



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

Schlussbericht

für das

Teilprojekt 2

Autonomer UAV Flug im Gewächshaus

des Verbundprojekts

UAV-basiertes Monitoringsystem für Spinnmilben im Unterglasanbau –

MiteSens

Gefördert im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung des
Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft
Innovationen für einen Gartenbau 4.0



MiteSens Team beim Kick-Off 2020

Zuwendungsempfänger:

Multikopter.de

Förderkennzeichen:

2818514B18

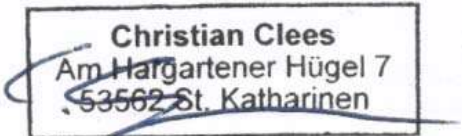
Vorhabenbezeichnung:

UAV-basiertes Monitoringsystem für Spinnmilben im
Unterglasanbau – *MiteSens*

TP1: Bilderfassung und Projektkoordination

Laufzeit des Vorhabens:

01.02.2020 – 31.12.2023



Christian Clees
Am Hargartener Hügel 7
53562 St. Katharinen

Christian Clees

I Kurzbericht

Aufgabenstellung

Ziel des Verbundprojekts war die Entwicklung eines UAS (unmanned aerial system) -basierten Monitoringsystems für Spinnmilben bei Erdbeeren und Gurken im Unterglasanbau (*MiteSens*). Die Spinnmilbenerkennung basierte auf spektraler Bildgebung und Bildbearbeitung mittels machine learning. Zur UAV (unmanned aerial vehicle) -basierten Bilderfassung wurde eine autonome dynamische Flugsteuerung entwickelt. Die Flugsteuerung wurde mit einer 3D Verortung realisiert, die auch die Georeferenzierung der Bilddaten und somit eine räumliche Zuordnung eines detektierten Spinnmilbenbefalls erlaubt. Ein angepasstes Datenmanagement ermöglichte die Verarbeitung der Daten in Echtzeit sowie die 2D-Darstellung des Spinnmilbenbefalls.

Im Rahmen der Projekterweiterung vertical farming wurde die Spinnmilbenerfassung weiterentwickelt und die Spinnmilbenausbreitung in vertikalen Beständen untersucht. Zur UAV basierten Bilderfassung wurde eine Miniaturisierung des UAV sowie eine entsprechende Anpassung und Weiterentwicklung der Systemkomponenten durchgeführt.

Die Firma Multikopter war im Rahmen der Projektbearbeitung für die Projektkoordination sowie für die Bilderfassung zuständig. Dabei fand eine enge Zusammenarbeit aller Projektpartner und insbesondere mit der Hochschule Hohenheim, Hochschule Karlsruhe und Wolution (Bildauswertung) sowie dem LTZ (Gewächshausversuche) statt.

Ablauf des Vorhabens

Die Projektkoordination hatte das Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim inne. Die Bearbeitung wurde in drei Teilprojekte (UP) untergliedert. In Anlehnung an die drei Säulen von MiteSens, umfasste UP1 den autonomen UAV Flug im Gewächshaus. UP2 befasste sich mit der bildbasierten Spinnmilbenerkennung. UP3 adressierte das Datenmanagement. Neben der Universität Hohenheim waren die Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau Heidelberg (Gewächshausversuche), das landwirtschaftliche Technologiezentrum Augustenberg (Gewächshausversuche, Spinnmilbenzucht), die Hochschule Karlsruhe (UAV Flugsteuerung und Verortung), Wolution GmbH & Co KG (Bildauswertung), Multikopter.de (UAV Entwicklung) und das Ingenieurbüro Bauer (Datenmanagement) beteiligt. Die entsprechenden Arbeiten wurden in 8 Arbeitspakete (AP) unterteilt, wobei die Universität Hohenheim für AP1 (Projektkoordination), AP5 (Bilderfassung) und AP8 (Systemintegration) verantwortlich war.

Bei der Projekterweiterung vertical farming war das Ingenieurbüro Bauer nicht beteiligt. Die Universität Hohenheim verantwortete dabei die Ergänzungs-Arbeitspakete (EAP) 1 (vertikale Spinnmilbenausbreitung) und EAP2 (zeitreihenbasierte Spinnmilbendetektion).

Wesentliche Ergebnisse

Die Firma Multikopter hat die ihr übertragenen Arbeitspakete erfolgreich und planmäßig abgeschlossen. Im Rahmen von Arbeitspaket 1 wurden durch regelmäßige Projekttreffen eine enge Zusammenarbeit mit den Partnern sichergestellt und die Projektziele effizient verfolgt. Bei der Bearbeitung von Arbeitspaket 3 wurden zwei innovative flugfähige Prototypen entwickelt, die unterschiedliche Anforderungen adressierten. Prototyp 1 erfüllte die Spezifikationen hinsichtlich maximaler Nutzlast (5 kg) und Flugdauer (15 Minuten). Prototyp 2 stellte mit einem Durchmesser von nur 50 cm eine kompakte Lösung dar und bot eine Nutzlast von 1,5 kg bei einer Flugdauer von 10 Minuten."

Der MiteSens Projektverbund konnte insgesamt die gesetzten Forschungs- und Entwicklungsziele erreichen. Es ist allerdings anzumerken, dass eine UAV basierte spektrale Bildaufnahmen mittels UAV nicht möglich war. Dies lag an dem Gewicht der Hyperspektralkamera sowie auch an der relativ langen Verschlusszeit für die Bildaufnahme. Eine Realisation der UAV basierten Bildaufnahme ist jedoch grundsätzlich möglich, wenn die Bildaufnahme optimiert und dabei nur wenige effektive Wellenlängen mit spezifischen (und wesentlich leichteren) Sensoren zielgerichtet eingesetzt werden. Hier ist allerdings anzumerken, dass der Erkennung von Spinnmilbenbefall unter praktischen Bedingungen im Gewächshaus noch Grenzen (Licht-Schallten-Gegensätze, Temperaturunterschiede, etc.) gesetzt sind.

II Eingehende Darstellung

Inhalt

1. Durchgeführte Arbeiten, insbesondere im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabensbeschreibung	2
1.1 Gesamtzielsetzung und Projekterweiterung „vertical farming“	2
1.2 Arbeitsplanung im MiteSens Verbund	2
1.3 Arbeitsumfang der Firma Multikopter	4
1.4 Eingehende Darstellung der Arbeiten und Ergebnisse (Firma Multikopter)	4
2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	8
3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	8
4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Ergebnisse	9
5. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	10
6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse	10

1. Durchgeführte Arbeiten, insbesondere im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabensbeschreibung

1.1 Gesamtzielsetzung und Projekterweiterung „vertical farming“

Das Gesamtziel des Verbundprojekts war die Entwicklung eines UAS (unmanned aerial system) -basierten Monitoringsystems für Spinnmilben bei Erdbeeren und Gurken im Unterglasanbau (MiteSens). MiteSens sollte in der Lage sein, sowohl den frühen Befall von Pflanzenblättern mit Spinnmilben zu detektieren, als auch entsprechende Bekämpfungsmaßnahmen mit Prädatoren und/oder integrierbaren Pflanzenschutzmitteln (Akariziden) zu überwachen und deren Erfolg zu bewerten. Zur Realisation des Projektziels war der Einsatz von spektraler Bildsensorik und eine Bildauswertung hinsichtlich Spinnmilbenbefall-Bestimmung mit Künstlicher Intelligenz (KI, machine learning) geplant. Für den praktischen Einsatz war die Integration der Bildsensorik auf einem UAS vorgesehen, das autonom fliegt und mittels kontinuierlicher Standorterfassung die Bildinformationen georeferenzieren und somit räumlich dem Pflanzenbestand zuordnen kann.

Gegen Ende des Verbundprojekts wurde beim Projektträger ein Erweiterungsantrag gestellt und genehmigt. Der Erweiterungsantrag hatte eine inhaltliche Konzentration der MiteSens-Arbeiten auf **vertical farming** zum Ziel, wobei als entsprechende zusätzliche Fragestellungen i) die Ausbreitung und optische Bestimmung von Spinnmilben in zwei hydroponischen Systemen untersucht sowie ii) eine UAS Miniaturisierung und Modifikation für 3D Monitoring in begrenzten Flugräumen adressiert wurde.

1.2 Arbeitsplanung im MiteSens Verbund

Die Firma Multikopter arbeitete im MiteSens Verbundprojekt mit der Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau in Heidelberg (LVG), dem Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), der Hochschule Karlsruhe, der Wolution GmbH & Co KG (Wolution), mit der Hochschule Hohenheim und dem Ingenieurbüro Bauer (IB) zusammen. Bei der Projekterweiterung hatte IB nicht mitgewirkt, da der 3D-Ansatz zur Ergebnisdarstellung in der vertical farming Erweiterung mit der zuvor erarbeiteten 2D-Darstellung des Spinnmilbenbefalls nicht kombiniert werden konnte.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die im MiteSens Projekt definierten Teilprojekte (UP), die ausgewiesenen Arbeitspakete (AP) sowie über die entsprechend verantwortlichen (Leitung) und/oder durchführenden (Mitwirkung) Projektpartner.

Tabelle 2 zeigt die zeitliche Planung der Bearbeitung aller ursprünglich definierten AP sowie die Zeitplanung und Einordnung der im Rahmen der Projekterweiterung vertical farming definierten Erweiterungs-Arbeitspakete (EAP).

Tabelle 1: Teilprojekte (UP), Arbeitspakete (AP), leitende und mitwirkende Partner

Teilprojekt	Arbeitspaket	Leitung Arbeitspaket	Mitwirkung
	AP1 Projektkoordination	Universität Hohenheim	alle
UP1 Autonomer UAV Flug im Gewächshaus	AP2 Dynamische UAS Steuerung und 3D Georeferenzierung	Hochschule Karlsruhe	Multikopter
	AP3 UAV Entwicklung	Multikopter	Hochschule Karlsruhe LVG
UP2 Bildbasierte Spinnmilben- erkennung	AP 4 Gewächshausversuche	LVG	LTZ, IB Universität Hohenheim Wolution
	AP5 Bilderfassung	Universität Hohenheim	alle
	AP6 Bildauswertung	Wolution	Hochschule Karlsruhe LTZ, LVG Universität Hohenheim
UP3 Datenmanagement	AP7 Datenmanagement	IB	Multikopter Hochschule Karlsruhe
	AP8 Systemintegration	Universität Hohenheim	alle

Für die MiteSens Erweiterung vertical farming wurden 5 Ergänzungs-Arbeitspakete (EAP) definiert:

EAP 1: Dynamik der Spinnmilbenausbreitung in hydroponischen Systemen (NFT, Aponix). Beteiligte Projektpartner: Universität Hohenheim (EAP-Leitung), LVG Heidelberg, LTZ Augustenberg, Wolution GmbH & Co. KG

EAP 2 Zeitreihenbasierte optische Spinnmilbendetektion. Beteiligte Projektpartner: Wolution GmbH & Co. KG (EAP-Leitung), Universität Hohenheim, LVG Heidelberg, LTZ Augustenberg

EAP 3 UAS Miniaturisierung. Entwicklung eines Mini-UAV für begrenzte Räume. Beteiligte Projektpartner: Multikopter (EAP-Leitung), Hochschule Karlsruhe

EAP 4 UAS Modifikationen und FC Miniaturisierung. Beteiligte Projektpartner: Hochschule Karlsruhe (EAP-Leitung), Multikopter

EAP 5. 3D Pflanzenverortung. Beteiligte Projektpartner: Hochschule Karlsruhe (EAP-Leitung), Wolution GmbH & Co. KG, LVG Heidelberg

Tabelle 2: Zeitplan für die MitSens Bearbeitung. Die Ergänzungs-Arbeitspakete (EAP) im Rahmen der vertical farming Erweiterung sind blau dargestellt.

UP	AP		2020												2021												2022												2023											
			2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	1	Projektkoordination	[Grey]																																															
		Koordination/Leitung	[Grey]																																															
Autonomer UAV Flug im Gewächshaus (UP1)	2	Dynamische UAS Steuerung	[Grey]																																															
		UAV Entwicklung	[Grey]																																															
	3	UAV Entwicklung	[Grey]																																															
		Flug-, Funktionstests	[Grey]																																															
Bildbasierte Spinnmilben-erkennung (UP2)	4	Gewächshaus- versuche	[Grey]																																															
		Validierung	[Grey]																																															
	5	Bilderfassung	[Grey]																																															
		Bildaufnahmen (statisch, mobil)	[Grey]																																															
		Flugsimulation	[Grey]																																															
	6	Bildauswertung	[Grey]																																															
		Bild- und Zeitreihenanalyse	[Grey]																																															
		Befallsmuster - Maschine learning	[Grey]																																															
Daten- management (UP3)	7	Datenmanagement	[Grey]																																															
		Datenbank	[Grey]																																															
		Ground control, Datenauswertung	[Grey]																																															
	8	Systemintegration	[Grey]																																															
		Integration der Teilentwicklungen	[Grey]																																															
		Kontinuierliche Verbesserung	[Grey]																																															

Das Verbundprojekt startete am 01. Februar 2020 und endete nach Bearbeitung der Erweiterung vertical farming am 31. Dezember 2023.

1.3 Arbeitsumfang der Firma Multikopter

Im Rahmen des MiteSens-Verbundprojekts war die Firma Multikopter federführend bei der Entwicklung von AP3 (UAV) und EAP 3. Zudem war sie maßgeblich an AP2 (Bilderfassung), AP7 (Systemintegration) sowie EAP 4 beteiligt. In enger Zusammenarbeit mit der Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau Heidelberg (LVG), dem Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), der Hochschule Karlsruhe, der Wolution GmbH & Co KG, der Hochschule Hohenheim sowie dem Ingenieurbüro Bauer (IB)

1.4 Eingehende Darstellung der Arbeiten und Ergebnisse (Multikopter)

Im Folgenden werden die von der Firma Multikopter durchgeführten Arbeiten vorgestellt und mit der ursprünglichen Arbeits- und Zeitplanung verglichen.

Ziel von **AP 2 Dynamische UAS Steuerung und 3D Georeferenzierung** war die Entwicklung einer individuellen Flugsteuerung und integrierung verschiedener Sensoren.

Die Firma Multikopter hat hier eng mit der Hochschule Karlsruhe zusammengearbeitet, um die benötigten Anschlüsse / Kommunikationsschnittstellen und die Auswahl Sensoren zu definieren.

Ziel von **AP 3 UAV Entwicklung** war die Entwicklung eines flugfertigen Multikopters.

Die Firma Multikopter hat hier einen flugfertigen Prototyp entwickelt.



Das entwickelte Drohnenmodell erfüllte die vorher definierten Spezifikationen. Mit einer Nutzlast von bis zu 5 kg bei einer Flugdauer von 15 Minuten und einem kompakten Design. Der innovative Propellerschutz aus einem eigens entwickelten 3D-Druckmaterial gewährleistet eine hohe Robustheit bei minimalem Gewicht. Die modulare Bauweise ermöglicht eine flexible Anpassung an verschiedene Einsatzszenarien und die Integration einer Vielzahl von Sensoren. Durch die erfolgreiche Bewältigung von Herausforderungen wie der Minimierung des Energieverbrauchs und der Optimierung der Aerodynamik konnte ein System geschaffen werden, das sowohl für Forschungszwecke als auch für kommerzielle Anwendungen geeignet ist.

Hierbei wurde die bei AP2 entwickelte Flugsteuerung von der Hochschule mit dem Multikopter kombiniert.

Arbeitsschwerpunkte von **AP 4 Gewächshausversuche** sind Arbeiten im Gewächshaus der LVG Heidelberg, die auch die AP-Leitung innehat. Hauptziele des AP sind die Untersuchung von Spinnmilbenbefall (Dynamik, optische Erkennung) und die Bereitstellung von Trainingsbildern zur Erarbeitung von Algorithmen zur

Befallserkennung mittels einfacher Indices und KI-basierter Bildauswertung (AP 5), aber auch z.B. die Erprobung des autonomen UAV Flugs.

Die Firma Multikopter war bei der Erprobung des ersten Prototypen beim UAV Flug in Heidelberg beteiligt und übergab diesen dort an die Hochschule Karlsruhe.

Gegenstand von **AP 5** ist die **Bilderfassung** zur optischen Detektion des Spinnmilbenbefalls auf Blättern. Dabei werden sowohl ortsfeste, als auch mobile Bildaufnahmen untersucht und ihre Realisation in der Praxis adressiert. Die Universität Hohenheim hat die AP Leitung inne und ist für die Bearbeitung verantwortlich.

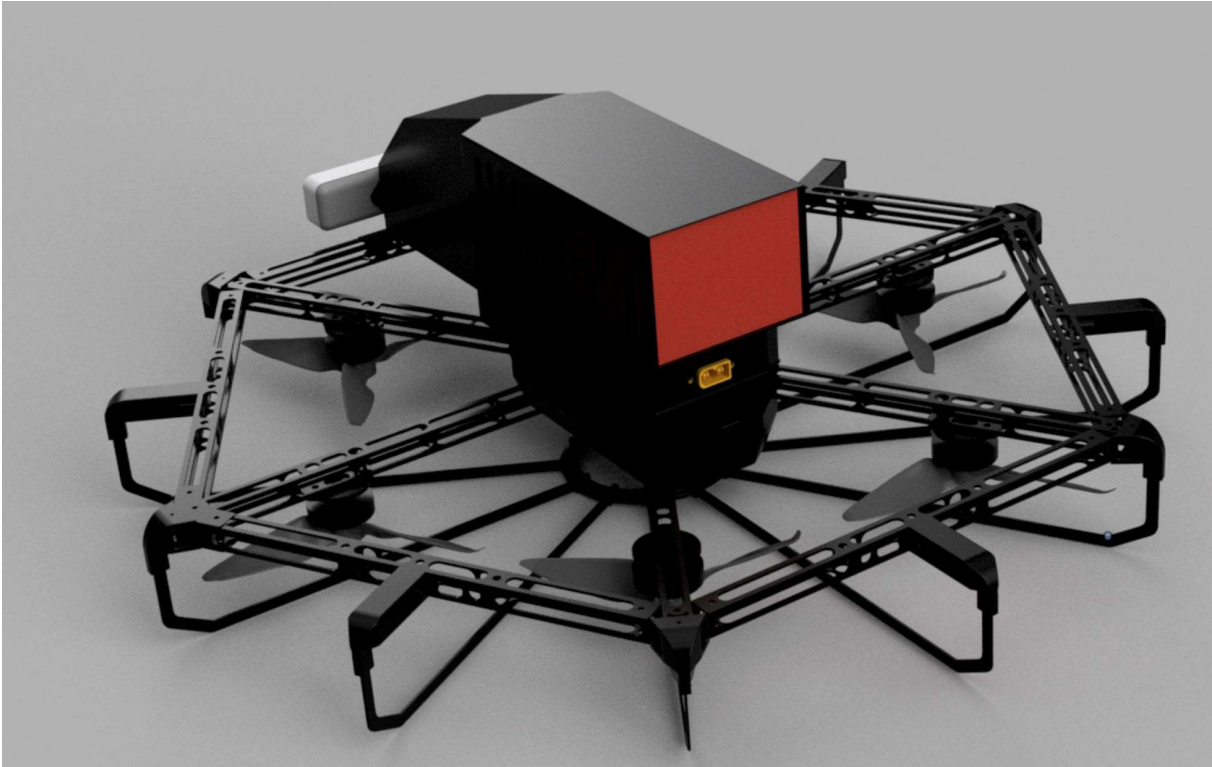
Die Firma Multikopter war hier an Tests des optischen Sensors an dem Multikopter beteiligt.

Ziel von **AP 8 Systemintegration** ist die Zusammenführung aller Teilentwicklungen zu einem Gesamtsystem und dessen kontinuierliche Verbesserung.

Die Firma Multikopter hat hier primär mit der Hochschule Karlsruhe zusammengearbeitet, um die entwickelte Flugsteuerung mit unserem Multikopter zu kombinieren.

Im **EAP3** wurde UAS-Miniaturisierung. Entwicklung eines Mini-UAV für begrenzte Räume untersucht.

Die Firma Multikopter hat hier eine kompakte Drohne entwickelt die einen Durchmesser von nur 50cm hat, 1,5kg Nutzlast transportieren kann und eine Flugzeit von 10min bot.





Das **EAP4** hatte UAS-Modifikationen und FC Miniaturisierung zum Ziel.

Die Firma Multikopter hat hier mit der Hochschule Karlsruhe zusammengearbeitet, um entsprechende Sensoren und Flugsteuerung zu verkleinern.

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Personalkosten der Firma Multikopter betragen insgesamt 243.814,68€

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Gesamtziel des Verbundprojekts war die Entwicklung eines UAV (unmanned aerial vehicle) -basierten Monitoringsystems für Spinnmilben bei Erdbeeren, Gurken und Rosen im Unterglasanbau (*MiteSens*). *MiteSens* sollte in der Lage sein, sowohl den frühen Befall von Pflanzenblättern mit Spinnmilben zu detektieren, als auch entsprechende Bekämpfungsmaßnahmen mit Prädatoren und/oder integrierbaren Pflanzenschutzmitteln (Akariziden) zu überwachen und deren Erfolg zu bewerten.

Der MiteSens Projektverbund konnte insgesamt die gesetzten Forschungs- und Entwicklungsziele erreichen. Es ist allerdings anzumerken, dass eine UAV basierte spektrale Bildaufnahmen mittels UAV nicht möglich war. Dies lag an dem Gewicht der Hyperspektralkamera sowie auch an der relativ langen Verschlusszeit für die Bildaufnahme. Eine Realisation der UAV basierten Bildaufnahme ist jedoch grundsätzlich möglich, wenn die Bildaufnahme optimiert und dabei nur wenige effektive Wellenlängen mit spezifischen (und wesentlich leichteren) Sensoren

zielgerichtet eingesetzt werden. Hier ist allerdings anzumerken, dass der Erkennung von Spinnmilbenbefall unter praktischen Bedingungen im Gewächshaus noch Grenzen (Licht-Schallten-Gegensätze, Temperaturunterschiede, etc.) gesetzt sind.

4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Ergebnisse

Beide von Multikopter entwickelten Prototypen haben das Potenzial zur Serienreife gezeigt und wurden entsprechend weiterentwickelt. Der erste Prototyp bildet heute die Grundlage für unser erfolgreiches Produkt MK-U25, das von renommierten Institutionen wie dem DLR, verschiedenen Hochschulen und der Bundeswehr als flexible Sensorplattform eingesetzt wird.



Der zweite Prototyp durchläuft derzeit eine Weiterentwicklung, die ihn speziell für den Einsatz in Innenräumen optimiert. Seine kompakten Abmessungen und sein modularer Aufbau machen ihn zur idealen Plattform für eine Vielzahl von Indoor-Anwendungen. Diese Ausrichtung eröffnet Multikopter neue Geschäftsfelder und erweitert das bisherige Portfolio um indoor-spezifische Lösungen.

5. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es sind während der Durchführung des Vorhabens bei anderen Stellen keine Fortschritte bekannt geworden, welche die Ziele des Verbundvorhabens adressieren.

6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Sind von der Firma Multikopter nicht geplant.