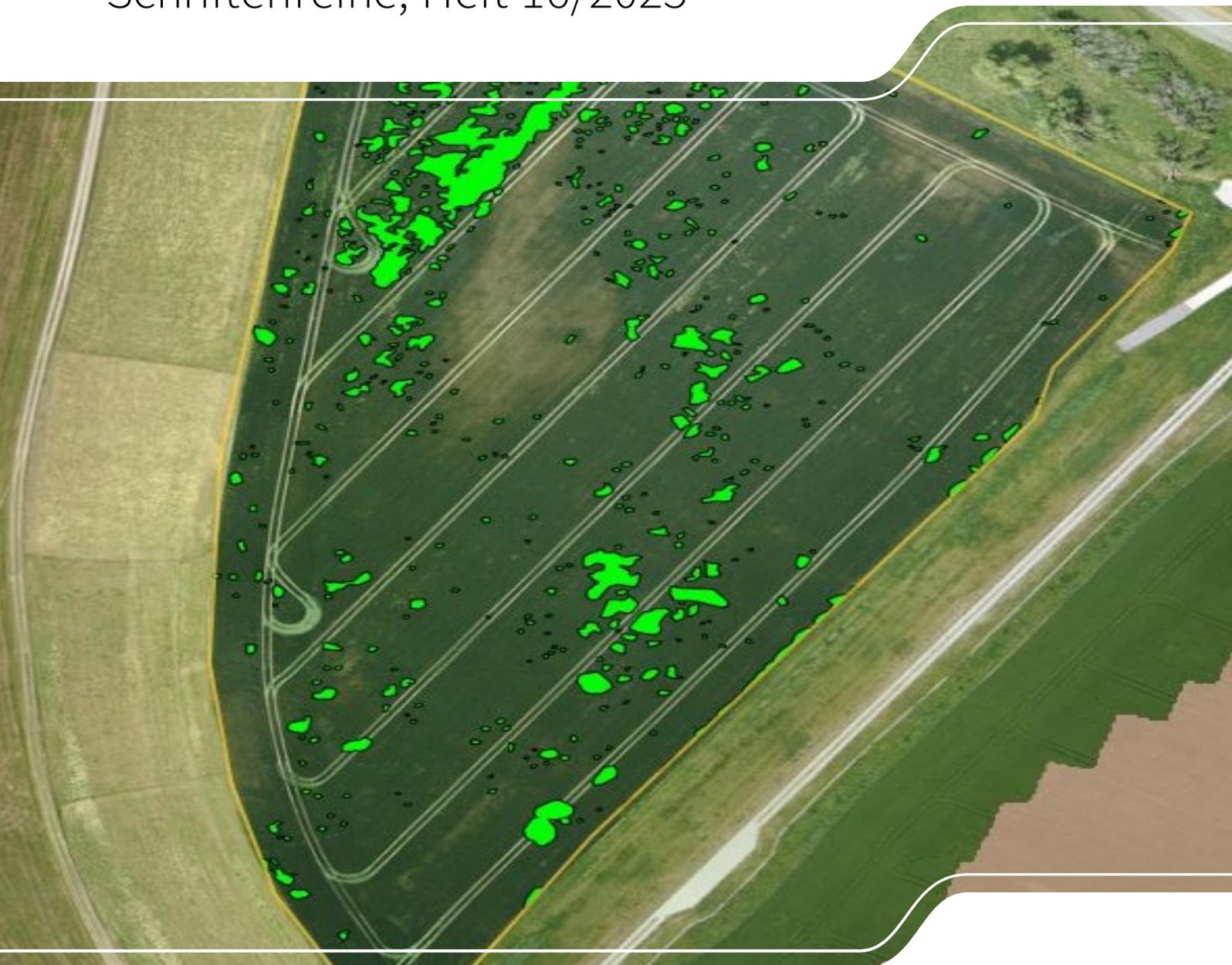




# Digitalisierung im Pflanzenbau II - Endbericht

Schriftenreihe, Heft 16/2025



# »Wissenstransfer und Demonstrationen der Digitalisierung im Pflanzenbau«

Michael Schurig, Hendrik Burghardt, Till Kunkel

im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Arbeitspakete.....</b>	<b>8</b>
2.1	Digitalisierung von Arbeitsprozessen zur Nährstoffeffizienz (NIRS).....	8
2.1.1	Bearbeitungsstand aus dem Vorprojekt.....	8
2.1.2	Durchführung.....	8
2.1.3	Ergebnisse - Vergleich Labor und NIRS-Messung.....	9
2.1.4	Fazit.....	10
2.2	Digitalisierung von Arbeitsprozessen zur Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes (Spot-Spraying).....	11
2.2.1	Bearbeitungsstand aus dem Vorprojekt.....	11
2.2.2	Durchführung.....	12
2.2.3	Ergebnisse.....	15
2.2.4	Fazit.....	20
2.3	Digitalisierung von Arbeitsprozessen der Bodenbearbeitung.....	21
2.3.1	Bearbeitungsstand aus dem Vorprojekt.....	21
2.3.2	Durchführung.....	22
2.3.3	Ergebnisse.....	23
2.3.4	Fazit.....	25
2.4	Digitalisierung von Arbeitsprozessen der klimaangepassten teilflächenspezifischen Aussaat.....	26
2.4.1	Bearbeitungsstand aus dem Vorprojekt.....	26
2.4.2	Durchführung.....	27
2.4.3	Ergebnisse.....	28
2.4.4	Fazit.....	29
2.5	Digitalisierung von Arbeitsprozessen zur mechanischen Beikrautbekämpfung (Smarte Hacke vs. Feldroboter).....	29
2.5.1	Ziel.....	30
2.5.2	Durchführung.....	31
2.5.3	Ergebnisse.....	34
2.5.4	Fazit.....	37
2.6	Durchführung und Weiterentwicklung der Wissenstransferangebote.....	37
2.6.1	Ergebnisse.....	38
<b>3</b>	<b>Fazit – Bewertung von digitalen Lösungen.....</b>	<b>40</b>
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>46</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>47</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Abweichung NIRS-Sensorwerte und Laborwerte Rindergülle .....	9
Abbildung 2:	Einmessung der Boniturstellen.....	13
Abbildung 3:	Distel Applikationskarte aus Trinity F90+ Daten (links) und Karte 2 aus M300 Daten (rechts) aus der Cloudanwendung von CultiWise .....	15
Abbildung 4:	Applikationskarte auf dem Amatron mit Pufferzonen um die Applikationspunkte.....	17
Abbildung 5:	Applikationskarte aus Daten der Trinity F90+ (links) und der DJI M 300 (rechts) mit Boniturstellen dargestellt mit der Software MiniGIS .....	18
Abbildung 6:	Einsatz des Penetrometers und Einmessung mittels Vermessungssystem .....	23
Abbildung 7:	Graue rechteckige Flächen mit fehlenden Tiefenführungswerten auf dem Bedienterminal .....	24
Abbildung 8:	Messwert des Penetrometers in den unterschiedlichen Zonen des SoilXplores 2023.....	25
Abbildung 9:	Kameragesteuerte Hacke Steketee vom Typ »EC Weeder« mit drei Einzelsegmenten .....	31
Abbildung 10:	Feldroboter Dino mit kameragesteuertem Verschieberahmen .....	32
Abbildung 11:	Bonitur vor dem Hackeeinsatz .....	33
Abbildung 12:	Bonitur vor dem zweiten Hackeeinsatz .....	33
Abbildung 13:	Beikräuter/m <sup>2</sup> vor der mechanischen Beikrautregulierung .....	34
Abbildung 14:	Wirkungsgrad der mechanischen Beikrautregulierung in der Variante Roboter und smarte Hacke.....	35
Abbildung 15:	Beikräuter/m <sup>2</sup> vor der zweiten mechanischen Beikrautregulierung.....	36
Abbildung 16:	Hackroboter Dino, blau markiert das Front- LIDAR-System .....	36

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zeitplan Spot-Spraying.....	14
Tabelle 2:	Bonitur der Lage der eingemessenen Distel zu den Applikationsspot .....	19
Tabelle 3:	Treibstoff und Dieseleinsparung.....	24
Tabelle 4:	Zeitplan.....	32
Tabelle 5:	Aktivitäten im Bereich Veranschaulichungen und Wissenstransfer 2023 .....	38
Tabelle 6:	Aktivitäten im Bereich Veranschaulichungen und Wissenstransfer 2024 .....	39
Tabelle 7:	Bewertungsmatrix der einzelnen Demonstrationen.....	40

## Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
BSZ	Beruf
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
DLG	Deutsche Landwirtschaftliche Gesellschaft
etc.	et cetera
ges.	gesamt
ggf.	gegebenenfalls
GNSS	Globales Navigations satellitensystem
GPS	Globales Positionsbestimmungssystem
ha	Hektar
km/h	Kilometer pro Stunde
l	Liter
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LIDAR	light detection and ranging
LVG	Lehr- und Versuchsgut
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
min	Minute
MP	Megapixel
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie
PC	Personal Computer
Ref.	Referat
RTK	Real Time Kinetatic
SIH	Simul+ Innovation Hub
TDL	Themenverbund Digitale Landwirtschaft
TM	Trockenmasse
UAV	unmanned aerial vehicle

# 1 Einleitung

Die Digitalisierung hat in den letzten Jahren eine spürbare Veränderung in nahezu allen Lebensbereichen bewirkt. Auch die Landwirtschaft blieb davon nicht unberührt. Im Pflanzenbau hat sich die Integration digitaler Technologien und datengetriebener Ansätze als Möglichkeit erwiesen, um die Effizienz zu steigern, Ressourcen zu schonen und Erträge zu optimieren. Diese Entwicklung eröffnet eine Vielzahl von Ansätzen für die Landwirtschaft. Gleichzeitig zeigen sich Hindernisse und Herausforderungen, die es zu überwinden gilt, um die Potenziale der Digitalisierung im Pflanzenbau auszuschöpfen. Dies führte in der Vergangenheit zu Kritik und zu Zweifeln am aktuellen Einsatz dieser Technologie.

Die Chancen, die die Digitalisierung im Pflanzenbau bieten kann, sind zahlreich und reichen von der Präzisionslandwirtschaft bis hin zur Erschließung neuer Geschäftsfelder. Durch den Einsatz von Sensoren, *unmanned aerial vehicle* (UAV) und anderen digitalen Technologien können Landwirte präzisere Entscheidungen treffen, um beispielsweise die Bodenstruktur zu verbessern, den Wasserverbrauch zu optimieren und den Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren. Trotz dieser vielversprechenden Perspektiven gibt es eine Reihe von Herausforderungen, im Zusammenhang mit den digitalen Lösungen. Diese gilt es zu bewältigen, um die Potentiale der Digitalisierung im Pflanzenbau zu nutzen. Eine zentrale Hürde ist die zu meist komplizierte und aufwendige Integration digitaler Anwendungen in den betrieblichen Alltag und der damit verbundene Mehraufwand, fehlende Interoperabilität und offene rechtliche Fragen in Bezug auf die Eigentumsverhältnisse der erzeugten Daten.

In dem vorangegangenen Test- und Demonstrationsfeld Digitalisierung im Pflanzenbau (2019–2022) konnten Erfahrungen in einer Vielzahl von Themenbereichen (Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz, etc.) des Pflanzenbaus gesammelt werden (SCHURIG, M. BURGHARDT, H., 2022).

Mit Abschluss des Projektes wurde deutlich, dass das Thema »Digitalisierung im Pflanzenbau« weiterhin eine hohe Bedeutung für die Zukunft der Landwirte und Landwirtschaft haben wird. Es blieben mit dem Abschluss konkrete Fragen zur Anwendung offen. Somit wurde eine weitere Bearbeitung einzelner Erprobungen notwendig, da die Digitalisierung das Potential bietet, Betriebsabläufe zu optimieren und damit einhergehende Entscheidungen zu unterstützen.

Ziel des Themenverbundes Digitalisierung in der Landwirtschaft (TDL) ist es, begonnenen Projekte aus den vorangegangenen Projektjahren fortzusetzen, ergänzende Erfahrungen zu sammeln und diese zu bewerten. Die im Vorfeld gewonnenen Ergebnisse waren nicht eindeutig. Es zeigten sich einige Herausforderungen in der Projektbearbeitung. Insgesamt stand der Wissenstransfer gewonnener Erkenntnisse aus dem Projekt SIH 1.02 sowie aus aktuellen Demonstrationen zur Digitalisierung im Pflanzenbau im Fokus. Diese sollen die sächsische Landwirtschaft bei ihrer Transformation zu mehr Nachhaltigkeit

durch eine Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes und durch eine Verringerung der Nährstoffinträge unterstützen. Die Praxistauglichkeit der Technologien und Sensoren für die Landwirte sowie die Auswirkungen auf Acker- und Pflanzenbau werden hierbei in verschiedenen Bildungs- und Informationsangeboten für die landwirtschaftliche Praxis sowie die interessierte Öffentlichkeit dargestellt. Damit soll ein Beitrag zu einer stärkeren Akzeptanz dieser Technologien geleistet werden.

Für einen erfolgreichen Projektabschluss ist der Wissenstransfer aus den Projekten in die landwirtschaftliche Praxis entscheidend. Der Schwerpunkt der Arbeitspakete lag auf der Erprobung und Demonstration von Möglichkeiten der Digitalisierung verschiedener Arbeitsprozesse im Pflanzenbau.

Im Projekt werden folgende Arbeitspakete bearbeitet:

- AP1 - Digitalisierung von Arbeitsprozessen zur Nährstoffeffizienz (NIRS)
- AP2: Digitalisierung von Arbeitsprozessen zur Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes (Spot Spraying)
- AP3: Digitalisierung von Arbeitsprozessen der Bodenbearbeitung
- AP4: Digitalisierung von Arbeitsprozessen der klimaangepassten teilflächenspezifischen Aussaat
- AP5: Digitalisierung von Arbeitsprozessen zur mechanischen Beikrautbekämpfung (Smarte Hacke)
- AP6: Bewertung der Digitalen Lösungen
- AP7: Durchführung und Weiterentwicklung der Wissenstransferangebote

Das Projekt unterstützt eine der Hauptaufgaben des LfULG, unabhängige Erkenntnisse erlangen und Wissen zu generieren und der Praxis bereitzustellen.

## **2 Arbeitspakete**

### **2.1 Digitalisierung von Arbeitsprozessen zur Nährstoffeffizienz (NIRS)**

NIRS ist ein Spektroskopieverfahren im nahen Infrarotbereich und macht sich die Anregung von Molekülschwingungen durch elektromagnetische Strahlung zunutze. Den Molekülen kann ein spezifisches Schwingungsmuster zugeordnet werden und somit Stoffe zerstörungsfrei detektiert sowie in ihrer Konzentration bestimmt werden. Das Verfahren ist aus unterschiedlichen Gründen in Sachsen derzeit noch nicht als Analyseverfahren gemäß Düngeverordnung zugelassen. Dies würde jedoch die Güllebeprobung und die Aufzeichnungspflicht deutlich erleichtern. Aufgezeichnet werden dabei neben N auch Kalium (K), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sowie die Trockenmasse (TM).

#### **2.1.1 Bearbeitungsstand aus dem Vorprojekt**

Aus den im vorherigen Projekt generierten Ergebnissen lässt sich keine generelle Einsatzempfehlung zur Steuerung der Applikationsmenge oder zu Aufzeichnungszwecken des getesteten Systems ableiten. Mögliche Potentiale der Technologie sind aber erkennbar. Die Ergebnisse waren zum Teil nicht zufriedenstellend. So wichen die Ergebnisse der NIRS-Messung im Vergleich zu den Labormessungen in Teilen deutlich von den Bereichen ab, die die DLG als akzeptabel beschreibt. Es ist aber auch anzumerken, dass der von der DLG als akzeptabel eingeschätzte Abweichungsbereich für einige Gülleinhaltsstoffe erreicht wurde. Besonders auffällig war, dass die gemessenen Nährstoffwerte nach einem Update und einer neuerlichen Kalibrierung des NIRS-Sensors deutlich höhere Werte ausgaben, als die von der DLG als akzeptabel angesehen werden. Insbesondere durch die hohe Aktualität des Themas, der nicht eindeutigen Datenlage und der einjährigen Ergebnisse nach dem Update wurden weitere Untersuchungen geplant und durchgeführt.

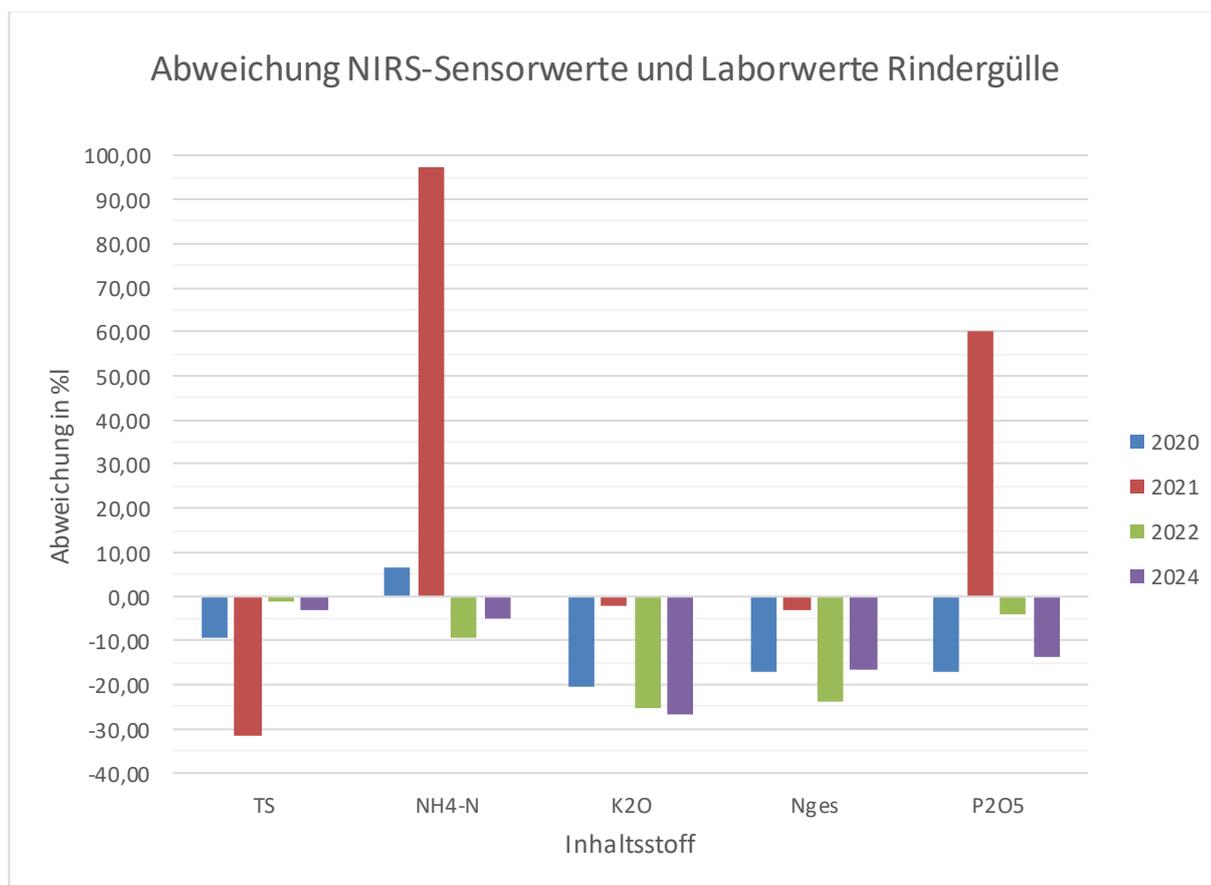
#### **2.1.2 Durchführung**

Im Versuchsjahr 2023 konnte die geplante Erprobung zur NIRS-Technologie aufgrund interner Missverständnisse in Kombination mit dem Witterungsbedingten eingeschränkten operativen Durchführungszeitraumes nicht stattfinden.

Im Jahr 2024 konnten zu zwei Terminen Gülleproben gezogen werden. Die erste Untersuchung fand im März 2024 und die zweite Untersuchung im September 2024 statt. Hierbei wurden wie schon in vergangenen Jahren mehrere Probebehälter bei der Ausbringung mit Gülle befüllt und die Livedaten des NIRS-Sensors aufgezeichnet. Die Probebehälter wurden anschließend direkt nach Nossen ins Labor des BfUL transportiert und auf ihre Inhaltsstoffe untersucht. Die erhaltenen Werte wurden dann entsprechend den NIRS-Daten gegenübergestellt. Als Grundlage für diesen Vergleich diente die DLG-Anerkennung von NIRS-Güllesensorik (RUBENSCHUH, U., 2019).

### 2.1.3 Ergebnisse - Vergleich Labor und NIRS-Messung

Im März 2024 wurden 15 Proben und im September 2024 wurden 20 Proben bei der Ausbringung von Rindergülle gezogen und im Labor der Sächsischen Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft untersucht. Hierzu wurde in einem ersten Schritt, analog zum Vorgehen der DLG bei deren Anerkennung der NIRS-Sensoriksysteme (RUBENSCHUH, U., 2019), die von der DLG zulässige Abweichung der NIRS-Messwerte von den Laborwerten genutzt. Negativ wurden nur solche Abweichungen bewertet, die über die von der DLG als akzeptabel beschriebenen Abweichungen hinausgehen. Anschließend wurden die NIRS- und Laborwerte gegenübergestellt, um die Abweichung der Beprobung voneinander darzustellen. In der Abbildung 1 sind die Unterschiede der letzten Jahre aufgezeigt.



**Abbildung 1: Abweichung NIRS-Sensorwerte und Laborwerte Rindergülle**

Das Diagramm stellt den Mittelwert der Abweichungen der NIRS-Sensorwerte im Vergleich zu den ermittelten Laborwerten aller Proben in den vergangenen Jahren von 2020 bis 2024 dar. Dabei ist auffällig, dass die Inhaltsstoffe durch den NIRS-Sensor vorwiegend unterschätzt werden. Für die Trockensubstanz, K<sub>2</sub>O und P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> wurden größere Abweichungen, in Bezug zum Vorjahr festgestellt. Im Gegensatz dazu weisen die Werte bei NH<sub>4</sub>-N und N<sub>ges</sub> insgesamt geringere Abweichungen zu den Laborergebnissen auf. Bei der Betrachtung der einzelnen Proben und unter Beachtung des DLG-Prüfberichts ist festzuhalten, dass der Sensor im Frühjahr die Trockensubstanz im tolerierbaren Bereich gemessen hat. Im

Herbst hingegen, lagen viele Messungen außerhalb dieses Wertebereiches. Ähnliche Auffälligkeiten spiegelten sich bei  $K_2O$  wider. Auch wurden hier im Herbst zum großen Teil die DLG-Toleranzen eingehalten. Die Frühjahrswerte lagen komplett außerhalb des DLG zulässigen Bereiches. Im Schnitt wiesen sie eine Abweichung von 28,9 % auf.  $NH_4-N$  wurde zu ca. 2/3 aller Proben im positiven Bereich der Abweichungen gemessen. Hervorzuheben ist  $N_{ges}$ . Dieser Wert ist sowohl im Frühjahr, als auch im Herbst in allen Proben, mit einer Abweichung von maximalen 23 %, innerhalb des zulässigen Bereiches.

Anders als aus Abbildung 1 ersichtlich verhält es sich mit  $P_2O_5$ . Hier zeigt sich die Schwäche einer Mittelwertdarstellung. Die Genauigkeit der  $P_2O_5$  Messung des NIRS-Sensors ist über die Erprobungsjahre hinweg sehr unterschiedlich. Bis auf wenige Ausnahmen wurden alle Werte eines Substrates im gleichen Jahr über oder unterschätzt, bezogen auf die Laboranalyse. Das führt dazu, dass der Mittelwert dieser Messwerte die Mittlere Abweichung von den Labordaten widerspiegelt. Im Jahr 2024 zeigte sich, dass in der Frühjahrsmessung alle Werte durch den NIRS-Sensor im Frühjahr überschätzt worden. Die mittlere Abweichung betrug ein Plus von 67 %. Im Herbst wurden alle Werte unterschätzt, im Mittel um ein Minus von 94 %. Der Mittelwert des Jahres 2024 suggeriert eine durchschnittliche Unterschätzung der  $P_2O_5$ -Messwerte des NIRS-Sensors um minus 14 %. In der Realität wurde durch den NIRS-Sensor die  $P_2O_5$ -Konzentration im Frühjahr um zwei Drittel überschätzt und im Herbst wurde nur die Hälfte der vorhandenen Konzentration detektiert. Seitens der DLG gab es bis zum Jahr 2022 keine Vorgabe zu zulässigen Messabweichungen bei  $P_2O_5$  für den verwendeten Sensor. 2022 wurde der Sensor durch den Hersteller neu kalibriert und eine neue Software aufgespielt. Dies führte in 2022 zu geringen Messabweichungen. Für das Substrat Schweinegülle, wurden alle Messwerte überschätzt, im Schnitt um 37 %. Bei der Rindergülle wurden alle Messwerte unterschätzt aber in einem deutlich kleineren Bereich, im Mittel um minus fünf Prozent.

#### **2.1.4 Fazit**

Diese vergleichenden Untersuchungen zwischen NIRS und Labor wurden schon im Vorprojekt durchgeführt und ergänzen diese. Die Erprobung wurde im Herbst 2021 und im Herbst 2022, auf Grund eines Updates des NIRS-Sensors, wiederholt. Dabei wurden vor allem in der Untersuchung 2021 in vielen Bereichen höhere Abweichungen zwischen NIRS-Sensor und Labor festgestellt. Nach der Kalibrierung im Jahr 2022 lagen die Werte wieder deutlich näher an den gemessenen Laborwerten und befanden sich in den angegebenen DLG-Referenzbereichen. Für die Auswertung wurde auf die Ergebnisse der DLG-Anerkennung (RUBENSCHUH, u., 2019) von NIRS-Sensoren in der Gülleausbringung zurückgegriffen. Die DLG legt Referenzwerte für prozentuale Abweichungen zwischen NIRS- und Laborwerten fest, innerhalb derer eine DLG-Anerkennung möglich ist.

Da im Jahr 2021 die Werte schlechter waren als im Jahr 2020 und 2022, wurde geplant eine erneute Untersuchung ein Jahr nach der Kalibrierung durchzuführen. Da 2023 der Versuch nicht durchgeführt

werden konnte, wurden die Proben 2024 gezogen. Die gewonnenen Daten zeigen erneut eine deutliche Verschlechterung in Bezug auf das Jahr 2022 indem der Sensor letztmalig kalibriert wurde. Vor allem in der Trockensubstanz sind große Abweichungen ersichtlich. Diese Erkenntnisse lassen vermuten, dass eine jährliche Kalibrierung und Wartung notwendig sind. Abschließend ist zuzusagen, dass die Technik bei regelmäßiger Wartung annehmbare Messungen vollzieht, welche Rahmen gemäß der DLG-Prüfung zulässigen Abweichungen liegen. Dieser Service ist notwendig, um die Genauigkeit sicherzustellen. Unter diesen Bedingungen kann die NIRS-Technologie als praxistauglich angesehen werden. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass das aktuelle Verfahren zur Inhaltstoffbestimmung ebenfalls fehleranfällig ist. Beispielhaft ist hier der Probennahmefehler zu nennen. Aufgrund der hohen Anschaffungskosten eignet sich die Technik eher bei großen Gesamteinsatzflächen. In erster Linie sind hier Lohnunternehmen und größere Betriebe zu nennen, welche besonderes Augenmerk auf Präzision und Dokumentation legen. Für kleinere Betriebe stellt sich die Frage, inwieweit sie in Spezialtechnik investieren können, welche sich am Ende amortisiert.

Im Allgemein hat der Sensor den Vorteil, dass er eine Nährstoffanalyse und potentielle Kosteneinsparungen ermöglicht. Hierfür sind aber gut geschulte Anwender, zuverlässiger Support der Hersteller und regelmäßige Wartung notwendig. Für eine behördliche Zulassung ist die Klärung der Frage entscheidend, wer die Kalibrierdaten vorgibt, da die Genauigkeit entscheidend von einer exakten Kalibrierung abhängig ist.

## **2.2 Digitalisierung von Arbeitsprozessen zur Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes (Spot-Spraying)**

### **2.2.1 Bearbeitungstand aus dem Vorprojekt**

Im Vorprojekt bestätigten erste Tests des Verfahrens das Erwartungsbild, dass die Reduzierung von Pflanzenschutzmitteln durch die deutliche Reduktion der zu behandelten Fläche der Schläge zu erreichen ist. Der vielversprechende Ansatz wurde im Jahr 2022 auf zwei kleinen Flächen im Lehr- und Versuchsgut (LVG) Köllitsch erneut erprobt. Auch im zweiten Jahr zeigte sich das Potential der Methode Pflanzenschutzmittel einzusparen. Im Vergleich zur Anwendung in der Zuckerrübe fiel das Einsparpotential im Mais geringer aus, dennoch war dies deutlich erkennbar. Bei der Herbizidapplikation im Mais zeigten sich auch Nachteile. Im Spot-Spraying-Verfahren werden lediglich die im Vorfeld ermittelten Bereiche (Spots) behandelt. Die restliche Fläche des Schlages wird nicht behandelt. Dies birgt das Risiko, dass für eine effektive Beikrautregulierung im Vergleich zur Standardvariante im Mais, Mehrfachüberfahrten notwendig werden können. Weiter ist der beigemischte Anteil an Bodenherbizid nur innerhalb der applizierten Flächen wirksam. Die unbehandelten Flächen werden nicht mit dem Bodenherbizid behandelt. In diesen Bereichen kann Beikraut erneut auflaufen. Auf Grund seiner Entwicklung und

des weiten Reihenabstandes kommt es im Mais erst spät zur Beikraut unterdrückenden Wirkung durch den Reihenschluss. Beim Einsatz der Methode, bei nesterweise auftretenden, schwer zu bekämpfenden Beikräutern, wie zum Beispiel Disteln, ist eine größere Effektivität der Methode zu erwarten.

Das Verfahren ist mit einem relativ hohen personellen und zeitlichen Aufwand hinsichtlich UAV-Flugvorbereitung, -durchführung und -nachbereitung verbunden. Ebenso sind flugrechtliche Restriktionen zu beachten, so dass es möglich ist, dass nicht alle Flächen mit einem UAV befliegen werden können. Insbesondere für die Nachbereitung der Flüge ist neben dem notwendigen Wissen auch eine höherwertige Hardwareausstattung notwendig, da es sonst zu langen Bearbeitungszeiten der einzelnen Schritte am Computer kommen kann. Aus diesem Grund kann die Ausführung solcher Arbeiten bis hin zur Erstellung der Applikationskarten durch einen Dienstleister sinnvoll sein. Von verschiedenen Herstellern werden für das Spot-Spraying auch am Spritzgestänge verbaute Kamerasysteme im Online-Verfahren angeboten. Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass kein weiterer Aufwand entsteht. Das Erkennen der Spots und die Spotapplikation erfolgen in einem Arbeitsgang (*online*-Verfahren). Nachteilig ist, dass im Vorfeld nicht bekannt ist, wieviel Spritzbrühe benötigt wird.

### **2.2.2 Durchführung**

Im ersten Erprobungsjahr des Projektes »Digitalisierung im Pflanzenbau II« wurde die Thematik »Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes (Spot-Spraying)« wieder aufgegriffen und weiter erprobt. Ziel war es weiterführende Kenntnisse in Hinsicht auf Implementierung und Handhabung der Technik, Genauigkeit der Spritze in der Ausbringung und der Qualität der Applikationskarten zu erlangen.

Ursprünglich war der Einsatz des UAV in Kombination mit der Pflanzenschutzspritze von Amazone in mehreren, unterschiedlichen Kulturen geplant. Jedoch müssen hierfür die Voraussetzungen stimmen, damit der Einsatz des Spot-Spraying eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Variante bietet. So sollte der Beikrautbedeckungsgrad die Bekämpfungsschwelle überschreiten, aber nicht so einen Grad annehmen, dass eine flächige Bekämpfung sinnvoller erscheint. Im Erprobungsjahr 2023 wurde ein Weizenfeld überflogen, mit nesterweise auftretenden Ackerkratzdisteln (*Cirsium arvense*). Im Vergleich zu den Fruchtarten aus den Vorversuchen handelt es sich hierbei um einen dichten, geschlossenen Bestand. Der Schlag hat eine Fläche von 4.8 ha. Die Fläche wurde mit zwei UAV´s befliegen, mit dem Transitionsflieger Trinity F90+ und dem Rotationsflügler DJI M300 (Quadrocopter) des Referates 79 des LfULG. Es sollte untersucht werden, welchen Einfluss die unterschiedliche Auftriebserzeugung und die damit verbundenen Einschränkungen die unterschiedlichen RGB-Sensorsysteme und die daraus resultierende abweichende Fotoqualität auf die Auswertungsmöglichkeiten haben. Dadurch sollen Systemgrenzen für die Erstellung entsprechender Applikationskarten abgeschätzt werden. Dafür wurden 20

Boniturstellen an denen sich kleine und größere Nester von Disteln befunden haben mit einem Vermessungssystem im Schlag eingemessen. Diese wurden später mit der gewonnenen Applikationskarte verglichen, um abschätzen zu können, wie genau die berechnete Karte ist (Abbildung 2).



**Abbildung 2: Einmessung der Boniturstellen**

Im folgenden Jahr wurde die gleiche Fläche genutzt. Dieses Mal wurde Mais angebaut und als Zielorganismus erneut die Distel gewählt. Auf Grund eines geringen Vorkommens an Ackerkratzdistel in diesem Jahr wurde der Bekämpfungs- und damit der Befliegungstermin nach hinten verschoben. Letztendlich wurde die Bekämpfung der Distel wegen einer geringen Abundanz durch den Pflanzenbauleiter auf Grundlage der guten fachlichen Praxis verworfen. Die Befliegung wurde trotzdem durchgeführt und eine Applikationskarte durch den Dienstleister erstellt. In Absprache mit dem Pflanzenbauleiter wurde festgelegt, dass die Applikation zeitnah nach der Ernte, bei erfolgreicher Erkennung von Disteln, mit Wasser simuliert werden soll, um die Applikationskarte des Dienstleisters zu verifizieren. Auf Grund arbeitswirtschaftlicher Zwänge und der daraus resultierende sofortige Umbruch der Maisstoppel nach der Ernte, führte dazu, dass die Scheinapplikation nicht durchgeführt werden konnte.

Diese Befliegung wurde wieder mit einer DJI M300 durchgeführt. Eine vergleichende Befliegung mit einem kostengünstigen Consumermodell war geplant. Hierfür wurde sich für eine DJI Mini 3 Pro entschieden. Bei diesem Modell handelt es sich um ein UAV der Klasse C0. In dieser Klasse bestehen die wenigsten Restriktionen, somit kann davon ausgegangen werden, dass die Hemmschwelle eines Landwirtschaftlichen Betriebes für die Anschaffung und Nutzung dieser Technik am geringsten ist.

Die Applikationskarten wurden an einen Dienstleister vergeben.

Da sich in den vorherigen Versuchen gezeigt hatte, dass das Amapad 2 als Bedienterminal der Pflanzenschutzspritze, hardwareseitig zu schwach ausgestattet war, wurde leihweise ein Amatron 4 von den Amazone-Werken für die Untersuchungen zu Verfügung gestellt. Auf dem Amatron 4 war die aktuelle Software des Herstellers zum Spot-Spraying aufgespielt.

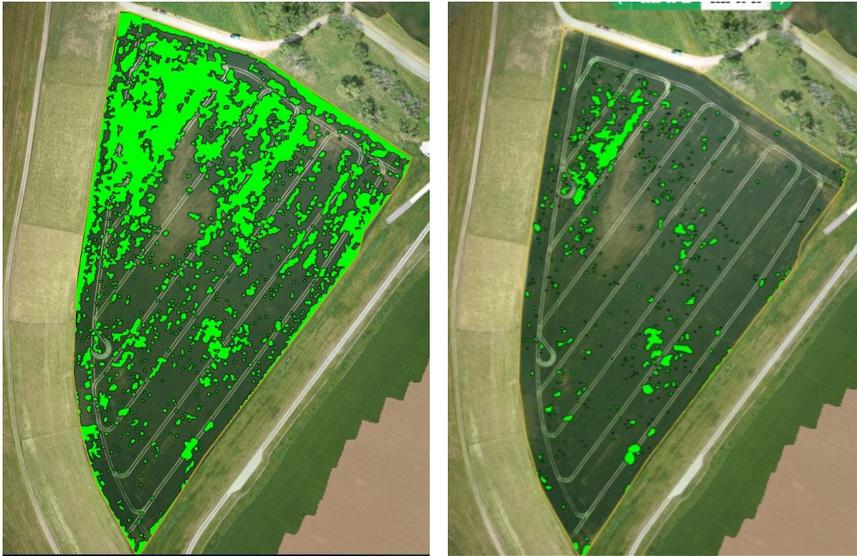
Nach Erhaltener Applikationskarte wurde die entsprechende Spritzmenge in der Pflanzenschutzspritze angemischt und ausgebracht.

### 2.2.2.1 Zeitplan

**Tabelle 1: Zeitplan Spot-Spraying**

Monat	Jahr	Aufgabe
22. Mai	2023	Bonitur vor Applikation, Einmessen von 20 zufällig ausgewählten Ackerkratzdistel-Spots (Einzelpflanzen und Nester)
22. Mai	2023	Befliegung des Schlages mit der Trinity F90+ und der DJI M300
25. Mai	2023	Wiederholung der M 300 Befliegung auf Grund technischer Probleme
02. Juni	2023	Applikation nach Spot-Spraying Karte
21. Juni	2023	Bonitur nach Applikation
07. Juni	2024	Befliegung des Schlages mit der DJI M300
19. Juni	2024	Bonitur vor der Applikation, Einmessen von 20 zufällig ausgewählten Ackerkratzdisteln

### 2.2.3 Ergebnisse



**Abbildung 3: Distel Applikationskarte aus Trinity F90+ Daten (links) und Karte 2 aus M300 Daten (rechts) aus der Cloudanwendung von CultiWise**

#### 2.2.3.1 Ergebnisse zum Vergleich unterschiedlicher UAV

Auf Grund der unterschiedlichen technischen Voraussetzungen zwischen den beiden UAVs, wurden im Vorfeld Vorteile bei der M 300 von DJI erwartet. Dieses System kann durch die Rotationsflügel, die zur Auftriebsgenerierung genutzt werden, tiefer und langsamer fliegen. Allein daraus ergeben sich Vorteile in der Auflösung. Zusätzlich besitzt die Zenmuse P1 Kamera der M 300 einen Sensor mit 48 Megapixel (MP). Die Kamera der Trinity F90+ besitzt einen Sensor mit ca. 20 MP. Die Trinity erzeugt ihren Auftrieb über die Tragflächen und benötigt daher eine Mindestgeschwindigkeit, die nicht unterschritten werden kann, da es sonst zum Strömungsabriss und damit zum Absturz der UAV kommt. Als Multispektralsensor wurde in beiden UAV eine MicaSens MX genutzt. Im Vergleich der beiden Applikationskarten, die aus den Daten der M 300 und der Trinity generiert wurden, fällt als Erstes die Gesamtfläche der Spots auf (Abbildung 3). Die Applikationskarte aus den Trinity-Daten enthält einen deutlich größeren, zu applizierenden Flächenanteil. Zum Teil zeigen sich hier deutlich zusammenhängende Flächen, so dass nicht mehr von Spots gesprochen werden kann. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass der Auswertalgorithmus des Dienstleisters vermutlich Schwierigkeiten mit der geringeren Bildauflösung hat. Dem System fällt es schwerer, einzelne Strukturen und damit Pflanzen zu unterscheiden. Insbesondere bei Beigräsern war die geringere Auflösung von Nachteil. Die besser aufgelösten Daten der M 300 führten zu einer genaueren Bestimmung und Verortung der Pflanzen. Für diesen Anwendungsfall eines hohen und dichten Kulturpflanzenbestandes mit kleineren Beikräutern scheint die Trinity ungeeignet zu sein. Dies bedeutet aber nicht, dass die Trinity grundlegend ungeeignet für das Spot-Spraying ist. In den vorherigen Untersuchungen in Zuckerrübe und Mais konnten die Beikrautspots gut detektiert werden.

Selbst die zur M 300 abweichend höhere Applikationsfläche, führte im Vergleich zu einer konventionellen ganzflächigen Behandlung, immer noch zu einer deutlichen Reduzierung des Behandlungsbedarfes im Bestand. Die höhere Auflösung des Flugsystems M300 führte nicht zu einer vollständigen Erkennung aller Disteln. Von den 20 eingemessenen Disteln fanden sich neun nicht in der Applikationskarte wieder. Inwieweit dies auf die Bildsensorik zurückzuführen ist konnte nicht nachvollzogen werden. Denkbar sind auch Einflüsse in der weiteren Bearbeitung der Daten. Des Weiteren sind Verschattungseffekte durch die Kulturpflanze vorstellbar. Im Jahr 2024 war es dem Dienstleister nicht möglich eine Distelapplikationskarte zu erstellen. Aus den zur Verfügung gestellten Daten wurde lediglich eine Applikationskarte für alle Beikräuter erstellt. Obwohl die Feldgrenze aus dem Vorjahr genutzt wurde, war der Schlag laut Applikationskarte 0,1 ha größer. Auffällig war auch eine überdurchschnittliche Detektion von Beikräutern im Randbereich. Bei genauer Analyse der Applikationskarte, konnte festgestellt werden, dass Bereiche, die außerhalb des Schlages liegen mit einbezogen wurden. Dies kann eine Erklärung für die größere Gesamtfläche des Schlages sein. Ein Grund könnten Automatisierungsprozesse des Dienstleisters sein. Bei einem händischen Vorgehen werden diese Bereiche herausgefiltert.

Der Vergleich mit einem Consumermodell konnte nicht durchgeführt werden. Entgegen der Ankündigung von DJI Flugplanungssoftware von Drittanbietern für die Mavic- und Mini- Modelle anwenden zu können, wurde von DJI bis zum aktuellen Zeitpunkt keine Lösung zur Verfügung gestellt. In diversen Foren wird diskutiert, ob DJI eine Flugplanung ausschließlich den Enterprise Modellen vorbehalten möchte, dies konnte nicht abschließend geklärt werden. Dabei handelt es sich um Modelle, die für einen professionellen Einsatz konzipiert sind. Eine Flugplanung ist für das Erstellen von Orthomosaiken essenziell. Hierbei wird die exakte Flugroute vorgegeben um eine genaue Überlappung der Einzelbilder und Auslösezeiten sicherzustellen. Im manuellen Flugbetrieb ist das nicht zu gewährleisten. Ohne Flugplanung sind entsprechende UAV, auch wenn sich die an Bord befindliche Sensorik deutlich verbessert hat und sich wahrscheinlich noch weiter verbessern wird, für diesen Einsatzzweck ungeeignet. Ein kurzfristiger Ersatz war demzufolge nicht möglich.

### **2.2.3.2 Ergebnisse zur Applikation und dessen Durchführung**

Im Jahr 2023 betrug die Aufwandmenge der Spritzbrühe 300 l pro ha. Durch die Überflüge mit der M300 wurde eine zu applizierende Fläche von Disteln mit einer Gesamtgröße von 0,3 ha detektiert. Somit hätten für den gesamten Schlag, insgesamt ca. 100 l ausgebracht werden müssen. Das ergibt bei einer Schlaggröße von 4,8 ha im Vergleich zur konventionellen Ausbringung von 1440 l, eine Einsparung von über 90 % auf dieser Fläche. Auf Grund der höheren Auflösung durch das Flugsystem DJI M300 wurde die Applikationskarte für die Behandlung der Fläche genutzt. Das Vorgehen bei der Applikation wurde analog zum Vorjahr durchgeführt. Bei der Überfahrt wurde festgestellt, dass die errechnete Spritzbrühe

für die zu behandelnde Fläche nicht ausreichend war. Auch mehrere Wiederholungen mit Wasser führten zu diesem Ergebnis. Bei der Ursachenforschung stellte sich heraus, dass die neue Software des Amatron Terminals, um die zu applizierenden Spots Pufferzonen erstellte und somit mehr Mittel benötigt wurde als ursprünglich angenommen. Es wurde festgestellt, dass insgesamt 600 Liter Spritzbrühe benötigt wurden. Die Applikation wurde anschließend auf der noch nicht behandelten Fläche zu Ende gebracht. Trotzdem ist eine Einsparung an Spritzbrühe und damit die Reduzierung von Pflanzenschutzmittel mit 58 % realisiert wurden. Über den Grund der Einführung der Pufferzonen kann nur gemutmaßt werden. Mit der Einführung dieser Puffer könnten Nachteile, die in früheren Untersuchungen aufgefallen sind eliminiert werden. Im Vorjahr war auffällig, dass bei einigen Beikrautnestern die Randbereiche keine Herbizidreaktion zeigten und somit wahrscheinlich nicht mit der Spritzbrühe in Berührung kamen. Weiter fiel auf, dass häufiger eine Druckwarnung durch das Terminal der Pflanzenschutzspritze ausgegeben wurde. Das kann einen Einfluss auf die Qualität des Sprühnebels haben und somit die Qualität der Benetzung beeinflussen.

Im Jahr 2024 erfolgte keine Applikation. Das geringe Auftreten von Disteln im Bestand führt unter Berücksichtigung der Grundlagen der guten fachlichen Praxis zum Verzicht einer separaten Distelbekämpfung durch den Pflanzenbauleiter des LVG. Dennoch wurde eine Befliegung der Fläche durchgeführt jedoch konnte durch den Dienstleister keine Distelapplikationskarte erstellt werden. Lediglich eine Spot-Spraying-Karte für alle Beikräuter wurde berechnet. Bei der Begehung des Schlages waren Distel erkennbar. Die Validierung der erstellten Karte mit einer Scheinapplikation konnte wegen der schon erneut bestellten Fläche nicht durchgeführt werden.



**Abbildung 4: Applikationskarte auf dem Amatron mit Pufferzonen um die Applikationspunkte**

### 2.2.3.3 Ergebnis Vergleich der Applikationskarte mit den Boniturpunkten

In einem Geoinformationssystem (GIS) wurden die Applikationskarte und die 20 eingemessenen Boniturpunkte übereinander gelegt, um die Lage der Boniturpunkte im Vergleich zu den detektierten Spots darzustellen (Abbildung 5). Hierbei fiel auf, dass 11 der 20 eingemessenen Distel-Spots nicht in einem Applikationsbereich der M 300 Applikationskarte lagen. Das entspricht einer Quote von 55 %. Die Abstände dieser Punkte zum nächsten Spot in der Applikationskarte variierten zwischen 0,36 Meter und 7,13 Meter. Bei Nutzung dieser Applikationskarte kommen diese Disteln nicht in Kontakt mit dem Herbizid. In der Applikationskarte, welche auf Grundlage der Trinity F90+ Daten erstellt wurde, würden bei einer Spritzung 19 von 20 Boniturpunkten mit Herbizid belegt werden, was einer Quote von 95 % entspricht (Tabelle 2).



**Abbildung 5: Applikationskarte aus Daten der Trinity F90+ (links) und der DJI M 300 (rechts) mit Boniturpunkten dargestellt mit der Software MiniGIS**

**Tabelle 2: Bonitur der Lage der eingemessenen Distel zu den Applikationsspot**

Distel (Punkt)	Lage innerhalb der Spots M300	Lage innerhalb der Spots Trinity F90+	Entfernung zum nächsten Spot in Metern (M300)	Entfernung zum nächsten Spot in Metern (Trinity F90+)
1	1	1	0,00	0,00
2	0	1	0,65	0,00
3	1	1	0,00	0,00
4	1	1	0,00	0,00
5	1	1	0,00	0,00
6	0	1	7,13	0,00
7	0	1	3,45	0,00
8	0	0	4,95	0,28
9	1	1	0,00	0,00
10	0	1	3,95	0,00
11	0	1	7,00	0,00
12	1	1	0,00	0,00
13	0	1	4,52	0,00
14	1	1	0,00	0,00
15	0	1	0,36	0,00
16	0	1	7,08	0,00
17	1	1	0,00	0,00
18	1	1	0,00	0,00
19	0	1	1,82	0,00
20	0	1	0,98	0,00

Boniturnote 1 = innerhalb, Boniturnote 0 = außerhalb

#### 2.2.3.4 Bonituren nach der Applikation

In etwa 14 Tage nach der Applikation erfolgte die Erfolgsbonitur. Hierfür wurde die Boniturnote 0 für Disteln vergeben, die keine Schädigungen durch das Herbizid zeigten und die Boniturnote 1 für Disteln, die Schädigungen aufwiesen. Die Bonituren selbst zeigten ein vergleichbares Bild mit den Bonitурpunkten der Applikationskarten. In 10 Fällen wiesen die eingemessenen Disteln keine Schädigung durch das Herbizid auf. Eine Distel, die laut Karte außerhalb eines Applikationsspots lag, zeigte Herbizidschäden. Hierbei handelt es sich um eine einzelne Distel, die einen Abstand von unterhalb eines halben Meters zum nächsten Applikationsspot hat. Die aktuelle Software des Terminals arbeitet mit einem Puffer um die Spots, die mindestens einen halben Meter betragen. Bei den 10 Disteln, die nach der Applikation keine Herbizidschäden aufwiesen handelte es sich um kleinere, einzelnstehende Pflanzen.

Zusätzlich wurde im Jahr 2024 die Karte mit den eingemessenen Disteln aus dem Jahr 2023 herangezogen und die gespeicherten Positionen erneut aufgesucht. Hierbei wurde festgestellt, dass an lediglich der Hälfte der Positionen vom Vorjahr erneut Disteln aufgewachsen sind. An zwei Stellen befand sich die nächste Distel ca. einen halben Meter entfernt. An einer weiteren Position war eine Distel mit einem

Abstand von 1,5 Meter zu finden. An sieben Boniturspunkten des Vorjahres waren keine Disteln vorhanden. Dieser nur einjährige Vergleich steht einer Nutzung einer Distelapplikationskarte in mehreren Folgejahren entgegen. Auf Grund des standortreuen Auftretens von Disteln hätte, auch aus Kostengründen, die Möglichkeit bestehen können Applikationskarten mehrfach zu nutzen.

#### **2.2.4 Fazit**

Grundlegend zeigte sich im Versuchsjahr 2023 das Potential des Spot-Spraying Verfahrens zur Reduzierung von Herbizidmengen. Beide UAV basierten Applikationskarten bieten das Potential zur Reduzierung des Herbizideinsatzes, im Vergleich zur konventionellen ganzflächigen Behandlung, um mindestens 50 %. Für die Applikationskarte aus den Daten der Trinity F90+ hängt dies von dem eingestellten Puffer um die Spots ab. Die Fläche der berechneten Spots entsprechen 48 % der Gesamtfläche. Bei einer Pufferzone von 3 Meter um jeden Spot werden mehr als 50 % der Fläche mit Pflanzenschutzmittel belegt. Wie schon aus den Vorversuchen bekannt, hat der Einsatz Grenzen, denen sich der Anwender bewusst sein muss. Unter den Versuchsbedingungen in 2023 mit dichten, geschlossenen Weizenbeständen und verhältnismäßig kleinen Beikräutern, ist die Auflösung der Bilddaten entscheidend für eine optimale Applikationskarte. Dies ist bei der Auswahl des Flugsystems zu berücksichtigen. Entweder benutzt der Anwender einen Sensor mit einer höheren Auflösung, oder es müssen Flughöhe oder Fluggeschwindigkeit reduziert werden. Trotzdem konnten aus unterschiedlichen Gründen nicht alle Disteln detektiert werden. Grenzen setzen hier die physikalischen Gesetze. Da in diesem Verfahren auf optischen Sensoren zurückgegriffen wird, muss ein Sichtkontakt gewährleistet werden. Geringe spektrale Signale können von Spektraldaten anderer, üppigeren Pflanzen überlagert werden. Offene Bestände sind bei der Erkennung im Vorteil. Obwohl die DJI M300 die bessere Auflösung hat, wurden im dichten Winterweizenbestand nicht alle Disteln innerhalb der Applikationssspots erkannt und nicht mit Herbizid belegt. Dies ist vermutlich auf eine fehlende Erkennung zurückzuführen. Bei Einsatz der Applikationskarte aus den Trinity F90+ Daten ist der ökonomische Nutzen der Umsetzung fraglich, da die Spots deutlich größer im Vergleich zur Karte aus den M300 Daten ausfiel und ein Großteil der Schlagfläche mit Pflanzenschutzmittel behandelt werden muss. Eine einheitliche Behandlung des Schlags wäre in diesem Fall vorteilhafter. Aus ökologischer Sicht wird mit der Karte aus den Trinity-Daten trotzdem eine Reduzierung der Applikationsmenge erreicht. Das Verfahren Spot Spraying hat bei der Bekämpfung von Spezialbeikräutern in offenen Beständen die größte Effektivität und Relevanz.

Eine Nutzung von günstigen Consumer UAVs für die Erstellung der Applikationskarten ist nur dann möglich, wenn das UAV auf eine Flugplanung zugreifen kann. Die Systeme verfügen mittlerweile über entsprechend gute Sensorik und ausreichende Flugzeitlänge.

Im Vergleich zum Amapad 2, hat sich die Bedienung des Amatron 4 Terminals deutlich verbessert. Die neue Software ist einfacher und intuitiver zu bedienen. Die Kommunikation zum Kunden durch den

Hersteller, in Bezug auf die Änderungen in der Software, ist als mangelhaft zu werten. Grundlegende Änderungen in der Software, wie die Einführung von Pufferzonen um die detektierten Spots, müssen dem Anwender bekannt gegeben werden. Hier besteht die Gefahr, dass es zu Anwenderfehlern kommt. Diese können auch pflanzenschutzrechtliche Konsequenzen mit sich führen. Die bessere Hardwareausstattung des Amatron 4 verhinderte das Abstürzen der Software des Terminals und lässt eine permanente Bedienung der Pflanzenschutzspritze zu. Auf eine entsprechende Mindestanforderung an die Hardware sollte geachtet werden. Auf Grund der Erfahrungen aus dem Projekt ist das Anlegen einer Pufferzone, für den Bekämpfungserfolg als sinnvoll anzusehen.

Die Potentiale des Verfahrens sind erkennbar. Eine Reduzierung der Aufwandmengen ist möglich. Inwieweit die Kosten für das Verfahren sich amortisieren hängt auch von der Umsetzung ab. Aktuell stehen der Pflanzenschutz und die Reduzierung chemischer Mittel im Fokus. Aus diesem Grund und vor dem Hintergrund, dass technologische Entwicklungsschritte zu erwarten sind, ist eine weitere Verfolgung der Thematik anzustreben.

## **2.3 Digitalisierung von Arbeitsprozessen der Bodenbearbeitung**

### **2.3.1 Bearbeitungsstand aus dem Vorprojekt**

In den Versuchen der vergangenen Jahre war festzuhalten, dass der Scanprozess mit dem SoilXplorer von Installation und Einrichtung, bis hin zur Durchführung der Überfahrten und der Erstellung der Applikationskarten anwenderfreundlich ist. Die Vorgänge sind nach einmaliger Absolvierung mit dem Handbuch direkt eigenständig durchführbar und mit wenig Aufwand und geringem zeitlichen Aufwand verbunden. Laut Hersteller wurden die benannten Exportprobleme der Dateiformate im November 2022 behoben, was eine erhebliche Verbesserung des ganzen Systems darstellen würde. Ziel war es, die Funktion 2023 erneut zu erproben. Im Vordergrund der Untersuchungen stehen jedoch die erheblichen Probleme der praktischen Umsetzung der teilflächenspezifischen Bodenbearbeitung nach Applikations-, bzw. Tiefenführungskarte. Zwei Jahre lang konnten aufgrund von unterschiedlichen technischen Problemen (Konnektivitätsprobleme, Supportprobleme und Technikdefekte) die Erprobungen zur Tiefenführung nicht durchgeführt werden. Die technischen Hindernisse konnten sowohl vom Händler als auch vom Hersteller nicht behoben werden. Es war absehbar, dass die auftretenden Probleme nur mit einem höheren Zeitaufwand lösbar sind. Nach der Reparatur wurde 2023 der Bodenscanner erneut erprobt. Nach Angabe des Herstellers sollte nach Behebung der Konnektivitätsprobleme eine schnelle und problemlose Einsatzbereitschaft des Systems gegeben sein. Unter Beachtung aller auftretenden Probleme und Erfahrungen mit dem Support von Händler und Hersteller, konnte zum Zeitpunkt des Abschlusses des Vorprojektes jedoch nicht von einer in der Landwirtschaft praxistauglichen Anwendung, in Bezug auf die Tiefensteuerung, ausgegangen werden.

### 2.3.2 Durchführung

Im Versuchsjahr 2023 wurden zwei Ziele verfolgt. Zum einen sollte die Tiefensteuerung nach Applikationskarte auf der Fläche erfolgen und zum anderen sollten die Zonierungen der SoilXplorer-Karte mit einem Penetrometer auf Unterschiede analysiert werden.

Um die Technik auf mögliche Fehler und Schäden kontrollieren zu lassen wurde die Ansteuerungsbox mit der Tiefensteuerung demontiert und im Winter 2022/2023 zum Hersteller Geoprospectors nach Österreich geschickt. Da eine Vorortreparatur bis zu diesem Zeitpunkt trotz intensiver Kommunikation mit dem Hersteller und den Technikern des Händlers vor Ort nicht zum Ziel führte. Die Technik kam im Frühjahr 2023 repariert in Köllitsch an. Der Fehler konnte laut Hersteller gefunden und abgestellt werden. Die Steuerungsbox und die Tiefensteuerung wurden von Mitarbeitern des LVG und des Referats 71 erneut installiert. Im September wurde der Erprobungsschlag (Adelwitzer Park 16 ha) problemlos gescannt und die Karte konnte nach drei Jahren zum ersten Mal eigenständig im ISOXML Format exportiert werden.

Dennoch konnte die teilflächenspezifische Bodenbearbeitung nach Applikationskarte wiederholt nicht durchgeführt werden, da die Karte erneut nicht vom Terminal erkannt wurde. Des Weiteren gab es immer wieder Verbindungsproblemen zum GNSS-Empfänger. Eventuell hätten diese Hindernisse schneller gelöst werden können, wenn es einen Vorort-Support des Herstellers gegeben hätte. Die Vertriebsfirma, die vor Ort Hilfestellung leisten kann, konnte in dieser Situation nicht helfen. Nach mehrmaligem Kontakt zum Hersteller und Softwareanpassungen seitens Geoprospectors, konnte die Erprobung letztendlich durchgeführt werden.

Der Schlag wurde hierfür in 2 gleich große Teile (je 8,3 ha) eingeteilt. Die Bodenbearbeitung fand auf der einen Hälfte in der konstanten Tiefe von 24 cm statt. Auf der anderen Hälfte wurde nach Applikationskarte gefahren und die Bearbeitungstiefe variierte zwischen 16 – 24 cm. Für beide Erprobungen wurden Kraftstoffverbrauch und die benötigte Arbeitszeit ermittelt.

Um die 4 Zonen, die die Software des SoilXplores erstellt hatte, zu lokalisieren wurde die gescannte Karte des Feldes, die die Datengrundlage zur Tiefenführung darstellt, genutzt. Mit einem Penetrometer (Handpenetrograph, Firma Eijkelkamp) wurde der Eindringwiderstand und die Eindringtiefe des Bodens in den jeweiligen Zonen gemessen und miteinander verglichen (Abbildung 6). Ziel war es die Einteilung der jeweiligen Zonen durch die Software des SoilXplores nachzuvollziehen. In jeder Zone wurden 5 Punkte zufällig ausgewählt und an jedem Punkt wurden drei Messungen durchgeführt. Für die einzelnen Boniturstellen und die jeweiligen Zonen wurden Mittelwerte für eine Vergleichbarkeit gebildet.



**Abbildung 6: Einsatz des Penetrometers und Einmessung mittels Vermessungssystem**

Eine Wiederholung der Versuche zur Tiefensteuerung konnte im Jahr 2024 nicht durchgeführt werden. Die Neuanschaffung eines Grubbers führte dazu, dass das System nicht rechtzeitig einsatzbereit gemacht werden konnte. Die Bodenbearbeitung konnte für die Terminierung der Folgearbeitsschritte nicht weiter nach hinten verschoben werden. Somit stand für eine erneute Erprobung der Tiefensteuerung keine nutzbare Technik zur Verfügung.

### **2.3.3 Ergebnisse**

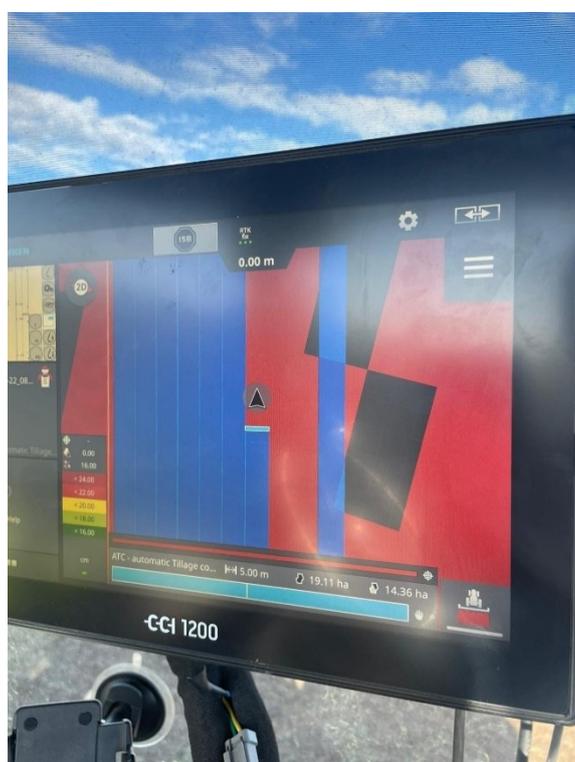
Der Einsatz zur variablen Tiefenführung von Bodenbearbeitungsgeräten konnte durchgeführt werden. Die entsprechende Karte konnte mit Hilfe des Herstellers erstellt, auf das Terminal übertragen und abgearbeitet werden. Der Regelbereich wurde in Absprache mit dem LVG auf 16-24 cm festgelegt.

In dem Vergleich zwischen konstanter und variabler Bodenbearbeitung wurde festgestellt, dass die variable Bearbeitung auf dieser Fläche, sowohl Diesel als auch Arbeitszeit einspart. Pro Hektar konnte die

variable Tiefenführung 2,59 l Diesel und 2,05 min Arbeitszeit einsparen (Tabelle 3). Bei der Erstellung und Darstellung der Karte am Computer war die komplette Fläche mit Tiefenwerten hinterlegt. Am Terminal zeigt sich bei der Überfahrt, dass an acht verschiedenen Stellen graue rechteckige Flächen (Abbildung 7) in der Karte zu sehen waren, die nicht mit Werten zur Tiefensteuerung hinterlegt waren. Somit setzte der Grubber an diesen Stellen komplett aus. Die Ursache konnte vom Hersteller bisher nicht geklärt werden.

**Tabelle 3: Treibstoff und Deseinsparung**

	variabel	konstant
Fläche	8,33 ha	8,33 ha
Diesel	113 l = 13,61l/ha	135 l = 16,20l/ha
Arbeitszeit	01:35 h = 11,40 min/ha	01:52 h = 13,45 min/ha



**Abbildung 7: Graue rechteckige Flächen mit fehlenden Tiefenführungswerten auf dem Bedienterminal**

Die Ergebnisse der Penetrometermessung sind in der Abbildung 8 dargestellt. Grundsätzlich gilt das Zone 1, in den ausgewählten Einstellungen des SoilXplorers, die Zone mit den geringsten Werten der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit darstellt. Die Zone 4 entspricht der Zone mit der höchsten

scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit. Im Standardverfahren des Herstellers erfolgt die Bodenbearbeitung in Zone 4 am tiefsten. Dies kann durch den Anwender invertiert werden.

Messung SoilXplorer mit Penetrometer																
Zone 1 - Punkt 1				Zone 2 - Punkt 1				Zone 3 - Punkt 1				Zone 4 - Punkt 1				
Messung			Durchschnitt													
1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh		1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh		1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh		1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh		
Tiefe in cm	73	71	74	72,67	75	68	74	72,33	55	67	65	62,33	73	73	62	69,33
Penetration Widerstand bei einem cm <sup>2</sup>	490	490	490	490,00	500	500	500	500,00	490	490	490	490,00	480	480	480	480,00
Zone 1 - Punkt 2				Zone 2 - Punkt 2				Zone 3 - Punkt 2				Zone 4 - Punkt 2				
Messung			Durchschnitt													
1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh		1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh		1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh		1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh		
Tiefe in cm	72	73	70	71,67	65	70	70	68,33	70	65	73	69,33	65	65	63	64,33
Penetration Widerstand bei einem cm <sup>2</sup>	490	500	500	496,67	500	500	500	500,00	480	480	480	480,00	500	500	500	500,00
Zone 1 - Punkt 3				Zone 2 - Punkt 3				Zone 3 - Punkt 3				Zone 4 - Punkt 3				
Messung			Durchschnitt													
1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh		1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh		1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh		1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh		
Tiefe in cm	68	72	73	71,00	72	73	67	70,67	70	68	72	70,00	68	67	63	66,00
Penetration Widerstand bei einem cm <sup>2</sup>	500	500	500	500,00	490	490	500	493,33	480	500	480	486,67	500	500	500	500,00
Zone 1 - Punkt 4				Zone 2 - Punkt 4				Zone 3 - Punkt 4				Zone 4 - Punkt 4				
Messung			Durchschnitt													
1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh		1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh		1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh		1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh		
Tiefe in cm	72	70	80	74,00	65	67	67	66,33	69	65	66	66,67	69	58	75	67,33
Penetration Widerstand bei einem cm <sup>2</sup>	490	500	490	493,33	420	500	500	473,33	480	480	480	480,00	480	490	500	490,00
Zone 1 - Punkt 5				Zone 2 - Punkt 5				Zone 3 - Punkt 5				Zone 4 - Punkt 5				
Messung			Durchschnitt													
1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh		1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh		1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh		1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh		
Tiefe in cm	80	80	69	76,33	65	70	67	67,33	75	63	60	66,00	73	75	75	74,33
Penetration Widerstand bei einem cm <sup>2</sup>	490	500	500	496,67	480	500	500	493,33	480	480	480	480,00	500	500	490	496,67
Zone 1				Zone 2				Zone 3				Zone 4				
73,13 durchschnittliche Tiefe in cm				69,00 durchschnittliche Tiefe in cm				66,87 durchschnittliche Tiefe in cm				68,27 durchschnittliche Tiefe in cm				
495,33 durchschnittlicher Penetrationswiderstand N/cm <sup>2</sup>				492,00 durchschnittlicher Penetrationswiderstand N/cm <sup>2</sup>				483,33 durchschnittlicher Penetrationswiderstand N/cm <sup>2</sup>				493,33 durchschnittlicher Penetrationswiderstand N/cm <sup>2</sup>				

**Abbildung 8: Messwert des Penetrometers in den unterschiedlichen Zonen des SoilXplores 2023**

### 2.3.4 Fazit

#### 2.3.4.1 Penetrometermessungen

Obwohl die subjektive Voraussetzung in Bezug auf die Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Beprobung besser waren als in den vorangegangenen Jahren, muss festgehalten werden, dass die Messungen anscheinend erneut unter keinen optimalen Bedingungen durchgeführt wurden. In der Auswertung der Eindringwiderstände und -tiefen waren keine Unterschiede zwischen den Zonen erkennbar. Damit kann aus diesen Daten nicht auf die durch die Herstellersoftware getätigte Zonierung geschlossen werden. Es erhärtet sich die Vermutung, dass die Zonierung lediglich anhand der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit erfolgt ist. Unterschiedliche Verdichtungen lassen sich durch die Penetrometermessung nicht erkennen. Inwieweit die scheinbare elektrische Leitfähigkeit in den unterschiedlich gemessenen Tiefen herangezogen wird ist unklar. Der hinter der empfohlenen Tiefenführungskarte liegende Algorithmus des Herstellers bleibt weiter eine Black Box. Auf Grund der erneut nicht optimalen Bedingungen zur Penetrometermessung, sollte dieser Versuch an anderer Stelle wiederholt werden.

### **2.3.4.2 Erprobung der Tiefenführung des Bodenbearbeitungsgerätes**

Nach vielen Problemen mit der Einrichtung des SoilXplorers zur Tiefenansteuerung, ist es im Versuchsjahr 2023 das erste Mal gelungen diese einzusetzen. Trotzdem sind noch nicht alle Probleme abgestellt. Weiter ist der Support durch den Hersteller und den Vertreiber verbesserungswürdig. Grundlegend steuerte das System die unterschiedlichen Zieltiefen der verschiedenen Zonen an. Unerklärlich sind zum aktuellen Zeitpunkt die partiell fehlenden Tiefenwerte in der Tiefenführungskarte. Auch eine Nachfrage beim Hersteller führte nicht zur Klärung des Phänomens.

## **2.4 Digitalisierung von Arbeitsprozessen der klimaangepassten teilflächenspezifischen Aussaat**

### **2.4.1 Bearbeitungsstand aus dem Vorprojekt**

Zum einen steigen die Produktionskosten in der Landwirtschaft und zum anderen stellen der Klimawandel mit öfter auftretenden Dürreperioden sowie die gesellschaftlichen Anforderungen an die Landwirtschaft, die Landwirte vor immer größere Herausforderungen. Demzufolge ist es notwendig, neue Wege und Möglichkeiten zu finden, um auch in Zukunft wirtschaftlich produzieren zu können und gleichzeitig die einzelnen landwirtschaftlichen Flächen zu bewirtschaften. Hierbei ist das Ziel, dass die Kulturpflanzen auch unter veränderten Klimabedingungen, möglichst optimale Wachstumsbedingungen erhalten und weiter qualitativ hochwertige Nahrungsmittel in ausreichender Menge erzeugt werden können. Für Landwirte kann die teilflächenspezifische Aussaat eine Möglichkeit sein, die Pflanzen in angepassten Aussaatstärken auszusäen, damit sie den jeweiligen kleinflächigen Standortbedingungen im Feld optimal angepasst sind. Die aktuelle Literatur ist zu der Thematik bisher äußerst begrenzt und demzufolge sind die agronomischen Empfehlungen, speziell auch in Sachsen, nicht ausreichend gegeben. Mit der heutigen Technik und den unterschiedlichen Datengrundlagen für die Aussaatkarten ist es für viele Betriebe möglich, dieses Verfahren in Zukunft einzusetzen.

Nach anfänglicher Literaturrecherche kristallisierte sich heraus, dass die Thematik einen erhöhten Zeit- und Arbeitsaufwand fordert, da in der aktuellen Literatur nur sehr wenige Beiträge, beziehungsweise Versuche zur teilflächenspezifischen Aussaat zu finden sind. Aufgrund der Fülle von Projekten im Themenverbund Digitalisierung Landwirtschaft wurde entschieden, die Thematik nicht auf den Flächen des LVG zu bearbeiten. Die Erprobungen wurden bei Partnerbetrieben innerhalb Sachsen des Experimentierfelds »LANDNETZ« durchgeführt.

Durch die Recherche zur Thematik und den Ergebnissen der Erprobung im Experimentierfeld

»LANDNETZ« sowie in Gesprächen mit Landwirten ist ersichtlich geworden, dass das Interesse der Landwirte an der teilflächenspezifischen Aussaat groß ist. Deshalb wurde 2022 eine Online-Veranstaltung zur teilflächenspezifischen Aussaat organisiert, welche das große Interesse der Landwirte an der Thematik weiter bestätigte. Daher wurde beschlossen, die Thematik in dem Folgeprojekt »Digitalisierung im Pflanzenbau II«, in einer Erprobung fortzuführen.

#### **2.4.2 Durchführung**

Die Untersuchungen zur Thematik »teilflächenspezifischen Aussaat« erfolgten auf mehreren Wegen, mit dem Ziel des Wissenstransfers der gesammelten Erkenntnisse in die landwirtschaftliche Praxis. Der Arbeitsumfang überstieg die verfügbaren personellen Kapazitäten des Projektes. Daraufhin wurde eine Vergabe für folgende geforderten Arbeitspakete als Dienstleistung veröffentlicht.

Die Leistung ist in drei Arbeitspakete aufgeteilt. Generell soll die teilflächenspezifische Aussaat und die hierfür notwendige Nutzung von Datengrundlagen untersucht und Erkenntnisse gewonnen werden, welche vor allem den sächsischen Landwirten in agronomischen Fragestellungen helfen sollen.

Im ersten Arbeitspaket soll eine Marktrecherche durchgeführt werden, um einen genauen Überblick zu erstellen, welche Marktverfügbaren Lösungen für die landwirtschaftliche Praxis angeboten werden, und um mögliche Unterschiede darzustellen.

Das zweite Arbeitspaket beinhaltet eine Umfrage, welche an Landwirte gerichtet ist, zu der Thematik und eine Literaturrecherche zum aktuellen Stand des Wissens. Daraus resultierend sollen Handlungsempfehlungen entwickelt werden. Diese soll aufzeigen, wie das LfULG diese Thematik weiter voranbringen kann und den Landwirten eine Unterstützung bieten. Zum anderen sollen die unterschiedlichen agronomischen Ansätze festgehalten werden und den Landwirten der aktuelle Wissenstand vermittelt werden um Entscheidungen in Bezug auf die teilflächenspezifische Aussaat zu unterstützen.

Im 3. Arbeitspaket werden die Erkenntnisse zusammengefasst und in unterschiedlichster Form (Fachbeiträge, Abschlussbericht und Feldtag) in den Wissenstransfer eingebracht.

Die Vergabe wurde erfolgreich ausgeschrieben und das Unternehmen IAK AGRAR Consulting GmbH hat den Zuschlag erhalten. Das Projekt wird von März 2024 bis November 2024 durchgeführt und begleitet. Das *kick off meeting* wurde am 12.03.2024 durchgeführt.

Die Umsetzung des Projektes erfolgte in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber. Hierfür wurden zum Beispiel regelmäßige Treffen anberaumt. An dieser Stelle wird auf den Ergebnisteil und damit auf den Bericht »Teilflächenspezifische Aussaat im Mais – Eine Marktübersicht und Handlungsoptionen für das LfULG« (KUNIK, A; 2024), verwiesen.

### **2.4.3 Ergebnisse**

Die Ergebnisse sind explizit im Bericht »Teilflächenspezifische Aussaat – Eine Marktübersicht und Handlungsoptionen« nachzulesen. Eine Zusammenfassung des Berichtes finde sich unter Punkt 2.4.3.1.

#### **2.4.3.1 Zusammenfassung**

Zum Zweck der Etablierung des Verfahrens der teilflächenspezifischen Aussaat bei Mais hatte das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) die IAK Agrar Consulting GmbH beauftragt, die am Markt verfügbaren Angebote zu charakterisieren, eine Systematik zur Unterscheidbarkeit derselben zu erstellen sowie ausgewählte Anbieter und ihre Ergebnisse detailliert zu untersuchen. Des Weiteren galt es mithilfe einer qualitativen Umfrage den Status quo zur Anwendung dieses Verfahrens zu ermitteln. Der Abgleich dieser Ergebnisse mit jenen der Marktrecherche sollte den Handlungsbedarf für eine zielgerichtete Anwendung des Verfahrens aufzeigen. Darauf basierend waren Handlungsempfehlungen zur Erhöhung des Grades der Praxiseinführung dieser Technologie zu erarbeiten.

Die Marktrecherche offenbarte bei einem breiten Spektrum von Angeboten dieser Technologie grundlegende Unterschiede zwischen denselben. Deshalb wurde zur Differenzierung der Angebote eine Systematik entwickelt. Die als Dienstleistung angebotenen Lösungen ließen aufgrund ihrer Standardisierung reproduzierbare Ergebnisse erwarten. Daher wurden in dieser Gruppe Angebote, die sich methodisch unterscheiden, miteinander verglichen. Die Applikationskarten ähnelten sich dabei hinsichtlich der Klassifikation der Wachstumsbedingungen, der applizierten Saatmenge als auch des Variationsbereiches derselben nur mäßig. Das Anlegen eines Schlages im System und die Auswahl von Daten mithilfe von Algorithmen war jeweils leicht möglich. Die Klassifikation der Wachstumsbedingungen war nur bei zwei Anbietern in vollem Umfang zugänglich. In der Phase der Klassifizierung sowie beim Erstellen der Applikationskarte wurde dem Anwender die Möglichkeit einer Modifizierung gewährt. Die Algorithmen zur Berechnung beider Karten wurden nicht bekanntgegeben. Eine Validierung des Ergebnisses war aufgrund der Unzugänglichkeit der Satellitendaten und sonstiger Informationen nicht möglich. Die Applikationskarte konnte in gebräuchlichen Formaten exportiert werden. Die Nutzung der Anwendung wurde von den vier Anbietern gut unterstützt.

Die Nichtanwendung des Verfahrens begründeten die befragten Landwirte mit ungeeigneter Technik, geringer Bodenheterogenität, zu hohem Aufwand sowie schwierigem Datentransfer. Letzterer erwies sich beim Abgleich der Ergebnisse der Umfrage mit jenen der Marktrecherche als bedeutsame Erschwernis. Auch die abstrakte Beschreibung der Heterogenität, deren unklare Verwertung, die Intransparenz der Algorithmen und der verwendeten Daten sowie die nicht mögliche Validierung dürften die Annahme der Technologie enorm behindern.

Für die Erhöhung des Grades der Anwendung dieses Verfahrens in der landwirtschaftlichen Praxis ist der konkrete wirtschaftliche Nutzen aufzuzeigen und die einfache Integration in die betrieblichen Abläufe nachzuweisen. Zudem soll der Informationsgehalt der Heterogenitätsindikatoren und dessen Übertragung in eine Saatmengenentscheidung verdeutlicht werden.

Zum Erreichen dieses Zieles wird die Kooperation des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) und wissenschaftlicher Institutionen mit ausgewählten Betrieben und Anbietern empfohlen. Dabei ist zum einen das ökonomische Potenzial dieser teilflächenspezifischen Technologie durch vollumfängliche Demonstration desselben im Praxisbetrieb aufzuzeigen. Zum anderen soll die Integration des Verfahrens in die betrieblichen Abläufe auf der Grundlage von Betriebsführungen, Seminaren und Vorträgen aufgezeigt werden. Überdies sind durch angewandte Forschung Entscheidungshilfen zur Klassifizierung der standörtlichen Heterogenität und der Ableitung der Saatempfehlung bereitzustellen.

#### **2.4.4 Fazit**

Bei der teilflächenspezifischen Aussaat wird eine maschinenlesbare Aussaatkarte erstellt und während der Bestellung automatisiert abgearbeitet. Technisch ist die Umsetzung schon seit einigen Jahren möglich. Eine Vielzahl von Anbietern entsprechender Karten sind am Markt verfügbar, deren Produkte sich in verschiedenen Punkten unterscheiden. Dass sich das Verfahren noch nicht in größerem Umfang durchgesetzt hat, hat unterschiedliche Ursachen. Aus agronomischer Sicht, ist der Einfluss der Saatstärke auf die Ertragsstruktur von untergeordneter Rolle. Weiter gibt es keine allgemeingültigen Algorithmen. Auch reagieren die verschiedenen Kulturarten unterschiedlich auf eine Variation der Saatstärke. Es gibt technische Hemmnisse, die eine Einführung des Verfahrens behindern. Entscheidend für eine fortschreitende Etablierung des Verfahrens ist das Aufzeigen der Vorteile, insbesondere ökonomische Vorteile, der teilflächenspezifischen Aussaat.

### **2.5 Digitalisierung von Arbeitsprozessen zur mechanischen Beikrautbekämpfung (Smarte Hacke vs. Feldroboter)**

Die mechanische Unkrautregulierung ist im ökologischen Landbau die wichtigste Möglichkeit, auf aktuell unerwünschtes Beikrautauftreten im wachsenden Bestand zu reagieren. Diese Art der Beikrautregulierung ist im Hinblick auf verschärfte Zulassungsverfahren, Grenzwertreduzierungen von chemischen Pflanzenschutzmitteln und den damit verbundenen aktuellen Diskussionen über Umweltschutz und der Reduzierungsstrategie für Pflanzenschutzmittel auch eine Möglichkeit für die sogenannte konventionelle Landwirtschaft, Beikräuter zu regulieren. Herkömmliche Hackverfahren arbeiten nur zwischen den Reihen und verlangen dem Fahrer ein hohes Maß an Konzentration ab, um die Werkzeuge

durch exakt gerades Fahren nicht in die Reihe zu lenken. Als Unterstützung wird bei den meisten Hackgeräten eine zweite Person benötigt, die auf dem Gerät sitzt und auch bei widrigen Bedingungen das Gerät in der Spur hält. Somit sind 2 Arbeitskräfte für einen Prozess gebunden. Eine erste Entwicklung ist die durch das globale Navigationssatellitensystem (GNSS) gestützte Reihenföhrung, die über eine Verschiebeeinheit Abweichungen der Fahrspur bis zu einem gewissen Grad ausgleichen kann. Eine weitere Entwicklung ist die kamerabasierte Reihenföhrung. Beide Techniken können auch dazu genutzt werden, mit entsprechenden Aktoren und Werkzeugen innerhalb der Reihe zu hacken. Der Raum zwischen den Pflanzen kann von herkömmlichen Hacken nicht komplett erfasst und die unerwünschten Beikräuter somit nicht reguliert werden.

Neben den mit GNSS und kamerabasierten Reihenföhrung ausgestatteten smarten Hacken, gibt es in den letzten Jahren auch die Entwicklung hin zu autonomen Geräteträgern und Hackrobotern. Diese navigieren auch mit RTK-GNSS und können zusätzlich mit kameragestützten Verschieberahmen ausgestattet sein. Bei Anpassung an die momentane Gesetzeslage, sollen diese ohne Überwachung auf dem Feld, eigenständig Arbeiten auf dem Acker ausföhren.

Insbesondere die smarten Ansätze versprechen eine Erleichterung in der Arbeitsdurchföhrung und Einsparung von Arbeitskräften/Arbeitszeit. Sie bieten unter Umständen auch die Möglichkeit, die Arbeitsbreiten und damit die Schlagkraft zu erhöhen, da die Föhrung des Werkzeuges von der Elektronik gesteuert wird und Abweichungen von der Fahrspur sich mit zunehmender Arbeitsbreite stärker auswirken. Mit der Erhöhung der Schlagkraft steigt auch die Bereitschaft in der konventionellen Landwirtschaft, die mechanische Beikrautregulierung einzusetzen.

### **2.5.1 Ziel**

Ziel ist es, ein smartes Hackverfahren zu erproben und mit einem Hackroboter zu vergleichen. Bei der Erprobung wird der Fokus auf die Qualität des Hackens gelegt. Dabei sind die Beseitigung der Beikräuter, die Unversehrtheit der Kulturpflanzen und das Handling der Maschine in der Praxis die Zielgrößen der Beobachtungen. Die Maschinen sollen die Beikräuter und nicht die Kulturpflanzen effektiv reduzieren. Hierbei soll die Bedienung für den Landwirt intuitiv und einfach angelegt sein.

## 2.5.2 Durchführung

Auf einem Schlag des LVG werden die Systeme in der Hackfrucht Mais erprobt. Entscheidend ist hier das Bearbeitungsbild, das mittels Beikrautbonitur vor und nach der Bearbeitung ermittelt wird. Die genauen Details des Versuches wurden mit allen Beteiligten des LVG, des Ref. 71, Ref. 72 und Ref. 79 abgestimmt. Die Smarte Hacke der Firma Steketee vom Typ »EC Weeder« mit drei Einzelsegmenten (Abbildung 9), je einer » EC Kamera« (Herstellerbezeichnung) und Verschieberahmen pro Segment zur Reihenführung (3-Beet-Hacke), wurde im Frühjahr 2021 geliefert. Anfänglich ergaben sich technische Schwierigkeiten, die zu einem ungenügenden Arbeitsbild führten, bis hin, zum Weghacken von Kulturpflanzen. Der Hersteller war gezwungen, vor Ort mehrfach nachzubessern.



**Abbildung 9: Kameragesteuerte Hacke Steketee vom Typ »EC Weeder« mit drei Einzelsegmenten**

Zwei Hauptproblematiken wurden dabei offensichtlich. Zum einen konnte die mittlere Kamera aufgrund der besonderen Anpassungen für die betrieblichen Wünsche in Köllitsch und der damit verbundenen baulichen Veränderungen die Reihen nicht im gewünschten Maße erkennen. Somit mussten Alternativen zur Ausrichtung der Kamera gefunden werden. Eine weitere Problematik war die Rechenleistung des Bedienterminals im Traktor. Er konnte die Daten der Kameras auf Dauer nicht zuverlässig verarbeiten und erreichte sehr schnell zu hohe Temperaturen. Dadurch reduzierte sich die Rechenleistung des verbauten Computers sehr stark. Es kam zum Beispiel zu starken Verzögerungen bei der Bedienung und Abstürzen der Software. Nach einem Wechsel des Terminals ließ sich das Problem aber zeitnah lösen.

Der Feldroboter Dino mit kameragesteuertem Verschieberahmen von der Firma Naio (Abbildung 10) wurde im November 2021 geliefert. Im März 2022 fand die Schulung statt und der Feldroboter wurde über das Jahr ausgiebig getestet. Dabei wurde festgestellt, dass der Roboter im Autonomen-Modus mit Werkzeugführung durch kameragesteuerte Verschieberahmen, nicht funktioniert. Auch mehrfache Ver-

suche des Nachbesserns mit Unterstützung des Herstellers, konnten das Problem nicht lösen. Die Erprobung erfolgte ohne funktionierenden Verschieberahmen. Grundsätzlich konnten die weiteren Funktionen des Roboters getestet werden.



**Abbildung 10: Feldroboter Dino mit kameragesteuertem Verschieberahmen**

2023 wurde Silomais auf dem Schlag »Koppel 1« in 45 cm Reihenabstand angebaut. Um die kameragesteuerte Hacke und den Feldroboter in einer Erprobung zu vergleichen, wurde der Schlag in zwei zwei ha große Teilstücke geteilt. Bei der im Versuchsplan festgeschriebenen Vor- und Nachbonitur wurde die Anzahl an Beikräutern und Kulturpflanzen an 10 Boniturlinien je Variante festgehalten.

Der Zeitplan ist in folgender Tabelle 4 ersichtlich.

**Tabelle 4: Zeitplan**

Monat	Jahr	Aufgabe
Dez.-Feb.	2022 / 2023	Feinplanung der Erprobung
23. Mai	2023	Vorbonitur der Verunkrautung
25. Mai	2023	1. Hacken der Teilfläche mit Roboter
01. Juni	2023	Nachbonitur
07. Juni	2023	Vorbonitur der Verunkrautung
08. Juni	2023	2. Hacken der Teilfläche mit dem Roboter
17. Juni	2023	Nachbonitur



**Abbildung 11: Bonitur vor dem Hackeinsatz**

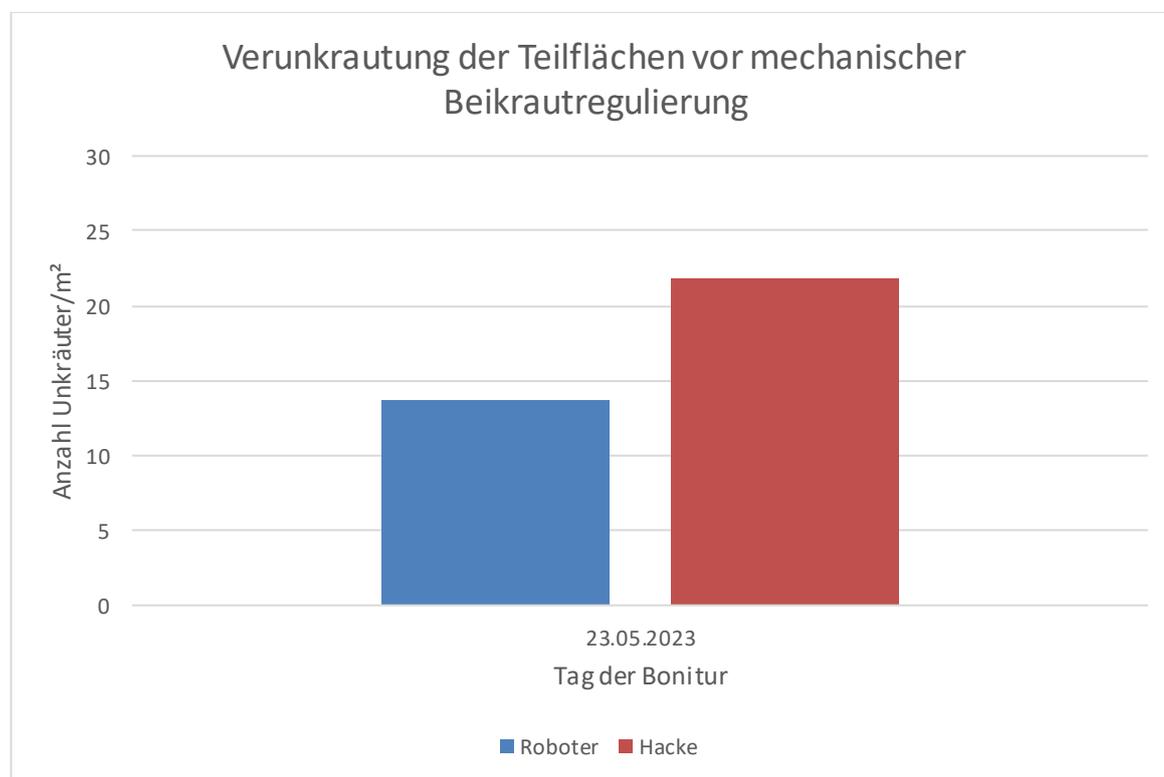


**Abbildung 12: Bonitur vor dem zweiten Hackeinsatz**

## 2.5.3 Ergebnisse

### 2.5.3.1 Erster Hackdurchgang

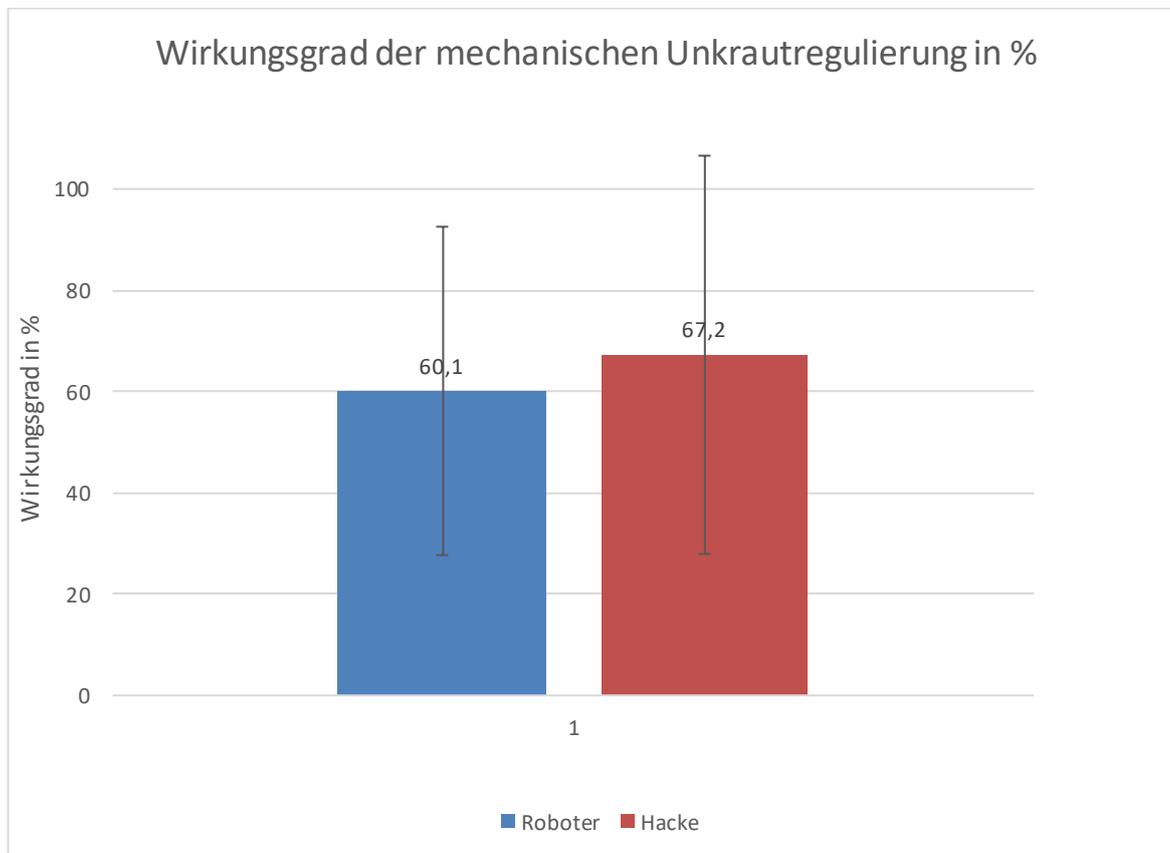
Die Bonitur vor dem ersten Hackdurchgang ergab, dass auf der Teilfläche »Smarte Hacke« mit durchschnittlich 21,8 Beikräutern/m<sup>2</sup> eine höhere Verunkrautung vorlag, als auf der Teilfläche »Roboter« mit durchschnittlich 13,7 Beikräutern/m<sup>2</sup> (Abbildung 13). Die erste mechanische Beikrautregulierung wurde am 25. Mai durchgeführt.



**Abbildung 13: Beikräuter/m<sup>2</sup> vor der mechanischen Beikrautregulierung**

In Vorbereitung der Hackmaßnahme wurde die Spur, die der Roboter abfahren sollte, aufgenommen und die Hackwerkzeuge auf den Reihenabstand eingestellt. Am Tag der Maßnahme wurde der Roboter mit Hilfe eines Tiefladers zum Feld befördert. Dort wurde die Feineinstellung der Hackwerkzeuge vorgenommen und die Geschwindigkeit des Hackdurchgangs gewählt. Der Roboter brauchte für den Hackdurchgang 4 Stunden, die ersten beiden Stunden wurde mit einer Geschwindigkeit von 2 km/h gehackt, danach erhöhte sich die Geschwindigkeit auf 3,2 km/h.

Die Nachbonitur fand am 01.06. statt. An Hand von Vor- und Nachbonitur wurde der Wirkungsgrad der mechanischen Beikrautregulierung berechnet. Dabei unterschieden sich die Wirkungsgrade der Variante, Roboter mit 60 % und Hacke mit 67 %, nicht signifikant (Abbildung 14).



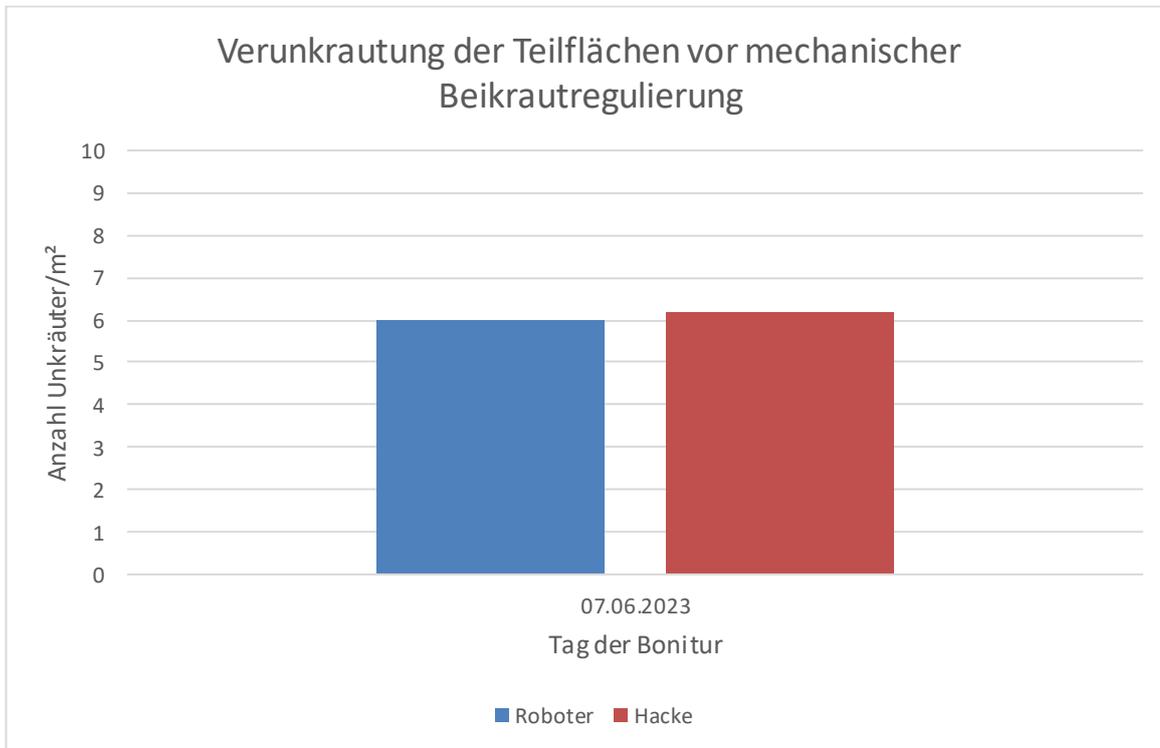
**Abbildung 14: Wirkungsgrad der mechanischen Unkrautregulierung in der Variante Roboter und smarte Hacke**

### 2.5.3.2 Zweiter Hackdurchgang

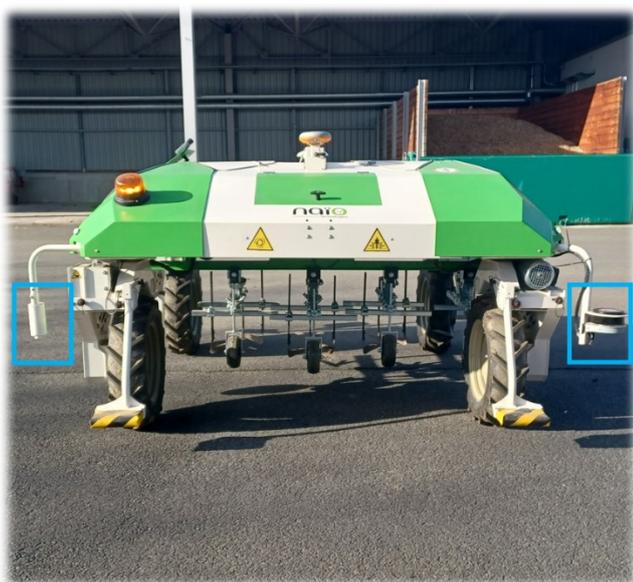
Die Vorbonitur zum zweiten Hackdurchgang fand am 07.06.2023 statt. Zu diesem Zeitpunkt war die Verunkrautung, mit 6 Beikräutern/m<sup>2</sup> in der Variante Roboter und 6,2 Beikräuter/m<sup>2</sup> in der Variante Hacke in beiden Varianten etwa gleich hoch.

Zum Zeitpunkt des zweiten Hackdurchgangs, am 08.06., befand sich der Mais im Längenwachstum und hatte eine Höhe von 50 cm überschritten. Dies führte beim Roboter zu Problemen. Die zur Sicherheit, als Hinderniserkennung, installierten LIDAR-Sensoren (Abbildung 16) lassen sich maximal auf eine Höhe von 55 cm stellen. Diese können Hindernisse nicht unterscheiden und führen auch bei Pflanzenteilen, unabhängig ob Nutzpflanze oder Beikraut, zu einem Notstop wenn sie in den Sensorbereich kommen. Der Roboter fuhr zum Teil nur 5 Meter bis es zu einem Notstop kam. So konnte die Fläche an diesem Tag nur eingeschränkt gehackt werden und der Versuch wurde nach 1/5 der Fläche abgebrochen.

Die smarte Hacke konnte zu diesem Zeitpunkt problemlos eingesetzt werden. Aus Vor- und Nachbonitur ergab sich zum zweiten Termin ein Wirkungsgrad von 61,2 %.



**Abbildung 15: Beikräuter/m<sup>2</sup> vor der zweiten mechanischen Beikrautregulierung**



**Abbildung 16: Hackroboter Dino, blau markiert das Front- LIDAR-System**

### 2.5.3.3 Kulturpflanzenverlust

Um die Kulturpflanzenverluste zu ermitteln, wurden an jedem Boniturstrecke von 3 Metern die Maispflanzen vor dem ersten und nach dem zweiten Hackdurchgang gezählt. Bei der smarten Hacke ergaben sich nach zwei Hackdurchgängen Kulturpflanzenverluste von 10,3 %.

#### **2.5.4 Fazit**

Die kameragesteuerte Hacke konnte in dieser Erprobung einen höheren Bekämpfungserfolg (67,2 % und 61,2 %) als in der Erprobung 2022 (53,4 %) erreichen. Im ersten Hackdurchgang erreichte der Roboter einen ähnlichen Bekämpfungserfolg (60,1 %). Da der zweite Hackdurchgang durch die Höhe der Pflanzen nicht stattfinden konnte, ist hier ein vollständiger Vergleich der beiden Methoden nicht möglich. Der Bekämpfungserfolg ist auch abhängig von den Arten der Beikräuter die auf der Fläche zu finden sind. Beispielsweise hatten sowohl die Hacke als auch der Roboter mit tief wurzelnden Ampfern und Luzernedurchwuchs Probleme. In der Nachbonitur war auffällig, dass die benannten Beikräuter oft den Behandlungsgang überstanden haben.

Die rechtlichen Rahmenbedingungen und die relativ geringe Schlagkraft des Feldroboters erfordern eine intensive Betreuung des Feldroboters. Bei den vorherrschenden Feldbedingungen mit viel organischer Masse sowie Pflanzenrückständen der Vorfrucht musste ständig darauf geachtet werden eine Verstopfung der Hackschare zu vermeiden. Auch die kameragesteuerte Hacke musste des öfteren pausieren um Verstopfungen der Hackschare zu beseitigen. Insgesamt brauchte der Feldroboter, mit Transport zum Schlag, Feineinstellung der Werkzeuge und Rücktransport, 5 Stunden um die Fläche zu hacken. Die kameragesteuerte Hacke brauchte insgesamt 1 Stunde (Rüstzeit - 10 min; Einstellung am Feld: 30 min; Zeit für Überfahrt von 2 ha: 20 min) für alle Arbeitsprozesse.

Grundlegend ist festzuhalten, dass seit der Anschaffung des Roboters Probleme mit dem System, insbesondere mit der Kamerasteuerung bestanden. In Kombination mit dem hohen Betreuungsaufwand und der geringen Funkreichweite des Notausschalters erscheint ein Einsatz im Ackerbau als wenig zielführend. Andere am Markt erhältlichen Systeme scheinen für diesen Einsatz besser geeignet zu sein. Sie wurden, im Gegensatz zum Dino, der ursprünglich für den Gemüseanbau entwickelt wurde, speziell für diesen Einsatz entwickelt. Aktuell ist ein Nachfolgemodell für den Dino verfügbar. Dieses ist augenscheinlich deutlich besser den Belangen des Ackerbaus angepasst. Dieser Vergleich, smarte Hacke und Hackroboter wurde nicht fortgesetzt. Auf Grund der bis zum Schluss nicht gelösten technischen Probleme des Roboters, wurde der Kaufvertrag für den naio Dino rückabgewickelt.

## **2.6 Durchführung und Weiterentwicklung der Wissenstransferangebote**

Der Wissenstransfer ist eines der grundlegenden Ziele aller Projekte im LfULG. Der Freistaat Sachsen sieht darin einen wesentlichen Baustein für die Weiterentwicklung einer nachhaltigen und zukunftsfähigen sächsischen Landwirtschaft. Dabei steht der Austausch der Zielgruppen und die Vermittlung von praxisrelevanten Forschungsergebnissen im Fokus.

Im Berichtsjahr 2023 wurde hauptsächlich durch die Form von Veranstaltungen der Wissenstransfer bedient. Im Jahr 2024 waren weitere Veranstaltungen geplant und wurden durch Angebote in schriftlicher Form, wie Fachartikel, ergänzt. Insbesondere zwei Veranstaltungen stachen hervor. Zum einen nahmen rund 250 Teilnehmende aus Wissenschaft, Industrie und Praxis im Lehr- und Versuchsgut Köllitsch am 2. Köllitscher Feldrobotiktag teil, um sich über die neuesten Entwicklungen in der Feldrobotik auszutauschen. Die Mischung aus Feldvorführungen, Praxiseinblicken, aktuellen Forschungsständen und einer spannenden Podiumsdiskussion ermöglichte einen umfassenden Einblick in die verschiedenen Aspekte der Feldrobotik. Ein gemeinsam mit der Fachzeitschrift Profi® entwickelter Roboterbenchmark bot allen Teilnehmenden, sowie den Lesern der Zeitschrift, die nicht vor Ort teilnehmen konnten, eine hervorragende Möglichkeit, die verschiedenen Modelle zu vergleichen. Das Bildungs- und Schulungszentrum (BSZ) Wurzen nahm mit etwa 60 Auszubildenden der Landwirtschaft an der Veranstaltung teil. Vier Roboterhersteller führten die Lehrlinge durch eine Stationsarbeit und stellten ihnen die Möglichkeiten der Zukunft in einer weiter automatisierten Landwirtschaft vor. Die Mischung aus theoretischen Vorträgen und praktischen Vorführungen wurde sehr geschätzt und förderte einen regen Austausch zwischen den Teilnehmenden. Zum anderen wurde erstmalig eine Fortbildung für Lehrkräfte zum Thema Digitalisierung im Pflanzenbau durchgeführt. Eine immer wieder aufkommende Erkenntnis bei der Durchführung von Veranstaltungen ist der positive Effekt des direkten Austausches zwischen Teilnehmenden und Referenten aber auch innerhalb der Teilnehmenden. Der persönliche Austausch fördert die Bildung von Netzwerken und Zusammenarbeit.

### 2.6.1 Ergebnisse

**Tabelle 5: Aktivitäten im Bereich Veransaltungen und Wissenstransfer 2023**

2023		
13.-14.02.2023	GIL Tagung	Veranstaltung
01.06.2023	Flurfahrt in Köllitsch – Technik Demo	Veranstaltung
30.06.2023	Lange Nacht der Wissenschaften Dresden	Veranstaltung
12.10.2023	Möglichkeiten des Drohneneinsatzes in der Landwirtschaft	Veranstaltung
19.10.2023	Exkursion 9. Klasse Lessing Gymnasium	Exkursion
29.11.2023	Workshop der Experimentierfelder CattleHub, DigiMilch, Landnetz (Köllitsch)	Veranstaltung
07.12.2023	4. Treffen SCI_DRONIX in Cottbus	Veranstaltung

**Tabelle 6: Aktivitäten im Bereich Veransaltungen und Wissenstransfer 2024**

2024		
27.-28.02.2024	GIL-Tagung	Veranstaltung
07.03.2024	Möglichkeiten des digitalen Pflanzenschutzes	Veranstaltung
10. 04. 2024 – 14. 04. 2024	Agra Leipzig – Präsentation am Stand	Veranstaltung
18.04.2024	Digitalisierung in der Landwirtschaft – Exkursion vom Gymnasium, 9. Klasse (Robotik, Spot Spraying)	Exkursion
10.06.2024	forum sachsen digital	Veranstaltung
14.06.2024	Lange Nach der Wissenschaft in Dresden	Veranstaltung
27.06.2024	Fachbeitrag Teilflächenspezifische Aussaat im Mais	Veröffentlichung
28.08.2024	Besuch des Landratsamt Nordsachsen	Veranstaltung
05.09.2024	Feldtag Teilflächenspezifische Aussaat	Veranstaltung
17.09.2024	2. Köllitscher Feldrobotiktag	Veranstaltung
30.09.2024	Fortbildung Digitalisierung für Lehrkräfte -Pflanzenbau	Veranstaltung
07.11.2024	Fachgespräch Gewässerschutz Gröditz	Veranstaltung
12.11.2024	Workshop Reduzierung Bodenabtrag in Mügeln	Veranstaltung
Nov. 2024	Artikel Top Agrar Neues vom Mais (Top Agra+ Teilflächenspezifisch säen: Vier Aussaatkarten im Vergleich)	Veröffentlichung
09.12.2024	Montagseminar Teilflächenspezifische Aussaat im Mais	Veranstaltung

### 3 Fazit - Bewertung von digitalen Lösungen

Für die Bewertung von digitalen Lösungen wurde gemeinsam mit dem Projekt »Landnetz« eine Bewertungsmatrix mit 14 Punkten konzipiert (Tabelle 7). Es wurde versucht Aspekte, wie Einflüsse auf den Arbeitsplatz, Integration in die betrieblichen Abläufe, Anwendbarkeit aber auch Umweltwirkung abzubilden. Für eine Unterscheidbarkeit wurde ein dreistufiges Bewertungsschema genutzt. Trifft ein Kriterium zu wurden zwei Punkte vergeben. Trifft ein Kriterium teilweise zu, entspricht das einem Punkt. Null Punkte wurde vergeben, wenn das Kriterium nicht zutrifft. Für Kriterien, die nicht eingeschätzt werden konnten gibt es null Punkte. Die Bewertung der einzelnen Kriterien basiert auf den Erfahrungen aus der Umsetzung der Untersuchungen und den Sichtweisen der Beteiligten.

**Tabelle 7: Bewertungsmatrix der einzelnen Demonstrationen**

Bewertungskriterien	Digitaler Pflanzenbau <sup>1</sup>			
	NIRS	Spot Spraying	SoilXplorer	Teilfl. Spez. Aussaat
Keine zusätzliche Schulung nötig	1	1	0	1
Guter Support/Service	1	2	0	0
Bildungsangebote / Schulung verfügbar	2	2	0	2
Einfache Integration in Betriebsabläufe	2	1	1	1
Ohne Einstiegshürde	0	1	0	1
Vereinfacht Arbeitsprozesse	1	1	0	1
Spart Arbeitszeit	0	0	0	1
Steigert Produktivität (z.B. bessere Auslastung, schnellere Durchführung, etc.)	0	1	1	1
Steigert Qualität der Erzeugnisse	1	1	1	1
Erleichtert die Dokumentation	0	0	0	0
Verringert Betriebsmitteleinsatz	1	2	1	1
Verringert mögliche Umweltbelastungen	1	2	1	1
Verbessert das Image der Landwirtschaft	2	2	1	1
Verbessert das Arbeitsumfeld	1	1	0	1
<b>Summe</b>	<b>13</b>	<b>17</b>	<b>6</b>	<b>13</b>

<sup>1</sup>Legende: Punkteverteilung 0 bis 2

#### Anmerkungen zur Tabelle 7

2	trifft zu	1	trifft teilweise zu	0	trifft nicht zu
---	-----------	---	---------------------	---	-----------------

## **NIRS:**

Auf Grund der Vorbereitung des Güllefasses des LVG für einen NIRS-Sensor war der Einbau einfach und schnell erledigt. Nachteilig ist, dass das GNSS-Signal des auf dem Schlepper befindlichen Parallelfahr-systems nicht für das NIRS-System genutzt werden konnte und kein Handbuch für die Technik vom Hersteller gestellt werden konnte. Die Bedienung war intuitiv und es war lediglich eine Einweisung notwendig. Nach anfänglichen Abweichungen bei einigen Inhaltsstoffen wurden die, von der DLG festgelegten, Abweichung von den Laboranalysen erreicht. Hier zeigte sich, dass das kostenpflichtige Update sinnvoll war. Interessanter Weise, kam es im zweiten Jahr nach dem Update erneut zu vermehrten Abweichungen der Testwerte, insbesondere bei der Trockensubstanz. Die Genauigkeit des Sensors ist abhängig von dem genutzten Substrat und des zu detektierenden Inhaltsstoffes. Unter dem Gesichtspunkt der Düngegesetzgebung können diese, insbesondere beim Stickstoff, zu Problemen führen (JORRISEN, T., et al, 2023 b). Die Steuerung der Ausbringmenge begrenzt die Mengen an Nährstoffen, die in die Umwelt gelangen. Dies gilt aber nur für den Nährstoff, nach dem geregelt wird. Dies hat Einfluss auf die Umwelt und die angebauten Fruchtarten und deren Qualitätsparameter.

## **Spot Spraying:**

Wenn eine Pflanzenschutzspritze mit Sectioncontrol mit Teilbreitenabschaltung, besser Einzeldüsenabschaltung vorhanden ist und das Terminal entsprechende Karten lesen und abarbeiten kann, ist die Integration in den Betrieb und die pflanzenbaulichen Abläufe ohne größeren technischen Aufwand möglich. Ältere Terminalmodelle können hardwareseitig an ihre Grenzen stoßen, da deutlich mehr Berechnungen durchgeführt werden müssen. Insbesondere in der Implementierungsphase ist mit einem höheren zeitlichen Aufwand zu rechnen. Eine Einweisung in das System und eine Unterstützung durch den Hersteller während der Implementierungsphase ist von Vorteil. Dies gilt auch für mögliche Updates der Software durch den Hersteller. Die Vorteile der Anwendung zeigten sich besonders im Einsatz gegen Spezialbeikräuter, wie Disteln. Ein Einsatz in offenen Beständen erleichtert die Detektion der Beikräuter. Grundlegend lassen sich mit diesem Verfahren die Menge der ausgebrachten Pflanzenschutzmittel und damit die Auswirkungen auf die Umwelt reduzieren. Inwieweit der ökonomische Vorteil durch die Reduzierung des Pflanzenmittelaufwandes durch die zusätzlichen Verfahrenskosten bestehen bleibt hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Vor allem, ob die Umsetzung selbst durchgeführt wird oder als Dienstleistung erfolgt. JORRISEN, T, et al (2023 a) kommen zu dem Schluss, dass der größte Teil der mit dem Spot Spraying verbundenen Kosten auf die Kapital- und Betriebskosten des UAV zurückzuführen sind und sich eine größere Einsatzfläche kostensenkend auswirkt.

## **SoiXplorer:**

Der SoilXplorer sollte ursprünglich im Onlineverfahren Anwendung finden und wäre so ohne Mehraufwand in die bestehenden Arbeitsprozesse integrierbar gewesen. Das Offline-Verfahren, das später Anwendung fand, benötigt eine zusätzliche Überfahrt. Der Aufwand, inklusive der Rüstzeiten, für die Messfahrt wird als gering angesehen. Der zeitliche Aufwand für die Fahrten ist abhängig von der Messfläche. Die Erstellung der Bearbeitungskarte und deren Export war aufgrund des mangelhaften Supports und fehlerhafter Software sehr zeitaufwendig. Letztendlich wurde vom System nur eine Zonierung des Schlages auf Grundlage der Messung der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit vorgenommen. Ein Einfluss der unterschiedlichen Messtiefen oder Erkennung von Verdichtungen konnte nicht festgestellt werden. Zu vergleichbaren Ergebnissen kam die TU Dresden bei ihren Versuchen in der Bodenrinne mit dem baugleichen TopSoilMapper (HERLITZUS, et al, 2022). Bodenunterschiede lassen sich auch anderweitig ermitteln und Bearbeitungskarten ableiten. Zu nennen wären hier zum Beispiel Fernerkundungsdaten oder die mit dem SoilXplorer vergleichbaren Sensoren EM38 bzw. Geophilus electricus. Die Ermittlung von Bodenunterschieden auf dieser Basis ist nur einmalig notwendig, da sich der Boden nur in größeren Zeitabständen ändert.

## **Teilflächenspezifische Aussaat von Mais**

Insofern, die auf den Betrieben vorhandene Technik, das Abarbeiten von Saatkarten ermöglicht, bedarf es keiner weiteren Investition. Die moderne Saattechnik der letzten Jahre verfügt oft über entsprechende Funktionalitäten, wenn dies nicht der Fall ist reicht meist ein Update oder Terminaltausch. Ein GNSS –Signal kann von einem verbauten Parallelfahrssystem übernommen werden. Die technischen Rüstzeiten vor der Applikation sind abhängig vom technischen Verständnis des Bedieners und der Intuitivität der Menüführung der Bediensoftware des Terminals. Ein größerer Teil des Aufwandes wird durch die Erstellung der Saatkarte verursacht. Finanziell ist hier zu unterscheiden, ob die Karte durch den Landwirt mit Open Source Software erstellt wird oder ein Dienstleister in Anspruch genommen wird. Schulungsangebote und Anleitungen finden sich im Internet unter anderem bei den Veröffentlichungen des LfULG (AGUMENDA, 2024)

Allgemein ist festzuhalten, dass Bewertungen von digitalen Anwendungen sich gemischt darstellten. Es sind klare Abweichungen aufgetreten. Die Punkte der vom Hersteller versprochenen Zielerreichung, der angegebene Integrationsaufwand und der Support der digitalen Anwendung fielen dabei besonders ins Gewicht. Insbesondere bei dem Thema Support zeigten sich deutliche Unterschiede. In der Spot Spraying Erprobung war der Hersteller sehr gut erreichbar. Wenn einzelne Probleme nicht gelöst werden konnten wurden weitere Mitarbeiter des Anbieters ad hoc hinzugezogen. Im Bereich der Bodenbearbeitung stellte sich die Lage deutlich komplizierter dar. Der Support war schlecht zu erreichen, Mails wurden zum Teil erst auf wiederholte Nachfrage beantwortet. Dadurch kam es auch zu Verzögerungen

bei der Erstellung der Tiefenführungskarten. Dies führte mehrfach zur Verschiebung der Erprobung, da sich das Zeitfenster für die Bodenbearbeitung geschlossen hatte. Insbesondere in der Implementierungsphase zeigte sich, wie wichtig ein guter Support durch den Hersteller ist. Im Laufe des Projektes konnte auch festgestellt werden, dass die Bedienung durch neue Softwareversionen immer intuitiver wurde und somit der Supportaufwand kleiner wird. Ein Großteil der Supportanfragen bezog sich auf die Software. Die Option der Fernwartung wird als sehr positiv und zeitsparend eingeschätzt.

Die Einsparung von tatsächlicher Arbeitszeit ist bei den verschiedenen Anwendungen sehr unterschiedlich. Hier sollte zwischen dem Zeitaufwand, während der Integration, während der Nutzung der Anwendung und dem Bedarf im Nachgang, zum Beispiel für die Dokumentation, unterschieden werden. Im Bereich der Integration der digitalen Anwendung in das Anbauverfahren kann es anfänglich zu einem deutlichen Mehrbedarf an Arbeitszeit kommen. Dies war insbesondere im ersten Jahr des Spot Spraying Versuches der Fall. Einschränkend ist zu erwähnen, dass in den ersten Jahren Software und Terminal nicht auf dem aktuellen Stand waren. Nach den Erfahrungen wird eingeschätzt, dass der Zeitaufwand für die Inbetriebnahme mit dem neuen Terminal und neuer Software deutlich kleiner ist. Diese zeitlichen Aufwendungen hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab, die nicht alle direkt auf die Anwendung selbst zurückzuführen sind. Dieser erhöhte Zeitbedarf ist allerdings kein Alleinstellungsmerkmal von digitalen Lösungen, sondern ist von Untersuchungen zur Einführung anderer Technologien und Maschinen ebenfalls bekannt. Der Aufwand nimmt in Folge der Nutzung des neu installierten Systems ab, da der Umgang mit dem System immer geübter wird. Eine Zeiteinsparung während der Anwendung konnte in den erprobten Verfahren nicht festgestellt werden. Insbesondere bei Anwendungen in denen zusätzliche Arbeitsschritte in den Prozess eingeführt werden, ist nicht von einer Zeitersparnis auszugehen. In den Erprobungen SoilXplorer und Spot Spraying war dies der Fall. Beim Einsatz eines NIRS-Sensors in der Gülleausbringung ist während der Ausbringung der Gülle ebenfalls nicht von einer Zeitersparnis auszugehen, da die einzelnen Schritte sich nicht grundlegend ändern und der Gesamte Schlag befahren wird. Vor diesem Hintergrund ist auch nicht mit einem erhöhten Zeitaufwand zurechnen. Der Mehraufwand an Zeit kann an Dritte, zum Beispiel Dienstleister, ausgelagert werden. Dies ist aber in der Regel mit zusätzlichen Kosten verbunden.

In der Bewertung der durch die Hersteller beworbenen Ergebnisse der Technik zeigt sich ebenfalls ein unterschiedliches Bild. Ein vollständiges Erreichen der angestrebten Ziele wurde in keiner Erprobung möglich. Insbesondere beim SoilXplorer wurde das Verfahren schon während der Erprobung vom Hersteller geändert und der angebotene Leistungsumfang deutlich reduziert. Am Ende dieser Erprobung kann festgehalten werden, dass die Versprechen, die im Vorfeld durch den Hersteller aufgestellt wurden nicht umsetzbar waren. In den anderen beiden Erprobungen sind die gesteckten Ziele annähernd erreicht wurden. Dabei muss allerdings erwähnt werden, dass es im Einzeljahr Abweichung gegeben

hat, diese stellen das Verfahren aber nicht grundsätzlich in Frage. Festzuhalten ist, dass die Industrie ihre Marketingversprechen einhalten muss und diese an der Realität orientieren sollte um das Vertrauen in technische Lösungen nicht negativ zu belasten. Diese Aussagen treffen nicht auf alle Anbieter im gleichen Umfang zu, aber einmal verlorenes Vertrauen ist nicht so leicht wiederzugewinnen.

Digitale Lösungen bieten die Möglichkeit Dokumentation zu erleichtern. Heutzutage wird eine Vielzahl von Parametern durch Sensoren erfasst. Für eine georeferenzierte Erfassung ist ein GNSS-Signal Voraussetzung. Diese Möglichkeit wurde aber nicht in die Untersuchungen mit einbezogen. Dem entgegen stehen aktuell unterschiedliche Schnittstellen, die oft nicht ohne weiteres kompatibel sind. Eine fehlende Standardisierung als Hemmnis stellte MARKUS GANDORFER bereits 2006 fest. Seither hat sich einiges auf diesem Gebiet getan. Eine vollständige Kompatibilität der unterschiedlichen Systeme und Hersteller ist noch nicht erreicht. Ebenso gibt es noch gesetzliche Hemmnisse. So ist zum Beispiel eine Aufzeichnung der Gülleinhaltsstoffe mit dem NIRS-Sensor technisch möglich. Sie ist aber gesetzlich nicht als Ersatz für die Laboruntersuchung der Gülle zulässig.

Die teilflächenspezifische Bewirtschaftung bietet die Möglichkeit einer zielgerichteten und ortsdifferenzierten Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Nutzflächen. Auf Grund des gezielten und differenzierten Betriebsmitteleinsatzes kann es zu einer Minderung von Produktionsrisiken kommen (SONNTAG, et al, 2022) und es können sich ökologische und ökonomische Vorteile ergeben. Der volkswirtschaftliche Nutzen, auf Grund von indirekten Umweltwirkungen, kann laut KARPINSKI (2014) ca. 24 EUR bis 245 EUR betragen. In der Spot Spraying Untersuchung konnte die Einsparung an Pflanzenschutzmittel gezeigt werden. Auch eine Umverteilung von Betriebsmitteln, wie es aus der teilflächenspezifischen N-Düngung bekannt ist, hat positive Effekte, zum Beispiel auf die N-Bilanzen. Eine Ökonomische Bewertung ist von einer Vielzahl von Aspekten abhängig, die nicht alle in den Untersuchungen berücksichtigt werden konnten. Hierzu zählen Auswirkungen auf den Ertrag, den Betriebsmitteleinsatz sowie Veränderungen im Betriebsmanagement und der Arbeitsqualität (SONNTAG, et al, 2022). Auf Grund dessen, dass diese im Projekt keine Berücksichtigung fanden, wurde auch keine ökonomische Bewertung der einzelnen Verfahren vorgenommen. Für einen Erfolg dieser Anwendung ist eine ökonomische Bewertung der einzelnen Maßnahmen wichtig und sollte seitens des LfULG weiterverfolgt werden. Grundsätzlich ist eine zunehmende Dynamik in der Digitalisierung in der Landwirtschaft zu beobachten. Technische Weiterentwicklungen und neue Anwendungen werden die Einstiegshürden in den kommenden Jahren weiter senken.

Die Bewertung der Teilprojekte mit Hilfe der Bewertungsmatrix führte zu der Schlussfolgerung, dass die einzelnen Kriterien stets losgelöst von einander zu betrachten sind. Der Kriterienkatalog ist unter betriebsindividuellen Gesichtspunkten zu erörtern und dient lediglich als Denkanstoß für die Interessenten. Nicht alle Systeme konnten in allen Punkten überzeugen. Der Spezialisierungsgrad wird sehr hoch

eingeschätzt. Weiterhin ist der Erfolg eines Systems von einer Vielzahl unterschiedlicher Einflüsse abhängig. Wir konnten lediglich auf unseren Erfahrungsschatz zurückgreifen. Die jeweiligen Erkenntnisse und Erfahrungsberichte sind vor den jeweiligen Umständen während der Erprobung zu betrachten. Eine überwiegend negative Bewertung muss nicht automatisch zum Ausschluss der betrachteten Technologie führen. Die Bewertung bezog sich nicht zwangsläufig auf das gesamte Portfolio der Technologie.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Digitalisierung hält in allen Lebensbereich Einzug in den Alltag, so auch in der landwirtschaftlichen Praxis. Die mehrjährige intensive Bearbeitung des weitreichenden Themenkomplexes »Digitalisierung im Pflanzenbau« führte zur Erkenntnis, dass aktuell viele Dinge in der Praxis bereits möglich sind. Dabei ist die Recherche zu einzelnen praktikablen Lösungen, die Einführung im landwirtschaftlichen Betrieb und die Umsetzung im Arbeitsalltag sehr zeitintensiv und kostenaufwendig, bis sich ein tatsächlicher Nutzen für den Anwender einstellt. Hinzu kommt, die Schnelllebigkeit der Technologieentwicklung. Prinzipiell ist aktuell kein unabhängiges Prüfverfahren, eine Art TÜV, für die Markteinführung einer technischen Lösung notwendig. Landwirtschaftliche Unternehmen sind auf sich gestellt, welchem System sie vertrauen und im eigenen Betrieb integrieren und unter hohem persönlichen Aufwand Betriebsabläufe anpassen, um die potentiellen Vorteile der Systeme nutzen zu können und den eigenen Betrieb zukunftsfähig aufzustellen, Ressourcen zu schonen, Betriebsmittel einzusparen, Arbeitsplätze attraktiver zu gestalten und Arbeitszeiten zu optimieren. Schnell kommen Betriebe hier an ihre Grenzen und das Vertrauen in die Technologie wird durch unzuverlässige Anbieter, mangelnden Support, kurzweilige StartUp-Innovationen und übertriebene Herstellerversprechen ohne tatsächlich Funktionalität der Produkte erschüttert. SONNTAG et. al (2022) kommen zu dem Schluss, dass weitere Anstrengungen zur Verbesserung der Technologien notwendig sind, um eine höhere Anwendung von Precision Farming-Technologien in Deutschland zu erreichen, um die Potentiale im Bereich Umwelt-, Boden- und Artenschutz großflächig nutzen zu können.

## Literaturverzeichnis

- AGUMENDA GmbH (2024): Erarbeitung einer Handlungsanleitung zur Erstellung und Überprüfung von Potentialzonen mit Hilfe mehrjähriger Satellitendaten in sächsischen Landwirtschaftsbetrieben, Schriftenreihe des LfULG, Heft 10/24, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/45302>, 03.12.2024
- GANDORFER, M., (2006): Bewertung von Precision Farming dargestellt am Beispiel der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung (Dissertation)
- HERLITZIUS, T., SCHIER, H., STEINBERG, P., BREITING, E., (2022): Effiziente Stickstoffdüngung durch teilflächenspezifische Betrachtungsweise anhand elektromagnetischer Feldmessung in Kombination mit GPS gestützter Nmin-Beprobung, EIP Abschlussbericht (unveröffentlicht)
- JORISSEN, T., BECKER, S., NAHRSTEDT, K., PÖTTKER, M., RECKE, G. UND JARNER T. (2023 a): Ökonomische Bewertung zum Spot-Spraying durch Drohnentechnik. Referate der 43. GIL Jahrestagung.
- JORISSEN, T., BECKER, S., RECKE, G., HENSELING, C. UND BEHRENDT S. (2023 b): Einsatz von NIRS bei der Gülleausbringung. Getreidemagazin 29 (4): 64-66. PD
- KUNIK, A, (2024): Teilflächenspezifische Aussaat im Mais – Eine Marktübersicht und Handlungsoptionen für das LfULG
- RUBENSCHUH, U (2019): Nährstoffgehalte in Gülle online mit Sensoren bestimmen, DLG Kompakt Nr. 8/2019
- SCHURIG, M., BURGHARDT H., (2022) Themenverbund Digitalisierung Landwirtschaft 1.02 - Endbericht zur Projektphase bis 2022
- SONNTAG, W. I., WIENRICH, N., SEVERIN, M., SCHULZE SCHWERING, D., (2022): Precision Farming – Nullnummer oder Nutzbringer? Bericht über die Landwirtschaft, Band 100, Heft 2

**Herausgeber**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie  
(LfULG)

Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden

Telefon: + 49 351 2612-0; Telefax: + 49 351 2612-1099

E- Mail: Poststelle @lfulg.sachsen.de

www.lfulg.sachsen.de

**Autoren**

Michael Schurig, Referat 72

Waldheimer Straße 219, 01683 Nossen

Telefon: + 49 035242 631-7223; Telefax: + 49 35242 631-7299

E-Mail: Michael.Schurig@lfulg.sachsen.de

Hendrik Burghardt, Referat 71

Am Park 3, 04886 Köllitsch

Telefon: + 49 34222 46-2101; Telefax: + 49 351 451-2610 009

E-Mail: Hendrik.Burghardt@lfulg.sachsen.de

**Redaktion**

siehe Redaktion

**Bildnachweis**

CultiWise (Titelseite), LfULG Hendrik Burghardt (S.14, S.18 oben,  
S.23, S.24, S.32, S.33, S.36, LfULG Michael Schurig (S.15, S.18 unten,  
S.31)

**Redaktionsschluss**

22.01.2025

**ISSN**

1867-2868

**Bestellservice**

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber  
als PDF-Datei heruntergeladen werden aus der Publikationsdaten-  
bank des Freistaates Sachsen (<https://publikationen.sachsen.de>).

**Hinweis**

Diese Publikation wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom  
LfULG (Geschäftsbereich des SMUL) kostenlos herausgegeben. Sie  
ist nicht zum Verkauf bestimmt und darf nicht zur Wahlwerbung po-  
litischer Parteien oder Gruppen eingesetzt werden.

Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der  
Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

*Täglich für ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de