



HOCHSCHULE OSNABRÜCK
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

**Reduktion von Pflanzenschutzmitteln unter Einbeziehung
von Drohnentechnik im Mais**

Projektbericht

im Rahmen der Vorlesung

Projekt Anwendungsorientierte Problemlösungen

im Studiengang Bachelor of Science Landwirtschaft

an der Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur

Vorgelegt von: Carina Marie Breckling Matr.-Nr. 967075
Christian-Alexander Langner Matr.-Nr. 969003
Hagen Henning Schulze Matr.-Nr. 968015

Abgabedatum: 30.06.2022

Betreuende Dozenten: Prof. Dr. G. Recke, Dr. T. Jorissen, Dipl.-Ing. S. Becker

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Problemstellung	1
Stand des Wissens	2
Durchwuchskartoffeln	2
Zustandekommen	2
Problematik des Auftretens von Durchwuchskartoffeln und Schadpotential	3
Fruchtfolge und Möglichkeiten zur Reduzierung des Durchwuchskartoffelbesatzes	5
Nichtchemische Einflussgrößen und Maßnahmen auf und gegen Kartoffeldurchwuchs	5
Nichtchemische Bekämpfungsmethoden in nachfolgenden Kulturen und im Mais	8
Chemische Bekämpfungsmethoden	9
Drohentechnik in der Landwirtschaft	13
Aufbau und Ausstattung von Drohnen	14
Drohnen in der Unkrautbekämpfung	15
Kostenaufwand und abhängige Faktoren	16
EU-Drohnenverordnung	17
Multispektralkamera	19
Technische Anforderungen an die Spritztechnik	21
Material und Methoden	23
Betriebsvorstellungen	23
Projektvorstellung 2021	24
Work Flow der Drohnenüberfliegung	24
Versuchsablauf	26
Statische Investitionsberechnung	27
Sensitivitätsanalyse	28
Datengrundlage	29
Vergleichsbetriebe	29
Anschaffungskosten/Durchschnittliche Gesamtkosten	29
Kosten Spritzmittel/Spritzaufwand	30
Mittelleinsparung	31
Ergebnisse	32
Kostenvergleichsrechnung	32
Vergleich Standardmaßnahme zur Durchwuchskartoffelbekämpfung zu Spot – Spraying	35

Sensitivitätsanalyse & Szenarioanalyse	38
Diskussion.....	40
Fazit	43
Literaturverzeichnis.....	44
Anhang	48

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
€	Euro
a	Jahr
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
bzw.	beispielsweise
ca.	circa
d.h.	das heißt
ESA	Europäische Weltraumorganisation
EU	Europäische Union
FFH	Fauna-Flora-Habitat
GNSS	Global Navigationsatellite System
ha	Hektar
ISO	Internationale Organisation für Normung
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
kW	Kilowatt
l	Liter
LfL	bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft
LUC	Light AUS Operator Certificate
LWK	Landwirtschaftskammer
Mio.	Millionen
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PSM	Pflanzenschutzmittel
SORA	Specific Operation Risk Assessment
Sp. – Sp.	Spot-Spraying
t	Tonne
vgl.	Vergleiche

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Durchwuchskartoffel im Mais.....	11
Abbildung 2: Durchwuchskartoffel vor Spezialbehandlung mit Effigo nach Einsatz von Laudis (Tembotrione) & Spektrum (Dimethenamid-P)	11
Abbildung 3: Komponenten eines Multicopters (DJI 2022, verändert)	14
Abbildung 4 Flächenleistung in Zusammenhang mit der Flughöhe (KTBL 2022).....	17
<i>Abbildung 5 Vergleich der am Markt gängigsten Multispektralkameras in der Landwirtschaft (KTBL 2021).....</i>	20
Abbildung 6 ContourControl Gestängeführung der AMAZONEN-WERKE H. DREYER SE & Co. KG.....	22
Abbildung 7 Beispielhafte Flugplanung (EXPERIMENTIERFELD NORD-WEST 2021)	25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Herbizidvarianten zur Unkrautbekämpfung im Mais (Datengrundlage: LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN 2022, SCHÖNBERGER 2022, VEREINIGTE SAATZUCHTEN 2022)	12
Tabelle 2 Anbaudaten mit Spritzüberfahrten (LFL BAYERN)	31
Tabelle 3 Kostenvergleichsrechnung	32
Tabelle 4 Vergleich Standardmaßnahme zur Durchwuchkartoffelbekämpfung zu Spot-Spraying (Datengrundlage: siehe Kap. Datengrundlage)	35
Tabelle 5 Sensitivitätsanalyse (Datengrundlage: siehe Kap. Datengrundlage)	38
Tabelle 6 Szenarioanalyse	38

Problemstellung

Die Hauptaufgabe der Landwirtschaft ist die Sicherung der Ernährung der Bevölkerung. Die Lebensmittel sollen sicher, qualitativ hochwertig und bezahlbar sein. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, setzen Landwirte Pflanzenschutzmittel (PSM) ein. Diese schützen die Kulturpflanzen vor Krankheiten und sichern so die Ernte. Das Ziel des Pflanzenschutzeinsatzes ist es, so viel wie nötig, aber so wenig wie möglich einzusetzen (BMEL 2020). Um dies zu erreichen, wird PSM nach der guten fachlichen Praxis appliziert. Ein Beispiel hierfür ist, die chemischen Maßnahmen auf ein Minimum zu reduzieren und dafür mehr mechanischen Pflanzenschutz zu verwenden (LWK NIEDERSACHSEN 2015). In den letzten Jahren ist der Verkauf von Pflanzenschutzmitteln immer weiter zurückgegangen, im Jahr 2019 um fast 7 % im Vergleich zum Vorjahr. Dies liegt an der verbesserten Anwendung im Rahmen der „guten fachlichen Praxis“, der Weiterentwicklung bei der Züchtung resistenter Sorten und vor allem an dem technischen Fortschritt (BMEL 2020). Ein Grund dafür liegt in der voranschreitenden Digitalisierung in der Landwirtschaft.

In diesem Projekt geht es um den gezielteren Einsatz des Pflanzenschutzmittels mit Hilfe des Spot Sprayings und der Drohnentechnik. Für die Durchführung wird eine Ackerfläche von einem Landwirt zur Verfügung gestellt. Eine bestellte Fläche wird mit einer Drohne mit multispektraler Kamera befliegen. Vor der Befliegung wird ein Flugplan mit der Flugroute und der Flughöhe erstellt, damit die Drohne autonom fliegen kann. Anschließend werden die aufgenommenen Einzelbilder der Drohne zu einem Orthofoto zusammengefügt. Durch Lernalgorithmen werden die Beikräuter identifiziert und klassifiziert. Auf Grundlage dessen lässt sich eine Applikationskarte für die Pflanzenschutzspritze erstellen. Für die Ausbringung des PSM wird eine Spritze der Firma Amazone mit Einzeldüsenschaltung verwendet. Die fertige Applikationskarte wird auf das Terminal der Spritze übertragen und beim Ausbringen des Mittels schalten sich die Einzeldüsen automatisch ein bzw. aus. Durch dieses Spot Spraying sollen Pflanzenschutzmittel effektiver auf Unkräuter appliziert und Mittel reduziert werden (AGRO NORDWEST 2021). Nach der praktischen Durchführung wird der Versuch mit Hilfe einer Kostenvergleichsrechnung, Investitionsrechnung, Szenarioanalyse und Sensitivitätsanalyse ausgewertet.

Wie aus einer Diskussionsrunde hervor geht, gehen die Meinungen der Landwirte aktuell noch weit auseinander, wie man das Projekt in der Praxis wirtschaftlich umsetzen kann. Es wurde schnell deutlich, dass es wohl möglich weniger auf die Betriebsgröße als auf die Schlaggröße ankommt. Zudem kommt es auf die Betriebsleiter an: Wie flexibel und technikaffin sind sie?

Die Landwirte erhoffen sich von dieser neuen Methode einige Vorteile. Genannt werden die Kosteneinsparungen durch Mengenreduktion an blattaktiven Herbiziden, der längere Erhalt von

Wirkstoffen und der gesellschaftliche Vorteil des Umweltschutzes. Es werden auf der anderen Seite zusätzlich Bedenken geäußert, wie die Genauigkeit der Unkrauterkenkung, die Witterungsverhältnisse bei dem Drohneneinsatz, dem Zeitverzug zwischen Drohnenflug und Spritzung oder die Möglichkeit von Kombinationsspritzungen von blatt- und bodenaktiven Herbiziden. Insgesamt wird die Idee des Projektes bei den Landwirten gut angenommen, gleichzeitig wirft es zurzeit noch viele offene Fragen auf. Wie teuer ist die Investition in eine Drohne? Benötigt man eine neue Spritze mit Einzeldüsenschaltung oder würde es reichen, wenn man die alte Spritze umrüstet? Kann man das gesamte Verfahren über einen Lohnbetrieb abwickeln oder einige Arbeitsschritte? Ab welcher Flächen-/Betriebsgröße rechnet sich der Mehraufwand? Wie zuverlässig ist die Technik? Wie viel Zeit liegt zwischen Überflug und Applikation? (IZT 2021) Auf einige wichtige Fragen werden wir in der Projektarbeit weiter eingehen.

In diesem Projekt geht es um die Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes mit Hilfe von Drohnentechnik. Hierfür wird sich beispielhaft mit der Bekämpfung der Durchwuchskartoffeln im Silo- bzw. Körnermais befasst. Der Versuch wird in Zusammenarbeit mit dem Experimentierfeld Agro-Nordwest, Amazone, der Universität Osnabrück, dem Betrieb Seelmeyer, dem Betrieb Künne und der Hochschule Osnabrück durchgeführt.

Stand des Wissens

Durchwuchskartoffeln

Zustandekommen

Kartoffeldurchwuchs ist als Neuaufwurf von Kartoffeln verursacht durch während der Ernte auf dem Feld verbliebene Knollen in nachfolgenden Kulturen definiert (NITSCH 2020). In erster Linie beruht das Auftreten von Durchwuchskartoffeln also auf Ernteverlusten (STEINGRÖVER 2012, PETERS 2016). Ein finanzieller Mehraufwand, der sich aus der Notwendigkeit der Bekämpfung der Durchwuchskartoffel ergibt, zeugt in vielen Fällen von fehlerhafter Maschineneinstellung bei der Ernte oder in der Kulturführung der Kartoffel. Produktionstechnische Mängel sind die Hauptursache, weswegen sich Kartoffelbaubetriebe in den letzten Jahren zunehmend mit der Bekämpfung beschäftigen müssen (PETERS 2016). PUTZ (2011) nennt als Ausgangsschadpotential 10000 - 30000 Kartoffelknollen pro ha, die durchschnittlich bei der Ernte auf dem Feld zurückbleiben und nicht durch Frosteinwirkung abgetötet werden. Somit können diese Knollen im nächsten Jahr in der Folgekultur als Durchwuchskartoffeln auflaufen. LUTMAN (1977) erwähnt, dass circa 370000 Knollen/ha auf der Fläche verbleiben und sieht die Hauptursache darin, dass kleine Knollen durch die Siebketten der Erntemaschinen fallen. HUNNIUS (1978) geht von Ernteverlusten von bis zu 450000 Knollen je ha aus, von denen wiederum zwischen 10 % und 20 % im nächsten Jahr wieder auflaufen. Die sich so

ergebende auf dem Feld im Folgejahr auflaufende Knollenzahl von 45000 bis 90000 Knollen je ha ist höher als die durchschnittliche Pflanzmenge je ha. Diese liegt je nach Verwendungszweck der Kartoffeln zwischen 35000 und 45000 Knollen je ha (NITSCH 2020, PUTZ 2011).

Problematik des Auftretens von Durchwuchskartoffeln und Schadpotential

Die Qualität von Kartoffeln beruht zu einem wesentlichen Teil auf dem Einhalten einer ausgewogenen Fruchtfolge über eine Anbauperiode von mehreren Jahren (STEINGRÖVER 2012). Aus phytosanitären Gründen sollte im Kartoffelanbau eine Anbaupause von 2-3 Jahren eingehalten werden, das heißt auf derselben Fläche sollten nur alle 3-4 Jahre Kartoffeln angebaut werden (PUTZ 2011). Findet diese grundsätzliche Anbauregel keine Beachtung, sind sowohl die ertraglichen als auch die qualitativen und damit finanziellen Schäden enorm. Das Schadpotential ist auf verschiedene Ursachen zurückzuführen, die grundsätzlichen Probleme aber bereits seit langer Zeit bekannt (PETERS 2016).

Als erstes ist die vermehrte Übertragung von Krankheitserregern der Kartoffel zu nennen. STEINGRÖVER (2012) erwähnt in diesem Zusammenhang die pilzlichen Erreger der Colletotrichum-Welkekrankheit (*Colletotrichum coccodes*), die Verticillium-Welkekrankheit (*Verticillium dahliae*), die Wurzeltöterkrankheit (*Rhizoctonia solani*), den Silberschorf (*Helminthosporium solani*) und den bakteriellen Erreger der Schwarzbeinigkeit (*Dickeya solani*). Die schädigende Wirkung beruht hierbei im Wesentlichen auf dem Befall der Knollen beim nächsten Hauptanbau auf der Fläche (RADTKE et al. 2000). Auch PETERS (2016) bestätigt diesen Sachverhalt, ergänzt bei den pilzlichen Erregern allerdings noch, dass der Durchwuchs die bestmöglichen Voraussetzungen für den Ausbruch einer Krautfäule-Epidemie (Erreger: *Phytophthora infestans*) auf benachbarten Flächen bietet. Bei den tierischen Schadorganismen berichtet PETERS (2016) von einem durch den Durchwuchs verstärkten Auftreten der Drahtwürmer (*Agriotes* spp.). LEES und HILTON (2003) weisen in diesem Zusammenhang explizit darauf hin, wie schwer der Erreger *Colletotrichum coccodes* zu bekämpfen ist, da kaum chemische Maßnahmen zur Verfügung stehen und kaum Resistenzen gegen den Pilz bei Sorten vorhanden sind. Das Temperaturoptimum für eine rasche Ausbreitung liegt bei der Colletotrichum-Welke im Bereich von 28 °C bis 30 °C und das Schadpotential kann bis zu 50 % des Ertrages annehmen (NITSCH 2020). Außerdem hebt auch NITSCH (2020) hervor, dass die Bekämpfung der Colletotrichum-Welkekrankheit nur durch eine weite Fruchtfolge und gezielte Beregnung zu erreichen ist. In Verbindung mit dem klimawandelbegründeten Temperaturanstieg ist eine Bedeutungszunahme des Erregers in Zukunft wahrscheinlich. Das Auftreten von Durchwuchskartoffeln behindert die Eindämmung dieses Erregers enorm.

Weiterhin ist bedeutend, dass durch Durchwuchskartoffeln auch die Kartoffelnematoden in ihrem Auftreten gefördert werden (STEINGRÖVER 2012). Dieser Umstand trifft sowohl auf die

Wurzelgallennematoden (*Meloidogyne* spp.) als auch auf die Kartoffelzystenälchen (*Globodera pallida* und *Globodera rostochiensis*) zu. Letztere stellen einen Quarantäneschadorganismus dar, dessen Auftreten schlimmstenfalls mit einer mehrjährigen, staatlich angeordneten Anbaupause einhergehen kann (NITSCH 2020). Zwar kann hier mit resistenten Sorten entgegengewirkt werden, aber der mehrjährige Anbau von Kartoffeln auf einer Fläche erhöht das Risiko, dass diese Resistenzen von den Schaderregern überwunden werden und somit wirkungslos sind (NITSCH 2020, PETERS 2016, STEINGRÖVER 2012).

Wie der Befall mit Kartoffelzystenälchen ist auch das Auftreten des Kartoffelkrebses (*Synchytrium endobioticum*) Grund für ein behördlich angeordnetes mehrjähriges Anbauverbot und wird durch Nichteinhalten von Anbaupausen gefördert (NITSCH 2020, RADTKE et al. 2000).

Der nächste nicht unerhebliche Schadfaktor, den Kartoffeldurchwuchs darstellt, ist das Potential als Wirtspflanze für die Ausbreitung von Kartoffelviren (PETERS 2016, STEINGRÖVER 2012). Virusvektoren, zum Beispiel verschiedene Blattlausarten, fliegen die Durchwuchskartoffeln in Folgekulturen wie Mais oder Winterweizen an. Da in diesen keine Insektizidmaßnahmen bzw. nur in Zeiträumen, in denen die Durchwuchskartoffeln noch nicht aufgelaufen sind erfolgen, können die Durchwuchskartoffeln zu Virusherden werden. Gelangen wiederum Tochterknollen des virusbelasteten Durchwuchses im nächsten regulären Kartoffelhauptanbaubestand auf der Fläche zum Auflauf, stehen virusbeladene Pflanzen direkt neben der Vermarktungsware. Der Weg, den Virusvektoren dann zur Virusübertragung zurücklegen müssen, liegt so schlimmstenfalls im einstelligen Zentimeterbereich. Das Risiko des Virusbefalls erhöht sich immens (NITSCH 2020, PETERS 2016, RADTKE et al. 2000, STEINGRÖVER 2012).

Dieser mehrjährige Durchwuchs verursacht des Weiteren Sortenvermischungen. Der Schaden, der dadurch entsteht, ist im schlechtesten Fall mit einem Totalausfall gleichzusetzen. Treten in Pflanzkartoffeln Sortenvermischungen zu Tage, ist dies unweigerlich ein Aberkennungsgrund. Sortenvermischungen im Speisekartoffelanbau führen dazu, dass Pack- und Schälbetrieb die Abnahme verweigern, da die Kocheigenschaften der Sorten unterschiedlich sind (PETERS 2016, STEINGRÖVER 2012). PETERS (2016) erwähnt in diesem Zusammenhang, dass selbst für ein geübtes Auge oder optoelektronische Sortieranlagen eine Sortentrennung fast unmöglich ist, da sortenspezifische äußere Unterschiede von Kartoffeln heute durch Züchtung nur noch sehr gering ausfallen und diese äußeren Unterschiede wesentlich von den Wachstumsbedingungen während der Vegetation beeinflusst werden. So kann Wassermangel während des Knollenwachstums die Ausbildung einer genetzten Schale fördern, auch wenn die Sorte laut beschreibender Sortenliste eine vollständig glatte Schale aufweisen sollte (NITSCH 2020).

Weiterhin tritt durch Durchwuchskartoffeln, je nach Befallsintensität, eine nicht unerhebliche Ertragsdepression in den Folgekulturen ein, verursacht durch die Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe (BERENDONK 2011, PETERS 2016).

Fruchtfolge und Möglichkeiten zur Reduzierung des Durchwuchskartoffelbesatzes

In den meisten Regionen mit intensivem Kartoffelanbau hat die Kartoffel ihren Platz nach einer frühräumenden Getreidevorfrucht (z. B. Wintergerste) mit eingeschobenem Zwischenfruchtanbau oder nach Zuckerrüben. Klassischerweise wurde nach der Kartoffel auf den besseren Standorten Winterweizen angebaut, auf leichteren Standorten Winterroggen (PUTZ 2011). PUTZ (2011) und BERENDONK (2011) beschreiben den Vorfruchtwert der Kartoffel beide als hoch.

Der Mais hat in den letzten Jahren in vielen Kartoffelanbauregionen Einzug in die Fruchtfolge gehalten (STEINGRÖVER 2012). Es handelt sich um eine selbstverträgliche Kultur, die keine erhöhten Anforderungen an die Vorfrucht stellt, allerdings ihren geringen Krankheitsbefalles wegen kurze Fruchtfolgen auflockert (HERRMANN et al. 2011).

Stehen nun Mais und Kartoffeln in einer Fruchtfolge, ergeben sich laut BERENDONK (2011) folgende Wechselwirkungen. Stehen die Kartoffeln nach Mais, so ist der Ertrag deutlich schlechter als nach der Vorfrucht Winterweizen. Gleichermäßen ist der bonitierte Befall mit Pusteln des Erregers *Rhizoctonia solani* auf den Knollen durchschnittlich dreimal höher, wenn die Kartoffel als Vorfrucht Mais hatte. Eine dreigliedrige Fruchtfolge, in der nach Kartoffeln Mais und nach dem Mais Winterweizen angebaut wurde, erzielte den höchsten durchschnittlichen Maisertrag, aber von allen untersuchten Varianten den schlechtesten Weizenertrag. Kartoffeln sind also eine gute Vorfrucht für den Mais, der Mais allerdings eine mäßige für Winterweizen und andere nachfolgende Getreidekulturen (BERENDONK 2011).

Nichtchemische Einflussgrößen und Maßnahmen auf und gegen Kartoffeldurchwuchs

Die Möglichkeiten zur Reduzierung des Durchwuchskartoffelbesatzes sind insgesamt sehr vielfältig und gehen weit über chemische Maßnahmen in der Folgekultur hinaus. STEINRÖVER (2012) betitelt chemische Maßnahmen allein als ohnehin nicht ausreichend, um Erfolge in der Durchwuchskartoffelbekämpfung zu erzielen.

Als erster wesentlicher Faktor sind Witterung und Außentemperatur zu nennen. Die mit Abstand wirtschaftlichste Bekämpfungsmaßnahme ist laut STEINRÖVER (2012) und PETERS (2016) die Einwirkung von Bodenfrost auf die Durchwuchsknollen. Von wesentlicher Bedeutung ist hierbei die Frosteindringtiefe in den Boden, welche gegebenenfalls durch eine vorhandene Zwischenfrucht/Winterbegrünung oder auch eine Schneedecke verringert wird. USUKI et al. (2008) sprechen von 50 Froststunden, die auf die Knollen mindestens einwirken müssen. Allerdings sind hier

sortenspezifische Unterschiede festzustellen. Bei frostunempfindlicheren Sorten können auch 50 Froststunden nicht mehr ausreichend sein und andere Sorten benötigen eine Mindestfrosttemperatur von $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, um geschädigt zu werden. In diesem Zusammenhang ist zu erwarten, dass die durch den Klimawandel hervorgerufene Erderwärmung die Zahl der Tage mit Frosteinwirkung und somit auch die Frosteindringtiefe immer weiter reduzieren wird, wodurch der Einfluss dieser „Bekämpfung“ in Zukunft abnimmt (PETERS 2016). STEINGRÖVER (2012) weist an dieser Stelle hin, einzelne Kartoffeln überdauern auch langanhaltende Frostperioden. Eine vollständige Ausschaltung des Durchwuchses ist also auch durch Bodenfrost nicht gesichert.

PETERS (2016) erwähnt den Umstand, dass längere Zeiten mit feuchten Bodenbedingungen den Durchwuchskartoffelbefall minimieren können. Hierbei wird es für Krankheitserreger einfacher, die durch die Feuchtigkeit weiter geöffneten Lentizellen zu durchdringen. Mechanische Verletzungen oder die gezielte Beschädigung von Knollen durch Aggregate an Erntemaschinen haben einen ähnlichen Effekt (CORDES 2021, PETERS 2016).

Die verlustarme Ernte von Kartoffeln hat einen besonderen Stellenwert bei der Verminderung des Auftretens von Durchwuchskartoffeln und wird von CORDES (2021), MEYER (2020), NITSCH (2020), PETERS (2016), PETERS (2019) und PUTZ (2011) einhellig hervorgehoben. Hier bestehen die effektivsten Möglichkeiten, dem Besatz mit allen daraus resultierenden Folgen entgegenzuwirken.

Die Vermeidung von Durchwuchskartoffeln beginnt bereits vor der Ernte: Das Krautschlagen vor der Ernte hat eine verringernde Wirkung auf das Durchwuchsaufreten. Die Abscheideleistung der Rodetechnik wird durch die geringeren aufgenommenen Krautmengen gesteigert und damit auch das Festhalten von Knollen krauthängiger Sorten am Laub unwahrscheinlicher. Das Verbot des Sikkationswirkstoffes Deiquat hat in dieser Hinsicht einen positiven Einfluss auf den Durchwuchsbesatz gehabt, da die Fläche auf denen vor der Ernte Kraut geschlagen wird, zugenommen hat (PETERS 2016, 2019).

Weiterhin sollten Kartoffeln im besten Fall auf homogenen Flächen angebaut werden. Es sind kleinteilig gebrochene Sortierungen von Pflanzkartoffeln zu verwenden und auch eine standort- und vermarktungsangepasste Düngung ist unabdingbar, um homogene Erntepartien zu erzeugen. Wird diesen Tatsachen keine Beachtung geschenkt, steigt das Risiko des Nachsetzens im Kartoffelbestand, was PETERS (2016) als wesentliche Quelle für Durchwuchs betrachtet, da hierdurch extrem inhomogene Erntepartien entstehen. Auch ein zügiges Schließen des Kartoffelbestandes und Beregnung reduzieren das Nachsetzen.

STEINGRÖVER (2012) hebt hervor, dass das Auftreten von Quecken in Kartoffelbeständen sehr hinderlich bei der akkuraten Trennung von Kraut und Kartoffeln ist. Mit einem zunehmenden

Queckenbesatz sinkt die Abscheideleistung der Erntetechnik, da die Rhizome der Quecke durch die Knollen wachsen und so mit dem Kraut auf der Fläche verbleiben.

PETERS (2016) nennt das Eindämmen pilzlicher Krankheiten in Kartoffeln als weitere effektive Möglichkeit im Kampf gegen Durchwuchskartoffeln. Pilzliche Schadorganismen verursachen eine Beanspruchung der pflanzlichen Leistungsfähigkeit, aus der sich wiederum die Gefahr des Nachsetzens bzw. auch insgesamt kleinfallendere Erntepartien ergeben, die zu genannten Abscheideproblemen bei der Ernte führen können. Essentiell sind die Beizung gegen *Rhizoctonia solani*, um das Auftreten von kleinen Grützeknollen zu vermeiden und eine rechtzeitige Behandlung gegen *Phytophthora infestans*.

Das wirkungsvollste Mittel, dass der Durchwuchsbesatz geringgehalten wird, ist die korrekte Einstellung der Rodetechnik. Hierbei ist es aber laut PETERS (2016) fehlerhaft, dem Roder allein Schuld zuzuweisen, wenn Kartoffeln auf dem Feld verbleiben. Auch produktionstechnische Maßnahmen haben beispielsweise einen erheblichen Einfluss auf das Auftreten von Beimengen wie Kluten. Diese Kluten führen dazu, dass sich die Arbeitsgeschwindigkeit beim Roden drastisch reduziert, da die hohe Masse an Beimengen abgetrennt werden muss. Dieser Umstand mindert auch die Flächenleistung je Stunde bei der Ernte. Um diesen betriebswirtschaftlichen Nachteil wieder auszugleichen, kommt es allzu oft vor, dass die Trennaggregate weiter geöffnet werden. Dadurch erhöht sich die Abscheideleistung, allerdings zu dem hohen Preis, dass auch erheblich mehr vor allem kleine Knollen mit der Erde wieder auf dem Acker landen. Eine weitere Maßnahme am Kartoffelroder kann es sein, Siebketten mit geringeren Stababständen zu verwenden. PETERS (2016) gibt als Zielgröße für den Abstand zwischen den Siebabständen einen Wert an, der geringer ist als der kleinste Knollendurchmesser der zu rodenden Knollen. Auch der Verschleißzustand der Gummifingerbänder und der Ableit- und Umlenkwalzen im Roder hat MEYER (2020) und PETERS (2016) zufolge einen Einfluss auf die Verlustmenge bei der Ernte. Gleiches gilt für abgebrochene oder abgenutzte Scharklappen, verbogene Scharträger, abgenutzte Scheibenseche an der Dammaufnahme und verbogene Siebkettenstäbe. Zu flaches Roden, um durch geringere Erdmengen mit dem Roder schneller arbeiten zu können, verbieten sich laut PETERS (2016) von selbst, da angeschnittene oder tiefsitzende Knollen auf der Fläche verbleiben.

Bei der Ernte aussortierte Knollen (ergrünte, beschädigte, rhizoctoniapustelbehaftete Knollen) dürfen nicht wieder auf den Acker gelangen, sondern sind bei der Ernte in einem separaten Bunker zu sammeln und außerhalb der Kartoffelflächen zu entsorgen (CORDES 2021, MEYER 2020, PETERS 2016).

Betrachtet man das Reduzierungspotenzial von Durchwuchskartoffeln durch anbautechnische Maßnahmen insgesamt, bleibt festzuhalten, dass alle Maßnahmen zu erhöhten Kosten je Hektar im Betriebszweig Kartoffelanbau führen. Auch nimmt die Gefahr der Knollenbeschädigung während des

Rodevorgangs zu (PETERS 2016). Im gleichen Atemzug weisen PETERS (2016) und STENGRÖVER (2012) allerdings auch darauf hin, dass eine zum Beispiel eine hohe Flächenleistung beim Roden nicht überbewertet werden darf, da die Folgekosten, die sich aus der Durchwuchskartoffelbekämpfung ergeben, oft vernachlässigt werden.

Neben Einflussfaktoren, die sich während des Kartoffelanbaus selbst ergeben, hat auch die nachfolgende Bodenbearbeitung eine Wirkung auf den Durchwuchsbesatz. Pflügen erweist sich insgesamt als unvorteilhaft, da die bei der Ernte auf der Fläche verbliebenden Knollen vergraben werden (HUNNIUS 1978). STEINGRÖVER (2012, 2017) hebt stattdessen den positiven Einfluss einer flachen Bodenbearbeitung nach der Kartoffel vor. Als am besten geeignet hat sich ein flacher Bearbeitungsgang mit dem Grubber erwiesen, wenn man den Auflauf von Durchwuchskartoffeln im nächsten Jahr soweit als möglich reduzieren will (KATEMANN und BERNHARDT 2020). Auch DEMMEL et al. (2019) unterstreichen diese Ergebnisse. Des Weiteren führen sie an, dass es sinnvoll ist, dass so viele Knollen wie möglich an der Erdoberfläche verbleiben, damit Schädigungspotentiale wie Frost, Fressfeinde und Strahlung die Knollenzahl möglichst stark dezimieren können. Auffällig war in den Großflächenversuchen, die zum Thema durchgeführt wurden, die Tatsache, dass ein Bearbeitungsgang mit der Kurzscheibenegge alleine nicht zur größten Auflaufreduzierung im Folgejahr führt, obgleich durch dieses Verfahren mit Abstand die meisten Knollen mechanisch beschädigt wurden. Ein Kombinationsgrubber bestehend aus Zinkenfeld, Einebnungswerkzeugen, Rückverfestigung und Nachläufern fiel in der Wirkung noch weiter ab. Die schlechteste Alternative war auch im Feldversuch die Verwendung des Pfluges nach der Kartoffel (DEMMEL et al. 2019, KATEMANN und BERNHARDT 2020, MEYER 2020). Auch CORDES (2021) verweist auf die positiven Effekte eines flachen Grubberbearbeitungsganges, wobei dieser für viele nachfolgende Kulturen wie Mais oder Winterweizen als Grundbodenbearbeitung unzureichend ist. Hier wird angeregt, in den gängigen Produktionssystemen im Herbst vor Mais nach Kartoffeln flach zu grubbern und im Frühjahr einen Grundbodenbearbeitungsgang zu bevorzugen, bei dem die Durchmischung des Bodens insgesamt geringgehalten wird. Eine Strip-Till-Bestellung des Maises wäre ein solcher Ansatz (CORDES 2021).

Nichtchemische Bekämpfungsmethoden in nachfolgenden Kulturen und im Mais

Im Zusammenhang mit dem Auslaufen von Wirkstoffzulassungen potenter Herbizide, allen voran sei hier das Bromoxynil genannt, wird davon auszugehen sein, dass die mechanische Beikrautregulierung einen höheren Stellenwert erhalten wird, als es bisher der Fall ist. Es ist keineswegs davon auszugehen, dass alle Mittel, die eine gute Wirkung gegen Kartoffeln haben, bei Ablauf der Zulassung wiederzugelassen werden.

Der Einsatz der Hackmaschine in Zuckerrüben zur Durchwuchskartoffelbekämpfung wird von MÜCKE (2020) allerdings nur als wirkungsvoll dargestellt, wenn er mehrfach erfolgt. Eine einmalige Behandlung mit der Hacke ist in keinem Fall ausreichend. Insgesamt stellt das Hacken der Rüben allerdings noch die sinnvollste Bekämpfungsvariante dar, da Rübenherbizidkombinationen, die eine effektive Wirkung auf Durchwuchskartoffeln zeigen, auch die Rübe selbst irreparabel schädigen (s. u.).

Wird eine Hackmaschine zur Unkrautbekämpfung herangezogen, ist das Einsatzfenster dafür deutlich kleiner als für die chemischen Bekämpfungsmöglichkeiten. Trockene Bedingungen und nicht zu großes Unkraut stellen die Optimalbedingungen dar. Auch sollte das Saatbett möglichst eben sein, um ein störungsfreies Arbeiten der Hackwerkzeuge sicherzustellen (MÜCKE 2020).

Beim Striegeln ist es von entscheidender Bedeutung die richtigen Entwicklungsstadien der Kultur abzupassen. Im Mais sollte nur im Voraufbau bzw. wieder ab dem Einblattstadium der Striegel eingesetzt werden. Die Arbeitsgeschwindigkeit ist hierbei dem Kulturzustand anzupassen: beim Blindstriegeln kann schneller (8 km/h) gefahren werden als beim Striegeln im Nachaufbau (3-5 km/h) (MÜCKE 2020).

Der Einsatz von rein mechanischen Kombinationen bleibt allerdings immer mit dem Nachteil verbunden, dass es fast unmöglich ist, sämtlichen Beikrautbesatz zu eliminieren. Betrachtet man in dieser Hinsicht nun das Problem der Durchwuchskartoffel, ist festzuhalten, dass hier jede Durchwuchskartoffel aus oben genannten Gründen eine zu viel ist. Eine Kombination aus mechanischer und chemischer Bekämpfung wäre eine Alternative, zum Beispiel eine Hacke in Verbindung mit einer Bandspritze. Im Mais kann aus diesem Grund mit deutlich geringerem Aufwand von Pflanzenschutzmitteln eine akzeptable Wirkung auch auf die Durchwuchskartoffel erzielt werden (MÜCKE 2020).

Chemische Bekämpfungsmethoden

Keimhemmungsmittel

Der Wirkstoff Maleinsäurehydrazid findet seit dem Verbot der Chlorprophambegasung von Lagerkartoffeln zunehmend als Keimhemmer Verwendung. Die Anwendung erfolgt in den abreifenden Kartoffelbeständen mittels Spritzapplikation. Es stellte sich alsbald heraus, dass der Aufbau von Durchwuchskartoffeln im nächsten Jahr reduziert ist, da auch die Durchwuchskartoffeln am Keimen gehindert sind. Leider fehlen hierzu detaillierte Versuche (STEINGRÖVER 2012).

Herbizideinsatz in nachfolgenden Kulturen mit Wirkung auf den Durchwuchskartoffelbesatz

Insgesamt gestalten sich chemische Maßnahmen zur Eindämmung des Kartoffeldurchwuchses als schwierig. Zumeist sind die Möglichkeiten kostenaufwendig und der Erfolg gering bis unzureichend. Einzig im Mais stehen potente Herbizide mit ausreichender Wirkung zur Verfügung (STEINGRÖVER 2013). Festzuhalten ist, dass das Auftreten von Durchwuchs mit einem späten Reihenschluss der nachfolgenden Kultur korreliert (vgl. Abbildung 1). Bedenkenswert ist auch der Sorteneinfluss. Die Reaktion der Durchwuchskartoffel auf verschiedene Herbizidwirkstoffe ist abhängig von der im Vorjahr angebauten Sorte. Vergleichsversuche der Landwirtschaftskammer Niedersachsen stellten zum Beispiel heraus, dass die Sorte „Saturna“ deutlich schlechter chemisch zu bekämpfen ist als die Sorte „Cilena“ (STEINGRÖVER 2012).

Möglichkeiten der Herbizidanwendung in Kulturen ausgenommen Mais

Bezugnehmend auf die vorherige Aussage ist die Zuckerrübe in der Fruchtfolge nie nach Kartoffel zu stellen, da der Reihenschluss schlichtweg zu spät erfolgt. Die zugelassenen Herbizide mit einer Teilwirkung gegen Kartoffel sind Phenmedipham (Betanal Tandem, Betasana), Triflursulfuron-Methyl (Debut), Clopyralid (Lontrel) und Ethofumesat (Tramat, Betanal Tandem). Alle Mittel haben mit zunehmender Aufwandmenge je ha eine zunehmend bessere Wirkung gegen Kartoffeln. Problematisch ist allerdings, dass so selbstverständlich auch die toxische Wirkung auf die Rüben zunimmt. Bei üblichen und vor allem rübenverträglichen Aufwandmengen ist durch die Herbizide keine signifikante Wirkung gegen die Durchwuchskartoffeln zu erwarten (STEINGRÖVER 2013, 2017).

Im Getreide ergibt sich die Möglichkeit der Bekämpfung von Durchwuchskartoffeln in BBCH 32 oder 37/39 mit 180 g/ha Fluroxypyr (Starane, Lodin, Tomigan etc.). Allerdings ist die Wirkung extrem witterungsabhängig, da der Erfolg der Maßnahme maßgeblich vom Entwicklungszustand der Kartoffel abhängt. Je größer die Durchwuchskartoffel zum Behandlungszeitpunkt ist, desto einfacher ist es, sie im bereits relativ großen Getreidebestand überhaupt treffen zu können. Deswegen ist die Bekämpfung in Wintergerste auch schwieriger als in Winterweizen. Das mögliche Behandlungsfenster bis BBCH 39 erreicht ist, ist beim Winterweizen schlichtweg größer (STEINGRÖVER 2013, 2017). Außerdem sollte während der Behandlung insgesamt wüchsiges Wetter herrschen, da es sich beim Fluroxypyr um ein Präparat handelt, das in den Wuchsstoffhaushalt der Pflanze eingreift (HALLMANN und TIEDEMANN 2019).

Möglichkeiten und Kosten von Herbizidanwendungen im Mais

Im Mais stehen eine Reihe potenter Herbizide zur Bekämpfung der Durchwuchskartoffel zur Verfügung. Die entscheidenden Wirkstoffe sind in dieser Hinsicht zum einen Mesotrione (Calaris,

Callisto), Clopyralid (Lontrel, Effigo), Picloram (Effigo), Pyridat (Onyx) und vor allem auch hier das Fluroxypyr (Lodin). Dazu kommen Teilwirkungen anderer Maisherbizide, von denen Thiencarbazon (MaisTer, Adengo) und Sulcotrione (Sulcogan) die wirkungsvollsten sind (KLINGENHAGEN 2022, Wollweber 2022).

Außerdem kommt dazu, dass zusätzlich fast alle anderen zugelassenen Herbizidwirkstoffe, auch die Bodenherbizidwirkstoffe, wenigstens eine geringe Teilwirkung haben, die sich in Verbindung mit den eben genannten Wirkstoffen noch erhöht (vgl. Abbildung 2). Man spricht in diesem Fall von einer „additiven Wirkung“. Das bedeutet, dass die Wirkung einer Wirkstoffmenge wesentlich von weiteren zugemischten Wirkstoffen beeinflusst wird (KLINGENHAGEN 2022, LFL 2022, SCHÖNBERGER 2022).

Es ist zu berücksichtigen, dass einige Herbizidwirkstoffe nicht jedes Jahr auf jeder Fläche angewendet werden dürfen. Der Wirkstoff Terbutylazin fällt unter diese Anwendungsbeschränkungen (KLINGENHAGEN 2022). Für die im folgenden verglichenen Maßnahmen ist jedoch davon ausgegangen worden, dass im Rahmen der Fruchtfolge eine mindestens zweijährige Anbaupause eingehalten wird.

Der Wirkstoff S-Metolachlor soll nicht auf reinen Sandstandorten eingesetzt werden, da hier die Gefahr der Verlagerung ins Grundwasser besteht. Verboten ist der Einsatz allerdings auch auf diesen Flächen nicht. Mit Variante 2 und 3 werden Varianten ohne den Einsatz des Wirkstoffes vorgestellt (KLINGENHAGEN 2022, LFL 2022, SCHÖNBERGER 2022).



Abbildung 1: Durchwuchskartoffel im Mais



Abbildung 2: Durchwuchskartoffel vor Spezialbehandlung mit Effigo nach Einsatz von Laudis (Tembotrione) & Spektrum (Dimethenamid-P)

Im Folgenden sind einige gängige Herbizidanwendungen und die dazugehörigen Kosten dargestellt.

Tabelle 1 Herbizidvarianten zur Unkrautbekämpfung im Mais (Datengrundlage: LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN 2022, SCHÖNBERGER 2022, VEREINIGTE SAATZUCHTEN 2022)

PSM	Wirkstoffgehalt in g bzw. l	Aufwandmenge pro ha in kg bzw. l	Kosten in € je l oder kg	Kosten in € je ha
-----	-----------------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------------

1. Variante: Praxisübliche Behandlung ohne Durchwuchskartoffeln

Dual Gold	960 g/l S-Metolachlor	0,5	23,4	11,7
Peak	750 g/kg Prosulfuron	0,01	605	5,29
Nicogan	40 g/l Nicosulfuron	0,8	9,4	7,52
Calaris	70 g/l Mesotrione + 330 g/l Terbutylazin	0,6	32,25	19,35
Gesamtkosten der Variante je ha in €				43,86

2. Variante: Praxisübliche Behandlung ohne Durchwuchskartoffeln

Mais Ter Power	30 g/l Foramsulfuron + 9,77 g/l Thien carbazone + 0,85 g/l Iodosulfuron	1,5	37,15	55,73
Gesamtkosten der Variante je ha in €				55,73

3. Variante: Praxisübliche Behandlung mit Durchwuchskartoffeln 2 Überfahrten (Maßnahmensplitting)

1. Überfahrt

Elumis	75 g/l Mesotrione + 30 g/l Nicosulfuron	1	25,15	25,15
Spectrum Gold	280 g/l Dimethenamid-P + 250 g/l Terbutylazin	1	16,5	16,5

2. Überfahrt

Callisto	100 g/l Mesotrione	0,75	19,7	14,78
Onyx	600 g/l Pyridat	0,75	30,25	22,69
Effigo	67 g/l Picloram + 267 g/l Clopyralid	0,35	116,7	40,85
Gesamtkosten der Variante je ha in €				119,96

4. Variante: Praxisübliche Behandlung mit Durchwuchskartoffeln 2 Überfahrten (Maßnahmensplitting)

1. Überfahrt

Gardo Gold	312,5 g/l S-Metolachlor + 187,5 g/l Terbutylazin	2	9,4	18,8
Temsa	100 g/l Mesotrione	0,6	16,15	9,69
Primero	40 g/l Nicosulfuron	0,75	9,05	6,79
Peak	750 g/kg Prosulfuron	0,01	605	6,05

2. Überfahrt

Temsa	100 g/l Mesotrione	0,6	16,15	9,69
Gesamtkosten der Variante je ha in €				51,02

Drohrentechnik in der Landwirtschaft

Der Drohneneinsatz in der Landwirtschaft ist ein stark wachsendes Themenfeld im Bereich der Digitalisierung und Optimierung der modernen Landwirtschaft. Bereits 2018 setzte fast jeder zehnte Landwirt, insbesondere Betriebe über 100 ha, Drohnen ein (BITKOM 2018). In der Praxis lässt sich beobachten, dass Drohnen zurzeit hauptsächlich zur Informationsgewinnung oder auch für kleine Tätigkeiten wie z.B. das Ausbringen von Nützlingen genutzt werden. Rund ein Drittel der Befragten in einer Umfrage der Bitkom (2018) gibt an, Drohnen zur Rehkitzrettung und Wildschadensvermeidung einzusetzen. Ein weiteres Drittel gibt an, Nützlinge mittels Drohneneinsatz in Beständen auszubringen. Eher weniger (20 %) der Landwirte nutzen die Drohnen zur Kartierung von Erträgen und Bestandskontrollen. Laut KTBL (2021) ist noch keine grundlegende Veränderung der Arbeitsabläufe zu beobachten, welches durch fehlendes Know-how, guter und intuitiver Software und mangelnder Zeit zu begründen ist. Trotz der genannten Umstände haben sich in letzter Zeit einige Dienstleister darauf spezialisiert, den Drohneneinsatz in der Landwirtschaft zu etablieren. Auch Maes und Steppe (2018) berichten, dass multispektrale Bilddaten bis hin zur Applikationskarte reichen und damit teilflächenspezifische Ausbringung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln möglich sind. Je nach Anforderung bzw. Aufgabe der Drohne, muss diese mit verschiedenen Kameras ausgestattet werden. Die Ausrüstung der Drohnen mit bildgebenden Spektrosensoren, deren Informationen von einer speziellen Software ausgewertet werden, ist laut der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2021) ein großer Schritt, um die Präzision bei der Ausbringung sowohl beim Pflanzenschutz als auch bei der Düngung zu erhöhen.

Aufgrund der kostenfreien Daten der Erdbeobachtungssysteme Sentinel (Europäische Weltraumorganisation (ESA)) und Landsat (National Aeronautics and Space Administration (NASA)), gibt es heute zahlreiche Dienstleister, welche Informationen zum Düngebedarf, Vegetationsverlauf, Ertragspotenzial und Schlagvariabilität in Form von Zonenkarten verkaufen. Sowohl KTBL (2021) und die LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (2021) sprechen dabei aber von der Herausforderung an den wolkenfreien Himmel. Möglicherweise kann es zu großen Zeiträumen ohne Bildaufnahme kommen, da die Bilder von einer Wolkendecke gestört werden. Außerdem ist es aus der Entfernung, in dem die Satelliten sich bewegen, schwierig eine Einzelpflanzenerkennung durchzuführen. Insbesondere aufgrund dieser Herausforderung wächst das Potential der Drohne in der Landwirtschaft.

Aufbau und Ausstattung von Drohnen

Der Markt bietet bereits heute ein breites Angebot von Drohnen an. Vom Flächenflügler, über Multicopter bis hin zum Verschnitt, eVTOL-Drohnen. Fast alle in Deutschland verkauften Drohnen sind Multicopter welches von der KTBL (2021) auf verschiedene Faktoren zurückzuführen ist. Zum einen sind diese sehr Preiswert und zusätzlich je nach Bedarf in unterschiedlichen Preiskategorien zu erhalten. Multicopter lassen sich in der Regel sehr leicht fliegen und sind sehr anspruchslos gegenüber der Start- und Landposition. Die meisten Multicopter verfügen über einige Hindernissensoren, welche eine Kollision mit Fremdkörpern vermeiden sollen. Den größten Vorteil spielen die Multicopter in ihrer ruhigen Fluglage aus. Sie sind sehr flexibel und verfügen über die Möglichkeit, auf der Stelle zu

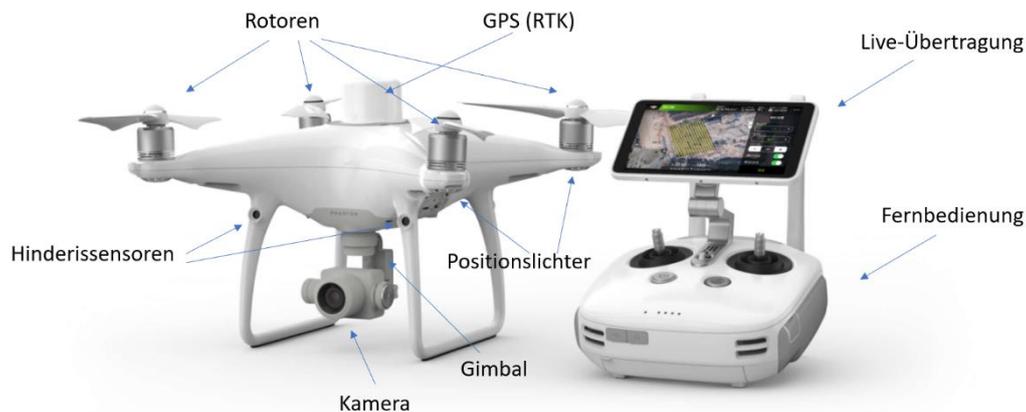


Abbildung 3: Komponenten eines Multicopters (DJI 2022, verändert)

schweben, was eine genaue und gezielte Aufnahme von Bildern und Videos erlaubt. Dieser Vorteil spielt in der Landwirtschaft eine große Rolle, besonders in dem laufenden Projekt, wo es um eine standortgenaue Erfassung der Einzelpflanzen geht. Diese müssen in Anschluss auf wenige cm genau wieder von der Pflanzenschutzspritze getroffen werden.

Es sind mehrere Sensoren und eine genaue Technik nötig, damit die stabile und ruhige Lage des Multicopters realisiert werden kann. Multicopter werden immer von vier (Quadcopter) – acht (Octocopter) (sehr selten auch mehr) Rotoren angetrieben. Diese Rotoren sind starr und unbeweglich im Gegensatz zum Roboter. Jedoch können sie unterschiedlich gesteuert werden, wodurch eine Bewegung in eine vorgeschriebene Richtung entsteht. Jeweils die gegenüberliegenden Rotoren haben dieselbe Drehrichtung. Ein Kippen und damit auch eine Fortbewegung wird erzielt, indem sich die Schubverhältnisse zweier gegenüberliegenden Rotoren unterscheiden. Bei einer Erhöhung aller

Drehzahlen steigt der Copter auf. Inertiale Messsysteme messen kontinuierlich die Beschleunigung und Winkelveränderung jeder Achse, somit wird sichergestellt, dass auch bei Wind eine stabile Lage nicht verändert wird. Die nach unten gerichteten Positionslichter geben dem Piloten Informationen über die aktuelle Position der Drohne in der Luft und auch Statusinformationen bei möglichen Fehlern oder Warnmeldungen (Siehe Abbildung 3). Die verbaute Kamera in der Drohne wird i.d.R. von einem Gimbal in Position gehalten. Dieser kann die Kameraposition ausrichten und mögliche äußerliche Verwackelungen und Vibrationen ausgleichen. Drohnen, welche für gewerbliche Zwecke eingesetzt werden sind i.d.R. mit einem GPS-Empfänger ausgestattet. Die Steuerung der Drohne kann mittels Fernbedienung erfolgen, ebenso mittels Handys oder Tablets, je nach Drohne und Ausstattung. Gleiches gilt für die Live-Übertragung (DJI 2022).

Drohnen in der Unkrautbekämpfung

KTBL (2021) beschreibt, dass rund die Hälfte der in Deutschland eingesetzten Pflanzenschutzmittel Herbizide sind. Diese werden in der Praxis häufig ganzflächig in gleicher Aufwandmenge auf den Flächen ausgebracht, obwohl das Auftreten der Unkräuter sehr ungleichmäßig und unterschiedlich ist. Durch die Vernachlässigung der räumlichen Unterschiede bezüglich der Arten und der Häufigkeit des Auftretens werden Herbizide auf vielen Teilflächen ausgebracht, wo diese gar nicht benötigt werden. Die Einsparpotenziale der teilflächenspezifischen Herbizidanwendung liegen bei unterschiedlichen Systemen (Online oder Offline), zwischen 33,2 % und 83,8 % (LANGNER 2003). Die größte Herausforderung besteht darin, die Unkräuter auf Flächen zum richtigen Zeitpunkt kostengünstig zu identifizieren (KTBL 2021). Bei dem Einsatz einer Online-Methode, bei der die Identifizierung der Unkräuter via Live-Übertragung direkt am Schlepper während der Applikation geschieht, ist es zum einen die Fahrgeschwindigkeit und zum anderen auch die Größe der Unkräuter, da diese zum Zeitpunkt der Applikation oftmals sehr klein sind. Der Applikationszeitpunkt bei der teilflächenspezifischen Herbizidbehandlung ist meist nur ein Kompromiss zwischen guter optischer Erkennung der Kameras und dem Wachstumsstand des Unkrautes, da die Bekämpfung immer mittelaufwendiger wird (LANGNER 2003). Der Offline-Ansatz, welcher auch im Rahmen des Experimentierfeld Nord-West genutzt wird, basiert auf einer vorherigen Identifizierung der Unkräuter mittels Drohneneinsatz. Der größte Vorteil dieser Methode liegt darin, dass der benötigte Mittelaufwand vor der eigentlichen Applikation genau berechnet werden kann. Bei der Identifizierung der Unkräuter durch den Drohneneinsatz können zwei verschiedene Möglichkeiten der teilflächenspezifischen Ausbringung verfolgt werden. Die erste basiert dabei darauf, dass die Unkrautdichte aus etwas größerer Entfernung bei der Überfliegung ermittelt wird, woraus im Anschluss eine Applikationskarte mit prozentualen Sollmengen erstellt wird. Dabei wird ganzflächig eine Herbizidanwendung appliziert, jedoch je nach Vorkommen in unterschiedlichen Aufwandsmengen, passend zum Unkrautdruck (LOUARGANT et al.

2017). In Versuchen der KTBL (2021), wird von tatsächlichen Einsparpotenzialen von 7 % berichtet, wobei die Maßnahme als gut eingeschätzt wird. Bei der zweiten Möglichkeit der Teilflächenapplikation, geht es darum, Einzelpflanzen zu detektieren und diese von anderen zu differenzieren. Diese Methode soll in diesem Versuch angewandt werden, wobei die Durchwuchskartoffeln erkannt werden soll. LOTTES et al. (2017) und PFLANZ (2016) berichten ebenfalls von Erfolgen in Praxisversuchen, wobei zweikeimblättrige Unkräuter unterschieden und von der Kulturpflanzenreihe getrennt werden konnten. Für eine gute Identifizierung der Unkräuter ist es notwendig, diese im Jugendstadium aus einer geringen Entfernung zum Feld zu befliegen (NAHRSTEDT 2022).

Die Voraussetzung für die Verwendung einer Applikationskarte für ein Spot-Spraying System, ist ein digitales und geokodiertes Orthophoto. Dies ist eine verzerrungsfreie und maßstabsgetreue Abbildung der Erdoberfläche, die durch photogrammetrische Verfahren aus Luft- oder Satellitenbildern abgeleitet wird. Zur Erstellung eines Orthophotos, welches im Anschluss von RTK gesteuerte Spritzen genutzt werden soll, ist es zwingend notwendig, eine RTK-Drohne zu verwenden. Die Bildaufnahme für die Identifizierung der Unkräuter erfolgt mittels einer Multispektralkamera (NAHRSTEDT 2022).

Kostenaufwand und abhängige Faktoren

Die Preisspanne für Drohnen am Markt ist sehr groß. Je nach Einsatz, müssen verschiedene Aspekte der Drohne bei der Preisgestaltung beachtet werden. Zahlreiche Einsteigermodelle, welche auch für die Landwirtschaft bereits geeignet sind, gibt es schon zwischen 800 und 2000 Euro. Mit solchen Systemen lassen sich Wildschäden und einfache farbliche Unterschiede in Flächen sehr gut bonitieren, jedoch reicht solche Technik in der Regel nicht für den Bereich Precision Farming aus. Der größte Unterschied zum Profisystem besteht in der Kameratechnik und der RTK Funktion bzw. der Genauigkeit der Positionsbestimmung. Profisysteme liegen in einem Bereich zwischen 5000 - 30000 Euro, je nach Ausstattung (KTBL 2021). Diese Systeme haben dann eine 2 - 3 Mal höherer Akkulaufzeit (ca. 30 - 90 min) und besitzen eine Vielzahl von möglichen Sicherheitsfeatures. Features wie Coming Home, Notlandung, Hinderniserkennung, automatischer Start, automatische Landung und Erkennung von anderen Flugteilnehmern im Luftraum sind nur einige. Diese Zusätze unterstützen den Piloten, insbesondere in unbekanntem Gelände und ermöglichen eine vollautomatische Befliegung von vorgeplanten Flächen.

Die Ausstattung und die Qualität der Drohne haben großen Einfluss auf die Flächenleistung einer Drohne. Wichtige Faktoren, welche die Flächenleistung beeinflussen sind die Batterielaufzeit, die Fluggeschwindigkeit, die Entfernung zum Start- und Landebereich und auch die Längs- und Querüberlappung der Befliegung und das minimale Auslöseintervall der Kamera (NAHRSTEDT 2022).

In der Praxis zeigt sich, dass im Bereich der Batterielaufzeit mit ca. 2/3 der angegebenen Laufzeit als Flugzeit gerechnet werden kann. Zum einen ist dieses dem Start- und Landevorgang, dem Wendevorgängen und auch der Windstärke bzw. der Außentemperatur geschuldet (KTBL 2021). Je nach Art der Drohne (Multicopter oder Flächenflügler), werden gewisse Wendezeiten benötigt und bestimmte Fluggeschwindigkeiten und -höhen, da die Kameras aufgrund der Überlappung mit dem Auslöseintervall an ihre Grenzen stoßen. Die Abbildung 4 zeigt den Verlauf von verschiedenen Drohnen mit ihrer Flughöhe im Zusammenhang mit der Flächenleistung.

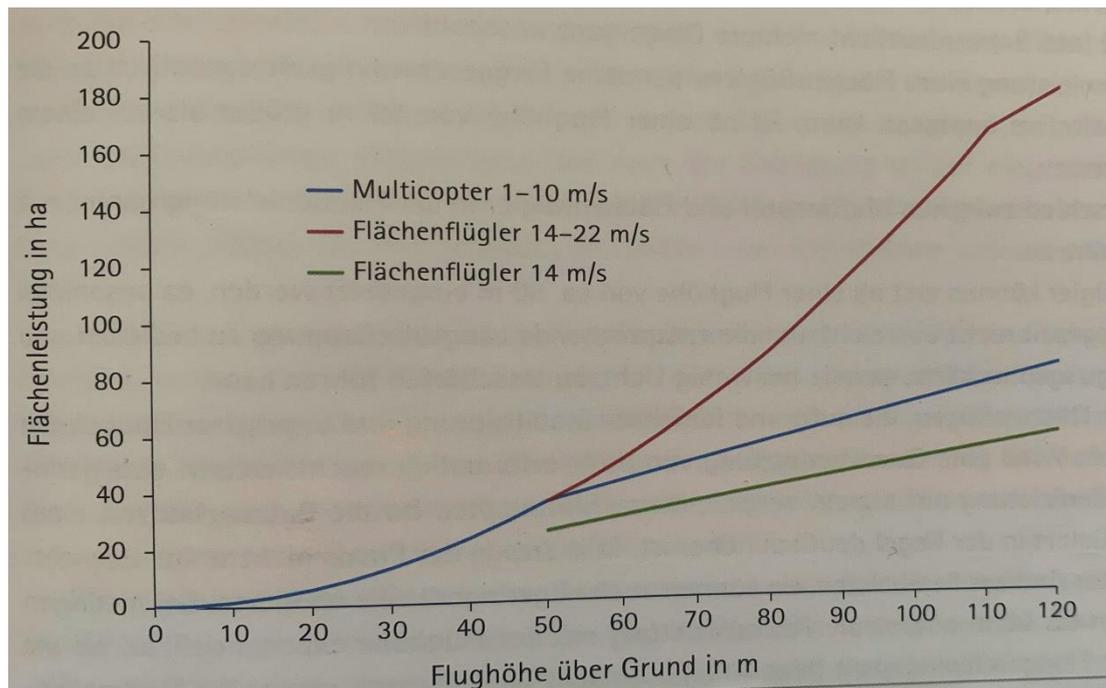


Abbildung 4 Flächenleistung in Zusammenhang mit der Flughöhe (KTBL 2022)

Das Problem bei den niedrigen Flughöhen ist, dass die mögliche Fluggeschwindigkeit oft nicht abgerufen werden kann, da das Auslöseintervall der Kamera begrenzt ist. Diese kann dann die Bilder nicht so schnell abspeichern wie neue aufgenommen werden müssten, um die Überlappung sicherzustellen. Aus diesem Grund, müssen Flächenflügler mindestens eine Flughöhe von 40 - 60 m haben, um ihre benötigte Geschwindigkeit zur Flugerhaltung sicherzustellen. Eine Erhöhung der Flughöhe ist oft durch die vorgeschriebenen Sichtflugbedingungen begrenzt, weshalb die Kapazitäten momentan ausgeschöpft sind.

EU-Drohnenverordnung

Seit dem 1. Januar 2021 gilt auf EU-Ebene ein Regulierungsrahmen für den Drohnenverkehr. Die rechtlichen Grundlagen auf nationaler Ebene (LuftVG, LuftVO, LuftVZO) wurden daraufhin durch das „Gesetz zur Anpassung nationaler Regelungen an die Durchführungsverordnung (EU) 2019/947 der

Kommission vom 24. Mai 2019 über die Vorschriften und Verfahren für den Betrieb der unbemannten Luftfahrt“ angepasst (BMVI 2021).

Bei der Rechtsgrundlage wird nicht zwischen dem kommerziellen, privaten und freizeitmäßigen Einsatz von Drohnen unterschieden. Stattdessen werden Drohnenflüge in 3 verschiedene Kategorien eingeteilt: offene, spezifische und zertifizierte, je nach der Verbundenheit von Risiken. Bis auf Einsätze mit Drohnen, welche für die Aufbringung von Pflanzenschutzmitteln geeignet sind, sind landwirtschaftliche Drohnen in der „offenen“ Kategorie zu finden. Im Bereich der „spezifischen“ Drachenflüge, ist eine Genehmigung notwendig. Die Genehmigung lässt sich entweder anhand einer Risikobewertung nach SORA (Specific Operation Risk Assessment) erteilen oder durch Anwendung der Drohne anhand eines Standardszenarios. Diese sind jedoch noch nicht vielfach verfügbar, weshalb professionelle Drohnenfirmen ein „Light AUS Operator Certificate (LUC)“ beantragen können, welches eine Art ISO-9001 Zertifizierung ist und damit den bürokratischen Aufwand minimiert. Die „offene“ Kategorie zeichnet sich lediglich durch Betriebsbeschränkungen, vorgeschriebene Funktionalitäten und Mindestvorschriften aus und umfasst Flugoperationen mit geringem Risiko (KTBL 2021).

Folgende Vorschriften sind im Bereich der „offene Kategorie“ zu beachten (BMVI 2021):

- Startmasse unter 25 kg
- max. Flughöhe 120 m
- nur in Sichtweite des Piloten fliegen
- Mindestalter von 16 Jahren des Piloten
- Versicherungspflicht
- kein Transport von gefährlichen Gütern
- keine Flüge in Bereichen mit Flugbeschränkungen
- Kennzeichnungspflicht der Drohne, Registrierungspflicht des Piloten

Eine weitere Unterteilung erfolgt auf Basis von der Gewichtsklasse der Drohne und des Risikos gegenüber der Bevölkerung. Je nach Bodenrisiko wird unterschieden in A1, A2 oder A3 Flügen.

A1: Flüge über Menschen (Keine Menschenversammlungen!)

A2: Flüge in der Nähe von Menschen (30 m, 5 m wenn <3 m/s)

A3: Flüge in weiter Entfernung von Menschen

Die Gewichtsklassifizierung erfolgt von C0 bis C4 (BMVI 2021). Die Drohnenklasse C1 ist die in der Landwirtschaft am häufigsten eingesetzte Klasse, welche bis 900 g Startgewicht haben darf und besonders gut für schnelle Bonituren eingesetzt werden kann. Die Drohnenklasse C1 darf in A1 bis A3

gefliegen werden und aufgrund des Gewichts auch über Menschen. Wichtige Anforderungen hierbei sind, dass sie nicht schneller als 19 m/s fliegen darf, ein Höhenlimit einstellbar sein muss, eine elektronische Identifikation und Notfallprozedur vorhanden sein muss. Für den Piloten ist ein Online-Test erforderlich sowie eine Registrierung und eine Registrierung der Drohne.

Bei der Drohnenklasse C2, welche sich im Bereich der Landwirtschaft bei Drohnen mit Multispektralkamera, Wärmebildkamera und GPS gestützten Kartierungsaufgaben wiederfinden, dürfen Drohnen bis 4 kg Startgewicht starten. In der „offenen“ Kategorie dürfen diese in A2 und A3 fliegen. Dieses bedeutet, dass aufgrund des höheren Gewichtes die Drohnen nur noch in der Nähe von Menschen fliegen dürfen. Die Anforderungen an die Drohne sind identisch zu denen in der C1-Klasse, jedoch wird zusätzlich die Funktion benötigt, dass die Drohne mithilfe eines Low-Speed-Modus auf max. 3 m/s bei Menschennähe gedrosselt werden kann. Der Pilot benötigt für die C2-Klasse zusätzlich einen Drohnenführerschein (KTBL 2021).

Im §21 der LuftVO wird geregelt, unter welchen Bedingungen geflogen werden kann und welche Behörde für welche Genehmigungen zuständig ist. Grundsätzlich sind die Ausstellung von Betriebserlaubnissen und Genehmigungen Aufgaben der Luftfahrtbehörde (BMVI 2021). Mitgliedstaaten können aus Gründen der Sicherheit und Gefahrenabwehr, des Schutzes der Privatsphäre und der Umwelt den UAS-Betrieb in bestimmten Gebieten (Geozonen) untersagen oder nur unter Einhaltung besonderer Auflagen zulassen. Geozonen sind beispielsweise Bundesstraßen, Autobahnen, Eisenbahnen und weitere Elemente. Von diesen Zonen muss ein Abstand von 100 m eingehalten werden. Die Befliegung in der Nähe von Flughäfen und deren Start- und Landebereiche ist verboten. Ebenfalls verboten sind Flüge in Fauna-Flora-Habitaten (FFH), Natura 2000-Gebieten, Naturschutzgebieten und anderen geschützten Flächen. Für ein Überflug von Flächen, welche in so einem Gebiet liegen, muss eine entsprechende Erlaubnis der Naturschutzbehörde vorliegen (LuftVO 2021).

Multispektralkamera

Bei der Bildaufnahme mittels Multi- und Hyperspektralsensoren wird die Intensität der elektromagnetischen Strahlung in verschiedenen Wellenlängenbereichen gemessen. In der Regel wird dabei nicht die Intensität der Strahlungsquelle, sondern die der Reflektion gemessen.

Reflektion = Einstrahlung - Transmission - Absorption

Die Reflektion, Transmission und Absorption sind abhängig von den physikalischen und chemischen Eigenschaften der Stoffe und abhängig von der Wellenlänge. Aus der Zusammensetzung ergibt sich deshalb ein spektrales Muster welches je nach Material spezifisch ist (NOACK 2019).

Die multispektrale Fernerkundung war bis vor wenigen Jahren nur Erdbeobachtungssatelliten und Flugzeugen vorbehalten. Die Drohnen bieten heutzutage eine neue Trägerplattform, welche viele Potenziale im Bereich der Landwirtschaft bietet. Der Unterschied einer Multispektralkamera zu einer Hyperspektralkamera liegt lediglich an der Anzahl der Kanäle. Bei bis zu 16 Kanälen spricht man von einer Multispektralkamera. Bei mehr als 16 Kanälen spricht man von einer Hyperspektralkamera. Eine Hyperspektralkamera ist in der Lage eine genaue Signatur der Objekte zu erfassen, während multispektrale Sensoren die Erdoberfläche in mehrere, signifikante Spektralbereiche abtastet. Die Daten einer hyperspektralen Kamera sind deutlich detaillierter, jedoch Bedarf dieses ein sehr aufwendiges Datenmanagement und enthält viele redundante Informationen. Außerdem ist der Einsatz solcher Technik deutlich teurer und schwerer, was bei einem Drohneneinsatz oft zum Verhängnis wird. Ein Sonnenlichtsensor ist besonders bei dem Einsatz einer Multispektralkamera in der Landwirtschaft sehr wichtig. Insbesondere Pflanzenbestände sehen je nach Sonnenlichteinstrahlung in ihrer Färbung sehr unterschiedlich aus. In der Praxis haben sich am Markt aktuell zwei Kamerasysteme durchgesetzt, welche die Anforderungen an die Landwirtschaft erfüllen. Dieses ist laut KTBL (2021) zum einen die vierkanalige sequoia-Kamera der Firma Parrot und die fünfkanalige RedEdge-MX der Firma MicaSense. Einen Vergleich der beiden Systeme ist in Abbildung 5 dargestellt.

Kamerasystem	Parrot Sequoia	MicaSense® RedEdge-MX™
Sensoren	Grün, Rot, Red Edge, NIR	Blau, Grün, Rot, Red Edge, NIR
Spektralbereich	530–810 nm	400–900 nm
Sensorauflösung	1.280 × 960 (4x)	1.280 × 960 (5x)
Pixelgröße	3,75 µm, RGB-Sensor 4.608 × 3.456 Pixel	3,75 µm
Bildwiederholfrequenz	2 Hz; 1 Hz bei RGB	1 Hz
Brennweite	3,98 mm; 4,9 mm bei RGB	5,4 mm
Betriebstemperatur	-10 bis +45 °C	0 bis 40 °C
Sichtfeld (Field of View, FOV)	89,6° bei MS; 73,5° bei RGB	47°
Maße	59 × 41 × 30 mm	121 × 66 × 46 mm
Gewicht	ca. 107 g	ca. 232 g
Bildformat	10-bit RAW	12-bit RAW
Preis (ohne MwSt.)	ca. 3.200 €	ca. 4.200 €

Abbildung 5 Vergleich der am Markt gängigsten Multispektralkameras in der Landwirtschaft (KTBL 2021)

Das menschliche Auge kann einen Wellenlängenbereich von 400 nm bis 750 nm wahrnehmen. Einige der Spektralsensoren können mehr als diesen Bereich abdecken. Die Reflektionen im infraroten Bereich des Lichts sind interessant für die Erkundung von Pflanzen. Diese steht in engem

Zusammenhang mit dem Wassergehalt, dem Chlorophyllgehalt, den Carotinoidgehalten, den Fetten und den Ölen in den Pflanzen. Bei der Erkennung von Unkräutern geht es darum, grüne Pflanzenmasse zwischen den Maisreihen zu lokalisieren (NOACK 2019).

Technische Anforderungen an die Spritztechnik

Die Anforderungen an die Spritztechnik für eine mögliche Spot-Applikation beziehen sich hauptsächlich an das Gestänge. Laut AMAZONE (2022), wird ein Gestänge, welches mit einer Einzeldüsen-schaltung ausgestattet ist, benötigt. Idealerweise hat das Gestänge ein Düsenabstand von 25 cm, was bedeutet, dass alle 25 cm jede Düse beliebig geschaltet werden kann. Somit wird es möglich mit einem sehr geringen Mittelaufwand, nur die gezielte Pflanze zu treffen.

Die Einzeldüsen-schaltung ist nicht nur im Bereich der Spot-Applikation ein wachsender Trend in der Landwirtschaft. Je nach Flächengröße und dem Zuschnitt der Flächen, lassen sich bereits auf kleineren Betrieben bis zu über 6 % der Pflanzenschutzmittel einsparen. Besonders hoch sind die Einsparpotenziale auf nicht rechtwinkligen Flächen, bei denen am Vorgehende die Überlappung minimiert werden kann. Die Investitionskosten von rund 150 €/m Arbeitsbreite bzw. eine Nachrüstung von 80 €/m Arbeitsbreite, haben sich oftmals bereits nach wenigen Jahren bezahlt gemacht (TOPAGRAR 2020 und AMAZONE 2022). Auch aus pflanzenbaulicher Sicht, sprechen einige Gründe für kleine Teilbreiten bzw. für eine Einzeldüsen-schaltung. Jede Überlappung bedeutet, je nach PSM, Stress für die Kulturpflanze und evtl. auch Wachstumsstörungen. In einer Studie von Timo Zipf, veröffentlicht in der TOPAGRAR (2020) wurden drei Beispielbetriebe mit Datenloggern ausgerüstet, um die Spritztechnik zu überwachen und die Überlappungen zu ermitteln. Je nach durchschnittlicher Flächengröße von 4,43 ha bis 47,66 ha konnten zwischen 1,58 % und 8,79 % Überlappung festgestellt werden. Beispielrechnungen wurden durchgeführt mit 0,5 m Teilbreiten, was einer Einzeldüsen-schaltung entspricht, bis hin zu einer 4 m Teilbreite. Bei einer durchschnittlichen Teilbreite von 2,77 m zu 0,5 m konnten bei einer durchschnittlichen Flächengröße von 6,59 ha 3,8 % Mittel eingespart werden. Bei einer durchschnittlichen Flächengröße von 4,43 ha sind es sogar 4,48 %. Wichtig ist hierbei, dass diese Werte für eine hundertprozentige Überlappung des SectionControl (automatische Teilbreitenschaltung) gelten. Wichtig ist dabei, dass der größte Faktor die Fläche an sich ist. Je nach Zuschnitt der Flächen, können diese Zahlen deutlich abweichen (TOPAGRAR 2020).

Eine Automatische Gestängeführung verbessert das Ergebnis einer Spot-Applikation, da die Düsenkörper gezielter über den Pflanzenbestand laufen. Der größte Teil der neu zugelassenen Spritzen, besitzen schon die Funktion der automatischen Gestängeführung. Die AMAZONEN-WERKE H. DREYER SE & Co. KG bietet in ihrem Produktportfolio eine aktive Gestängeführung mit dem Namen „ContourControl“ an. AMAZONE 2022 beschreibt dieses als: „eine richtungsweisende und vollautomatische Gestängeführung zur Reduzierung von vertikalen Gestängebewegungen. Dadurch kann sich das Gestänge sehr flexibel und zugleich präzise an die jeweiligen Gelände- und Bestandsgegebenheiten anpassen“. Wie in Abbildung 6 zu sehen, ist sogar ein negatives anwinkeln der einzelnen Gestängeseiten möglich, wodurch zu jeder Zeit der gewünschte Zielabstand erreicht wird.

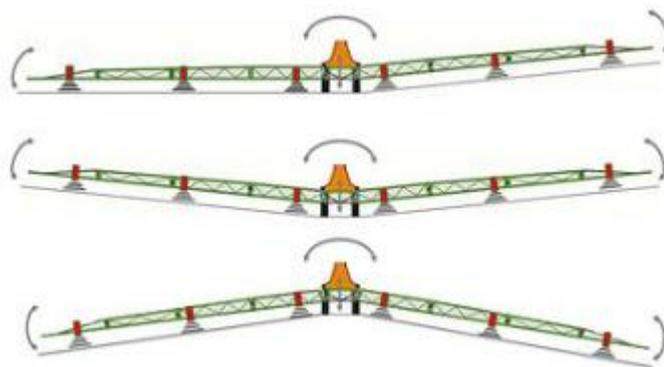


Abbildung 6 ContourControl Gestängeführung der AMAZONEN-WERKE H. DREYER SE & Co. KG

Neben der Einzeldüsensteuerung ist es zudem wichtig, spezielle Düsen zu verwenden. Durch das regelmäßige Öffnen und Schließen der Düsen, können keine Injektordüsen verwendet werden. Dies liegt daran, dass diese keinen laufenden Luftstrom haben. Des Weiteren werden Düsen verwendet, welche ohne Überlappung trotzdem 100 % der Spritzbrühe punktuell appliziert können. Voraussetzung sind hierfür spezielle SpotFan 40-03 Düsen mit einem Spritzwinkel von nur 40°. Die speziellen Düsen arbeiten ohne Überlappung und applizieren über die komplette Breite des Spritzkegels 100 % des Pflanzenschutzmittels. Die „03“ stehen bei der Bezeichnung der Düsen für die Größe der Öffnung und damit für die Ausbringungsmenge. Die Investitionskosten liegen bei ca. 10 €/Düse (AMAZONE 2022). Ein wichtiger Hinweis seitens AMAZONE (2022) ist mit voller Aufwandmenge zu behandeln, da die Ausbringungsmenge aufgrund schneller Druckschwankungen noch nicht über alle Spots konstant gehalten werden kann.

Unabhängig vom Gestänge, muss das genutzte Terminal die Funktion einer Spot-Applikation besitzen. Das genutzte GPS-Signal sollte wie auch die Drohne eine RTK Genauigkeit besitzen, wobei das Korrektursignal idealerweise identisch zu dem der Drohne ist.

Material und Methoden

Betriebsvorstellungen

Der Versuch wird auf zwei Flächen von zwei Landwirten angelegt. Im Laufe des Frühjahrs wird beobachtet, auf welcher Fläche mehr Durchwuchskartoffeln bzw. ob überhaupt Durchwuchskartoffeln wachsen. Dies liegt unter anderem an dem Druck, d. h. wie viele Kartoffeln befinden sich noch in der Erde, wie tief liegen die Kartoffeln und zum anderen an der Witterung (vgl. Kapitel Durchwuchskartoffeln).

Der Betrieb Künne liegt im Osnabrücker Umland und umfasst aktuell dreizehn Betriebsstandorte. Auf 242 ha mit 20 bis 60 Bodenpunkten wird derzeit der Ackerbau betrieben. Die Bodenqualität reicht vom humosen Sand bis zum sandigen Lehm. In der Fruchtfolge befinden sich Kartoffeln, Getreide, Körnermais und Raps. Als weiteres Standbein werden auf 33 ha Nadelbäume für das Weihnachtsgeschäft angepflanzt, die letzten 2 ha sind Brachland. Neben dem Ackerbau betreibt Herr Künne eine Sauenhaltung mit 1.080 Plätzen. In einem Jahr werden ca. 35.000 Ferkel verkauft. Einen Teil der Ferkel werden im eigenen Betrieb auf 4.800 Plätzen aufgezogen. Zusätzliche 5.100 Mastplätze sind gepachtet worden.

Der Betrieb Künne beschäftigt sich intensiv mit der Digitalisierung. Es wird nicht nur im Büro, sondern auch im Stall und beim Ackerbau die neue Technik eingesetzt. So benutzt der Betrieb digitale Ackerschlagdateien, die Schweinedaten werden in verschiedenen Programmen zusammengefasst und auch die Lohnabrechnung und Buchhaltung werden digital verwaltet. (KÜNNE 2022)

Der zweite Betrieb ist eine Kooperation zwischen Seelmeyer und Woltering und ist als OHG aufgebaut. Der Hauptbetrieb liegt in Niedersachsen in Neuenkirchen. Es gibt mehrere Betriebszweige an mehreren Standorten. In vier Hähnchenmastställen gibt es 180.000 Plätze für Geflügel. Hier werden pro Jahr ca. 1,35 Mio. Broiler gemästet, das entspricht ca. 3.150 t Fleisch. Zusätzlich zu der Broilermast verfügt der Betrieb über 590 Bullenmastplätze auf zwei Standorten. Im Jahr werden ca. 500 - 550 Bullen gemästet, das sind ca. 210 - 230 t Fleisch.

Einen Großteil des Futters erzeugt der Betrieb selbstständig, die restliche Menge wird zugekauft. Es gibt ein Biomethan-Blockheizkraftwerk mit einer Leistung von 350 kw, welches für die Wärmezufuhr zu den Hähnchenmaststellen verantwortlich ist. Die Feldfrüchte wie Getreide oder Mais werden in einer Flächentrocknung getrocknet. Hierfür wird die überschüssige Wärme des BHKW genutzt.

Die Feldfrüchte werden auf 250 ha angebaut. Die Bewirtschaftung von den Ackerflächen teilt sich in 25 ha Grünland, 100 ha Weizen, 150 ha Mais und 18 ha Zuckerrüben auf. (SEELMEYER 2022)

Insgesamt handelt es sich um zwei breit aufgestellte, mittelgroße Betriebe in Niedersachsen.

Projektvorstellung 2021

Im letzten Jahr 2021 wurde der Versuch bereits durchgeführt. Die Versuchsfläche von dem Betrieb Seelmeyer wurde mit Silomais bestellt. Auf einer Flächengröße von 4,25 ha sind genügend Durchwuchskartoffeln aufgelaufen, dass eine Pflanzenschutzmaßnahme sinnvoll war.

In Zusammenarbeit mit der Universität Osnabrück wurde ein Flugplan erstellt und der Drohnenflug begleitet. Es wurde mit einer Matrice 210 Drohne mit multispektraler Kamera gearbeitet. Bei der autonomen Befliegung des Ackers wurden Einzelbilder von der Fläche aufgenommen und zu einem Orthofoto zusammengesetzt. Anschließend wurden die Beikräuter durch Lernalgorithmen identifiziert und klassifiziert. Nach der Erstellung der Applikationskarte für die Amazone UF 2002 Anhängespritze wurde die Ausbringung des Mittels Effigo durchgeführt. Durch das Spot Spraying in Verbindung mit der Applikationskarte wurde ersichtlich, dass nur 45,8 % der Fläche behandelt werden müssen. Nach der herkömmlichen Weise wäre bei einer Schadschwellenübersteigerung (Schadschwelle liegt bei 1 %) die gesamte Fläche behandelt worden. Der Landwirt spart die Ausbringung auf 54,2 % der Fläche, das sind ca. 2,3 ha weniger behandelte Fläche.

Aufgrund von technischen Problemen wurde mehr PSM ausgebracht als im Vorfeld bestimmt. Die Pflanzenschutzspritze war vor der abgeschlossenen Überfahrt bereits leer, da die Düsen nicht genau genug geschaltet haben, d.h. sie haben schon vor der Kartoffel geöffnet und zu langsam wieder geschlossen. Somit wurde mehr Effigo ausgebracht als berechnet.

Trotz der technischen Probleme wurde der Versuch rechnerisch ausgewertet. Da durch den teilflächenspezifischen Einsatz des PSM nicht 100 % der Fläche, sondern nur 45,8 % behandelt werden sollte, kann man mit einer Mitteleinsparung von 0,7 l Effigo bzw. 81,47 € auf der gesamten Fläche rechnen (AGRO NORDWEST 2021)

Die Intention hinter dem Projekt ist die Kosteneinsparung durch das Spot Spraying und die damit verbundene Reduktion der Menge des blattaktiven Herbizides. Die Einsparung sollte nicht nur ökonomisch, sondern auch ökologisch betrachtet werden. Da in der Zukunft immer weniger PSM verwendet werden dürfen, ist die Motivation der Landwirte einen effizienteren Mitteleinsatz zu erzielen. Sie erhoffen sich so eine längere Zulassung einzelner Wirkstoffe. Zusätzlich zu der Einsparung erhoffen sich die Landwirte die Vermeidung von Resistenzen und somit der Erhalt der Wirksamkeit der PSM (IZT 2021).

Work Flow der Drohnenüberfliegung

Der Weg von der Idee bis zum durchgeführten Überflug ist unter der Berücksichtigung einzelner Punkte oft länger. Zu Beginn ist vom Auftraggeber die Idee und die Zielsetzung vorzugeben, damit im Anschluss

evtl. mit einem Dienstleister (wenn Drohnenüberflug nicht selbst durchgeführt wird) die rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen geprüft werden können. Außerdem muss der Landwirt im Vorwege wissen, welche Anforderungen prinzipiell an den Drohnenüberflug bzw. dessen Datenerfassung gestellt werden müssen, um diese für folgende Maßnahmen nutzen zu können. Die folgende Flugplanung ist dann ein wichtiger Zwischenschritt vor dem eigentlichen Drohneneinsatz. Bei der systematischen Befliegung übernimmt der Autopilot die Flugkontrolle und -steuerung. Je nach Ausstattung der Drohne reicht dieses vom Starten bis zum Landen bei Kontaktverlust, dem vollautomatisierten Abfliegen eines vorgegebenen Flugpfades entlang gesetzter Wegpunkte und teilweise sogar bis hin zur automatisierten Erkennung von Hindernissen. Neben der Steuerung vom Flugkörper ist eine autonome Steuerung der Kamera wichtig, welche beim Abfliegen der Flächen bei jedem aufgenommenen Bild die Lage und Position speichert.

Bei der Flugmissionsplanung wird zuerst das Gebiet, also in der Landwirtschaft, der Schlag begrenzt. Durch die Vorgabe der Flughöhe und der Längs- und Querüberlappung bilden sich dann weitere Parameter wie: Bodenauflösung, Anzahl der Bilder und Flugstreifen und die Flugdauer. Sogenannte Wegpunkte dienen der Flugplanung, wobei Punkt für Punkt in gesetzter Reihenfolge abgeflogen wird. Wichtig ist, dass die Berücksichtigung der Topografie ein wichtiger Aspekt bei der Flugplanung ist, da die Bodenauflösung und die Überlappung angepasst werden müssen.



Abbildung 7 Beispielhafte Flugplanung (EXPERIMENTIERFELD NORD-WEST 2021)

Passpunkte werden in der Fläche gut sichtbar gesetzt und mittels GNSS-Empfänger eingemessen. Diese Punkte dienen zur geometrischen Verortung der Drohne. Die Genauigkeit des GNSS-Empfängers gibt dabei die maximal mögliche Genauigkeit der Drohnenbilder an. Die Anzahl der Passpunkte variiert je nach Auftrag und Flächenverhältnisse, sollte aber mindestens bei sechs liegen (KTBL 2021). Die gesetzten Passpunkte werden zur Kontrolle des RTK Signals bei der Spritz-Applikation wieder aufgerufen und verglichen.

Nach dem in der Regel automatisch ablaufenden Abfliegen der Flächen, stehen im Anschluss eine immense Menge Daten zur Verfügung. Um diese Daten auszuwerten, werden automatische Software-Programme genutzt, welche passende Bilder für folgende Applikationen erstellen können. Aufgrund der hohen Datenmengen und der vielen Algorithmen, die hinter dem Programm stecken, ist es wichtig, einen leistungsfähigen PC zu verwenden. Dieser sollte mind. 32 GB RAM und eine 8 GB Grafikkarte vorweisen. Alternativ ist es möglich eine Online-Anwendung zu nutzen, wofür jedoch eine gute Internetverbindung zwingend notwendig ist (KTBL 2021).

Versuchsablauf

Der Versuch war auf einer Fläche von dem Betrieb Seelmeyer geplant. Auf Grund von zeitlichen Beeinträchtigungen, konnte der Versuch auf den Flächen nicht durchgeführt werden. Deshalb wurde der Versuch auf einer Fläche des Betriebes Künne durchgeführt.

Die Versuchsfläche liegt in Kettenkamp, ist 1,15 ha groß mit der Bodenart lehmiger Sand. Am 03.05.2022 wurde die Fläche gepflügt und einen Tag später wurde der Körnermais gelegt. Als Vorfrucht wuchs auf der Fläche Wintergerste und als Vorvorfrucht Kartoffeln. Es sind genügend Durchwuchskartoffeln aufgelaufen, um ein sichtbares Ergebnis zu erzielen.

Im Vorfeld wurde bereits eine Pflanzenschutzmaßnahme durchgeführt. Es wurde 1,3 l/ha Laudis und 2,4 l/ha Spektrum appliziert, um die Unkräuter zu bekämpfen. Die Durchwuchskartoffeln wurden durch die Spritzung nicht vorrangig bekämpft.

Bereits vor dem Drohnenflug wurde die Flugroute für die Drohne erstellt. Über eine App werden die genauen Flugbahnen an übermittelt. Am Freitag, den 10.06.2022, wurde der Drohnenflug durchgeführt. Hierfür wurde sich an der Versuchsfläche getroffen und die Flugroute mit dem Feld abgeglichen. In diesem Schritt können noch Änderungen vorgenommen werden. Die Drohne wird über ein RTK-Signal gesteuert. Zudem werden graue Referenzmuster auf der Ackerfläche verteilt, welche 0,25 m² groß sind. Diese dienen ausschließlich zur Sicherheit, damit die Bilder der Drohne räumlich genau zugeordnet werden können. Die Drohne startet und fliegt nach der Route den Acker ab. Hierbei wird auch ein Randstreifen mit abgelichtet, damit keine Randstreifen ausgelassen werden. Nach ca.

20 Minuten gibt die Drohne ein Signal, dass der Akku demnächst leer ist. Die Drohne markiert den Punkt, an dem sie das letzte Bild erstellt hat und fliegt zum Startpunkt zurück. Der Akku wird gewechselt und die Drohne wird wieder gestartet. Diese fliegt autonom zur markierten Stelle zurück und fliegt die Route weiter ab. Ist alles beflogen worden, kehrt die Drohne zurück zum Startpunkt. Die Bilder werden anschließend zusammengestellt und ausgewertet. Mit dieser Vorlage wird die Applikationskarte für die Pflanzenschutzmaßnahme erstellt. Im Normalfall liegen zwischen dem Drohnenflug und der Spritzung zwei Tage. Im Versuch liegt das Wochenende dazwischen, sodass fünf Tage nach dem Drohnenflug die Spritzung vorgenommen wurde. Am Dienstag wurde bereits die Applikationskarte auf das Terminal für der Spritze geladen und die Technik der Spritze getestet.

Die Herbizidspritzung wurde am Mittwoch, dem 15.06.2022 durchgeführt. Es wurde das Mittel Effigo mit einer Aufwandmenge von 0,35 l/ha gewählt. Die Amazone-Spritze UF 2000 wurde auch in diesem Jahr für den Versuch verwendet. Nach einem kleinen Testlauf mit Wasser wurde das Spritzmittel zugemischt. Anschließend wurde die Applikation gegen die Durchwuchskartoffel durchgeführt. Die Spritzung lief wie geplant ab. In einer ersten Hochrechnung direkt nach der Maßnahme wurde nur die Hälfte der Fläche mit Effigo behandelt.

Statische Investitionsberechnung

Bei der statischen Investitionsberechnung werden Kosten, Erlöse und das eingesetzte Kapital in einen Durchschnittszeitraum betrachtet. Dieses kann sehr hilfreich sein, wenn abgrenzbare oder gleichartige Investitionen auf Grundlage von vorhandenen Durchschnittswerten zu vergleichen bzw. dessen Vorzüglichkeit zu ermitteln sind (OLFERT 2012). DABBERT und BRAUN (2022) weisen darauf hin, dass Zahlungsströme nicht berücksichtigt werden und dadurch fehlerhafte Berechnungen entstehen können, da auch die Zins- und Zinseszinsseffekte nicht berücksichtigt werden können. Um das Risiko von fehlerhaften Berechnungen zu verhindern bzw. zu minimieren ist es wichtig, dass genutzte Daten nicht von starken Schwankungen betroffen sind, da die Bedeutung sich im Laufe der Zeit ändert. Der Investition wird eine Durchschnittsperiode zugrunde gelegt. Bei dem statischen Verfahren der Investitionsberechnung wird lediglich mit den Kosten und Erlösen gerechnet im Gegensatz zum dynamischen Verfahren, wo mit Ein- und Auszahlungen gerechnet wird (OLFERT 2012).

Bei der Kostenvergleichsrechnung werden in erster Linie die verursachten Kosten der Investition dargestellt. Kosten von verschiedenen Investitionen können gut gegenübergestellt werden, um die Investitionsalternativen zu vergleichen. Kosten sind dabei der in Geldeinheiten bewertete Verbrauch von Produktionsfaktoren, welche durch die betriebliche Produktion verursacht werden (OLFERT 2012). Die Prüfung von Einzelinvestitionen, Alternativ- und Ersatzinvestitionen können mit der Kostenvergleichsrechnung gut durchgeführt werden. Weniger gut eignet sich diese Methode für

Erweiterungsinvestitionen. Vorteil der Kostenvergleichsrechnung liegt überwiegend in der einfachen Durchführung durch eine relativ leichte Datenerhebung. Es ist mit verhältnismäßig wenig Aufwand ein erster grober Überblick einer Investition möglich (DÄUMLER und GRABE 2014, OLFERT 2012).

Eine erweiterte Form der Kostenvergleichsrechnung ist die Gewinnvergleichsrechnung. Hierbei werden die Erlöse berücksichtigt, wodurch die Vorteilhaftigkeit noch besser beurteilt werden kann. Die Definition von Gewinn ist dabei die Differenz aus Kosten und Erlösen. Dieses Verfahren bietet gute Möglichkeiten, wenn Kosten bzw. Erträge von verschiedenen Investitionen unterschiedlich ausfallen um einen Überblick zu erhalten, welche der Alternativinvestitionen den größten Gewinn aufweist. Bei Einzelinvestitionen muss der Gewinn > 0 sein um Vorteilhaft zu sein (OLFERT 2012).

Sowohl bei der Kostenvergleichsrechnung als auch bei der Gewinnvergleichsrechnung ist die Kurzfristigkeit der Vergleiche als Nachteil anzusehen. Zeiträumliche Veränderungen bleiben somit unberücksichtigt. Oftmals besteht ein weiteres Problem in der Auflösbarkeit der verursachten Kosten, da fixe und variable Kosten oft nicht eindeutig differenziert werden können. Ein großes Problem besteht darin, dass Kapitaleinsätze nicht berücksichtigt werden. Es wird lediglich nach minimalen Kosten oder maximalen Gewinn geschaut. Die Rentabilität wird bei diesen Verfahren nicht ermittelt.

Sensitivitätsanalyse

Bei der Sensitivitätsanalyse geht es darum zu schauen, inwieweit sich Veränderungen der einzelnen Parameter auf die Wirtschaftlichkeit der Investition auswirken. Sie ist ein gutes Instrument, um festzustellen, ab welcher Veränderung eines bestimmten Parameters die Investition negativ wird. Bei einer Veränderung der hypothetisch erhobenen Daten lassen sich somit gewisse Unsicherheiten der Preisspekulationen simulieren und dessen Folgen überprüfen (DABBERT und BRAUN 2012). OLFERT (2012) erwähnt, dass in solchen Situationen vorzugsweise die kritische Wertrechnung eingesetzt wird. Dabei wird die Rechenformel auf den zu ermittelnden kritischen Wert umgestellt und die sich ergebende Funktion aufgelöst. Die Kapitalwertformel ist für dieses Verfahren sehr gut geeignet. Wird diese Formel gleich Null gesetzt, kann man nach dem zu suchenden Parameter umstellen und den Wert berechnen. Somit findet eine analysierende Risikoberücksichtigung statt, wobei die maximal möglichen Abweichungen der Parameter ermittelt werden, so DÄUMLER und GRABE (2014). Sie weisen jedoch auch darauf hin, dass diese Methode bei nicht linearen Kapitalwerten an ihre Grenzen stößt. Dort ist die Umstellung etwas schwieriger, wobei es oftmals einfacher wird, auf zeichnerische Werkzeuge wie beispielsweise beim Internen Zinsfuß zurückzugreifen.

Datengrundlage

Vergleichsbetriebe

Um eine etwas differenziertere Betrachtung bezüglich der Betriebsgrößen und dessen Produktionsbedingungen zu erhalten, wurden bei der Berechnung zwei Beispielbetriebe betrachtet. Diese Betriebe sind frei erfunden und sollen ein etwas kleineren Familienbetrieb und ein etwas größeren Marktfruchtbetrieb darstellen. Die Betriebsgröße vom ersten Betrieb wurde auf 200 ha festgelegt, da diese zu der ausgewählten Fruchtfolge realistisch sind und vielfach in der Praxis wiederzufinden ist. Der zweite Betrieb ist gezielt etwas größer aufgebaut, um eine unterschiedliche Betrachtung der Investitionskosten für eine größere Spritze unter anderen Produktionsbedingungen zu betrachten. Die Flächenausstattung liegt hier bei 500 ha. Die unterschiedlichen Produktionsbedingungen liegen zum einen an der von uns gewählten Arbeitsbreite von 24 m bzw. 30 m und bei der durchschnittlichen Flächengröße. Es resultiert eine unterschiedliche Flächenleistung von sechs bzw. acht ha/h für Spritzmaßnahmen.

Die Fruchtfolge beider Betriebe haben wir Prozentual unverändert gelassen, um einen besseren Überblick zu erhalten bzw. die Komplexität zu reduzieren. Ausschlaggebend waren 20 % Kartoffelanbau für eine gesunde Fruchtfolge. Um möglichst viel Fläche der Gesamtbetriebsfläche für die Spot-Spraying Applikation nutzen zu können, sind ebenfalls 20 % Mais im Anbau, wobei davon auszugehen ist, dass, wenn dieser nach Kartoffeln angebaut wird, mit Durchwuchskartoffeln zu rechnen ist.

Anschaffungskosten/Durchschnittliche Gesamtkosten

Die Anschaffungskosten teilen sich bei diesem Projekt in drei Hauptbereiche. Diese sind aufgeteilt in Anschaffungskosten für die Spritze und das dazugehörige Zubehör, die Anschaffungskosten für die Drohne und dem benötigten Equipment und die Anschaffungskosten eines Schleppers, um die Kosten für eine gesamte Spritzenüberfahrt zu ermitteln.

Die Kosten für die Spritztechnik wurden von Herrn Gregor Bensmann, Produktmanager Smart Farming/Elektronik bei der Firma AMAZONEN-WERKE H. DREYER SE & Co. KG, zur Verfügung gestellt. Diese bestehen aus jeweils zwei verschiedenen Spritzen für die jeweiligen Betriebe und jeweils in zwei verschiedenen Ausstattungsvarianten. Eine Variante mit Einzeldüsenabschaltung und andere Extras und eine Standard Variante mit 3 m Teilbreiten, was für den Marktfruchtbau tendenziell ausreichend ist, jedoch nicht für das Spot-Spraying. Die zwingend notwendigen Düsen für die Spot-Spraying Variante sind extra aufgelistet. Für die Berechnung der durchschnittlichen Gesamtkosten wurde ein Restwert von 30 % vom Anschaffungswert angenommen. KTBL rechnet in der Regel mit 20 %, jedoch ist der Markt für gebrauchte Spritzen momentan von einer großen Nachfrage gebeutelt und

dementsprechend werden gebrauchte Spritzen oft noch sehr hoch gehandelt. Da die Spritze nur ein Anbaugerät ist und weder einen wartungsintensiven Motor oder ein wartungsintensives Getriebe besitzt, wurde für die Reparaturkosten 2,5 % jährlich von den Anschaffungskosten angenommen. Der Zinssatz wurde auf 2,5 % festgelegt. Bei der Nutzungsdauer wurde, wie in der Landtechnik üblich, von 10 Jahren ausgegangen.

Mit folgender Formel haben wir die durchschnittlichen Gesamtkosten berechnet:

$$DK = \frac{(A - RW)}{N} + ((A - RW) \times f + RW) \times i + \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N R_t$$

Durchschnittliche Abschreibung	+ Durchschnittlicher Zinsanspruch	+ Durchschnittliche Reparaturen, ...
-----------------------------------	---	--

Die Berechnung der durchschnittlichen Gesamtkosten wurde anhand von Anschaffungswerten, welche aktuell in der Praxis zu finden sind, durchgeführt. Die Preise stammen aus einem aktuellen Angebot (06/2022) eines neuen Schleppers für den Betrieb Carsten Hansen, Breklingfeld. Der Restwert wurde wie von KTBL vorgegeben mit 20 % vom Anschaffungswert angerechnet und die Reparaturkosten mit 4 % jährlich vom Anschaffungswert.

Bei der Preisermittlung der Drohnentechnik gehen die Meinungen weit auseinander. Laut NAHRSTEDT (2022) gibt es Einstiegsmodelle ab 10.000 € plus eine Multispektralkamera mit ca. 5.000 €. Es kommen einige Kosten für die RTK-Funktion und zusätzliche Akkus hinzu, da bei dieser Drohne die Flugzeit sehr begrenzend ist. Laut SCHMIDT SOLUTIONS (2022) werden im Bereich der Landwirtschaft leistungsfähigere Drohnen mit längerer Flugzeit benötigt. Dieses ist dadurch zu begründen, dass das Zeitfenster sehr kurz ist und ein großer Teil an Flächen überflogen werden muss. Solche Drohnen kosten häufig ca. 30.000 € inkl. ausreichende Akkuvorräte, GPS und Software. Für den anschließenden Bearbeitungsaufwand haben wir eine Pauschale von 5 € festgelegt. Auch hier gehen die Meinungen auseinander, was an bisher fehlenden Erfahrungen und mangelnder Anzahl von Dienstleistern liegt. Die 5 € sind eine Schätzung aus der Praxis und der Schätzung von AMAZONE (2022).

Kosten Spritzmittel/Spritzaufwand

Um die PSM Kosten der Betriebe miteinander zu vergleichen, haben wir passend zu der Fruchtfolge die Anzahl der Überfahrten und die dazugehörigen Kosten für die einzelnen Kulturen aufgelistet. Diese Daten stammen aus dem Deckungsbeitragsrechner der LFL Bayern, wobei immer von einem niedrigen PSM-Einsatz ausgegangen worden ist. Dieses ist dadurch zu begründen, dass der Einsatz von PSM deutschlandweit sehr unterschiedlich ist und es politisch gewollt ist, diesen langfristig zu reduzieren.

Für die Vergleichsvarianten im Herbizideinsatz wurden passende Mittelkombinationen zum einen von der Landwirtschaftskammer und der N.U.-Agrar empfohlen. Die Preise für die geplanten Herbizide wurden aus einer Preisliste der VEREINIGTE SAATZUCHTEN (2022) entnommen.

Tabelle 2 Anbaudaten mit Spritzüberfahrten (LFL BAYERN)

Anbauverhältnis	Anteile	Anzahl Überfahrten	PSM-Kosten	Quelle
Getreide/ Raps	60%	5	150	LfL Bayern
Kartoffeln	20%	8	300	LfL Bayern
Mais	20%	2	100	LfL Bayern

Mittleinsparung

Bei der Mittleinsparung wurden zum einen die Einsparungen durch die Einzeldüsenabschaltung in Keilbereichen und zum anderen die Einsparungen durch die Spot-Applikation betrachtet. Die Mittleinsparungen durch die Einzeldüsenabschaltung basieren auf Grundlage einer Untersuchung, welche in der TopAgrar veröffentlicht wurde. Da die Vergleichsmaschine in unseren Berechnungen mit 3 m Teilbreiten ausgestattet ist, wurden die Werte der Einsparung für die Situation von 2,77 m auf 0,5 m aus der Untersuchung entnommen. Die 2,77 m ist eine Zahl, welche aus Durchschnittsberechnungen entstanden ist, aber der Situation in diesem Projekt sehr nahekommt. Den Beispielbetrieben wurden ebenso unterschiedliche Flächengrößen zugeordnet, weshalb der Betrieb 1 bei etwas kleineren Flächen mehr Möglichkeiten zur Einsparung besitzt.

Die Einsparungen durch die Spot-Applikation wurden auf Basis der Berechnungen für das erste Versuchsjahr des Experimentierfeldes Nord-West durchgeführt. Diese lagen zwischen 85 % und 50 %, wobei ein in der Praxis geschätzter Wert von 80 % durchaus realistisch erscheint. Bei der Durchführung der Applikation auf dem Hof Künne konnten 50 % Mittel eingespart werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die fertige Applikationskarte deutlich mehr benötigte Fläche beinhaltet, als die Bodenbedeckung, da die Düsen ein gewisses Arbeitsfenster benötigen.

Ergebnisse

Kostenvergleichsrechnung

Tabelle 3 Kostenvergleichsrechnung

	Betrieb 1	Betrieb 2
Betriebsfläche (ha)	200	500
Applikationstechnik	UF 2000	UX 6200
Preis Normalausstattung (3m TB)	47.000 €	120.000 €
Preis Ausstattung Spot-Spraying	60.000 €	150.000 €
Spot-Düsen (€ pro 0,25m)	10	10
Arbeitsbreiten (m)	24	30
Nutzungsdauer (a)	10	10
zu behandelnde Fläche (ha)	1000	2500
zu behandelnde Fläche Spot-Spraying (ha)	40	100
f-Wert	0,5	0,5
Restwert (% vom AW)	30	30
Restwert (€) Normalausstattung	14.100 €	36.000 €
Restwert (€) Ausstattung Spot-Spraying	18.000 €	45.000 €
Zinssatz	2,50 %	2,50 %
Reparaturkosten / a (% Anschaffungswert)	2,5	2,5
Reparaturkosten / a Normalausstattung	1.175 €	3.000 €
Reparaturkosten / a Ausstattung Spot-Spraying	1.500 €	3.750 €
AfA Normalausstattung	3.290 €	8.400 €
AfA Ausstattung Spot-Spraying	4.296 €	10.620 €
Durchschnittliche Gesamtkosten (€) NA	5.229 €	13.350 €
Durchschnittliche Gesamtkosten (€) Sp.-Sp.	6.771 €	16.808 €
Differenz Ausstattung	1.542 €	3.458 €
Durchschnittliche Gesamtkosten pro ha NA	5 €	5 €
Durchschnittliche Gesamtkosten pro ha Sp.-Sp.	7 €	7 €
Mehrkosten des Sp.-Sp. je ha (€)	39 €	35 €
PSM Mittelkosten/a	34000	85000
Mittleinsparung 0,5m TB zu 3,27m	4,48 %	3,80 %
PSM-Einsparungen / a auf Gesamtbetriebsfläche	1523,2	3230
Kostendifferenz der Spritztechnik- Mittleinsparungen	19 €	228 €
Übrige Kosten der Spritztechnik / ha Spot. Einsatz	0,48 €	2,28 €

Benötigte Schlepperleistung (PS)	140	180
Preis Schlepper (€)	145000	165000
Nutzungsdauer (a)	10	10
AfA	11600	13200
Restwert	29000	33000
Reparaturkosten 4% pro a	5800	6600
Zinssatz (%)	2,5 %	2,5 %
Durchschnittliche Gesamtkosten Schlepper	19575	22275
Auslastung (h/a)	800	1000
Durchschnittliche Gesamtkosten Schlepper / h	24,47	22,28
Flächenleistung Spritzen (ha/h)	6	8
Schlepperkosten je ha Spritzen in €	4,08	2,78
Dieserverbrauch je ha	1,5	1,6
Dieselpreis mit landwirtschaftlicher Vergünstigung	1,8	1,8
Dieselskosten je ha (€)	2,7	2,88
Lohnkosten je h (Brutto) in €	25	25
Lohnkosten je ha in €	4,17	3,13
Gesamtkosten Überfahrt Schlepper, Spritze und Fahrer NA	16 €	14 €
Gesamtkosten Überfahrt Schlepper, Spritze und Fahrer Sp.-Sp.	18 €	16 €
Investionskosten Kauf Drohne (€)	30000	30000
Investionskosten Kauf Kamera (€)	5000	5000
Reparatur und Unterhaltungskosten, Reinigung pro a	3500	3500
Flächenleistung (ha/h)	8	8
Lohnkosten (€/h)	30	30
Kosten Fahrzeug je ha	2	2
Nutzungsdauer (a)	10	10
Restwert (€)	0	0
AfA (€) Drohne und Kamera	3500	3500
Durchschnittliche Gesamtkosten (€)	7437,5	7437,5
Durchschnittliche Gesamtkosten (€) je ha Maisfläche	185,94	74,38
Benötigte Maisfläche, wenn 10€ je ha Drohnenkosten Ziel sind (ha)	743,75	743,75
Maximal mögliche Flugzeit/Tag in h	6	6
Mögliche Flächenleistung/Tag in ha	48	48
Benötigte Flugtage	15,49	15,49

Bei den Berechnungen der durchschnittlichen Gesamtkosten für die Pflanzenschutzspritze betragen die Kosten für eine Normalausgestattete Spritze (3m Teilbreiten) 5299 Euro/Jahr für den Betrieb 1 mit der angebauten Spritze bzw. 13350 €/a für den Betrieb 2 mit der gezogenen Spritze. Die durchschnittlichen Gesamtkosten für eine Spritze, welche geeignet für die Spot-Applikation ist, betragen 6771 €/Jahr für den Betrieb 1 bzw. 16808 Euro/Jahr für den Betrieb 2. Aus den gegebenen Werten folgt eine Differenz der beiden verschieden ausgestatteten Spritzen auf den jeweiligen Betrieben von 1542 bzw. 3458 Euro/Jahr. Die Kosten für die Pflanzenschutzspritze belaufen sich bei beiden Betrieben auf 5 Euro/ha. für die normal ausgestattete Spritze und 7 Euro/ha. für die besser ausgestattete Variante, unter der Voraussetzung, dass der Betrieb 1, 1000 ha. jährliche Spritzfläche hat und der Betrieb 2 2500 ha.

Werden die jährlichen Kosten der Differenz zwischen den Ausstattungen durch die zu behandelnde Fläche mittels Spot-Applikation geteilt, entstehen Mehrkosten von 39 Euro/ha. für den Betrieb 1 und 35 Euro/ha. für den Betrieb 2. Diese Werte sind ohne Einbeziehung anderer ökonomischer Vorteile errechnet, welche durch die Einzeldüsenabschaltung entstehen. Je nach Flächenzuschnitt entstehen häufig große Einsparpotenziale in Bezug auf die insgesamt zu behandelnde Fläche. Nach Abzug der Vorteile, welche passend aus einer Untersuchung ausgewählt wurden und 1523,2 und 3230 Euro/Jahr betragen, reduzieren sich die Mehrkosten/ha auf der Spot-Applikation-Fläche auf 0,48Euro/ha. bzw. 2,28 Euro/ha für die Betriebe 1 und 2. Für die Berechnungen wurden Pflanzenschutzaufwendungen von 34000 Euro/Jahr für Betrieb 1 und 85000 Euro/Jahr für Betrieb 2 angesetzt.

Die Gesamtkosten für die Pflanzenschutzüberfahrt inkl. Spritze, Schlepper, Lohn und Diesel belaufen sich bei dem 1. Betrieb auf 16 Euro/ha mit der einfach ausgestatteten Spritze und 18 Euro/ha mit der Spritze mit Einzeldüsenabschaltung. Bei dem 2. Betrieb sind es 14 Euro/ha. bei der einfachen Spritze bzw. 16 Euro/ha. Bei Ausstattung mit Einzeldüsenabschaltung. Zu beachten ist, dass für die Betriebe und Spritzen unterschiedliche Schlepper zur Kalkulation genutzt wurden.

Die Kosten für die Drohne, welche aus Drohne, Kamera, Unterhaltung und Lohn bestehen, belaufen sich auf rund 7400 Euro/Jahr. Bei der zu überfliegenden Fläche von 40 bzw. 100 ha auf den Beispielbetrieben entstehen somit Kosten von 185 bzw. 74 Euro/ha. Um das Ziel von 10 Euro/ha für einen Drohnenüberflug zu erzielen ist somit eine jährliche Fläche von rund 740 ha. nötig. Bei einer durchschnittlichen täglichen Flugzeit aufgrund von Witterungsverhältnissen, bedarf es ca. 15 Flugtage.

Vergleich Standardmaßnahme zur Durchwuchskartoffelbekämpfung zu Spot – Spraying

Tabelle 4 Vergleich Standardmaßnahme zur Durchwuchskartoffelbekämpfung zu Spot-Spraying (Datengrundlage: siehe Kap. Datengrundlage)

	Betrieb 1 Standard (teure Variante)	Betrieb 1 Standard (günstigere Variante)	Betrieb 1 Sp. - Sp. (teure Variante)	Betrieb 1 Sp. - Sp. (günstigere Variante)	Betrieb 2 Standard (teure Variante)	Betrieb 2 Standard (günstigere Variante)	Betrieb 2 Sp. - Sp. (teure Variante)	Betrieb 2 Sp. - Sp. (günstigere Variante)
Betriebsgröße (ha)	200	200	200	200	500	500	500	500
Maisfläche (ha)	40	40	40	40	100	100	100	100
Überfahrt 1 Gesamtkosten (€)	16	16	18	18	14	14	16	16
Überfahrt 2 Gesamtkosten (€)	16	16	18	18	14	14	16	16
Mehrkosten Drohneneinsatz (€ je ha)	0	0	10	10	0	0	10	10
PSM - Einsatz Überfahrt 1 (€)	41,65	41,33	41,65	41,33	41,65	41,33	41,65	41,33
PSM - Einsatz Überfahrt 2 (€)	78,31	9,69	78,31	9,69	78,31	9,69	78,31	9,69
Nicht behandelte Fläche bei Spot-Spraying (%)	0	0	80%	80%	0	0	80%	80%
Mehraufwand Vor- & Nach- bereitung Sp. -Sp. (€ je ha)	0	0	5	5	0	0	5	5
PSM-Einsparung durch besseres Section-Control auf Gesamtbetriebsfläche	0	0	7,62	7,62	0	0	6,46	6,46
Gesamtkosten	151,96	83,02	100,70	86,65	147,96	79,02	97,85	83,81

Budget für Drohne was über 10 Euro liegen dürfte

Differenz Betrieb 1 Günstig	-3,63	ist 0 bei	117%	nicht behandelte Fläche bei Spot-Spraying, d. h. nicht möglich
Differenz Betrieb 1 Teuer	51,26	ist 0 bei	15%	nicht behandelte Fläche bei Spot-Spraying, d. h. möglich
Differenz Betrieb 2 Teuer	50,11	ist 0 bei	16%	nicht behandelte Fläche bei Spot-Spraying , d.h. möglich
Differenz Betrieb 2 Günstig	-4,79	ist 0 bei	129%	nicht behandelte Fläche bei Spot-Spraying, d.h. nicht möglich

Es folgt eine schriftliche Erläuterung zur vorangegangenen Tabelle (Tab. 4). Um zwei verschiedene Maßnahmen gegen die Durchwuchskartoffeln zu untersuchen, wurde eine kostengünstigere Variante und eine teurere Variante gewählt. Die teurere Maßnahme ist die Empfehlung der Landwirtschaftskammer und wird mit zwei Überfahrten appliziert. Es werden bei der ersten Überfahrt 1 l/ha Elumis und 1 l/ha Spectrum Gold gespritzt. Die Aufwendungen kosten 41,65 €/ha. Bei der zweiten Überfahrt werden drei PSM kombiniert. Callisto wird mit 0,75 l/ha, Onyx mit 0,75 l/ha und Effigo mit 0,35 l/ha Aufwandmenge verwendet. Somit werden 78,31 €/ha für die zweite Überfahrt berechnet, sodass die Gesamtkosten von 119,96 €/ha an reinem Pflanzenschutz bezahlt werden muss. In der zweiten Variante werden ebenfalls zwei Überfahren getätigt, die ausgewählten Mittel sind günstiger. Die Zusammensetzung der PSM ist eine Empfehlung der N.U.-Agrar. Während bei der ersten Überfahrt vier Mittel appliziert werden, ist es bei der zweiten nur eins. Es wird Gardo Gold mit einer Aufwandmenge von 2 l/ha, Temsa mit 0,6 l/ha, Primero mit 0,75 l/ha und Peak mit 0,01 l/ha gemischt. Bei der Kombination wird ein Aufwand von 41,33 €/ha ermittelt. Nur das Temsa wird mit derselben Aufwandmenge in der zweiten Überfahrt ein weiteres Mal solo appliziert. Da das Temsa mit 16,15 €/l berechnet wird, liegen bei der zweiten Überfahrt die Mittelkosten bei 9,69 €/ha. Insgesamt kostet diese Maßnahme von den eingesetzten PSM den Landwirten 51,02 €/ha und ist somit in der weiteren Berechnung die günstigere Maßnahme (siehe Tab. 1). Die erste Maßnahme wird im weiteren Verlauf die teure Variante genannt. In der Vergleichsrechnung zwischen einer Standardspritzung zu dem Spot-Spraying werden die beiden Betriebe sowohl mit der teureren, sowie mit der günstigen Variante berechnet.

Bei der Standardspritzung werden für die Überfahren 16 € bzw. 14 € angesetzt. Diese Zahlen werden der Kostenvergleichsrechnung entnommen. Es gibt in diesem Beispiel keine Mehrkosten für den Drohneneinsatz, da ohne Spot-Spraying gearbeitet wird. Die Kosten des Mitteleinsatzes werden weiter oben im Text beschrieben. Werden die Kosten der Standardvariante des Betriebes 1 zusammengerechnet, ergibt sie für die Bekämpfung der Durchwuchskartoffel Gesamtkosten von 151,96 €/ha für den teureren Mitteleinsatz. Die Variante der N.U.-Agrar ergibt einen Kosteneinsatz für den Landwirten von 83,02 €/ha. Bei dem Betrieb 2 sind die Bekämpfungskosten insgesamt geringer als bei Betrieb 1. Für die teurere Variante ergibt sich ein Ergebnis von 147,96 €/ha, während die günstigere Variante bei 79,02 €/ha liegt.

Das Spot-Spraying wird ebenfalls für die teure und die günstige Variante gerechnet. Die Überfahrtkosten betragen in diesem Fall 18 € bzw. 16 €. Zusätzlich kommen jeweils 10 € für den Drohnenflug hinzu und 5 € für den Mehraufwand der Vor- und Nachbereitung des Spot-Sprayings. Der Wert von 5 € ist ein angenommener Wert von der Projektgruppe, da es aktuell keine genauen Preise bei Dienstleistern gibt. Trotz mehrfachen Nachfragen, konnte keine konkrete Zahl ermittelt werden.

Die 5 € beinhaltet die Planung der Flugroute und die Erstellung der Applikationskarte für die Spritzung. Bei dem Spot-Spraying wird von 80 % nicht behandelter Fläche ausgegangen. Dies ergibt sich aus dem Versuch des vergangenen Jahres, in dem bei der Bekämpfung aller Unkräuter auf einer Versuchsfläche 87,5 % der Fläche ausgelassen wurde (AGRO NORD-WEST 2021). Da dieser Wert besonders hoch ist, wurde bei den Berechnungen von 80 % ausgegangen. Durch den technischen Fortschritt der Technik werden bei dem Betrieb 1 bereits 7,62 €/ha eingespart, während bei dem Betrieb 2 Kosten von 6,46 €/ha gespart werden. Die Zahlen resultieren aus der PSM-Einsparung pro Jahr auf der gesamten Betriebsfläche (1523,20 €/ha bzw. 3230,00 €/ha) durch die angebaute Ackerfläche (200 bzw. 500 ha). Insgesamt werden Gesamtkosten für die teure Variante von 100,70 €/ha für den Betrieb 1 ermittelt und 86,65 €/ha für die günstigere Variante.

Bei der teuren Variante ist eine Differenz von 51,26 € zwischen der Standardmaßnahme und dem Spot-Spraying entstanden. Bei der günstigeren Variante beträgt die Differenz - 3,63 €/ha. Die Gesamtkosten für den Betrieb 2 zeigen ein ähnliches Ergebnis. Die teure Variante kostet bei dem Einsatz des Spot-Spraying 97,85 €/ha, während die günstigere Variante ein Ergebnis von 83,81 € erzielt. Die Differenzen der beiden Varianten sind 50,11 €/ha bzw. - 4,79 €/ha. Laut der Firma SCHMIDT SOLUTION (2022) soll der Wert für diese Mehrkosten zwischen acht und sechzehn Euro liegen. In der Berechnung wurden die Mehrkosten der Drohne mit 10 €/ha angenommen. Um die Wirtschaftlichkeit des Projektes zu berechnen, wird sich auf diesen Wert bezogen.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung werden die Differenzen der Maßnahmen genau betrachtet. Die Differenz der günstigen Maßnahme ist bei Betrieb 1 und Betrieb 2 negativ. Dies bedeutet, dass die Mehrkosten von 10 €/ha für den Drohnenflug um die errechnete Differenz verringert werden muss. Für den Betrieb 1 wäre das Spot-Spraying mit dem Drohnenflug nur wirtschaftlich, wenn die Mehrkosten von 10 €/ha auf 6,37 €/ha gesenkt werden. Für den Betrieb 2 müssten die Kosten noch preiswerter werden. Hier lohnt sich eine Maßnahme mit maximal 5,21 €/ha. Würden man die Mehrkosten bei 10 €/ha lassen, müssten 117 % bzw. 129 % eingespart werden, dies ist nicht möglich. Bei der teureren Variante rechnet sich das Spot-Spraying. Bei Betrieb 1 könnten die Mehrkosten des Drohnenfluges 61,26 €/ha betragen, trotzdem wäre es wirtschaftlich. Bereits bei 15 % nicht behandelter Fläche (85 % der Fläche werden behandelt) ist das Spot-Spraying der Standardmaßnahme vorzuziehen. 16 % ist der Schwellenwert des Betriebes 2 in der teuren Mittelvariante. Die Mehrkosten könnten in diesem Fall bei 60,11 €/ha liegen und das Spot-Spraying ist dennoch wirtschaftlich.

Insgesamt rechnet sich das Spot-Spraying mit teuren Pflanzenschutzmitteln deutlich besser als mit günstigeren Mitteln. Bereits bei unter 20 % nicht behandelter Fläche sollten die Betriebe aus den Beispielen auf die Standardmaßnahme verzichten und das Spot-Spraying durchführen. Es ist jedoch zu

beachten, dass je günstiger die Mittelkosten sind, desto weniger dürfte der Landwirt für die Mehrkosten des Drohnenfluges bezahlen. Eine Entscheidung, ob ein Betrieb auf Spot-Spraying umstellen sollte, ist betriebsindividuell zu begutachten.

Sensitivitätsanalyse & Szenarioanalyse

Tabelle 5 Sensitivitätsanalyse (Datengrundlage: siehe Kap. Datengrundlage)

	Betrieb 1 Sp. -Sp. (teure Variante)	Betrieb 1 Sp. -Sp. (günstige Variante)	Betrieb 2 Sp. -Sp. (teure Variante)	Betrieb 2 Sp. -Sp. (günstige Variante)
Betriebsgröße (ha)	200	200	500	500
Maisfläche (ha)	40	40	100	100
Durchschnittliche Gesamtkosten Spritze Sp.-Sp. (€)	7	7	7	7
Kostendifferenz für Sp. - Sp. Technik nach Abzug der sich ergebenden Vorteile aus verbessertem Section-Control (€)	0,48	0,48	2,28	2,28
Mehrkosten Drohneneinsatz (€ je ha)	10	10	10	10
PSM - Einsatz Überfahrt 1 (€)	41,65	41,33	41,65	41,33
PSM - Einsatz Überfahrt 2 (€)	78,31	9,69	78,31	9,69
Nicht behandelte Fläche bei Sp. - Sp. (%)	80%	80%	80%	80%
Mehraufwand Vor- und Nachbereitung Sp. - Sp. (€ je ha)	5	5	5	5
PSM-Einsparung durch besseres Section-Control auf Gesamtbetriebsfläche (€)	7,62	7,62	6,46	6,46
Live-Rechner	67,18	53,13	70,13	56,09
Ausgangssituation	67,18	53,13	70,13	56,09
+20% Kosten Spritze	68,58	54,53	71,53	57,49
- 20% Kosten Spritze	65,78	51,73	68,73	54,69
+20% Kosten Drohne	69,18	55,13	72,13	58,09
-20% Kosten Drohne	65,18	51,13	68,13	54,09
+20% Kosten PSM	70,31	53,52	73,26	56,47
-20% Kosten PSM	64,04	52,74	67,00	55,70
+15% PSM-Mitteleinsparung	55,43	51,68	58,39	54,63
-30% PSM-Mitteleinsparung	90,67	56,04	93,62	58,99

Tabelle 6 Szenarioanalyse

Optimale Voraussetzungen	51,25	48,18	54,20	51,14
Schlechteste Voraussetzungen	101,90	60,41	104,85	63,36

Bei der Sensitivitätsanalyse (siehe Tab. 5) werden die Spot-Spraying Varianten betrachtet. Hierbei wird immer mindestens ein Parameter geändert, um abzuschätzen, welche Auswirkungen diese auf die Maßnahme haben. Die Schlepperkosten werden hierbei nicht betrachtet.

Für die Kostenberechnung der beiden Betriebe wird erneut mit der teuren und der günstigen Variante gerechnet. Die durchschnittlichen Gesamtkosten der Spritze mit Spot-Spraying liegen in der Ausgangssituation bei 7 €/ha. Der Wert wurde aus der Kostenvergleichsrechnung entnommen. Ebenso werden die Preise für die PSM-Einsparung durch besseres Section-Control auf der Gesamtfläche und die Kostendifferenz für die Spot-Spraying Technik nach Abzug des Section-Control-Vorteils aus der Tabelle 3 entnommen. Bei dem Betrieb 1 liegt die PSM-Einsparung durch Section-Control bei 7,62 €, während die Einsparung bei Betrieb 2 6,46 €/ha beträgt. Die Kostendifferenz für die Spot-Spraying Technik liegt bei 0,48 €/ha bzw. 2,28 €/ha. Die PSM-Kosten sind aus Tab. 1 zu entnehmen und betragen insgesamt für die teure Maßnahme 119,96 €/ha und für die günstigere 51,02 €/ha. Es wird wie in der Vergleichsrechnung bereits erläutert eine Einsparung durch die Spot-Applikation von 80 % angenommen. Die Kosten für das Vor- und Nachbereiten des Spot-Sprayings werden mit 5 €/ha angesetzt.

Die Gesamtkosten der Ausgangssituation sind für Betrieb 1 67,18 €/ha (teurere PSM) bzw. 53,13 €/ha (günstigere PSM). Im Folgenden wurden verschiedene Parameter geändert und die einzelnen Ergebnisse der Änderungen können aus der Tabelle X entnommen werden. Die Kosten der Spritze werden jeweils um 20 % von der Ausgangssituation einmal erhöht und einmal verringert. Dasselbe wird für die Kosten der Drohne durchgeführt. Des Weiteren werden die Kosten der Pflanzenschutzmittel um +/- 20 % verändert. Zum Schluss werden als wichtiger Parameter die Mitteleinsparungen variiert. Zu der Ausgangssituation von 80 % werden zum einen 15 % hinzugerechnet (95 % PSM-Einsparung) und zum anderen 30 % abgezogen (50 % PSM-Einsparung). Die geringsten Kosten entstehen bei den teuren PSM-Varianten, bei der + 15 % Mitteleinsparung erzielt werden. Bei der günstigeren Maßnahme erzielen die 20 % Kosteneinsparungen der Drohne die niedrigsten Gesamtkosten. Bei allen vier Beispielen ist die teuerste Maßnahme, die mit der wenigsten Mitteleinsparung (50 %).

In der Szenarioanalyse (vgl. Tab. 6) werden die optimalsten und die schlechtesten Voraussetzungen untersucht. Die Kosten für ein optimales Szenario liegen im Betrieb 1 bei 51,25 €/ha in der teuren Variante bzw. 48,18 €/ha mit den günstigeren PSM. Die Gesamtkosten liegen bei 54,20 €/ha bzw. 51,14 €/ha für Betrieb 2 bei optimalen Voraussetzungen. Im worst case Szenario entstehen für Betrieb 1 Gesamtkosten von insgesamt 101,90 €/ha bzw. 60,41 €/ha und für Betrieb 2 104,85 €/ha bzw. 63,36 €/ha. Es wird deutlich, dass die Kostenspanne im worst case Fall mit den teureren Mitteln

ca. 50 € beträgt. Die Gesamtkosten wären doppelt so hoch wie bei der optimalen Möglichkeit. Anders sieht es bei den günstigen PSM aus. Die Differenz zwischen besten und schlechtesten Voraussetzungen beträgt ca. 12 €.

Diskussion

Betrachtet man den Gesamtablauf der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren im Zusammenhang technischer Entwicklungen, bleibt festzuhalten, dass bei weitem noch nicht alle Möglichkeiten ausgeschöpft sind bzw. die Entwicklung weitergehen wird. SCHMIDT SOLUTION (2022) und NAHRSTEDT (2022) erwähnen in diesem Zusammenhang als ersten wesentlichen Faktor die Akkuleistung der Drohnen. Wechsel- und Ladezeiten für die Akkus senken die Hektarleistung erheblich, da gerade bei großen Schlagstrukturen weite Wege bis zur „Basisstation“, an der der Akkuwechsel stattfindet, anfallen. Außerdem weißt SCHMIDT SOLUTION (2022) daraufhin, dass Multispektralkameras in den nächsten Jahren durch Hyperspektralkameras ersetzt werden können. Damit wäre eine Erkennung des Unkrauts bereits im Keimblattstadium möglich. Problematisch bleibt dabei die daraus resultierende Verarbeitung von deutlich größeren Datensätzen. Eine flächendeckend bessere Internetverbindung in Deutschland hätte hierbei ebenfalls positive Auswirkungen.

Kämen allerdings Hyperspektralkameras zum Einsatz, lägen die Kosten allein für die Kamera bei ungefähr 45000 €. Dementsprechend hoch wären auch die Kosten je ha. Um hier wieder Kosten von 10 € je ha beim Drohnenflug zu erreichen, gab SCHMIDT SOLUTION (2022) eine jährlich zu befliegende Fläche von ca. 7000 ha je Drohne an. Wenn solche Flächenleistungen erreicht werden sollen, muss die Drohne allerdings fast um die Uhr und auch in einer gewissen Höhe fliegen, um das Maximum an täglicher Flugzeit zu erreichen. 7000 ha Jahresleistung bedeuteten bei ca. 30 möglichen Flugtagen 233,33 ha pro Tag beflogener Fläche. In Regionen, wo die durchschnittliche Flächengröße bei 5 ha liegt, ist diese Zahl nicht zu realisieren. Eine solche Flächenleistung ist selbst in den deutlich größer strukturierten neuen Bundesländern nur schwer zu erreichen. An dieser Stelle ist es notwendig, die Drohnentechnik also in allen Punkten, die die Flächenleistung steigern, zu optimieren.

Blickt man auf das Gesamtproblem der Durchwuchskartoffelbekämpfung ist festzustellen, dass hier nach wie vor ein System aus integrierten Maßnahmen das erfolgversprechendste ist. Dabei bleibt die chemische Bekämpfung ein Bestandteil. Es darf jedoch nicht in Vergessenheit geraten, dass die effektivste und über lange Zeit preiswerteste Alternative in der Reduzierung von Ernteverlusten liegt (CORDES 2021, MEYER 2020, NITSCH 2020, PETERS 2016, PETERS 2019, PUTZ 2011). Hier bleibt weiterhin festzuhalten, dass, wenn Mais und Kartoffel in einer Fruchtfolge stehen, der Mais direkt nach der Kartoffel angebaut werden sollte. Dies ist damit zu begründen, dass bei Nichteinhalten dieses Grundsatzes noch eine Vegetationsperiode mehr für die Vermehrung der Durchwuchskartoffeln

besteht, bis diese dann im Folgejahr im Mais bekämpft werden können. Allerdings ist jedes zugelassene Pflanzenschutzmittel ein Bestandteil des integrierten Systems zur Durchwuchskartoffelbekämpfung. Wenn es möglich ist, durch den Einsatz von Spot-Spraying die Zulassungsdauer bestimmter Herbizide zu verlängern, ist es notwendig diese Maßnahme umzusetzen.

Betriebswirtschaftlich und auch unter Umweltaspekten ist es in erster Linie sinnvoll, eine wirkungsvolle und günstige Mittelkombination zu verwenden. Halten die Betriebe eine durchschnittliche Fruchtfolge mit höchstens 33 % Mais in der Fruchtfolge ein, sind fast keine Einschränkungen in der Mittelwahl zu beachten. So entsteht mehr Handlungsspielraum in der Auswahl potenter Wirkstoffe und die Pflanzenschutzmittelkosten je ha nehmen ab. Gleichermaßen kommt es in diesem Zusammenhang darauf an, so viel Wirkstoff wie nötig, aber auch so wenig wie möglich zu verwenden. Hier ist explizit darauf hinzuweisen, dass beispielsweise jede Kartoffelsorte verschieden schwer zu bekämpfen ist. Es wäre sinnvoll, wenn hier Versuchsergebnisse vorlägen, in denen Aussagen über die Bekämpfbarkeit einzelner Kartoffelsorten gemacht würden. Leider ist aus Kostengründen nicht davon auszugehen, dass solche Erhebungen in den nächsten Jahren vorliegen.

In vielen Fällen wird leider durch die Officialberatung eine Strategie vertreten, die zwar sehr gut und auch gegen alle Sorten von Durchwuchskartoffeln wirkt, aber auch extrem teuer ist. Schlimmer aber ist noch der Umstand, dass hierbei zum Teil unnötig Pflanzenschutzmittel ausgebracht werden, deren Abbau die Umwelt anschließend belastet. Die Kunst besteht darin, zu wissen, mit welchen Aufwandsmengen man die Kartoffel gerade noch ausschalten kann. Es liegt in der Verantwortung jedes Betriebsleiters, sich in dem Punkt zu informieren und fortzubilden. Wenn es die Zeit erlaubt, können auch selbstangelegte Steigerungsversuche und der überbetriebliche Austausch, zum Beispiel im Rahmen von Beratungsringen, eine wertvolle Informationsquelle darstellen. Betrachtet man die Gesamtkosten für die Herbizidanwendungen im Mais, haben wir bei Mittelaufwand und damit auch den Mittelkosten das größte Einsparpotential. Es ist weit höher, als alles, was momentan über technische Möglichkeiten zu realisieren ist.

Allerdings sind auch die technischen Einsparpotentiale keineswegs zu vernachlässigen. Selbst in der günstigsten Pflanzenschutzmittelvariante wäre das Spot-Spraying bei unserer Betrachtung sinnvoll, wenn durch den Drohneneinsatz keine Mehrkosten von $\geq 6,37$ € im Betrieb 1 bzw. $\geq 5,21$ € entstünden. Je teurer die eingesetzten Mittel werden, desto positiver der Effekt. Bei steigenden Pflanzenschutzmittelpreisen ist es ebenfalls so. Die notwendige technische Mehrausstattung der Spritze macht sich bereits fast gänzlich über die aus der Einzeldüschaltung reduzierende Mitteleinsparung bezahlt (TOPAGRAR 2020). Steigt der Wert der im Gesamtbetrieb in allen Kulturen eingesetzten Pflanzenschutzmittel weiter an, könnte das Einsparpotential der Einzeldüschaltung

die gesamten Mehrkosten der Spritze tragen. Je kleiner und vieleckiger der Flächenzuschnitt der behandelten Flächen ist, desto größer ist das Einsparpotential, das aus der Einzeldüsenabschaltung entsteht. Damit ist der Effekt gerade in flächenmäßig klein und unförmig strukturierten Gebieten am größten. Wird in den Betrieben in neue Pflanzenschutztechnik investiert, ist es sinnvoll auf ein Gerät mit Einzeldüsenabschaltung zu setzen. Dadurch schafft man sich neben Kostenersparnissen auch die Möglichkeit der Spot-Spraying-Nutzung in den nächsten Jahren.

Insgesamt bleiben die Kosten für die technische Umsetzung ein erheblicher Faktor. Je günstiger Drohne und Spritze je ha werden, desto geringer auch die Gesamtkosten. Da in der aktuellen Situation mit hohen Rohstoffpreisen, hohen Energiekosten und einer enormen Inflationsrate von +7,9 % (STATISTISCHES BUNDESAMT 2022) im Mai 2022 (bezogen auf den Vorjahresmonat) nicht von kurzfristigen Preissenkungen im Bereich der Landmaschinen auszugehen ist, bleibt die Möglichkeit der Kostensenkung durch größere Einsatzumfänge. Solange die Spritze vorrangig für Spot-Spraying im Mais verwendet wird, könnte hier der überbetriebliche Einsatz durch Lohnunternehmer sinnvoll sein. Die Spritze wäre zum Zeitpunkt der Herbizidanwendungen im Mais idealerweise auch nur in dieser Kultur unterwegs. Wenn es die technischen Gegebenheiten ermöglichen, könnte der Einsatz auf mögliche zusätzliche Anwendungsbereiche ausgedehnt werden (Distelbekämpfung in Zuckerrüben und Getreide). Der überbetriebliche Einsatz bietet sich auch für die Drohne an. Um den angestrebten Zielpreis von 10 €/ha für die Drohnenbefliegung zu erreichen, bleibt den verglichenen Betrieben bei den getätigten Preisannahmen keine andere Möglichkeit als hier mit überbetrieblichen Lösungen zu arbeiten. Außerdem erfordert die Drohnentechnik technisches Knowhow und den regelmäßigen Umgang, um ein akzeptables Leistungsergebnis zu erzielen (NAHRSTEDT 2022). Eine ausgebildete Fachkraft wäre für diese Arbeit sehr zielführend. Des Weiteren gelten die Vorschriften der „Durchführungsverordnung (EU) 2019/947 der Kommission vom 24. Mai 2019 über die Vorschriften und Verfahren für den Betrieb unbemannter Luftfahrzeuge“ (BMVI 2022). Auch hier böte sich eine überbetriebliche Lösung an, um die Lehrgänge zur Kostenreduzierung nur von wenigen Personen besuchen zu lassen.

Weiterhin bleibt abzuwarten, ob und in welchem Umfang bestimmte Maisherbizide bei Ablauf der Zulassung wieder zugelassen werden bzw. ob eventuell auch neue Präparate auf den Markt kommen. (HENSELING et al. 2021) gehen davon aus, dass die Wirkstoffe bei geringerem Gesamteinsatz ggf. auch länger zugelassen sind. Ob es in Zukunft dazu kommt, ist fraglich. Es bleibt aber festzuhalten, dass jede Maßnahme, die den Gesamteinsatz von Pflanzenschutzmitteln reduziert, positiv ist. Das Spot-Spraying ist hierbei eine wirkungsvolle Stellschraube.

Die Bevölkerung sieht den Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel mittlerweile immer kritischer. Diese Meinung hat auch Einzug in die Politik gefunden. Anderweitige, zum Beispiel mechanische, Maßnahmen werden auf den ersten Blick als umweltfreundlicher wahrgenommen. Gerade mechanische Maßnahmen sind im Mais aufgrund der gängigen Anbauverfahren in Verbindung mit zunehmendem Einsatz von Precision-Farming-Techniken in den letzten Jahren immer effektiver geworden. Preislich sind sie momentan aber deutlich teurer als chemische Varianten (KTBL). Das Spot-Spraying stellt hier also einen sinnvollen Kompromiss zwischen Ressourcenschonung und Kostenreduzierung dar.

In Reihenkulturen mit starker Biomassebildung ist das Hacken effektiver als in anderen Kulturen. Nach der Jugendentwicklung wird auflaufendes Unkraut durch Beschattung unterdrückt. Die Kulturpflanze Mais bietet somit gute Möglichkeiten, eine mechanische Unkrautbekämpfung durchzuführen (MÜCKE 2020). Wird eine insgesamt noch größere Mitteleinsparung in den nächsten Jahren gefordert, bliebe noch eine Kombination aus Hacke/Bandspritze und Spot-Spraying. Vielleicht finden hierzu in den nächsten Jahren Forschungsprojekte statt.

Wir sehen die Zukunft in dem Ansatz des Erhalts von Wirkstoffen über insgesamt geringere Ausbringung. Dieser ressourcenschonendere Umgang muss in Zukunft noch stärker in die Öffentlichkeit getragen werden. Die Öffentlichkeitsarbeit ist hier ein wesentlicher Punkt, um die Akzeptanz der Landwirtschaft zu erhöhen.

Fazit

Der im Rahmen des Projektes untersuchte Drohneneinsatz in Verbindung mit Spot-Spraying gegen Durchwuchskartoffeln stellt eine wirkungsvolle Methode dar, den Pflanzenschutzmittelaufwand im Mais zu senken. Werden teure Mittelkombinationen eingesetzt, besteht auch im Hinblick auf die Gesamtkosten deutliches Einsparpotential. Problematisch ist die in weiten Teilen noch sehr geringe Flächenleistung der Drohne bzw. die daraus entstehenden hohen Kosten und das mangelhafte Angebot an Dienstleistern. Hier wird in den nächsten Jahren eine deutliche Effizienzsteigerung angestrebt. Um die Kosten für die Drohne gering zu halten, ist es sinnvoll den überbetrieblichen Einsatz zu präferieren. Bei zu erwartenden Preissteigerungen der Pflanzenschutzmittel erhöht sich dieser Effekt noch. Im Bezug auf die Durchwuchskartoffeln ist jedes zugelassene Pflanzenschutzmittel ein Bestandteil des integrierten Systems zur Durchwuchskartoffelbekämpfung. Wenn es möglich ist, durch den Einsatz von Spot-Spraying die Zulassungsdauer bestimmter Herbizide zu verlängern, ist es notwendig diese Maßnahme umzusetzen, da in den nächsten Jahren eher eine Verschlimmerung der Problematik zu erwarten ist.

Literaturverzeichnis

AMAZONE (2022): Anleitung zum absetzigen Spot Spraying mithilfe von Applikationskarten verändert von Gregor Bensmann, Produktmanager Smart Farming/Elektronik.

BERENDONK, C. (2011): Intensive Hackfruchtfolge mit Kartoffeln. Kartoffelbau 62, 6/2011, 14 - 17.

BITKOM (2018): Fast jeder Zehnte Bauer setzt auf Drohnen.

<https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Fast-jeder-zehnte-Bauer-setzt-auf-Drohnen>, Zugriff am 06.06.2022.

BMEL (2020): Pflanzenschutzmitteleinsatz reduzieren - Ernten und Artenvielfalt sichern.

<https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/pflanzenschutz/pflanzenschutzmittel/einsatz-reduzieren.html>, Zugriff am 10.06.2022.

BMVI (2021): Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: EU-Regelungen für Drohnen.

<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/LF/drohnen.html>, Zugriff 06.06.2022.

CORDES, L. (2021): Durchwuchskartoffeln begrenzen – ein altes Thema wieder aktuell. Kartoffelbau 72, 8/2021, 8 - 10.

DABBERT, S., BRAUN, J. (2012): Landwirtschaftliche Betriebslehre: Grundwissen Bachelor. 3Aufl., Stuttgart: Eugen Ulmer.

DÄUMLER, K., GRABE, J. (2014): Grundlagen der Investition- und Wirtschaftlichkeitsrechnung. 13. Aufl., Herne: NWB.

DEMMELE, M., KELLELRMANN, A., KATEMANN, Y. (2019): Bodenbearbeitung gegen Durchwuchskartoffeln. Kartoffelbau 70, 7/2019, 20 - 22.

DJI (2022): <https://www.dji.com/de>, Zugriff am 06.06.2022.

HALLMANN, J., TIEDEMANN, A. (2019): Phytomedizin. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.

HERRMANN, A., MESSNER, H., RATH, J. (2011): Mais. In: Lütke Entrup, N., Schäfer, B. (Hrsg.) „Lehrbuch des Pflanzenbaues. Band 2: Kulturpflanzen“. Bonn: AgroConcept, 457 - 488.

HENSELING, C., BEHRENDT, S., GEGNER, K., WILLEM, Z. (2021): Auswertung der Fokusgruppe „Drohnen Daten für einen teilflächenspezifischen Pflanzenschutz“, Agro-Nordwest.

HUNNIUS, W. (1978): Zur Bekämpfung des Kartoffeldurchwuchses. Der Kartoffelbau 39, 4/1978, 144 - 145.

- KATEMANN, Y., BERNHARDT, H. (2020): Potenziale der mechanischen Durchwuchskartoffelbekämpfung. Kartoffelbau 71, 9 und 10/2020, 8 - 12.
- KLINGENHAGEN, G. (2022): Unkrautbekämpfung im Mais. In: Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) „Ratgeber Pflanzenbau und Pflanzenschutz“. Rheinbreitbach: Medienhaus Plump, 368 - 375.
- FRÖBA, N. (2018): Maschinenkosten der Außenwirtschaft. In: KTBL (Hrsg.) „Faustzahlen für die Landwirtschaft“ Frankfurt: Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH Co. KG, 138 – 161.
- KTBL (2021): Drohnen in der Landwirtschaft. Übersicht und Potenzial. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL).
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (2015): Gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz. <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/pflanzenschutz/pdf/fachliche-praxis-pdf.pdf>, Zugriff am 06.06.2022
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (2021): Technik: Mit Drohnen auf dem Weg zum optimalen Pflanzenbau.
- LANGNER, H-R. (2003): Teilflächenspezifische Ausbringung von Fungiziden und Herbiziden. 58 LANDTECHNIK 6/2003, 384 - 385.
- LEES, A., HILTON, A. (2003): Black dot (*Colletotrichum coccodes*): an increasingly important disease of potato. Plant Pathology 52, 3 - 12.
- LFL (2022): Ausgewählte Herbizide zur Unkraut- und Ungrasbekämpfung in Mais 2022. Freising: Eigenveröffentlichung.
- LOTTE, P., KHANA, R., PFEIFER, J., SIEGWART, R., STACHNIS, C. (2017): UAV-based crop and weed classification for smart farming.
- LOUARGANT, M., VILLETTE, S., JONES, G., VIGNEAU, N., PAOLI, J.N., GÉE, C. (2017): Weed detection by UAV: simulation of the impact of spectral mixing in multispectral images. Precision Agric 18, 932 - 951.
- LUTMAN, W. (1977): Investigations into some aspects of the biology of potatoes as weeds. Weed Research 17, 123 - 132.
- MAES, W., STEPPE, K. (2018): Perspectives for Remote Sensing with Unmanned Aerial Vehicles in Precision Agriculture. DOI: 10.1016/j.tplants.2018.11.007.

- MEYER, A. (2020): Mit Feldhygiene Durchwuchskartoffeln vermeiden. Kartoffelbau 71, 8/2020, 13 - 17.
- MÜCKE, M. (2020): Darauf müssen Sie beim Hacken und Striegeln von Mais achten. agrarheute 4, 4/2020, 37 - 41.
- NAHRSTEDT, K. (2022): Zoom-Meeting am 08.04.2022 zum Thema „Drohneinsatz in der Praxis“. Osnabrück.
- NITSCH, A. (2020): Praxishandbuch Kartoffelbau. Clenze: Erling Verlag.
- NOACK, P. (2019): Precision Farming Smart Farming Digital Farming. Grundlagen und Anwendungsfehler. Berlin: Wichmann Verlag.
- OLFERT, K (2012): Kompendium der praktischen Betriebswirtschaft: Investition. 12.Aufl., Herne: NWB
- PETERS, R. (2016): Durchwuchskartoffeln vermeiden. Kartoffelbau 67, 4/2016, 16 - 20.
- PETERS, R. (2019): Durchwuchskartoffeln – Vermeidung muss der erste Schritt sein. Kartoffelbau 70, 8/2019, 12 - 16.
- PFLANZ, M., NORDMEYER, H. (2016): Automated weed detection in the field – possibilities and limits.
- PUTZ, B. (2011): Kartoffeln. In: Lütke Entrup, N., Schäfer, B. (Hrsg.) „Lehrbuch des Pflanzenbaues. Band 2: Kulturpflanzen“. Bonn: AgroConcept, 541 - 575.
- RADTKE, W., RIECKMANN, W., BRENDLER, F. (2000): Kartoffel - Krankheiten, Schädlinge, Unkräuter. Gelsenkirchen-Buer: Verlag Th. Mann.
- SCHMIDT SOLUTION (2022): Zum Stand der Drohnentechnik für die landwirtschaftliche Nutzung. Telefonat vom 07.06.2022, Anröchte.
- SCHÖNBERGER, H. (2022): Empfehlungen zum Pflanzenschutz im Frühjahr 2022. Schackenthal: Eigenveröffentlichung im Rahmen der organisierten Beratungsringe durch die N. U. Agrar.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2022): Pressemitteilung Nr. 245 vom 14.06.2022. Wiesbaden.
https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/06/PD22_245_611.html#:~:text=WIESBADEN%20%E2%80%93%20Die%20Inflationsrate%20in%20Deutschland,bei%20%2B7%2C9%20%25.
 (Zugriff am 16.06.22)
- STEINGRÖVER, P. (2012): Bekämpfung von Durchwuchskartoffeln. Kartoffelbau 63, 4/2012, 13 - 16.
- STEINGRÖVER, P. (2013): Bekämpfung von Durchwuchskartoffeln. Kartoffelbau 64, 8/2013, 8 - 11.

STEINGRÖVER, P. (2017): Der Kartoffeldurchwuchs gefährdet nachhaltig die Kartoffelstandorte. Kartoffelbau 68, 4/2017, 8 - 12.

USUKI, K., HIROTA, T., IWATA, Y. (2008): Effect of soil freezing and snow cover on volunteer potato occurrence - relations to climate change. Vortrag im Rahmen der Tagung „The international conference on sustainable agriculture for food, energy and industry 2008“ vom 2.-6. Juli 2008, Sapporo (Japan).

WOLLWEBER, D. (2022): So kontrollieren sie Unkräuter in Mais. Topagrar 51, 4/2022, 86 - 92.

Anhang

Protokoll 1

Sitzung der Projektgruppe Reduktion von PSM unter Einbeziehung von Drohnentechnik im Mais
(Projekt anwendungsorientierte Problemlösungen 4. Semester LW)

Termin: 08.04.2022

Ort: Zoom

Zeitraum: 10:00 - 10:45 Uhr

Teilnehmende: Hagen Schulze, Konstantin Nahrstedt, Carina Breckling

Entschuldigt: Christian Langner

Protokoll: Carina Breckling

TOP 1 Vorstellung

Kurze Vorstellung der Beteiligten, Projektvorstellung der Projektgruppe durch Hagen Schulze.
Konstantin Nahrstedt erklärt seinen Bezug durch die Universität Osnabrück zu dem Projekt.

TOP 2 Präsentation des Projektes

Präsentation von Konstantin Nahrstedt über den Drohnenflug im letzten Jahr:

- Flugplanung (Höhe & räumliche Auflösung zur Erkennung) → Kamerasystem abhängig
- Einzelbilder werden aufgenommen, es werden Matching Points erstellt
- durch RTK passen Drohnenbilder und Applikationskarte auf der Spritze überein
- es werden mehrere Referenzflächen ausgelegt (0,25 m²)
- Wirtschaftlichkeit: im Silomais waren 4,25 ha Kartoffeln/ Restverunkrautung 3,3 ha (Flächengröße)

TOP 3 Verschiedenes

Sonstige Fragen wurden abgehandelt.

- je kleiner Pflanzen sind, desto tiefer muss geflogen werden
- 48 Beprobungsflächen sind normalerweise ausreichend für den Lernalgorithmus
- in wie weit die Drohne andere Unkräuter erkennt, hängt von den spektralen Eigenschaften ab
- Dauer des Drohnenfluges meistens 30-45 min, ist abhängig von der Flughöhe und der Flächengröße
- die Drohne kann bei Wind bis 25 km/h noch fliegen, es sollte kein Regen fallen → optimale Bedingungen für Drohnenflug sind gleichbleibende Witterungsverhältnisse
- beim Drohnenflug muss auf gesetzliche Bestimmungen, Flughöhe, Distanzen, Bundesstraßen und noch einige andere Regeln geachtet werden

Nächste Sitzung: 13.04.2022

Unterschrift:

Protokoll

Sitzungsleitung

Protokoll 2

Sitzung der Projektgruppe Reduktion von PSM unter Einbeziehung von Drohnentechnik im Mais
(Projekt anwendungsorientierte Problemlösungen 4. Semester LW)

Termin: 08.06.2022

Ort: HH - Gebäude

Zeitraum: 11:30 - 12:00 Uhr

Teilnehmende: Hagen Schulze, Christian Langner, Carina Breckling, Prof. Dr. Guido Recke

Entschuldigt: -

Protokoll: Carina Breckling

TOP 1 Vorstellung der Ergebnisse

Christian hat die Kostenvergleichsrechnung, Investitionsrechnung, Szenarioanalyse und Sensitivitätsanalyse vorgestellt. Herr Recke hatte einige Rück- und Verständnisfragen. Es sollte noch klar werden, woher einige Werte der Tabelle kommen (Bsp.: PSM - Preise)

Im Großen und Ganzen zufrieden mit den Berechnungen der Gruppe.

TOP 2 Präsentation des Projektes

- Die Tabellen sollen als Ergebnisteil der Projektarbeit vorgestellt werden
- Müssen nicht in die PowerPoint mit eingearbeitet werden, es wird dann in Excel gewechselt

TOP 3 Verschiedenes

- Die Tabellen sollen an Herrn Recke gesendet werden

Nächste Sitzung: 14.06.2022

Unterschrift:

Protokoll

Sitzungsleitung

Eidesstattliche Erklärung:

Wir erklären hiermit an Eides statt, dass wir die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt haben; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Ort, Datum

Unterschrift