

Abschlussbericht



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

Zuwendungsempfänger

Verein der Zuckerindustrie e.V.
Institut für Zuckerrübenforschung (IfZ)
Holtenser Landstr. 77
37081 Göttingen

Akronym

OptiKult

Förderkennzeichen

2819112919

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 und Zusammenarbeit mit anderen Stellen	3
I.3 Wesentliche Ergebnisse der eigenen Arbeiten	4
II. Eingehende Darstellung.....	6
II.1 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse.....	6
II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	19
II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	20
II.4 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse im Gesamtprojekt.....	20
II.5 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	20
II.6 Erfolgte Veröffentlichungen	21

I. Kurzbericht

I.1 Aufgabenstellung mit wissenschaftlichem Stand zu Beginn

Das Ziel des Projektes OptiKult insgesamt war die Entwicklung, Erprobung und Bewertung verschiedener Verfahren der Unkrautkontrolle mit reduziertem Herbizideinsatz im Zuckerrübenanbau. Verfahrensbestandteile waren ein zu entwickelnder Kleinroboter zur hochgenauen Saatgutplatzierung sowie für das präzise Längs- und Querhacken, die hochgenaue Aussaat mit einer marktverfügbaren Zuckerrübendrilla (GeoSeed2) und die Herbizid-Streifenapplikation mit einer marktverfügbaren Großflächen-Feldspritze (Horsch-Leeb). Aufgabe des IfZ war die Erprobung und Bewertung der neu entwickelten Verfahren im Hinblick auf die Wirksamkeit der Unkrautkontrolle und das Zuckerrübenwachstum sowie die Erstellung einer Technikfolgenabschätzung im Vergleich zu konventionellen Verfahren mit vollflächigem Herbizideinsatz. Hierzu lagen zum Projektstart keine belastbaren Daten vor.

I.2 Ablauf des Vorhabens und Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Wirksamkeit von vier neuen Verfahren (Szenarien) der Unkrautkontrolle sollte im Vergleich zu einem Referenzszenario getestet werden. Davon sollten drei robotergestützte Szenarien (Sz1, Sz2 und Sz4) in Parzellenversuchen und ein Szenario (Sz3) auf separaten großflächigen Versuchspartellen getestet werden. Abweichend von der ursprünglichen Planung wurde (1) ein zusätzliches Szenario mit einem bereits auf dem Markt befindlichen Roboter (FarmDroid, FD), der dem IfZ im Frühjahr 2023 kurzfristig zur Verfügung stand, in die Parzellenversuche integriert; und 2) Sz4 durch Sz4n ersetzt (siehe die Auflistung unten).

Sze- nario	Beschreibung	Ge- plant	Getes- tet
1	Aussaat im Rechteckverband mit einer Einzelkornsämaschine, Längshacken konventionell, Querhacken mit Roboter	X	X
2	Aussaat im Rechteckverband, Längs- und Querhacken mit Roboter	X	X
3	Aussaat konventionell, Streifenspritzung mit angepasster Feldspritze, Längshacken konventionell	X	X
4	Wie Sz1 + Punktspritzung mit Roboter*	X	
4n	Aussaat wie Sz1, Herbizid-Flächenspritzung bei der ersten Nachauflaufbehandlung (NAK1), eine Kombination aus Schlepperhacke und Streifenspritzung (Technik IfZ) zu NAK2 und eine Schlepperhacke zwischen den Reihen mit hoher Geschwindigkeit (NAK3)		X
FD	Aussaat und mindestens 3-maliges Hacken mit einem FarmDroid-Roboter		X
Ref	Aussaat im Rechteckverband, Flächenspritzung (konventionell)	X	X

*Da die geplante Roboter-basierte Herbizid-Punktapplikation technisch nicht verfügbar war, wurde auf Szenario 4n ausgewichen

Die Szenarien, die Arbeiten mit dem Roboter H-Sys beinhalteten (Sz1, 2, Ref), konnten ausschließlich im Sommer und Herbst des letzten Projektjahres 2023 und in nur eingeschränktem Umfang untersucht werden; zuvor wies der Roboter kein ausreichendes Spurhaltevermögen auf.

Zur Überprüfung des Rechteckverbandes wurden Drohnenflüge durchgeführt und hochauflösende Orthomosaikbilder erstellt und ausgewertet, um die tatsächlichen Pflanzenpositionen zu bestimmen. Die Pflanzenkoordinaten wurden zu weiterführenden Auswertungen an den Projektpartner JKI-AT weitergeleitet.

Szenario 3 beinhaltete eine Streifenspritzung mit der Großflächen-Feldspritze der Fa. Horsch-Leeb (H-L). Dies konnte aufgrund der Dimensionierung der Feldspritze nicht in den Parzellenversuchen untersucht werden, sondern wurde auf separaten Versuchsflächen gemeinsam mit H-L getestet und optimiert. Um die Funktionalität der Feldspritze für die Reihenanwendung zu überprüfen, wurde anstelle des Herbizids eine Farbtracperlösung eingesetzt. Die Funktionstests wurden auf vom IfZ vorbereiteten Versuchsflächen in den Jahren 2022 und 2023 sowie auf zwei Praxisbetrieben im Jahr 2023 durchgeführt und durch Drohnenüberfliegungen begleitet. Nach jedem Testlauf wurden gemeinsam mit H-L die aufgetretene Mängel schrittweise beseitigt, bis die Spritze ausreichend optimiert war. Schließlich wurde 2023 die Streifenspritzung der Farbtracperlösung mit der optimierten H-L-Feldspritze auf einer Versuchsfläche und auf einem Praxisfeld (mit schwierigeren Anwendungsbedingungen) durchgeführt und die Applikationsgenauigkeit mit Hilfe von Drohnenbildern quantitativ bewertet.

Für die Durchführung des Projektes war ein intensiver Austausch aller Projektpartner (Partner aufführen) erforderlich. Arbeitspakete der Partner bauten zum Teil aufeinander auf. Zur Planung der Arbeiten und zur Diskussion der Ergebnisse wurden vier Projekttreffen in Person durchgeführt und außerdem trafen sich die Projektpartner monatlich online zum Austausch.

1.3 Wesentliche Ergebnisse

Die Feldspritze HL6GS wurde nach mehreren Funktionstests und schrittweiser Fehlersuche gemeinsam mit H-L für das Streifenspritzen optimiert.

Der Einsatz von Farbtracperlösung zur Bewertung der Applikationsgenauigkeit der Streifenspritzung mit der Feldspritze HL6GS (Sz3) erwies sich als aussagekräftig und quantitativ auswertbar. Im Schlaginneren wurde bei der Streifenspritzung mit der Feldspritze (H-L) mit durchschnittlich 95 % der Zielfläche über die gesamte Spritzbreite eine sehr hohe Applikationsgenauigkeit erreicht. Auf dem Vorgewende des Praxisfeldes wurden die Applikationsbedingungen durch kurvige Reihenverlaufslinien, Seitenhänge und Querspuren erschwert. Bei leichter Krümmung und unmittelbar nach Querspuren wurden ca. 80 % der Zielfläche erfolgreich behandelt, bei starker Krümmung nur 25 %. An Stellen, an denen die Drillanschlüsse nicht genau passten, war die

Abnahme der Applikationsgenauigkeit von der Drillbreite mit der Kamera zu den anderen Drillbreiten deutlich sichtbar.

Da im Feld-Vorgewende noch keine ausreichende Genauigkeit erreicht wurde, bietet eine Kombination der Streifenspritzung im Feldinneren mit einer Flächenspritzung auf dem Vorgewende nach dem derzeitigen Stand eine funktionstüchtige Technik zur Reduktion der Herbizidaufwandes, verbunden mit dem Hacken zwischen den Reihen.

Die Genauigkeit des Rechteckverbandes der Pflanzenbestände in Sz1 und Sz4 konnte mithilfe der durch Auswertung der Drohnenbilder ermittelten Koordinaten der Jungpflanzen bewertet und bestätigt werden. Der Wirkungsgrad der Unkrautbekämpfung mit FarmDroid (SzFD) war genauso hoch wie im Referenzszenario.

Aufgrund der unvollständigen Funktionalität des Kleinroboters war es nicht hinreichend möglich, die Szenarien 1 und 2 in Parzellenversuchen zu bewerten und auf Praxisbetrieben umzusetzen. Szenario 4 musste, wie zuvor beschrieben, sogar vollständig neu konzipiert werden. Daher konnten die Szenarienvergleiche und auch die Technikfolgenabschätzung insgesamt nicht-durchgeführt werden.

II. Eingehende Darstellung

II.1 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Das IfZ war an der Durchführung der Arbeitspakete (AP) 1 Optimierung Einzelkornsäegerät, AP 2 Großflächen-Bandspritzung, AP 7 Parzellenversuche, AP 8 Szenarienvergleiche in Praxis und Technikfolgenabschätzung und AP 9 Querschnittsthemen beteiligt (Tab. 1).

Tabelle 1 Zeitplan und Umfang der Arbeiten des IfZ im Projekt OptiKult

AP	Jahre	Anzahl Felder 2021-2023	-- 2021 -- -- 2022 -- -- 2023 -- 2024															
			II III IV I				II III IV I				II III IV I							
Aktivitäten			Quartal															
1,7	Drohnenbefliegung zur Evaluierung von Rechteckverband (GeoSeed)	2																
1	Bestimmung der Saatgut-ablagepositionen	2																
2	Umbau der Feldspritze für Funktionstests																	
2,7,8	Auswahl Versuchsflächen	8																
2,7,8	Bodenbearb., Düngung	5																
2,7,8	Aussaat	5*																
2,8	Durchführung Streifen-spritzung mit HL6GS	7																
7	Parz.-Versuche: Pflanzen-position im Rechteckver-band	3																
7,8	Unkrautbekämpfung: Feld-, Streifenspritze; Hacke, Roboter	4																
7,8	Fungizidmaßnahmen	3																
7,8	Unkrautbonitur	3																
7,8	Auswertung Unkrautwir-kungsgrad	3																
8	Drohnenbefliegung zur Evaluierung von Präzision der Streifenspritzung (HL6GS)	6																
8	Bewertung der Präzision der Streifenspritzung	2																
9	Veröffentlichungen (Vorbe-reitung und Präsentation)																	
9	Abschlussbericht																	

*An 2 von 5 Flächen Aussaat einer zusätzlichen FarmDroid-Variante durch das IfZ. Aussaat der anderen Varianten durch JKI-AT (GeoSeed2) und H-Sys (Roboter).

AP1 Optimierung des Einzelkornsäegerätes GeoSeed2

In dem von JKI-AT geleiteten AP1 war das IfZ für die Überprüfung der tatsächlichen Saatgut-ablageposition der GeoSeed2 im Feld anhand der Positionen der aufgelaufenen Keimpflanzen zuständig. Die Arbeiten erfolgten in Verbindung mit der Anlage der Parzellenversuche in den

Jahren 2022 und 2023 an zwei Standorten bei Göttingen (AP7) und umfassten die Drohnenbefliegung mit Aufnahme hochgenauer Luftbilder und anschließender Positionsbestimmung der Einzelpflanzen. Eine detaillierte Beschreibung der Arbeiten und Darstellung der Ergebnisse findet sich unter AP7. Die Pflanzenkoordinaten wurden an JKI-AT zur weiteren Auswertung übermittelt.

AP2 Großflächen-Streifenspritzung mit der Feldspritze HL6GS

In AP2 war das IfZ für die Durchführung von Funktionstests im Feld auf Großflächen verantwortlich. Die Arbeiten erfolgten eng abgestimmt mit H-L, der IfZ eine Feldspritze Horsch-Leeb 6GS (HL6GS) bereitstellte. Die Funktionstests wurden an drei von IfZ vorbereiteten Versuchsfeldern und auf 2 Praxisfeldern durchgeführt. Zu den Aufgaben des IfZ zählten im Einzelnen: (1) die Optimierung der Feldspritze für die Farbtracerausbringung; (2) die Auswahl und Vorbereitung (Bodenbearbeitung, Düngung, Aussaat) geeigneter Flächen für Funktionstests; (3) die Durchführung von Feldtests mit Farbtracerausbringung, RTK-GPS-Tracken der Drillspuren und 4) die visuelle Bewertung der Reihenführung der Feldspritze sowie Drohnenflüge und Drohnenbilderauswertungen zur Bewertung der Reihenführung der Feldspritze (Abb. 1, 2).

AP3 und AP4 Entwicklung Aussaatwerkzeug für Roboterplattform, Anpassung Hackwerkzeuge für Roboterplattform

In diesen AP stellte das IfZ Felder für Feldtests des Roboters, der von H-Sys entwickelt wurde, zur Verfügung. Geplant war, diese Flächen für die Parzellenversuche des AP7 weiter zu nutzen und die Präzision der Saatgutablage/Pflanzenpositionen (AP3) bzw. der Werkzeugführung beim Hacken (AP4) zu untersuchen. Mehrfach wiederholte Ansätze zur Anlage und Durchführung der Parzellenversuche mussten jedoch aufgrund unvollständiger Funktionstüchtigkeit des Roboters abgebrochen werden (siehe AP7). Daten konnten somit nicht erhoben werden.

AP7 Parzellenversuche

Das IfZ war für die Durchführung von Parzellenversuchen zum Szenarienvergleich in den Jahren 2022 und 2023 verantwortlich. Die Versuchsanlage erfolgte gemeinsam mit den Projektpartnern JKI-AT und H-Sys, die mit der GeoSeed2 (JKI-AT) bzw. dem Roboter (H-Sys) zu Feldeinsätzen auf die vom IfZ vorbereiteten Versuchsfeldern bei Göttingen kamen. Ziel der Versuche war es, die Unkrautwirkung und das Zuckerrübenwachstum verschiedener Verfahren der Unkrautkontrolle in Zuckerrüben zu vergleichen. Dazu wurden 5 Szenarien (Sz) konzipiert, die an zwei Standorten in zwei aufeinanderfolgenden Jahren etabliert werden sollten (Abb. 3).



Abbildung 1 Funktionstests der Streifenspritzung mit einer Horsch-Spritze (HL6GS) mit Farbtracer-Ausbringung auf einer Versuchsfläche in Weende (A) und auf einem Praxisbetrieb in Adelebsen (B, C) im Mai 2022



Abbildung 2 Aussaat mit RTK-GPS-Tracker (A), für Funktionstests der HL6GS vorbereiteter Schlag mit geradem und kurvigem Reihenverlauf (B) und Durchführung von Funktionstests (C) auf der IfZ-Versuchsfläche Sieboldshausen 2022

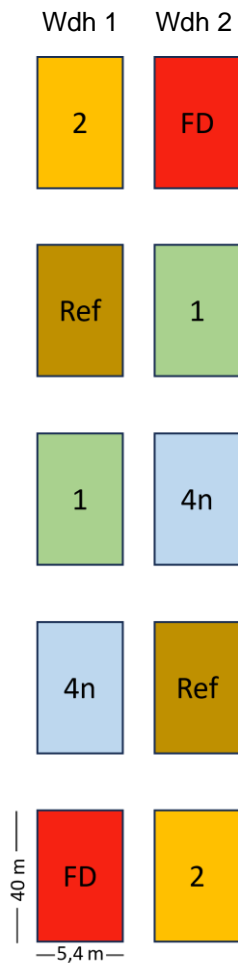


Abbildung 3
Parzellenplan der
Versuche in AP 7
an den Standorten
Lenglern und
Sieboldshausen
mit 5 Techniksze-
narien in 2 Wie-
derholungen
2023. Jede Par-
zelle umfasste 12
Rübenreihen.

(Sz1) Georeferenzierte Aussaat im Rechteckverband mit GeoSeed (JKI-AT) gefolgt von einer Schlepperhacke für das Längshacken (lfZ) und vom Roboter H-Sys für das Querhacken;

(Sz2) Georeferenzierte Aussaat im Rechteckverband mit dem H-Sys-Roboter, gefolgt von Roboter-Längs- und Querhacken;

(Sz4n) Georeferenzierte Aussaat im Rechteckverband mit GeoSeed2 mit Herbizid-Flächenspritzung bei der ersten Nachauflaufbehandlung (NAK1), gefolgt von einer Kombination aus Schlepperhacke und Streifenspritzung (6-reihige Schlepperhacke-Streifenspritze des lfZ) bei NAK2 und einer abschließenden Schlepperhacke zwischen den Reihen mit erhöhter Geschwindigkeit zur Erzielung eines Häufeleffektes zur Unkrautbekämpfung (NAK3). Nach der ursprünglichen Planung war in Sz4 neben dem Hacken in Längs- und Querrichtung eine Punktapplikation von Herbiziden mit dem H-Sys-Roboter im Bereich der Kulturpflanze geplant. Da jedoch die rechtzeitige Im-

plementierung der Spot-Applikation für den H-Sys-Roboter nicht erreicht wurde, wurde anstelle dessen das kombinierte Szenario Sz4n integriert.

(SzFD) Aussaat und anschließend mindestens 3-maliges Hacken mit einem FarmDroid-Roboter, der dem lfZ im Frühjahr 2023 kurzfristig zur Verfügung stand. Auch das SzFD war in der ursprünglichen Planung nicht enthalten, da der FarmDroid-Roboter dem lfZ erst nach Projektbeginn von dritter Stelle zur Verfügung gestellt wurde. Durch die Integration eines FarmDroid in die Parzellenversuche wurde angestrebt, zwei ausschließlich mechanische Verfahren mit unterschiedlichen Robotern zu vergleichen: H-Sys versus FarmDroid.

(Ref) Georeferenzierte Aussaat im Rechteckverband mit dem H-Sys-Kleinroboter mit einer dreimaligen ganzflächigen Ausbringung von Herbiziden (NAK1-3) als Referenzvariante.

Die einzelnen Aktivitäten des lfZ bei der Durchführung der Parzellenversuche sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

Ein weiteres Szenario 3, eine Streifenspritzung mit einer optimierten Feldspritze (H-L) wurde nicht in Parzellenversuchen, sondern wie geplant auf separaten Versuchsflächen und Praxisfeldern untersucht, da hier die Prüfung der Applikationsgenauigkeit der Spritze unter schwierigen Bedingungen im Vordergrund stand. Dies erforderte längere Fahrstrecken mit Seitenhang

und kurvigem Reihenverlauf, die nicht in einen Parzellenversuch integriert werden können (siehe AP8).

Tabelle 2 Übersicht über die Arbeiten des IfZ in AP7

Datum (Monat.Jahr)	IfZ-Aktivität
08.21	Auswahl einer geeigneten Fläche für den Parzellenvers. 2022 (Siebo22)
07.22	Bodenbearbeitung und Düngung
08.22	Abbruch des Versuch kurz nach Aussaat aufgrund fehlender Funktions-tüchtigkeit des H-Sys-Roboters
08-09.22	Drohnenflug und Erstellung des Orthomosaikbildes zur Erfassung der Qualität des GeoSeed2-Rechteckverbandes der Rübenpflanzen
08.22	Flächenauswahl für Parzellenversuche im Jahr 2023: Lenglern23, Siebo23 Siebo22: Bestimmung der Ist-Position der Pflanzen im Rechteckverband aus Drohnenbild, Ergebnisse an JKI-AT übermittelt
03.23	Bodenbearbeitung und Düngung in Siebo23, Lenglern23.
04.23	Aussaat und anschließendes Hacken mit FarmDroid-Roboter in SzFD Unkrautbonitur und anschließende Unkrautkontrolle in Sz4,5,6: Herbizidapplikation (Sz 4n, Ref); FarmDroid-Hacke (SzFD)
05.23	Durchführung der Unkrautkontrolle in Sz1, 4n, FD, Ref; Unkrautbonitur vor- und nach Unkrautkontrolle (Sz1, 2, 4n, FD, Ref)
05.23	Drohnenflug mit Erstellung der Orthomosaik zur Erfassung der Qualität des GeoSeed-Rechteckverbandes der Rübenpflanzen
06.23	Bonitur der Restverunkrautung
06.23	Fungizidapplikation gegen Blattkrankheiten in allen Parzellen
07.23	Bestimmung der Ist-Position der Pflanzen im Rechteckverband aus Drohnenbild, Ergebnisse an JKI-AT übermittelt
08.23	Auswertung der Unkrautboniturdaten. Berechnung des Wirkungsgrades der Unkrautregulierung für alle Szenarien (ausgenommen Sz2)
11.23	

Ergebnisse

Präzision des Rechteckverbandes. Der Parzellenversuch in Sieboldshausen 2022 wurde aufgrund unzureichender Funktionalität des H-Sys-Roboters bei der Aussaat und beim Hacken vorzeitig abgebrochen. Die Fehlflächen auf dem Drohnenbild (Abb. 4A) zeigen die Parzellen, die für den H-Sys-Roboter vorgesehen waren. Eine Auswertung von Luftbildern zur Erfassung der Ist-Position der Rübenpflanzen und die Visualisierung der Abweichungen von den Sollpositionen (Abb. 4B) fokussierte auf die mit der GeoSeed2 gesäten Parzellen (siehe AP1). Die Ergebnisse wurden an JKI-AT weitergeleitet und mit dem Projektpartner diskutiert. Die Parzellenversuche in Siebo23 und Lenglern23 wurden im Frühjahr 2023 ausgesät. Bereits bei der Aussaat mit dem H-Sys-Roboter waren die ungleichmäßigen und deutlich vom Zielwert von 45 cm abweichenden Abstände der Anschlussreihen sichtbar.

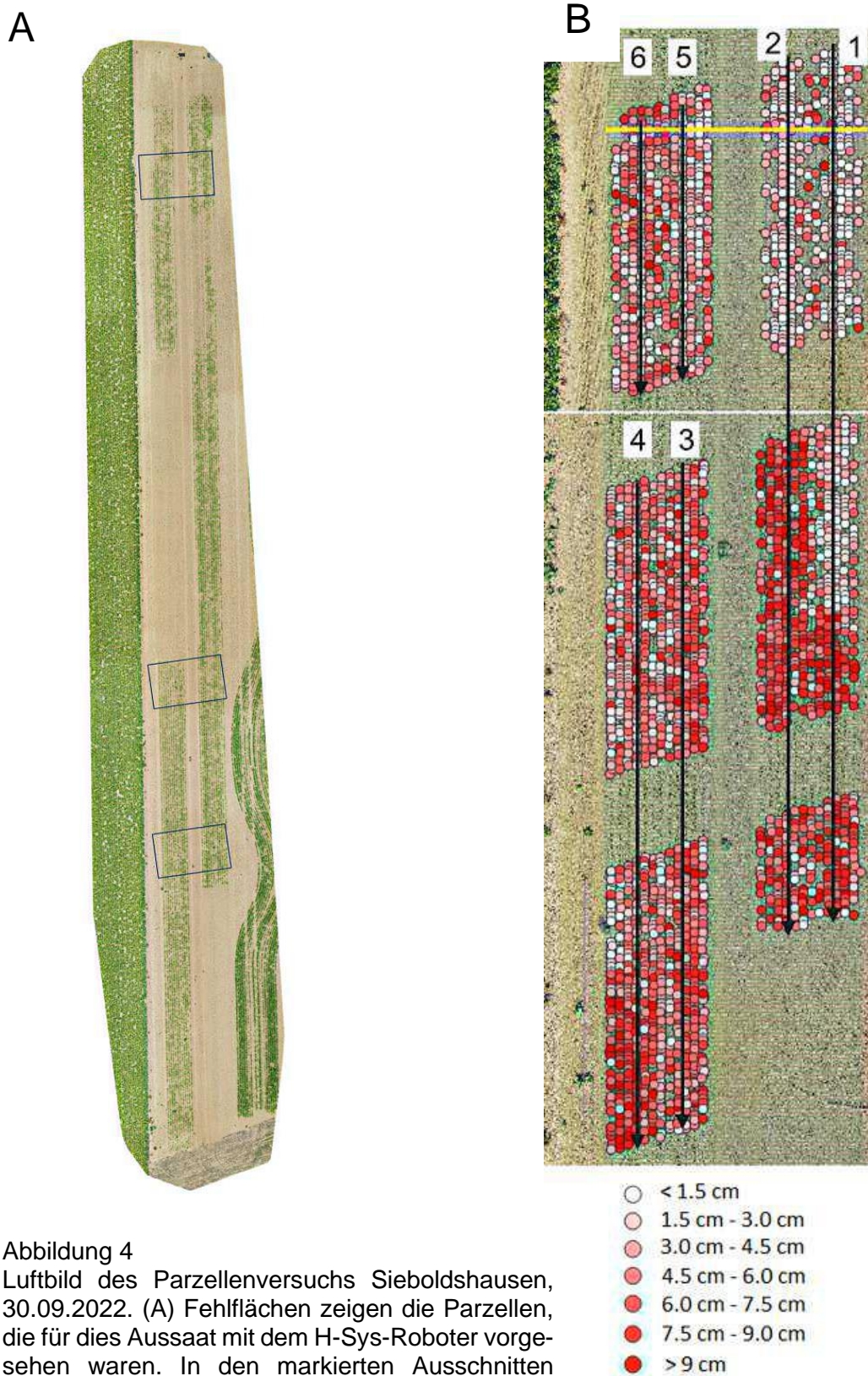


Abbildung 4
 Luftbild des Parzellenversuchs Sieboldshausen, 30.09.2022. (A) Fehlflächen zeigen die Parzellen, die für die Aussaat mit dem H-Sys-Roboter vorgesehen waren. In den markierten Ausschnitten wurde die Präzision des Rechteckverbandes nach Aussaat mit der GeoSeed2 (JKI-AT) quantifiziert; (B) Tatsächliche Pflanzenposition und deren Abweichung von der Sollposition in den mit der GeoSeed2 gesäten Parzellen. Die Zahlen und Pfeile zeigen die Reihenfolge und Richtung der Schlepperfahrten bei der Aussaat.

Nach dem Auflaufen der Rübenpflanzen wurde bei den mit dem H-Sys-Roboter gesäten Parzellen eine starke Abweichung vom Rechteckverband mit bloßem Auge erkennbar (Abb. 5A). Daher wurde die drohnenbildbasierte Bestimmung der tatsächlichen Positionen der Pflanzen mit dem "Plant Extraction Workflow" (Günder et al., 2022) nur für die von den GeoSeed2-bestellten Parzellen durchgeführt (Abb. 5B, C). Die ermittelten Ist-Positionen der Pflanzen wurden zur weiteren Auswertung an das JKI-AT gesendet.

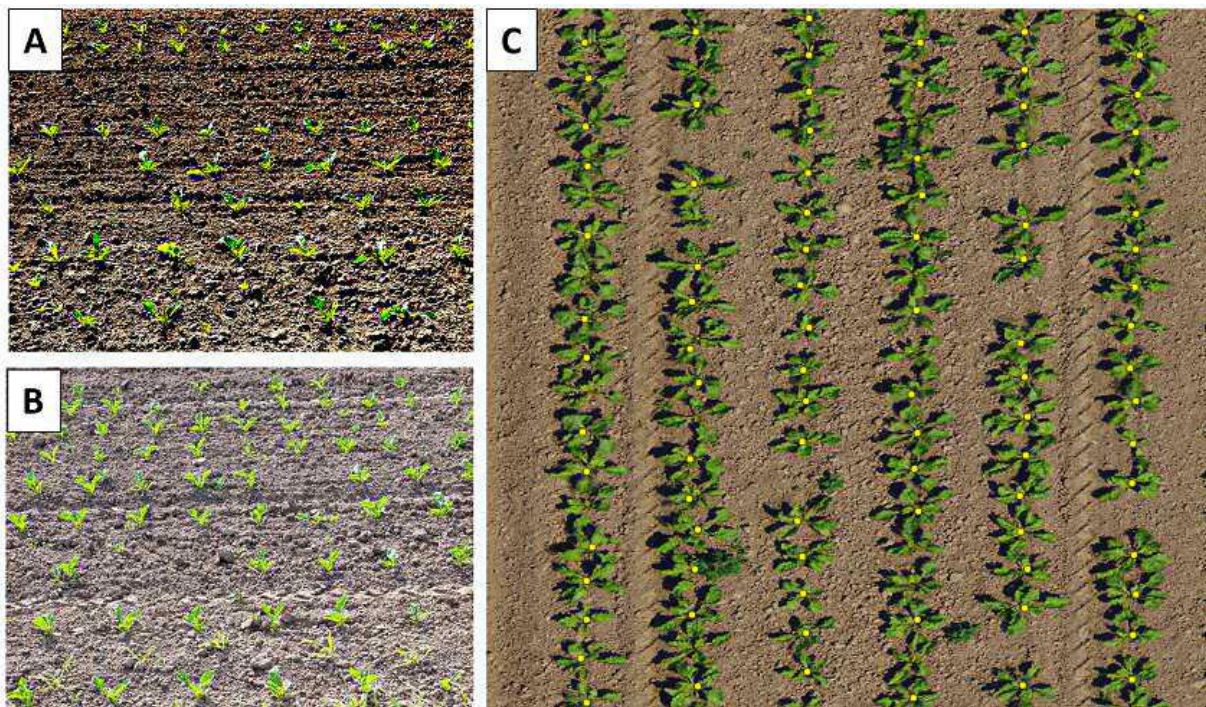


Abbildung 5 Erfassung der Qualität des Rechteckverbands in Lenglern 23. (A) Fehlender Rechteckverband im Bestand bei der Aussaat mit dem Hentschel-Roboter; (B) Visuell erkennbarer Rechteckverband bei der Aussaat mit der GeoSeed2; (C) Ist-Positionen der Pflanzen im Bestand, die auf RGB-Drohnenbildern mit „Plant Extraction Workflow“ (Günder et al., 2022) identifiziert wurden

Unkrautregulierung und Unkrautwirkungsgrad. Erwartungsgemäß wiesen einige Versuchstandorte eine geringe Unkrautdichte auf. Da eine geringe Unkrautdichte den Vergleich verschiedener Szenarien hinsichtlich der Unkrautwirkung erschwert, wurde in den ersten drei Reihen jeder Parzelle gleichzeitig mit der Rübenaussaat Ringelblumensaatgut als Stellvertreter von Unkräutern ausgebracht, um eine ausreichende Unkrautzahl in den Parzellen sicherzustellen. Dies erwies sich zumindest für den Standort Siebo23 als hilfreich. Dort war die natürliche Unkrautdichte (Rote Taubnessel, Weißer Gänsefuß) mit 0,2 Pfl. m⁻² tatsächlich sehr niedrig und konnte durch die Aussaat von Ringelblume um das Doppelte erhöht werden. Die Unkrautdichte in Lenglern23 war vor der ersten Maßnahme deutlich höher und variierte je nach Parzelle zwischen 2 bis 40 Pfl.m⁻². Das Unkrautspektrum wurde von der Gemeinen Hundspetersilie, dem Weißen Gänsefuß und dem Ackerstiefmütterchen dominiert (Abb. 6A).

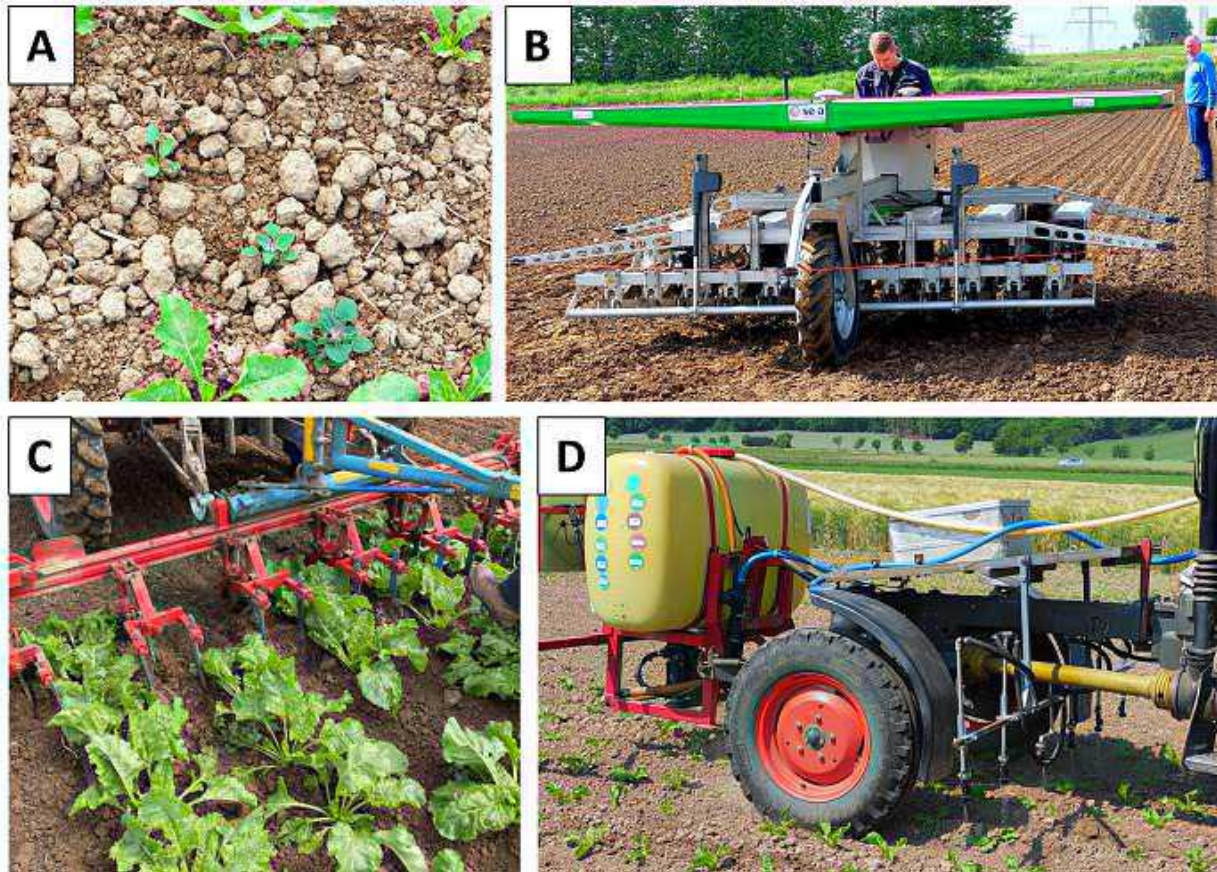


Abbildung 6 (A) Unkrautbonitur vor der Unkrautregulierung; (B) Unkrautbekämpfung mit FarmDroid-Roboterhacke (SzFD); (C) Unkrautbekämpfung mit Schlepperhacke (Sz1, Sz4n); (D) Unkrautbekämpfung in der Reihe mit der 6-reihigen Streifenspritze des IfZ (Sz4n).

Während die Unkrautregulierung mit dem FarmDroid-Hackroboter (SzFD; Abb. 6B), mit der Schlepperhacke (Sz1, 4n; Abb. 6C) und mit der 6-reihigen Streifenspritze (Sz4n, Abb. 6D) planmäßig vom IfZ durchgeführt werden konnte, musste der Hackvorgang mit dem H-System-Roboter wegen unzureichender Spurtreue und fehlender Anpassung der Hackaggregate an das Querhacken abgebrochen werden. Da die Unkräuter in den Parzellen von Sz2 nicht und von Sz1 nur teilweise (mit der Schlepperhacke nur in Längsrichtung) bekämpft werden konnten, waren die weiteren geplanten Untersuchungen zur Quantifizierung des Zuckerrübenwachstums nicht zielführend. Deshalb wurden die Parzellenversuche an beiden Standorten nach Abschluss der Unkrautbekämpfung abgebrochen. Der Unkrautwirkungsgrad der Szenarien wurde anhand der Differenz zwischen der Unkrautdichte vor und nach der einzelnen Maßnahme im Verhältnis zur ursprünglichen Unkrautdichte berechnet (Abb. 7).

Während der Unkrautwirkungsgrad des FarmDroid-Roboters in Szenario FD gleich hoch war wie der bei Flächenspritzung in Szenario Ref, zeigte die Bandspritzung in Sz4n einen deutlich geringeren Bekämpfungserfolg. Grund dafür war eine versuchstechnisch bedingte, verspätete Herbizid-Streifenapplikation in Sz4.

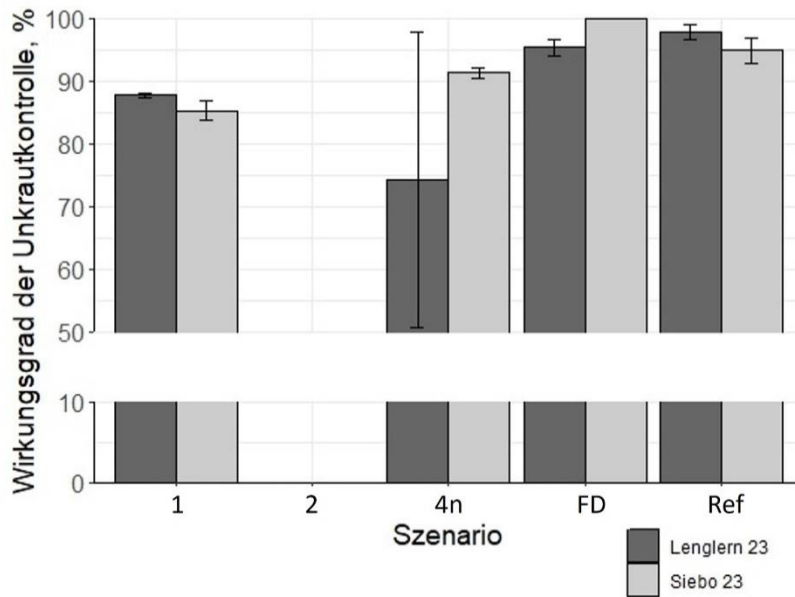


Abbildung 7
Wirkungsgrad verschiedener Unkrautregulierungs-szenarien. Beschreibung der Szenarien s. S. 9.

AP8 Szenarienvergleiche in der Praxis und Technikfolgenabschätzung.

Für die Szenarienvergleiche in der Praxis wie auch für die vorausgehenden Parzellenversuche ist einsatzsichere Technik sowie Erfahrung unter verschiedenen Einsatzbedingungen notwendig. Aufgrund der technischen Herausforderungen wie z. B. unvollständige Funktionalität des Kleinroboters war es nicht möglich, die Sz1, 2 und 4n auf Praxisbetrieben umzusetzen. Daher konnten die Szenarienvergleiche und die Technikfolgenabschätzung insgesamt nicht wie geplant durchgeführt werden. Jedoch konnte die für Sz3 geplante Bewertung der Applikationsgenauigkeit der Streifenspritzung mit der Feldspritze HL6GS anhand von Untersuchungen auf einer Großversuchsfläche Wolbrechtshausen23 und einer Praxisfläche Offensen23 vorgenommen werden, nachdem die Funktionalität der Spritze für die Streifenspritzung durch die gemeinsamen Arbeiten mit H-L in AP2 sichergestellt war. Die Tätigkeiten des AP8 umfassten im Einzelnen: (1) Bodenbearbeitung, Düngung, Aussaat mit kurvigem Reihenverlauf und nachfolgender Unkrautkontrolle in Wolbrechtshausen23; (2) Reihenapplikation der Farbtracerlösung mit Großflächen-Streifenspritze HL6GS in Wolbrechtshausen23, Offensen23, Wibbeke23 (Abb. 8A) und anschließende Drohnenflüge und Erstellung von Orthomosaikbildern; (3) Auswertung der Applikationsgenauigkeit der Streifenspritzung in Wolbrechtshausen23 und Offensen23 anhand von Orthomosaikbildern (Abb. 8B).

Die Bewertung der Applikationsgenauigkeit erfolgte an den beiden Standorten für die gesamte Spritzbreite und auch separat für die Reihen aus der Drillbreite mit der Kamera, die die Feldspritze steuert.

Die Auswertung wurde in QGIS wie folgt durchgeführt:

- (1) Die Mitten der Zuckerrübenreihen wurden als Linien digitalisiert.



Abbildung 8 (A) Durchführung der Streifenapplikation bei leicht gekrümmten Reihenverlauf in Wolbrechtshausen; (B) Binäres Bild zur Bewertung der Applikationsgenauigkeit.

Tabelle 4 Anteil der Zielfläche (Reihenmitte \pm 5 cm), die durch eine Streifenapplikation mit HL6GS erfolgreich getroffen wurde. Lage der Auswertungsfenster siehe Abb. 9.

Standort / Auswertungsfenster	Innerhalb der Drillbreite mit Kamera		Alle Reihen der Spritzbreite	
	Mittel	SD	Mittel	SD
Wolbrechtshausen				
I	0,83	0,05	0,87	0,09
II	0,99	0,01	0,97	0,03
III	1,00	0,00	0,93	0,23
IV	0,99	0,01	0,96	0,08
V	0,99	0,01	0,96	0,06
VI	1,00	0,01	1,00	0,01
VII	0,98	0,03	0,96	0,28
VIII	0,97	0,02	0,95	0,06
IX	0,97	0,03	0,96	0,05
Mittelwert	0,96		0,95	
Standardabweichung	0,45		0,44	
Minimum	0,83		0,87	
Offensen				
	Mittel	SD	Mittel	SD
I	0,79	0,17	0,82	0,20
II	0,92	0,49	0,87	0,45
III	0,80	0,25	0,62	0,41
IV	0,71	0,17	0,70	0,26
V	0,25	0,10	0,34	0,36
VI	1,00	0,38	0,51	0,39
VII	0,99	0,01	0,85	0,26
Mittelwert	0,78		0,67	
Standardabweichung	0,26		0,20	
Minimum	0,25		0,34	

(2) 10 cm breite Polygone mit jeweils 5 cm Abstand links und rechts zur Reihenmitte wurden über die Reihen gelegt, um eine Zielfläche für die Streifenspritzung zu definieren.

(3) Aus dem Orthomosaik-Raster wurde ein binäres Bild erstellt: mit Farbtracer gefärbte Pixel (Rotbandwert <98) wurden auf 1 gesetzt; Pixel mit einem Rotbandwert ≥ 98 wurden auf 0 gesetzt (Abb. 8B).

(4) „Majority Filter“ mit einem Radius von 10 Pixeln wurde verwendet, um das binäre Raster zu vereinfachen und das Rauschen zu reduzieren.

(5) Pixelanzahl und Pixelsumme wurden dann reihenweise für die Zielfläche mithilfe der „Zonal statistic“ bestimmt. Das Verhältnis zwischen der Pixelsumme und der Anzahl der Pixel gibt den Anteil des Zielbereichs an, der erfolgreich gefärbt / getroffen wurde.

In Offensen wurden die gefärbten Bereiche aufgrund der unzureichenden Sichtbarkeit manuell als „Blauband“-Polygone digitalisiert. Der Anteil der Überlappung der Zielflächen durch „Blaues Band“-Polygone entspricht dem Anteil der Zielfläche, die erfolgreich durch die Applikation getroffen wurde. Diese Vorgehensweise wurde für mehrere Auswertungsfenster durchgeführt, die sich durch spezifische Bedingungen unterschieden (Abb. 9).

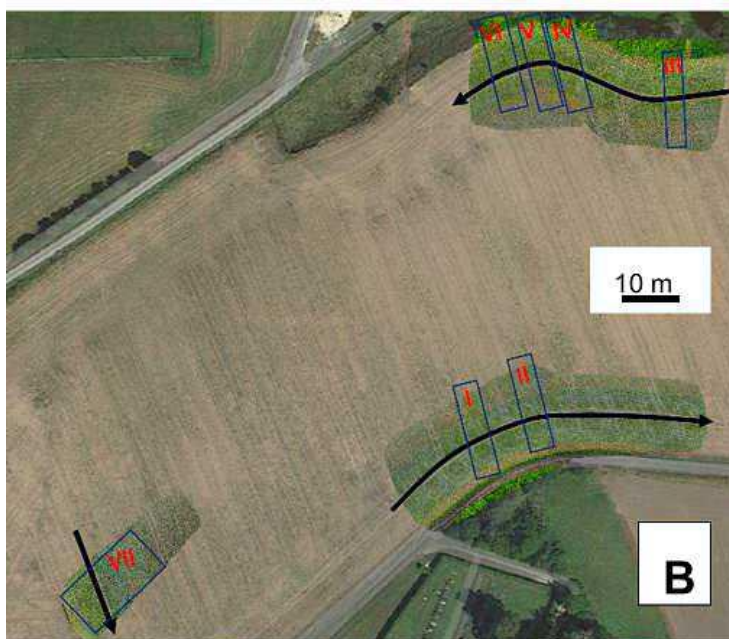
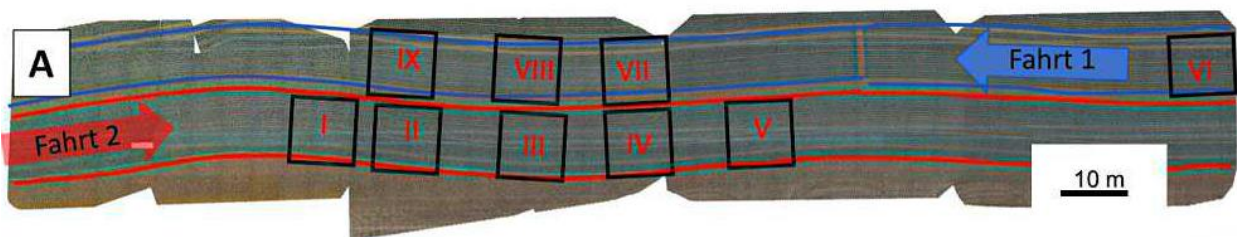


Abbildung 9
Drohnenbilder mit ausgewählten Stellen auf dem Schlag zur Bewertung der Applikationsgenauigkeit der Großflächen-Streifenspritze. A: Wolbrechtshausen, B: Offensen. Die römischen Zahlen zeigen die einzelnen Auswertungsfenster (Tab. 4).

Ergebnisse

In Wolbrechtshausen mit einem leicht gekrümmten Reihenverlauf wurde sowohl innerhalb der Drillbreite mit der Kamera als auch über die gesamte Spritzbreite eine sehr hohe Applikationsgenauigkeit erreicht. Im Durchschnitt wurde ca. 95% der Zielfläche getroffen (Tab. 4).

In Offensen wurden im Durchschnitt 78% der Zielfläche innerhalb der Drillbreite mit der Kamera durch Streifenapplikation getroffen (Tab. 4). Hier hatte nur das Auswertungsfenster VII einen geraden Reihenverlauf, alle andere Auswertungsfenster lagen im Vorgewende (Abb. 9B), so dass die Ausbringungsbedingungen durch den Seitenhang, die Querspuren und den teilweise sehr scharf gekrümmten Reihenverlauf erschwert wurden. Nur 25% der Zielfläche wurden im Bereich der scharfen Kurve getroffen (Auswertungsfenster V, Abb. 10A).

Selbst bei schwach gekrümmtem Verlauf der Reihen im Vorgewende wurden nur 79% der Zielfläche innerhalb der Drillbreite mit Kamera erreicht (Auswertungsfenster I, Abb. 10B). Da die Drillanschlüsse in Offensen nicht hochgenau passten, war die Applikationsgenauigkeit für die gesamte Spritzbreite mit durchschnittlich 67% geringer als in der Drillbreite mit der Kamera (Tab. 4).

Nachdem im Vorgewendebereich noch keine ausreichende Genauigkeit erreicht werden konnte, bietet eine Kombination der Streifenspritzung im Feldinneren mit einer Flächenspritzung im Vorgewendebereich nach dem derzeitigen Stand der Technik eine funktionstüchtige Lösung zur Reduktion der Herbizidaufwandmenge in Verbindung mit dem Hacken zwischen den Reihen.

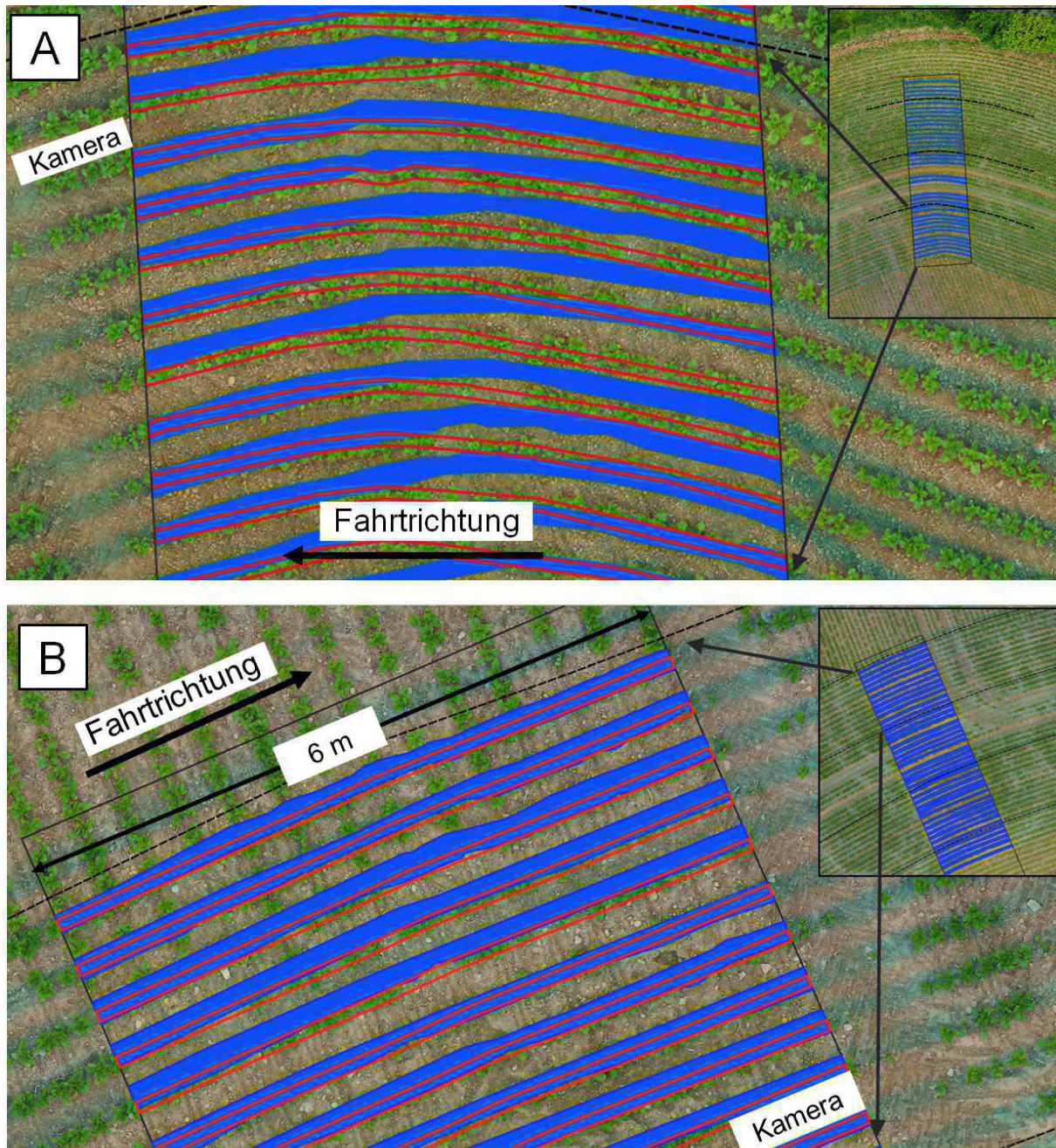


Abbildung 10 (A) Scharf gekrümmter Reihenverlauf im Vorgewende eines Praxisschlages (Offensen) reduzierte die Präzision von Streifenapplikation auf 25% (Auswertungsfenster V, Abbildung 8); (B) In einer leichten Kurve (Auswertungsfenster I, Abb. 9) wurde 79% der Zielfläche erfolgreich getroffen. Die schwarzen Linien im kleinen Bild oben rechts trennen die Drillbreiten.

AP 9 Querschnittsthemen

Der Fortschritt der Arbeiten, die auftretenden technischen Probleme sowie die Untersuchungsergebnisse wurden auf den regelmäßigen virtuellen und den in Präsenz abgehaltenen Projekt-treffen (Tab. 5) sowie in Gesprächen mit den einzelnen Projektpartnern, insbesondere JKI-AT und H-L, fortlaufend berichtet und diskutiert. Für die technischen Herausforderungen wurde konstruktiv nach Lösungen gesucht. Bei den regelmäßigen Treffen wurden auch die anstehenden Arbeiten vorbesprochen und terminlich geplant.

Tabelle 5: Termine der Projekttreffen mit Kernthemen

	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

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

- 15,24 Personenmonate PostDoc: Betreuung, Durchführung und Auswertung der Ergebnisse von Parzellenversuche und Versuchen mit der Feldspritze HL6GS. Vorbereitung der Veröffentlichungen, Präsentationen, Zwischen- und Schlussberichten.
- 20,81 Personenmonate TA: Durchführung von Funktionstests und Optimierung der Feldspritze HL6GS, Vorbereitung der Versuchsflächen für Funktionstests, für die abschließende Bewertung der Feldspritze HL6GS , sowie für die Parzellenversuche (Bodenbearbeitung, Düngung, Aussaat/Unkrautkontrolle), Drohnenflüge und Erstellung der Orthomosaikbilder.
- Vergabe von Aufträgen: nachträgliche Beantragung einer Nachrüstung einer Kugelkopf-Anhängerkupplung am IfZ-Schlepper CLAAS 610 als Voraussetzung für den Betrieb der HL6GS-Feldspritze.
- Sonst. allgem. Verwaltungsausgaben:
 - (1) Feldversuche mit dafür notwendigem Verbrauchsmaterial,

Aufgrund der in III.3 beschriebenen mehrmaligen Verschiebung von Parzellenversuchen (AP7) musste die Verwendung der Fördermittel in Abstimmung mit der BLE wiederholt angepasst werden. Des Weiteren musste auch der Zeitplan für

die Präzisionsprüfung der Herbizid-Streifenspritzung (AP8) durch Verzögerungen bei der Bereitstellung einer vollständig funktionstüchtigen Feldspritze mehrfach umgeplant werden

(2) Hochpräziser Echtzeit-Positionierungs-Service

Notwendig für die genaue Bestimmung der Jungpflanzenpositionen (Parzellenversuche) und für RTK-GPS-Tracken der Drillspuren (Applikationsgenauigkeit der Feldspritze)

- Dienstreisen: Versuchsanfahrten zur Betreuung und Durchführung der Feldversuche, Projekttreffen, Feldtagen (siehe den Vortrag von 2023-05-26 unter II.6), Teilnahme an der Deutschen Pflanzenschutztagung (Posterpräsentation, II.6) und GPW-Tagung.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die vom IfZ vor allem in den AP7 und 8 zu leistenden Arbeiten waren im Hinblick auf die Ziele sorgfältig geplant und vorbereitet, wurden wegen technischer Herausforderungen mehrfach mit den Projektpartnern reflektiert und an die aktuellen Bedingungen angepasst. Letztlich konnten sie aufgrund technischer Probleme insbesondere bei der Roboterentwicklung jedoch nur eingeschränkt durchgeführt werden (Datenerhebung in Parzellenversuchen und Szenarienvergleiche). Aufgrund dieser fehlenden Daten musste auf eine Technikfolgenabschätzung verzichtet werden (AP8). Erfolgreich abgeschlossen wurde jedoch eine erste Prüfung der Präzision der Saatgutablage mit GeoSeed2 (AP1,7) und die Prüfung der Präzision der Streifenapplikation mit der HL6GS-Feldspritze (AP2,8).

II.4 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse im Gesamtprojekt

Die im Projekt entwickelte Methode zur Erfassung der Präzision der Streifenapplikation mit einer Feldspritze mittels Farbtracer ist uneingeschränkt für die Bewertung der Treffgenauigkeit von Sprühapplikationen im Feld einschließlich der Punktapplikation verwendbar. Die Methodik zur Erfassung der Pflanzenpositionen ist für andere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten verwendbar (spot farming). Beide Methoden beruhen auf drohnenbasierten, hochgenauen Orthomosaikbildern, die anschließend mit einer GIS-Software aufbereitet und ausgewertet werden.

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

In den vom IfZ federführend bearbeiteten Aspekten (Entwicklung von Prüfmethoden, Technikfolgenabschätzung nicht-chemischer Unkrautbekämpfung) sind keine Neuerungen bekannt geworden.

II.6 Erfolgte Veröffentlichungen

Veröffentlichungen mit Peer-Review-Verfahren

keine

Buchbeiträge / Beiträge zu Sammelwerken

keine

Veröffentlichungen in Praxiszeitschriften

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

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

Vorträge

2023-05-26 Fishkis, O.; Koch, H.-J. Konventionelle und neue Unkrautbekämpfungsverfahren mit reduziertem Herbizideintrag. Feldtag in Rosdorf im Rahmen der Pflanzenschutzmittel-Reduzierungsstrategie von LWK Niedersachsen & Firma Geries Ingenieure

2023-09-28 Fishkis, O.; Strassemeyer, J.; Pöllinger, F.; Koch, H.-J. Ökotoxikologische Risiken von Alternativen zur chemischen Unkrautkontrolle in Zuckerrüben: deutschlandswerte Modellierung mit SYNOPSIS-GIS. 63. Deutsche Pflanzenschutztagung 26-29 September 2023 Georg-August Universität Göttingen.

Poster

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 September 2023 Georg-August Universität Göttingen.