

ÜBER FLIEGER

DROHNEN Betriebswirtschaftliche Bewertung der Pflanzenschutzmittel- Applikation mittels Spritzdrohne.



Foto: Thomas Frey

Text und Abbildungen: Matthias Porten und Freimut Stephan, DLR Mosel

In den letzten Jahren wurde die Entwicklung von Drohnen im militärischen wie auch im zivilen Bereich enorm vorangetrieben. Um dieser Entwicklung Rechnung zu tragen, werden im Moment weltweit die luftfahrtrechtlichen Rahmenbedingungen geschaffen, um diese Technik im zivilen Bereich nutzbar zu machen.

Die meisten Drohnen auf dem Markt sind speziell für Luftbildaufnahmen mit konventionellen Kameras ausgelegt. Mittlerweile ist es auch teilweise schon möglich mit Hilfe von Multispektralkameras oder auch »Infrarot Kameras« den Zustand der Vegetation auf Feldern oder Weinbergen zu beurteilen. Hierzu gibt es viele Forschungsprojekte wodurch die Sensortechnik deutlich verbessert und vorangetrieben wurde. Somit dürften diese Systeme in Zukunft marktfähig werden.

Das DLR Mosel in Bernkastel-Kues beschäftigt sich schon seit dem Jahr 2011 mit der Drohnentechnik, um diese zukünftig gewinnbringend in der Landwirtschaft und

in unserem Fall im Weinbau einsetzen zu können.

Im Steillagenweinbau ist der Pflanzenschutz ein wichtiges Thema. Bodengeräte und auch Großhubschrauber führen diesen in der Regel durch. Bedingt durch Umweltauflagen ist die Anwendung des Großhubschraubers in den letzten Jahren immer stärker in die Kritik geraten. Dies führt dazu, dass Alternativen gesucht werden um den Pflanzenschutz auch in Gebieten sicherzustellen, in denen keine Bodengeräte, wie etwa das RMS oder ein Schmalspurtraktor, eingesetzt werden können. Spritzdrohnen sind hier eine Alternative.

Nach unseren Recherchen und Erfahrungen hat sich herausgestellt, dass Spritzdrohnen des chinesischen Herstellers »DJI« hinsichtlich der Spritzmittelapplikation am weitesten entwickelt sind. Mit diesen Geräten sind vollautomatische Spritzflüge in Steillagen möglich. Die technische Einsatzfähigkeit dieser Systeme wurde bewiesen. Der Hersteller »DJI« verkauft diese Drohnen mittlerweile in fünfstelligen Stückzahlen.

Da die betriebswirtschaftliche Einsatzfähigkeit solcher Systeme für den Winzer entscheidend ist, werden im folgenden Bericht exemplarisch die Spritzdrohnen des Herstellers »DJI« verwendet, um sich den »Besonderheiten einer betriebswirtschaftlichen Beurteilung von Spritzdrohnen« zu nähern. Die Firma DJI hat in den letzten fünf Jahren jedes Jahr eine neue weiterentwickelte Spritzdrohne auf den Markt gebracht (Tabellen 1 und 2). Die einzelnen Modelle der Drohnenserie DJI Agras (MG-1; MG1-S; MG1-P) sind optisch und von den Ausmaßen fast identisch. Die Drohne T20 ist fast baugleich mit der Drohne T16, wobei der Spritztank von 16 Litern (T16) auf 20 Liter (T20) vergrößert wurde.

Gegenüber den Vorgängermodellen wurden bei der Drohne T20 deutliche Verbesserungen hinsichtlich der Sensortechnik umgesetzt. Dies wird bei der Hinderniserkennung und -umfliegung sowie bei der verbesserten »Schwarmtechnik« ersichtlich.

Um den Stand der Technik zu erläutern und dabei nicht zu tief in den technischen

Bereich einzudringen, wird kurz auf die Fähigkeiten der neuesten »DJI« Spritzdrohne »T20« (Titelbild) eingegangen.

Die Drohne T20 hat einen Durchmesser von etwa 2,50 Metern, was das Starten und Landen auf den meisten Weinbergswegen noch erlaubt. Sie wird von sechs Elektromotoren und einem Akku angetrieben dessen Lebensdauer von 180 Ladezyklen (alte MG1-Serie) auf 400 Ladezyklen erhöht wurde. Bezüglich der Haltbarkeit der Flugbatterien sind zukünftig sicherlich noch Verbesserungen zu erwarten. Durch den Elektroantrieb ist das Gerät sehr leise.

Bei einem max. Abfluggewicht von 47,5 kg können 20 Liter Spritzmittel transportiert werden. Dies entspricht einer Verdoppelung der Nutzlast gegenüber den bisherigen Agras-Modellen. Das Gerät ist mit acht Spritzdüsen ausgestattet und es werden Injektordüsen der Größen 0,1 bis 0,2 verwendet. Die Spritzpumpenleistung beträgt maximal 6 Liter/Minute. Dies ist eine

deutliche Erhöhung gegenüber den älteren Agras-Modellen, welche lediglich 2,5 Liter/Minute ausbringen konnten. Die Erhöhung der Nutzlast, die Steigerung der Spritzpumpenleistung und die Fähigkeit der Drohnen im »Schwarm« fliegen zu können, wird eine deutliche Effizienzsteigerung des Applikationssystems bewirken. Dies wird sich auch in der arbeitswirtschaftlichen Leistungsfähigkeit darstellen.

Mit Hilfe des Autopiloten, der die Satellitensysteme GPS und Glonass zu Navigation nutzen kann, einem 360°-Radarsystem, einem redundanten Kompasssystem und einer zusätzlichen Kamera, die das Areal vor der Drohne im Auge hat, können vollautomatische Spritzflüge ohne das Eingreifen des Piloten durchgeführt werden. Ausbringungsmenge, Flugbahngenauigkeit, und Hinderniserkennung sowie eine konstante Fluggeschwindigkeit wie auch eine konstante Höhenhaltung über dem Bestand in einem Abstand von etwa einem Meter wer-

den durch den Einsatz der Sensortechnik der Drohne ermöglicht.

Sollte einem Anwender die Genauigkeit der Positionsreproduzierbarkeit von +/-2 Meter nicht genügen, so kann auch ein zentimetergenaues RTK-System verwendet werden. Die Drohne ist serienmäßig mit solch einem System ausgestattet. Benötigt werden lediglich eine SIM-Karte und die Anmeldung bei einem Datenanbieter, etwa »SAPOS« (Landesamt für Vermessung), damit die RTK-Funktion genutzt werden kann. Hier entstehen nur geringe Kosten, ähnlich denen eines Mobiltelefons.

BETRIEBS- UND ARBEITSWIRTSCHAFT

Die Besonderheiten des Spritzdrohnen-einsatz hinsichtlich der Betriebswirtschaft liegen wie so oft in der Beurteilung der fixen und variablen Kosten. Eine gesicherte Datenbasis hinsichtlich der Arbeitswirtschaft als Grundlage zu Kalkulation der Kosten lag bisher nicht vor.

Tab. 1: Gegenüberstellung der Entwicklungsschritte der Spritzdrohnenserie DJI Agras

Modellbezeichnung	Agras MG1	Agras MG1-S RTK (advanced)	Agras MG1-P	DJI T16	DJI T20
Einführungsjahr	2015 weltweit	2016 weltweit	2017 China; Japan; Korea; USA; Schweiz	2018 China	2019 China
Kaufpreis- 1xLadegerät; 2 x Akku	ca. 15.000 € in Europa	ca. 19.000 € in Europa	ca. 21.000€ in Europa	ca. 32.000 RMB = ca. 4.200 US\$-China	ca. 40.000 RMB = ca. 5.700 US\$-China
	Produktion eingestellt	RTK Version ca. 21.000€		ca. 23.200 € (Europa)	Kein Preis verfügbar
Verfügbarkeit in Europa	nicht mehr verfügbar	verfügbar	noch nicht verfügbar- Schweiz verfügbar	noch nicht verfügbar- Schweiz verfügbar	noch nicht verfügbar
Technische Daten					
Max. Abfluggewicht	23,8 kg	24,8 Kg	24,8 kg	42,0 kg	47,5 kg
Größe: Durchmesser	1,90 Meter	1,90 Meter	1,90 Meter	2,51 Meter	2,51 Meter
max. Spritzmittelmenge	10 Liter	10 Liter	10 Liter	16 Liter	20 Liter
Spritzdüsen	4x 110-01 o. 110-015	4x 110-01 o. 110-015	4x 110-01 o. 110-015	8x 110-01 o. 110-015	8x 110-01; 110-015; o. 110-020
Spritzpumpenleistung	1 Pumpe max. 2,4 l/min	2 Pumpen max. 2,5 l/min	2 Pumpen max. 2,5 l/min	4 Pumpen max. 4,8 l/min	4 Pumpen max. 6,0 l/min
Durchflussmesser	nein	ja	ja	ja; verbesserte Version	ja; verbesserte Version
Arbeitsbreite:Herstellerang.	4-6 Meter	4-6 Meter	4-6 Meter	bis 6,5 Meter	bis 7,0 Meter
Arbeitsbreite:gemessen DLR	ca. 2,5 Meter	ca. 2,5 Meter	N/A	N/A	N/A
GPS; Glonass; Kompass	GPS; Kompass	GPS; Glonass; Kompass; redundant	GPS; Glonass; Kompass; redundant	GPS; Glonass; Kompass; redundant	GPS; Glonass; Kompass; redundant
Terrain following radar	1	3	1	1x DBF imaging radar	1x DBF imaging radar 360 °
Hinderniserkennung	N/A	optional	ja	ja	ja
FPV Kamera	N/A	N/A	ja	ja	ja
RTK-Zentimeter genaue Pos.	N/A	optional	optional	ja	ja
3-D Flugplanung z.B Obstbau	nein	nein	nein	ja	ja; P4 RTK; P 4 Multispektral
Schwarmfähigkeit:	nein	nein	ja; max. 5 Fluggeräte	ja; max. 5 Fluggeräte	ja; max. 5 Fluggeräte

Tab. 2: Erweiterte technische Daten der Spritzdrohnenserie DJI Agras

Modellbezeichnung	Agras MG1	Agras MG1-S RTK	Agras MG1-P	DJI T16	DJI T20
Einführungsjahr	2015-weltweit	2016-weltweit	2017-China;Japan;Korea;USA	2018-China;2019-Schweiz	2019-China
Antriebsmotorenanzahl:	8	8	8	6	6
Antriebsbatterie: Lithiumpolymer	50,4 Volt 12 AH (12S)	50,4 Volt 12 AH (12S)	50,4 Volt 12 AH (12S)	58,8 Volt 17,5 AH (14S)	58,8 Volt 18,0 AH (14S)
max. Motorleistung	6400 Watt	6400 Watt	6400 Watt	5600 Watt	8300 Watt
Schwebeflug Leistung	3250 Watt	3800 Watt	3800 Watt	4600 Watt	6200 Watt
max. Schwebeflugzeit- max. Abfluggewicht	10 min.	10 min.	9 min.	ca. 10 min.	10 min.
Leistungsgewicht Schub/Gewicht	1,81	1,71	1,71	2,05	1,70
Haltbarkeit der Batterie:	180 Ladezyklen	180 Ladezyklen	180 Ladezyklen	400 Ladezyklen	400 Ladezyklen
Schwebegenauigkeit:	Keine Angaben	ohne RTK +/- 60 cm mit RTK +/- 10 cm	ohne RTK +/- 60 cm mit RTK +/- 10 cm	ohne RTK +/- 60 cm mit RTK +/- 10 cm	ohne RTK +/- 60 cm mit RTK +/- 10 cm
max. Arbeitsgeschwindigkeit:	8 m/s	7 m/s	7 m/s	7 m/s	7 m/s
max Reichweite:	1 km (CE)	1 km (CE)	3,0 km (CE)	3,0 km (CE)	3,0 km (CE)

Innerhalb von einigen Forschungsprojekten am DLR Mosel wurden arbeitswirtschaftliche Daten für den Modelltyp DJI Agras MG1-P erhoben. Daten zur Beurteilung der neuen Drohnen Typen (DJI T16, T20) wurden durch Extrapolierung ermittelt. Hier liegt zwar eine Schwäche hinsichtlich der Belastbarkeit dieser Werte vor, aber um zu ermitteln inwieweit diese Technik zukunfts-fähig sein wird, ist diese Herangehensweise zielführend. Durch die kleinteilige Betrachtung der Arbeitsschritte und Auswertung der bisherigen Flugdaten kann eine sehr verlässliche Abschätzung der wahrscheinlichen Einsatzzeiten für die einzelnen Arbeitsschritte durch diese Extrapolierung erfolgen. Dies liefert somit einen Eckwert für die betriebswirtschaftliche Beurteilung des Verfahrens auf der Basis des Modells T20.

Auch weitere Daten wie etwa die Kampagne Leistung (max. Hektarleistung für einen Spritzdurchgang aller zu behandelnden Rebflächen in einem 10-Tages-Spritzabstand), Personalkosten oder auch die Lebensdauer der Flugbatterien und die Kosten für deren Ladung werden zur Beurteilung der Betriebswirtschaft beim Einsatz der Spritzdrohnen herangezogen.

Die in der Untersuchung betrachteten Spritzdrohnen ab dem Bautyp Agras MG1-P sind in der Lage im »Schwarm« betrieben zu werden. Dies bedeutet, dass ein Pilot zeitgleich bis zu fünf Drohnen bedienen kann. Um uns dieser Einsatzform zu nähern, wird

der Einsatz der Drohnen mit reduziertem Personaleinsatz beim Modell T20 betrachtet.

FOLGENDE SZENARIEN WURDEN ANALYSIERT:

- » 1. Ein Pilot und ein Helfer bedienen eine Drohne im Einsatzgebiet
- » 2. Zwei Piloten und ein Helfer bedienen zwei Drohnen an einem Landeplatz im Einsatzgebiet (Durch die Vorgehensweise des Szenariums 2 kann die arbeitswirtschaftliche Leistungsfähigkeit erhöht, und die Personalkosten können reduziert werden)

Diese methodische Vorgehensweise soll lediglich die Möglichkeit der Kostenreduzierung der »Schwarmtechnologie« darstellen, und schöpft bei weitem nicht die Möglichkeiten aus, die durch diese Technik zur Verfügung stehen.

Nach Abschluss der Bewertungen aller Verfahren ist in der Tabelle 6 auch ein Vergleich der Kosten der unterschiedlichen Bautypen und Einsatzformen (Schwarmtechnologie) zu den bestehenden Systemen RMS und Großhubschrauber aufgelistet.

ARBEITSWIRTSCHAFTLICHE BEURTEILUNGSGRUNDLAGE

In der Weinbausaison 2019 wurden Zeitmessungen zur Bestimmung der arbeitswirtschaftlichen Leistungsfähigkeit der Drohne Agras MG1-P durchgeführt. Eine

repräsentative Weinbergsfläche von 0,75 ha wurde ausgewählt, die mit Wasser im vollautomatischen Flugmodus mit der Drohne gespritzt wurde. Die Arbeitszeitstudien wurden für die beiden im Einsatz befindlichen Personen (Pilot und Helfer) durchgeführt und erfasst.

Rüstzeiten, Flugzeiten wie auch Bodenzeiten (Standzeiten) zum Befüllen des Spritzmitteltanks und zum Austauschen der Flugbatterien wurden erfasst. Geflogen wurden mit 75 Liter Wasser pro Hektar bei maximaler Spritzpumpenleistung und maximaler Nutzlast der Drohne.

Die gemessenen Rüstzeiten beinhalten die benötigte Zeit zur Einrichtung des Start- und Landeplatzes, die Zeit für das Einmessen der Behandlungsfläche und die benötigte Zeit zur Programmierung der Bearbeitungsaufgabe der Drohne. Diese Werte sind stark abhängig von Beschaffenheit der Landemöglichkeiten sowie der Lage der Weinberge. In unserem Fall betrug diese Zeit 10 Minuten für die Gesamtfläche.

Um möglichst genaue Einsatzzeiten zu erhalten, wurden vier Wiederholungsflüge durchgeführt.

Die benötigte Arbeitszeit zur Behandlung der Versuchsfläche lag ohne Rüstzeiten bei etwa 40 Minuten und unter Einbeziehung der Rüstzeiten bei etwa 60 Minuten für die Gesamtarbeitszeit vor Ort (Tabelle 3)

Somit konnte eine Leistungsfähigkeit von 0,73 Hektar/Stunde unter Einbeziehung der Rüstzeiten festgestellt werden.

Tab. 3: Zeiterfassung Drohne - arbeitswirtschaftliche Leistungsfähigkeit

Fläche: Arena Bernkastel-Kues; Agras MG-1P; 75 l/ha Wasseraufwandmenge; vollautom. Flüge -1,9 m/s; Zuladung 10 Liter

Spritzung	Flug	Rüstz. Vor	Uhrzeit	Flugzeit	Bodenzeit	Ausgeb. Menge	Rüstz. Nach	Zeitbedarf o. Rüstz.	Zeitbedarf inkl. Rüstz.
Datum	Nummer	Minuten	Start	Minuten	Minuten	Liter	Minuten	Minuten	Minuten
Arena 0,75 ha	1	10,00	08:36	6,25	1,75	10,0		42,05	62,05
(1. Spr. 22.8.19)	2		08:44	5,30	2,70	10,0			
	3		08:52	5,65	1,35	10,0			
	4		08:59	5,40	2,60	10,0			
	5		09:07	5,80	2,20	10,0			
	6		09:15	3,05	0,00	3,5	10,00		
Arena 0,75 ha	1	10,00	11:18	5,95	2,05	10,0		40,40	60,40
(2. Spr.22.8.19)	2		11:26	5,50	1,50	10,0			
	3		11:33	5,40	2,55	10,0			
	4		11:41	5,40	1,60	10,0			
	5		11:48	5,55	1,45	10,0			
	6		11:55	3,45	0,00	4,5	10,00		
	Summe	10,00		31,25	9,15	54,5	10,00		
Arena 0,75 ha	1	10,00	08:02	5,80	2,20	10,0		41,40	61,40
(3. Spr. 26.8.19)	2		08:10	5,25	2,75	10,0			
	3		08:18	5,35	1,65	10,0			
	4		08:25	5,35	1,65	10,0			
	5		08:32	5,50	2,50	10,0			
	6		08:40	3,40	0,00	3,5	10,00		
	Summe	10,00		30,65	10,8	53,5	10,00		
Arena 0,75 ha	1	10,00	10:42	5,60	2,40	10,0		42,10	62,10
(4. Spr. 26.8.19)	2		10:50	5,10	2,90	10,0			
	3		10:58	5,40	1,60	10,0			
	4		11:05	5,35	1,65	10,0			
	5		11:12	5,50	2,50	10,0			
	6		11:20	4,10	0,00	5,9	10,00		
	Summe	10,00		31,05	11,05	55,9	10,00		

BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE BEURTEILUNGSGRUNDLAGE

In den Tabellen 4 und 5 sind die Kalkulationen zu den Drohnen MG1-P und T20 dargestellt.

Da die Flächenleistungsberechnung und die daraus resultierende Batterieverbrauchsberechnung eine große Variabilität beinhalten, stellen diese die wichtigste Grundlage für die Ermittlung der Gesamtkosten pro Hektar dar. Durch witterungsbedingte Einflüsse wie auch durch die Lage der Weinberge (windoffene Lage) können mögliche tägliche Einsatzzeiten sehr stark voneinander abweichen. Hier wurden die Erfahrungen aus den Drohnenversuchen der Firma Freimut Stephan Helikopter-Ser-

Flächenleistung in ha/h bei 75 l/ha

Arena BKS	1. Spr.	2. Spr.	3.Spr.	4.Spr.
Ohne Rüstzeiten	1,07	1,11	1,09	1,07
Inkl. Rüstzeiten	0,73	0,75	0,73	0,72
Durchschnitt ha/h ohne Rüstzeiten:				1,08
Durchschnitt ha/hinkl. Rüstzeiten:				0,73

vice in den Jahren 2017 und 2018 und die Erfahrungen der Einsatzzeiten des Großhubschraubers als kalkulatorische Grundlage verwendet. Auf dieser Basis konnte eine gesicherte Angabe zu den wahrscheinlichen Sitzzeiten, an denen durch die vorherrschende Wind- und Temperatursituation

ein Flug nicht erfolgen kann, ermittelt werden. Da das angewandte Berechnungsmodell am Beispiel der Drohne MG1-P (Tabelle 4) ähnlich zu den Berechnungen der Drohne T20 (Tabelle 6) ist, werden stellvertretend die Details der Berechnungsgrundlagen hinsichtlich der fixen und variablen Kosten

sowie die beeinflussenden technischen Gegebenheiten (Ladezyklen der Akkus usw.) am Beispiel DJI Agras MG1-P erläutert. Lediglich die Arbeitszeiten und zum Teil die Investitionen unterliegen anderen Werten und Kostenstrukturen, so dass eine Darstellung dieser Unterschiede auch hinsichtlich der evolutionären Entwicklung der Modelle von entscheidender Bedeutung ist.

Primär beeinflusst der tagsüber aufkommende Wind die möglichen Einsatzzeiten der Drohne. Bei Windgeschwindigkeiten über 2,5 Meter pro Sekunde ist der Einsatz

der Drohne nicht mehr zu empfehlen, da die Abdrift stärker wird. Fliegerisch stellt diese Windgeschwindigkeit für die Drohne kein Problem dar. Auch Niederschläge, Morgentau sowie die Lufttemperatur, welche unter 25 °C sein muss, beeinflussen die Einsatzzeiten pro Tag. Daher wurde mit 3,5 Arbeitsstunden am Vormittag (zwischen 6:00 und 10:00 Uhr) und mit 2,5 Arbeitsstunden am Abend (zwischen 19:00 und 22:00 Uhr) kalkuliert. Dies entspricht auch weitestgehend den Einsatzfenstern des Großhubschraubers. Eine andere Kalkulationsbasis mit

höheren Einsatzstunden pro Tag entbehrt jeder fachlichen sowie rechtlichen Grundlage. Bei einem durchschnittlichen Spritzabstand von 10 Tagen, wurde davon ausgegangen, dass an 6,5 Tagen geflogen werden kann, da an Feiertagen, Sonntagen oder Regentagen kein Spritzbetrieb möglich ist. In der Regel werden etwa sieben Spritzeinsätze pro Jahr geflogen. Dies ergibt bei einer Flächenleistung von 0,73 ha/Stunde eine Saisonleistung von 199,29 ha. Insgesamt ergibt sich daraus bei sieben Spritzeinsätzen eine Kampagne Leistung von 28,47 ha

Tab. 4: Betriebswirtschaftliche Kalkulation (eine Drohne)

beim Einsatz einer Spritzdrohne vom Typ DJI Agras MG1-P bei 75 l/ha Wasseraufwandmenge ohne Spritzmittelkosten

Fixkosten (AfA)	Anzahl	Kosten netto in €	Summe €	AfA Jahre	AfA / Jahr	Flächenleistung MG1-P	Applikationsstunden	Arbeitszeiten vor Ort
DJI MG1-P RTK	1	15328	15328	4	3832	(0,73 ha/h)	morgens	3,5
Anzahl Batterien	9	611	5496	1,02	5409		abends	2,5
Anzahl Ladegeräte	2	903	1807	4	452	Tagesleistung ha/Tag	4,38	
Stromaggregat	2	933	1865	10	187	Tage pro Spritzdurchgang	6,5	Hektarleistung/ Stunde
Mischaggregat	1	726	726	10	73	Spritzdurchgänge	7	0,73
Sicherheitsausrüstung der Anwender Warnschilder; Werkzeug usw.	2	1200	2400	4	600	Aufstiege/ ha	8	
			1000	10	100	Gesamtleistung ha	199,29	
Summe Fixkosten			28623		10652			
				AfA / ha	53	Kampagneleistung ha	28,47	
Fixkosten (einjährig)						Batterieverbrauchsberechnung		
Zinsen 4%			572			Ladezyklen pro Batterie (Lebensdauer)		180
Unterstellung; SIM-Karte; Telefon			1000			Anzahl Batterien	9	1620
Versicherung/Vollkasko/ BG			2733			Aufstiege Gesamt = notw. Ladezyklen		1594
Genehmigungsgebühren			283			Afa Batterien		1,02
Reparaturkosten MG1-S		0,04	613					
Leihgebühr Ersatzdrohne		0,2	3066					
Summe jährliche Fixkosten			8267	Fixko / ha	41			
Personalkosten	Anzahl Monate	Vollkosten/ Monat			Kosten/ha	Gesamtkosten pro ha in €		220
Steuerer	3	3600	10800			Unternehmerrisiko/Gewinn %	35	77
Einsatzhelfer (Batterien laden, Anmischen usw.)	3	2900	8700			Preis für die Applikation eines Hektars in €		297
Verwaltungsmitarbeiter	3	450	1350					
Summe Personalkosten			20850		105			
Variable Kosten	Anzahl pro Kampagne	Verbrauch in Liter	Preis/l in €	Summe/€	Kosten/ha	Hektar-Kosten von RMS oder Hubschrauber für den Pflanzenschutz (Marktpreise)		
Treibstoff Aggregat in Liter	7	50	1,50	525		RMS	Nettobetrag €	220-250
Miete Transportfahrzeug				3000		Hubschrauber	Nettobetrag €	130-180
Treibstoff Transportfahrzeug in Liter	Tage 45,5; km/Tag 100; Summe km 4550							
		10	1,20	546				
Summe variable Kosten				4071	20			

für die Drohne MG1-P. Um den Batterieverbrauch für die vorgegebenen 199,29 ha zu ermitteln, wurden dann acht Aufstiege pro Hektar bei einer Nutzlast der Drohne von 10 Litern und einer Wasseraufwandmenge von 75 l/ha angenommen.

Laut Herstellerangaben haben die Flugbatterien eine Lebensdauer von 180 Ladezyklen. Da die Batterie nach jedem Flug ausgetauscht und dann wieder geladen wird, verbraucht man neun Flugbatterien in der Saison um die etwa 200 ha zu behandeln. Diese Kosten wurden in die Fixkosten (AfA)

mit einbezogen, da sie als Grundinvestition anzusehen sind und somit keinen variablen Charakter haben.

In der Spalte Fixkosten (AfA) wurden die Investitionskosten die auf einen möglichen Anwender zukommen ermittelt (siehe auch Akkus). Hier wurde die notwendige Grundausstattung mit den dazugehörigen Abschreibungen entsprechend der angenommenen Nutzungsdauer der Komponenten ermittelt. In der Summe ergab sich daraus ein Investitionsvolumen von 28.623 Euro was zu einer jährlichen Abschreibung von

10.652 Euro führt. Dies entspricht einer AfA von 53 Euro pro Hektar.

In den Fixkosten (einjährig) sind anfallende Kosten für Zinsen, Unterstellung, Versicherungen usw. berücksichtigt worden. Da beim Einsatz der Drohnen auf eine Ersatzmaschine, die im Falle des Ausfalls der »Spritzdrohne im Einsatz«, nicht verzichtet werden kann, wurden 20 Prozent des Anschaffungspreises der Drohne als Leihgebühr für diese Ersatzdrohne vorgesehen. Dies erscheint möglicherweise für manche Betrachter als nicht notwendig, jedoch hat

Tab. 5: Betriebswirtschaftliche Kalkulation (zwei Drohnen)

Fixkosten (AfA)	Anzahl	Kosten netto in €	Summe €	AfA Jahre	AfA / Jahr	Flächenleistung T20		Applikationsstunden	Arbeitszeiten vor Ort
DJI T 20	2	19000	38000	4	9500	(2,6 ha/h)	morgens	3,5	zwischen 6-10 Uhr
Anzahl Batterien	7	1082	7574	1,05	7200		abends	2,5	zwischen 19-22 Uhr
Anzahl Ladegeräte	4	1173	4692	4	1173	(2,6 ha/h)		15,6	
Stromaggregat	2	933	1865	10	187	Tage pro Spritzdurchgang		6,5	Hektarleistung/ Stunde
Mischaggregat	2	726	1453	10	145	Spritzdurchgänge		7	2,6
Sicherheitsausrüstung der Anwender	3	1200	3600	4	900	Aufstiege/ ha		3,75	
Warnschilder; Werkzeug usw.			1000	10	100	Gesamtleistung ha		709,8	
Summe Fixkosten			58184		19205				
				AfA / ha	27	Kampagneleistung ha		101,4	
Fixkosten (einjährig)						Batterieverbrauchsberechnung			
Zinsen 4%			1164			Ladezyklen pro Batterie (Lebensdauer)			400
Unterstellung; SIM-Karte; Telefon			1500			Anzahl Batterien	7		2800
Versicherung/Vollkasko/ BG			5000			Aufstiege Gesamt = notw. Ladezyklen			2662
Genehmigungsgebühren			283			Afa Batterien			1,05
Reparaturkosten MG1-S		0,04	1520						
Leihgebühr Ersatzdrohne		0,2	3800						
Summe jährliche Fixkosten			13267	Fixko / ha	19				
Personalkosten	Anzahl Monate	Vollkosten/ Monat			Kosten/ha	Gesamtkosten pro ha in €			97
Steuerer	6	3600	21600			Unternehmerrisiko/Gewinn %	35		34
Einsatzhelfer (Batterien laden, Anmischen usw.)	3	2900	8700			Preis für die Applikation eines Hektars in €			
Verwaltungsmitarbeiter	3	450	1350						131
Summe Personalkosten			31650		45				
Variable Kosten	Anzahl pro Kampagne	Verbrauch in Liter	Preis/l in €	Summe/€	Kosten/ha	Hektar-Kosten von RMS oder Hubschrauber für den Pflanzenschutz (Marktpreise)			
Treibstoff Aggregat in Liter	7	100	1,50	1050		RMS	Nettobetrag €		220-250
Miete Transportfahrzeug				3000		Hubschrauber	Nettobetrag €		130-180
Treibstoff Transportfahrzeug in Liter	Tage 46; km/Tag 100; Summe km 4550								
		10	1,20	546					
Summe variable Kosten				4596	6				

die Erfahrung im Dauerpraxisversuch in den Jahren 2017 und 2018 gezeigt, dass ein Ersatzgerät unumgänglich ist, um zu gewährleisten, dass die Spritztermine termingerecht eingehalten werden können. In diesem Bereich gibt es auch aus planerischer und fliegerischer Sicht keine abweichende Sichtweise, da die Gewährleistung einer Behandlung im Sinne eines ordnungsgemäßen Pflanzenschutzes sichergestellt werden muss.

Somit betragen die jährlichen zusätzlichen Fixkosten die über die reine Investition hinausgehen, im Gesamten 8.267 Euro oder 41 Euro pro Hektar.

Um Spritzdrohneneinsätze sicher durchzuführen werden in einer Saison (im Zeitraum 1.5. bis 31.7.) zwei Personen benötigt. (Einsatzpersonal für 3 Monate) Einer der Mitarbeiter bedient das Drohnensystem, der andere Mitarbeiter lädt die Flugbatterien, befüllt die Drohne sowie das Mischaggregat mit Pflanzenschutzmittel und sichert Landeplatz und Luftraum ab.

Um verwaltungstechnische Arbeiten zu erledigen (Genehmigungen, Spritzanmeldungen; Einsatzorganisation usw.) wurde eine Teilzeitkraft auf der Basis einer sogenannten 450-Euro-Arbeitskraft vorgesehen.

Damit belaufen sich die Personalkosten auf 20.850 Euro in der Saison. Dies stellt mit 105 Euro pro Hektar den größten Kostenanteil beim Einsatz von Drohnen dar. Die Personalbeschaffung für eine saisonale Beschäftigung wird voraussichtlich im Hinblick auf den Einsatz von mehreren Maschinen eine Herausforderung darstellen. In diesem Zusammenhang wird die »Schwarmtechnik« möglicherweise eine Erleichterung bringen.

In den variablen Kosten wurde die Kosten eines Transportfahrzeugs, die Kosten für Treibstoff zum Betreiben des Stromaggregates, des Mischaggregates und des KFZs berücksichtigt.

Die variablen Kosten für eine Saison betragen in der Summe 4.071 Euro. Somit ergaben sich für diese Position Kosten in Höhe von 20 Euro pro Hektar.

In der Summe wurden auf Grundlage der Berechnungen Gesamtkosten von 220 Euro pro Hektar für den Einsatz des Drohne MG1-P ermittelt.

Wird ein Zuschlag von 35 Prozent berücksichtigt, um das unternehmerischen Risiko

Tab. 6: Kostenvergleich; RMS; Hubschrauber, Drohnen

Anwendungsverfahren	RMS	Hubschrauber	1x Drohne MG1-P	1x Drohne T20	2x Drohne T20
Investitionssumme; Netto €	ca. 220.000	xxx	28.623	30.733	58.184
Kampagneleistung/ha/ Spritzdurchgang	20-25	300-350	28,47	58,50	101,40
Kosten/ha/Spritzdurchgang; Netto €	220-250	130-180	297	148	131

abzudecken und einen Unternehmensgewinn zu realisieren, dann ergeben sich Gesamtkosten von 297 Euro pro Hektar für die Spritzmittelapplikation mittels Drohne auf der Basis des Bautyps MG1-P. Kosten für die Pflanzenschutzmittel sind in dieser Abhandlung nicht berücksichtigt.

Durch die Berechnungen in der Tabelle 6 konnte, wie bereits angesprochen, die Kosten für die weiteren moderneren Bautypen auch im Einsatz mit der Schwarmtechnik kalkuliert werden, so dass ein Kostenvergleich der unterschiedlichen Systeme in der Tabelle 6 erfolgen konnte. Daher werden in der Tabelle 6 Investitionssummen, arbeitswirtschaftliche Leistungsfähigkeit und Gesamtkosten pro Hektar für die Pflanzenschutzmittelapplikation gegenübergestellt.

Dabei muss angemerkt werden, dass das RMS mit Wasseraufwandmengen von größer 200 Liter/Hektar arbeitet. Beim Einsatz des Großhubschraubers werden in der Regel entsprechend der gesetzlichen Vorschrift mindestens 150 Liter/Hektar Wasseraufwandmenge appliziert.

Diese vorgestellten Drohnenuntersuchungen basieren auf einer Wasseraufwandmenge von 75 Liter/Hektar. Dies entspricht der Zielsetzung für den Einsatz dieser Technik im Pflanzenschutz. Die Tabelle 6 zeigt, dass das neue Modell (T 20) unter Einbeziehung der »Schwarmtechnik«, bei der mit zwei gleichzeitig oder zeitversetzt eingesetzten Maschinen gearbeitet wird, betriebswirtschaftliche Vorteile gegenüber den anderen Systemen hat oder ebenbürtig sein kann.

Bedingt durch die unterschiedlichen Wasseraufwandmengen der Systeme sind die Kosten nicht direkt vergleichbar. Jedoch sind für den Winzer die Kosten eines gesicherten Pflanzenschutzes pro Hektar und nicht die Wasseraufwandmengen maßgeblich.

Untersuchungen bezüglich der biologischen Wirksamkeit bei Wasseraufwandmengen von 75 Liter pro Hektar wie auch die schon seit Jahrzehnten durchgeführten Hubschrauberspritzungen in Luxemburg mit 75 Liter pro Hektar Wasseraufwandmenge zeigen auf, dass dies ein gangbarer Weg ist um die Kosten für den Pflanzenschutz im deutschen Steillagenweinbau zu senken.

FAZIT

Diese Untersuchung hat gezeigt, dass die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit von Drohnen im Pflanzenschutz durchaus mit der Hubschrauberapplikation mithalten kann. Die Kampagnenleistung, die beim Großhubschrauber erreicht wird, ist durch Drohnen im Moment allerdings noch nicht zu erzielen. Diese fehlende Kampagnenleistung kann aber durch die Etablierung von einer höheren Anzahl von Drohnen kompensiert werden, wobei somit immer noch der wirtschaftliche Status Quo gegenüber dem Hubschrauber durch die Etablierung der modernsten Technik (DJI T20) erreicht werden kann. Insgesamt müssen auch in Deutschland die behördlichen Verfahren beschleunigt werden, damit die Zulassungsprozesse den schnellen Innovationszyklen in der Geräteentwicklung folgen können.

ZUKUNFTSAUSBLICK

Bedingt durch den rasend schnellen Fortschritt in diesem Technikbereich sind sicherlich noch bahnbrechende Innovationen zu erwarten. Hier sind im Besonderen die Batterietechnik oder auch die »Schwarmtechnik« auf dem besten Weg. Es ist zu hoffen, dass wir durch den Einsatz neuester Techniken unseren Steillagenweinbau erhalten und am Markt sicher positionieren können. ◀