

## Ökonomische Bewertung zum Spot-Spraying durch Drohnentechnik

Tobias Jorissen <sup>1</sup>, Silke Becker<sup>1</sup>, Konstantin Nahrstedt<sup>2</sup>, Maren Pöttker <sup>2</sup>, Guido Recke<sup>1</sup> und Thomas Jarmer<sup>2</sup>

**Abstract:** Mittels hochaufgelöster drohnenbasierter Bilddaten können Durchwuchskartoffeln in Maisbeständen erkannt und räumlich verortet werden. Eine Überführung dieser Verortung in eine maschinenlesbare Applikationskarte ermöglicht durch Einsatz von Spot-Spraying mit einer Feldspritze eine bedarfsorientierte Applikation von Pflanzenschutzmitteln (PSM). Zur ökonomischen Bewertung wurden Kalkulationen auf Basis von praxisnahen Feldversuchen und Experteninterviews durchgeführt. In Abhängigkeit der Flächenauslastung der Drohne, der gewählten Pflanzenschutzstrategie und möglichen PSM-Einsparpotentialen von 50-80 % reichen die Mehrkosten des Spot-Spraying-Verfahrens von -32 € ha<sup>-1</sup> bis 60 € ha<sup>-1</sup>. Ein Haupteinflussfaktor für die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens sind die Kosten des einzusparenden PSM.

**Keywords:** Spot-Spraying, Drohnentechnik, Pflanzenschutz, Ökonomie, Durchwuchskartoffeln

### 1 Einleitung

Mit dem Green Deal soll der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) bis 2030 um 50 % reduziert werden, was die Landwirtschaft vor eine schwierige ökonomische Aufgabe stellt. [Mi21]. Eine Möglichkeit der Reduktion ist der Einsatz der Spot-Spraying-Technik. Hierbei wird nicht die gesamte Anbaufläche, sondern nur der mit Beikräutern dominierte Bereich mit PSM behandelt. Ein Anwendungsfall ist die Behandlung von Durchwuchskartoffeln im Mais. Durch Ernteverluste und zunehmend milde Winter sind Durchwuchskartoffeln ein Problem und aus phytosanitären Gründen zu vermeiden. Vor dem Reihenschluss im Mais können durch Drohnenüberflüge Durchwuchskartoffeln detektiert, Applikationskarten erstellt und Spot-Spraying-Maßnahmen durchgeführt werden. Unter Einsatz von Bildauswert-Algorithmen werden Nutzpflanze und Beikraut in Drohnenbilddaten räumlich erfasst. Anschließend erfolgt die Spritzung spotspezifisch in Abhängigkeit vom Standort der Kartoffeln. Zur Bewertung der Machbarkeit und frühen

---

<sup>1</sup> Hochschule Osnabrück, Fachgebiet Landwirtschaftliche Betriebswirtschaftslehre, Am Krümpel 31,49090

Osnabrück, t.jorissen@hs-osnabrueck.de,  <https://orcid.org/0000-0001-8290-6284>; s.becker.1@hs-osnabrueck.de; g.recke@hs-osnabrueck.de

<sup>2</sup> Universität Osnabrück, Arbeitsgruppe Fernerkundung und Digitale Bildverarbeitung, Wachsbleiche 27,

49090 Osnabrück, konstantin.nahrstedt@uni-osnabrueck.de; maren.poettker@uni-osnabrueck.de,  <https://orcid.org/0000-0002-0711-732X>; thomas.jarmer@uni-osnabrueck.de

Erkennung möglicher sensitiver Parameter sind ökonomische Begleitforschungen wegweisend.

## 2 Material und Methoden

Die ökonomische Bewertung von Spot-Spraying durch Drohnentechnik erfolgt auf Basis von Praxisversuchen in den Jahren 2021 und 2022, die im Rahmen des Forschungsprojektes Experimentierfeld Agro-Nordwest, in Kooperation mit zwei landwirtschaftlichen Betrieben in Nordwestdeutschland und dem Landtechnikunternehmen Amazone durchgeführt wurden. Zur Bewertung der Umsetzbarkeit erfolgte die Befliegung von zwei Versuchsflächen mit einer DJI Phantom Multispectral mit RTK Mobile Station. In einer Flughöhe von 25 m wurden Bilddaten mit einer Auflösung von 1,2 cm aufgezeichnet und anschließend zu einem Orthophoto mosaikiert. Zur Differenzierung der Bestandsstruktur zwischen Mais und Durchwuchskartoffel wurde ein Bildklassifikationsalgorithmus implementiert und trainiert [Ch21]. Das resultierende Klassifikationsergebnis wurde anschließend in eine maschinenlesbare Applikationskarte übersetzt und auf das Terminal eines Fendt 724 Vario mit einer Amazone Anbaufruchtenspritze UF 2002 überführt [AM22; BLS22]. Auf Basis des in der Applikationskarte ablesbaren Standortes der Durchwuchskartoffeln erfolgte anschließend die spotspezifische Spritzung.

Neben den Praxisversuchen stützen sich die ökonomischen Analysen auf Daten von Experteninterviews aus der Landwirtschaft sowie der Drohnen- und Landtechnik [AM22; BLS22; SS22]. Dies sind im Wesentlichen Kostendaten zur Spot-Spraying- und Drohnentechnik. Kalkuliert wurden ein 200-ha und ein 500-ha-Marktfruchtbetrieb mit jeweils einem Anteil von 20 % Mais in der Fruchtfolge (Tab. 1). Die Anzahl an Überfahrten beim Pflanzenschutz und die PSM-Kosten sind pauschalisiert aus Web-Anwendungen zur landwirtschaftlichen Deckungsbeitragsrechnung [LFL22]. Die pauschalisierten PSM-Kosten zwischen 100-300 € ha<sup>-1</sup> der drei Ackerfrüchte sind Bestandteil für die Berücksichtigung der Einsparung von PSM-Kosten durch Teilbreitenschaltung, die durch die Spot-Spraying-Technik ebenfalls möglich ist, und in die ökonomische Analyse mit einfließt.

Ackerfrüchte	Anteile Fruchtfolge	Anzahl Überfahrten	PSM-Kosten
Getreide / Raps	60 %	5	150 € ha <sup>-1</sup>
Kartoffeln	20 %	8	300 € ha <sup>-1</sup>
Mais	20 %	2	100 € ha <sup>-1</sup>

Tab. 1: Modellierter Fruchtfolge und PSM-Aufwand [BLS]

Für den 500-ha-Betrieb ist ein leistungsstärkerer Traktor angenommen als für den 200-ha-Betrieb. Beim 200-ha-Betrieb wurde eine angehängte Pflanzenschutzspritze mit einer Arbeitsbreite von 24 m kalkuliert, beim 500-ha-Betrieb eine gezogene Pflanzenschutzspritze mit einer Arbeitsbreite von 30 m [AM22; BLS22]. Durch die

notwendige Aufrüstung für Spot-Spraying ist eine Teilbreitenabschaltung und PSM-Einsparung möglich [BLS22]. Beim 200-ha-Betrieb werden kleinere Flächendimensionen unterstellt als beim 500-ha-Betrieb (Tab. 2).

Parameter	Betrieb 1	Betrieb 2
Betriebsfläche (ha)	200	500
Traktorleistung (kW)	102	132
Applikationstechnik (Firma Amazone)	UF 2002	UX 6200
Mitteinsparung durch Teilbreitenabschaltung	4,5 %	3,8 %

Tab. 2: Parameter der zwei Modellbetriebe bei der Feldtechnik [BLS]

Die Investitionskosten in Drohnentechnik beinhalteten den Aufwand für Drohne, Kamera und RTK-Basisstation (Tab. 3) [GF22]. Im Vergleich zur Instandhaltungsquote für landwirtschaftliche Technik ist für Drohnentechnik mit 10 % ein vergleichsweise hoher Wert angenommen worden. Dieser beinhaltet vor allem den Aufwand bei der Anschaffung von Ersatzakkus. Die angenommene Flächenleistung von 8 ha h<sup>-1</sup> und eine maximal mögliche Flugzeit von 5 h d<sup>-1</sup> ergeben sich für die eingesetzte Drohne aus den Erfahrungen der zwei Versuchsjahre.

Parameter	Wert
Investitionskosten Drohnentechnik (€)	11.000
Instandhaltungskosten (% Investitionskosten)	10
Lohnkosten (€ h <sup>-1</sup> )	30
Kosten Transportfahrzeug für Drohne (€ ha <sup>-1</sup> )	2
Vor- und Nachbereitung Drohneneinsatz (€ ha <sup>-1</sup> )	5
Flächenleistung (ha h <sup>-1</sup> )	8
Maximal mögliche Flugzeit (h d <sup>-1</sup> )	5

Tab. 3: Parameter beim Drohneneinsatz

Bei den Analysen wird ein PSM-Maßnahmenplitting angenommen [KI22]. Die Bekämpfung von Durchwuchskartoffeln mittels Spot-Spraying-Technik erfolgt bei der 2. Überfahrt. Analysiert werden eine hochpreisige Variante 1 und eine niedrigpreisige Variante 2 (Tab. 4) [VS22]. Kalkuliert werden die zwei PSM-Varianten für eine betriebsübliche Bewirtschaftung sowie den Einsatz mit Drohnen- und Spotspraying-Technik.

Variante (Überfahrt)	PSM	Kosten in € ha <sup>-1</sup>
1 (1.)	Elumis und Spectrum Gold	41,65
1 (2.)	Callisto, Onyx und Effigo	78,32
2 (1.)	Gardo Gold, Temsa, Primero und Peak	41,33
2 (2.)	Temsa	9,69

Tab. 4: Varianten bei der Bekämpfung von Durchwuchskartoffeln [BLS]

Die Kostenvergleichsrechnung erfolgt auf Basis der approximativen Durchschnittskosten. Kalkuliert werden Abschreibungskosten, Zinskosten auf das durchschnittlich gebundene Kapital, Lohnkosten, Instandhaltungskosten und Betriebsmittelkosten. Anschließend werden die Mehrkosten der Spot-Spraying-Variante gegenüber der betriebsüblichen Variante kalkuliert, jeweils für die PSM-Variante 1 und 2.

### 3 Ergebnisse

Im Kontext der drohnenbasierten Differenzierung von Mais und Durchwuchskartoffeln wurden in den Praxisversuchen versuchsübergreifend Klassifikationsgenauigkeiten von mindestens 88 % erzielt. Aus der hieraus generierten Applikationskarte ergaben sich in den Feldversuchen Einsparpotentiale für das PSM von 50-80 %. Zur Befliegung der Maisflächen beim 200-ha-Betrieb wird ein Flugtag benötigt, beim 500-ha-Betrieb 2,5 Flugtage. In Abhängigkeit vom Modellbetrieb, der angenommenen Traktorleistungen und Pflanzenschutztechniken schwanken die PSM-Applikationskosten zwischen 28,26 € ha<sup>-1</sup> und 35,44 € ha<sup>-1</sup> (Tab. 5).

Parameter	Betrieb 1	Betrieb 2
Kosten Drohneneinsatz (€ ha <sup>-1</sup> )	64,19	29,13
PSM Applikationskosten betriebsübliche Variante (€ ha <sup>-1</sup> )	32,34	28,26
PSM Applikationskosten Spot-Spraying Variante (€ ha <sup>-1</sup> )	35,44	31,02
PSM-Einsparung durch Teilbreitenschaltung (€ ha <sup>-1</sup> )	7,62	6,46

Tab. 5 Ausgewählte Parameter der Kostenvergleichsrechnung

Die Mehrkosten für die Ausstattung in Spot-Spraying-Technik betragen für den 200-ha-Betrieb 3,10 € ha<sup>-1</sup> und für den 500-ha-Betrieb 2,76 € ha<sup>-1</sup>. Durch Mitteleinsparungen aufgrund von Teilbreitenschaltung können die Mehrkosten auf -4,52 € ha<sup>-1</sup> für den 200-ha-Betrieb und auf -3,70 € ha<sup>-1</sup> für 500-ha-Betrieb gesenkt werden. Die Kosten für den Drohneneinsatz (inkl. Vor- und Nachbereitung) betragen für den 200-ha-Betrieb 69,19 € ha<sup>-1</sup>, für den 500-ha-Betrieb 34,13 € ha<sup>-1</sup>. Einen wesentlichen Anteil an den Kosten für den Drohneneinsatz haben Abschreibungen, Zinsansatz und Instandhaltung, die beim 200-ha-Betrieb bei 87 % und beim 500-ha-Betrieb bei 74 % liegen. In Abhängigkeit der Betriebsgröße, des gewählten PSM und der nicht zu behandelten Spot-Spraying-Fläche ( $\approx$  Durchwuchsrate der Kartoffeln) schwanken die Mehrkosten für den drohnenbasierten Pflanzenschutz zwischen -48 € ha<sup>-1</sup> und 65 € ha<sup>-1</sup> (Abb. 1). Einen wesentlichen Effekt auf die Mehrkosten der Spot-Spraying-Varianten hat die Wahl der PSM-Variante und die Betriebsgröße. Bei der hochpreisigen PSM-Variante 1 beträgt in Abhängigkeit von der nicht zu behandelnden Spot-Spraying-Fläche der Break-Even-Point beim 200-ha-Betrieb 83 % und beim 500-ha-Betrieb 39 %. Bei der niedrigpreisigen PSM-Variante 2 wird unabhängig vom Modellbetriebs kein Break-Even-Point erreicht. Bei der PSM-Variante 1 sind beim 200-ha-Betrieb die Kosten der Pflanzenschutzbekämpfung mittels Spot-

Spraying um 34 € ha<sup>-1</sup> höher als beim 500-ha-Betrieb. Bei der PSM-Variante 2 beträgt der Kostenunterschied 38 € ha<sup>-1</sup>.

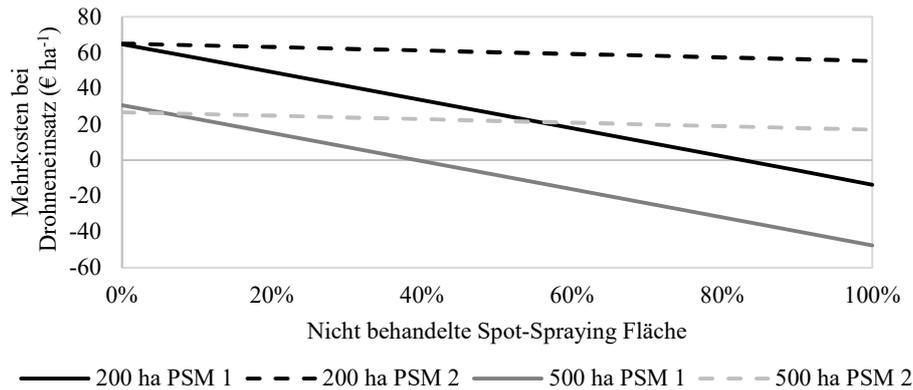


Abb. 1: Mehrkosten beim Pflanzenschutzinsatz unterstützt durch Drohnentechnik

#### 4 Diskussion

Ein Großteil der Kosten der PSM-Applikation durch Spot-Spraying sind auf die Kapital- und Betriebskosten der Drohne zurückzuführen. Hierbei wirken Betriebsgröße und Flächenauslastung kostensenkend. Ferner kann sich der Investitionsaufwand für die Anschaffung einer Drohne durch den zusätzlichen Einsatz in alternativen Anwendungsgebieten abseits der spotorientierten Spritzung schneller amortisieren. Eine noch höhere Auslastung ist gegeben, wenn ein externer Drohnen dienstleister überbetrieblich arbeitet. Die Auslastung der Drohne ist allerdings durch potentielle Flugtage begrenzt. Im kalkulierten Beispiel mit Maßnahmensplitting erfolgte die Durchwuchskartoffelbekämpfung bei der 2. Pflanzenschutzmaßnahme. Drohneneinsatz und anschließende 2. PSM-Applikation sollten nicht direkt nach der 1. PSM-Applikation erfolgen, aber vor dem Reihenschluss des Mais. Hierbei sind ein gutes Flächenmanagement und eine geeignete Wetterlage entscheidend. Weiterhin könnte der technische Fortschritt kostensenkend wirken. Zum einen ist für das gleiche Drohnenprodukt eine Kostenreduktion in den nächsten Jahren zu erwarten, zum anderen wird die Flächenleistung der Drohnentechnik durch effizientere Kamerasysteme und Akkuleistungen steigen. Eine Kostenersparnis lässt sich unter Berücksichtigung der Datenskalierbarkeit im Zuge dessen auch durch eine gesteigerte Flughöhe mit bestehenden Kamerasystemen erreichen. Durch eine verbesserte Algorithmik in der Beikrautdetektion sollte es weiterhin möglich sein, auch bei einer gesteigerten Flughöhe gleichbleibende Klassifikationsergebnisse zu erzielen. Bei den zwei Modellbetrieben ist der Drohneneinsatz nur bei hochpreisigen PSM wirtschaftlich. In dem Zusammenhang ist die Durchwuchsrate der Kartoffeln und infolgedessen die nicht zu behandelnde Spot-Spraying-Fläche ein notwendiges Kriterium. Der Break-Even-Point in Abhängigkeit der

nicht zu behandelnden Spot-Spraying-Fläche hin zu einer Wirtschaftlichkeit des Drohneneinsatzes ist bei hohen Flächenleistungen der Drohne niedriger und bei niedrigen Flächenleistungen höher. In weiteren Analysen sind mögliche Ertragseffekte auf den Mais zu quantifizieren, die einen wesentlichen Effekt haben dürften.

**Förderhinweis und Danksagung:** Das Projekt Agro-Nordwest wird durch Mittel des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft und des Projektträgers Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung gefördert. Ein besonderer Dank geht an die Studierenden Carina Breckling, Christian-Alexander Langner und Hagen Henning Schulze für die wichtigen ökonomischen Vorarbeiten. Ein weiterer Dank geht an die Landwirte Michael Seelmeyer und Stephan Künne sowie Gregor Bensmann von den AMAZONEN-Werke für ihre großartige Unterstützung bei den Praxisversuchen.

#### Literaturverzeichnis

- [AM22] AMAZONEN-WERKE H. DREYER SE & Co. KG: Anleitung zum absetzigen Spot-Spraying mit Hilfe von Applikationskarten. Interview mit Gregor Bensmann, Produktmanager Smart Farming/Elektronik, Stand: 23.03.2022.
- [BLS22] Breckling, C. M.; Langner, C.-A.; Schulze, H. H.: Reduktion von Pflanzenschutzmitteln unter Einbeziehung von Drohnentechnik im Mais. Projektbericht. Hochschule Osnabrück, 2022.
- [Ch21] Christensen, S. et al.: Sensing for Weed Detection. In (Kerry, R. und Escolà, A., Hrsg.): Sensing Approaches for Precision Agriculture. Springer Cham, S. 275-300, 2021.
- [GF22] GF, Globe Flight GmbH, [www.globeflight.de](http://www.globeflight.de), Stand: 20.10.2022.
- [KI22] Klingenhagen, G.: Unkrautbekämpfung im Mais. In (Landwirtschaftskammer Nordrhein Westfalen, Hrsg.): Ratgeber Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Rheinbreitbach, S. 368-375, 2022.
- [LFL22] LFL, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, [www.stmelf.bayern.de](http://www.stmelf.bayern.de), Stand: 16.06.2022.
- [Mi21] Michel, J.: Neue Studien: Green Deal trifft Ackerbauern härter als Tierhalter. [agrarheute.com](http://agrarheute.com), Stand: 14.10.2021.
- [SS22] Schmid Solution: Zum Stand der Drohnentechnik für die landwirtschaftliche Nutzung. Interview mit Jan Schmidt, Stand: 07.06.2022.
- [VS22] Vereinigte Saatzuchten eG: Pflanzenschutzpreisliste 2022. Excel-Tabelle, Stand 01.04.2022