützte Unkrautregulierung ist ein klimaneutrales Verfahren, frei von Pflanzenschutzmittelrückständen an Pflanzen und im Boden, und unabhängig von der jeweils aktuellen Verfügbarkeit zugelassener Pflanzenschutzmittel. Ein solches Verfahren ist als absolut nachhaltig zu bezeichnen.

Mit der Entwicklung eines robotergestützten Verfahrens zur Unkrautregulierung im Bioanbau werden die partizipierenden Biobetriebe in die Lage versetzt, ein zukunftsfähiges Verfahren zur automatischen Unkrautregulierung anzuwenden, das Mitbewerber in anderen Regionen oder Staaten so zunächst nicht anbieten können. Somit dient dieses Projekt der Absicherung der wirtschaftlichen Entwicklungschancen vieler Biobetriebe in Schleswig-Holstein.

Die Verwendung von nachhaltigen, rückstandslosen Verfahren zur Unkrautbekämpfung im Bioanbau steht nicht nur im Einklang mit den förderpolitischen EIP Zielen sondern auch mit den Wünschen der Gesellschaft, die immer stärker auf Nachhaltigkeit, Umweltfreundlichkeit und Rückstandsfreiheit setzt.

f) Nebenergebnisse – „by-catches“

Als herausragendes Nebenergebnis sei die Ausgründung der Firma naiture GmbH durch den Westhof zu nennen. Dadurch ist die Weiterentwicklung des in diesem Projekt entwickelten Prototypens auch nach Projektabschluss gesichert. Es sei auch zu erwähnen, dass die Mitarbeiter des EIP-Projektes von der Firma naiture übernommen worden sind und somit auch der Know-How Transfer von der Hochschule in das Unternehmen gesichert wurde. Doch auch die Zusammenarbeit der OG-Mitglieder wird durch die Firmengründung zukünftig gewährleistet.

g) Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Alle im Projekt durchgeführten Arbeiten führten zu Lösungen.

V. Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Die Projektergebnisse zeigen, dass die angestrebte Flächenleistung und Genauigkeit mit einer Robotergestützten Beikrautregulierung erreicht werden kann und das zu einem Bruchteil der Kosten für die manuelle Arbeit. In den nächsten Jahren soll in einer Langzeitstudie durch die Firma naiture untersucht werden, ob die mechanische Unkrautbekämpfung unter den stark schwankenden Feldbedingungen ein effektiver Ersatz für die manuelle Unkrautbekämpfung sein kann. Es ist somit dringend zu empfehlen, die Entwicklungen in den kommenden Jahren weiter zu beobachten (siehe www.naiture.org).

VI. Verwertung und Nutzung der Ergebnisse

Wie bereits oben erwähnt, ist die Weiterentwicklung des in diesem Projekt entwickelten Prototypens auch nach Projektabschluss durch die Firma naiture gesichert. Die neu gegründete Firma gehört zur Westhof-Gruppe und soll die Kommerzialisierung der an der FHW entwickelten Technologien vorantreiben.

VII. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Die wirtschaftliche Anschlussfähigkeit dieses Projektes wurde bereits in den letzten Abschnitten hinreichend beleuchtet. Aber auch auf wissenschaftlicher Ebene, konnten bereits während der Projektlaufzeit die Projektergebnisse international auf double-blinded reviewed Konferenzen präsentiert werden. Was eine Aussage über die wissenschaftliche Qualität der Veröffentlichung macht. Hinzu kommt, dass acht Bachelor- und vier Masterarbeiten während der Projektlaufzeit im Projekt durchgeführt worden sind.

Es sei aber auch zu erwähnen, dass wir mit den erzielten Projektergebnissen den internationalen Wettbewerb der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation (FAO) in 2021 gewonnen hatten. Der Wettbewerb „Digital Excellence in Agriculture in Europe and Central Asia“ wurde Ende 2020 unter anderem von der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) ins Leben gerufen. Ziel des Wettbewerbs war es, bewährte Verfahren und innovative Lösungen zu präsentieren, welche den digitalen Wandel in der regionalen Landwirtschaft entscheidend fördern. Mehr als 200 Anträge aus 38 Ländern gingen bei der Jury ein. 171 davon erfüllten die hohen Qualitätskriterien und wurden für die nächste Wettbewerbsphase zugelassen. In dieser wählte die Jury 28 Finalisten aus, deren Projekte sich durch die Kombination mehrerer Technologien als wirkungsvoll, innovativ, hochskalierbar und nachhaltig erweisen konnten. Die Finalisten erhielten dann die Möglichkeit, ihre Projekte im Rahmen des „ITU Regional Innovation Forum for Europe“ (Internationalen Fernmeldeunion (ITU) für Europa und Asien) online zu präsentieren.

Die Jury überzeugte insbesondere, dass das von der FH Westküste entwickelte System, durch die Nutzung mehrerer, parallel arbeitender Erkennungs- und Unkrautvernichtungssysteme eine hohe Flächenleistung erreichen kann. Das System sticht dabei durch technische Innovationen und eine spezielle IT-Infrastruktur hervor und hat inzwischen Praxisreife erreicht. Folglich wurde das Forschungsprojekt mit dem 1. Platz in der Kategorie „Innovative landwirtschaftliche Systeme und nachhaltige Landwirtschaft“ ausgezeichnet (siehe Abb. 15).



Abb. 15: 1. Platz in der Kategorie „Innovative landwirtschaftliche Systeme und nachhaltige Landwirtschaft“.

VIII. Administration und Bürokratie

a) Bürokratischer Aufwand

Ein EIP-Projekt ist durchaus mit einem gewissen bürokratischen Aufwand verbunden. Dieser konnte jedoch reduziert werden, da eine administrative Kraft zur Unterstützung eingestellt werden

konnte, die überwiegend die Abrechnungen des Projektes übernahm. Ohne diese Arbeitskraft hätte es deutlichere Einbußen bei der Umsetzung gegeben. Problematisch waren jedoch die Verwaltungstätigkeiten, die erst nach Projektabschluss aufgetreten sind. Durch den Wegfall des Personals, blieben diese Arbeiten alle beim Projektleiter hängen, der den damit verbundenen Zeitaufwand vorher nicht berücksichtigt hatte.

b) Schwierigkeiten bei der Administration

Der Support, der von dem Innovationsbüro zur Verfügung gestellt wurde, half bei der Administration. Ohne diesen Support, wäre eine Abwicklung des Projektes fast gar nicht möglich gewesen, da doch viele Dinge bei der Durchführung zu beachten sind.

c) Verbesserungsvorschläge

Wie sagt man so schön „Im Nachhinein ist man immer Schlauer“. Die Abwicklung eines EIP-Folgeprojektes wäre nach den gemachten Erfahrungen aus dem ersten Projekt bestimmt deutlich einfacher. Die durch das Innovationsbüro zur Verfügung gestellte Unterstützung, könnte jedoch aus unserer Sicht nicht verbessert werden.

IX. Nutzung des Innovationsbüros (Innovationsdienstleister, IDL)

Das Innovationsbüro ist neben dem Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein eine geeignete Anlaufstelle für die Projektgruppen. Das Innovationsbüro unterstützt die Gruppen dabei unterschiedliche Vorgaben wie zur Publizitätspflicht einzuhalten.

Entscheidend sind auch Hinweise, die zu inhaltlich verwandten Aktivitäten in Deutschland und der Europäischen Union gegeben werden. Die Vernetzung mit anderen Projekten wird durch das Innovationsbüro erleichtert.

X. Kommunikations- und Disseminationskonzept

Als zentraler Baustein des Kommunikations- und Disseminationskonzeptes fungierten OG-Treffen in Form von regelmäßigen Gruppentreffen. Die Berater*innen und Landwirt*innen der Gruppe haben die auf den Treffen gewonnenen Informationen anschließend in die Praxis getragen.

Ergänzend wurden verschiedene Kanäle genutzt, um die Projektinhalte weiterzutragen. Mit Publikationen in der Zeitschrift „Bauernblatt“ sowie nationalen und internationalen Vorträgen auf unterschiedlichen Veranstaltungen und Seminaren wurde ein intensiver Austausch mit Praktiker*innen, Berater*innen, anderen Projektgruppen und wissenschaftlichen Institutionen ermöglicht. Darüber hinaus hat sich die OG auch an einem internationalen EIP-Treffen eingebracht. Außerdem konnte und kann man sich auf der Internetseite der FHW (<https://www.fh->

westkueste.de/forschung/projekte-technik/digitalisierung-in-der-land-und-forstwirtschaft/) sowie auf der des Innovationsbüros über das Projekt informieren.

XI. Schlussfolgerung und Zusammenfassung

Ausgangslage und Zielsetzung

Es wird zunehmend schwieriger, Arbeitskräfte zur manuellen Unkrautregulierung zu finden. Die Qualität des Prozesses, bedingt durch die menschlichen Arbeitskräfte ist außerdem inhomogen. Der aufwändige Personaleinsatz ist bei arbeitsintensiven Kulturen im Bio-Anbau der größte Kostenfaktor. Aus diesen Gründen ist die Dörscher & Carstens (D&C) Bio GbR auf die FHW zugegangen und hat nach einer Lösung des Problems für den Biomöhrenanbau gesucht. Im Rahmen der Diskussionen hat sich die OG „Robotergestützte Unkrautregulierung im Praxistest“ formiert und das hier beschriebene Projekt durchgeführt.

Das Projektziel war es, einen vorhandenen Prototypen für die automatische Beikrautregulierung bei Bio-Möhren im 1-Spur Betrieb (siehe Bild 1) auf einen 8-Spur Betrieb umzubauen, so dass er die nötige Flächenleistung für einen wirtschaftlichen Betrieb erreichen kann. Das im Rahmen dieses Projektes entwickelte System soll dabei in den nächsten Jahren die Flächenleistung und Anwenderfreundlichkeit des Systems bis zur Praxisreife sukzessiv steigern.

Projektdurchführung

Am Anfang des Projektes wurden zunächst die nötigen Materialien und Technikkomponenten besorgt. In einer gemeinsamen Diskussion mit den Mitgliedern der OG wurde dann, anders als ursprünglich geplant, beschlossen einen Solarjäteflieger als Trägerfahrzeug umzubauen. Zunächst wurden nur drei Vernichtungseinheiten aufgebaut und auf dem 8-Spur-Roboter montiert. Die ersten Feldtests wurden dann in 2019 durchgeführt. Bei diesen Tests hat sich gezeigt, dass das System grundsätzlich wie geplant funktioniert, jedoch weitere Optimierungen für die Praxisreife nötig sind.

Zwischen Mai und September 2020 konnte das Gesamtsystem auf den Feldern des Westhofs in Friedrichsgabekoog und Umgebung im 1-Spur- und zuletzt im 8-Spur-Betrieb getestet werden. Der erste Feldtest mit dem entwickelten 8-Spur System zeigte, dass das System aktuell eine niedrigere Genauigkeit und Flächenleistung im Vergleich zur manuellen Unkrautregulierung aufweist. Es wurden jedoch einige Verbesserungspotenziale während der Tests erkannt. Im Herbst 2020 wurde ein Folientunnel angeschafft, um das System auch bei schlechten Witterungen evaluieren zu können.

Am Anfang des Jahres 2021 wurde aufgrund der im vorherigen Jahr erzielten Ergebnisse beschlossen, das 8-Spur-System im Hinblick auf Robustheit der mechanischen Bauteile zu optimieren. Dafür wurden in Zusammenarbeit mit dem Metallverarbeitungsunternehmen Leuka e.K vier neue Sensor/Aktor-Einheiten entwickelt. Die ersten Feldtests mit dem entwickelten 4-Spur System zeigten, dass die Einheiten wesentlich robuster und damit länger ohne Reparaturen arbeiten konnten. Im gesamten Testzeitraum in 2021 konnten damit ca. 5 ha bearbeitet werden.

Ergebnisse

Aus den ersten Ergebnissen aus 2020 ging hervor, dass das derzeitige Unkrautbekämpfungsggerät nicht alle Unkrautgrößen gleich gut entfernt. Daher wurde die Bewertung der Ergebnisse von 2021 in folgende drei Kategorien unterteilt: kleines, mittleres und großes Unkraut. Durch diese Unterteilung des Unkrauts in drei Wachstumsgrößen wurde festgestellt, dass beim Einsatz des Roboters in den ersten 4 Wochen nach der Aussaat eine Genauigkeit von 81 % erreicht werden kann. In dieser Phase übertrifft der Roboter die menschliche Hilfskraft. Vergleicht man dieses Ergebnis mit dem des Jahres 2021, so ergibt sich eine Steigerung von ca. 26%. Es zeigte sich, dass die Gesamtkosten für den Betrieb des Robotersystems nur einen Bruchteil der Kosten für die manuelle Arbeit betragen.

Schlussfolgerung

Die Ergebnisse zeigen, dass die angestrebte Flächenleistung und Genauigkeit mit einer Roboter-gestützten Beikrautregulierung erreicht werden kann und das zu einem Bruchteil der Kosten für die manuelle Arbeit. In den nächsten Jahren soll in einer Langzeitstudie untersucht werden, ob die mechanische Unkrautbekämpfung unter den stark schwankenden Feldbedingungen ein effektiver Ersatz für die manuelle Unkrautbekämpfung sein kann. Es ist somit dringend zu empfehlen, die Entwicklungen in den kommenden Jahren weiter zu beobachten (siehe www.nature.org).

Lead-Partner:

Fachhochschule Westküste (FHW)
Fritz-Thiedemann-Ring 20
25746 Heide

Ansprechpartner:

Prof. Dr.-Ing. Stephan Hußmann
E-Mail: hussmann@fh-westkueste.de