



Endbericht zum Forschungsvorhaben Nr. A/24/01

Einsatz von vollautomatischen Drohnen in Salat zur frühzeitigen Erkennung und Validierung von Schädlingen und Krankheiten sowie die Erfassung von Wachstumsparametern mit dem Ziel einer Ertragsprognose in Salat

Einsatz von vollautomatischen Drohnen in Salat im Gewächshaus

Projektlaufzeit: 01.03.2024 bis 31.12.2024

Endbericht zum Forschungsvorhaben A/24/01

Einsatz von vollautomatischen Drohnen in Salat zur frühzeitigen Erkennung und Validierung von Schädlingen und Krankheiten sowie die Erfassung von Wachstumsparametern mit dem Ziel einer Ertragsprognose in Salat

Einsatz von vollautomatischen Drohnen in Salat im Gewächshaus

Projektlaufzeit: 01.03.2024 bis 31.12.2024

Projektleiter: Stefan Kirchner

Projektbearbeiter: Martin Schulz



Gefördert durch

Bayerisches Staatsministerium für
Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus



Veitshöchheim, März 2025

Zuwendungsempfänger:

Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau
Institut für Erwerbs- und Freizeitgartenbau (IEF)
An der Steige 15, 97209 Veitshöchheim
www.lwg.bayern.de, poststelle@lwg.bayern.de

Inhalt

1	Zusammenfassung	5
2	Einleitung	6
2.1	Problemstellung	6
2.2	Ziele	7
2.3	Hydroponischer Anbau von Salat	8
2.3.1	Technische Voraussetzungen und Implementierung der Drohnen am Standort	8
2.3.2	Das Deep-Water-Culture System - DWC	12
3	Ergebnisse und Diskussion	15
3.1	Funktionalität	15
3.2	Berichterstellung	16
3.3	Größenmessung	17
3.4	Pflanzenanomalien	21
3.5	Aufgangsbonitur	23
4	Ausblick	24
5	Öffentlichkeitsarbeit	25
5.1	Vorträge	25
5.2	Veröffentlichungen	25
5.3	Fernsehbeitrag	25
6	Literatur	26
7	Tabellenverzeichnis	27
8	Abbildungsverzeichnis	28
9	Bildverzeichnis	29

1 Zusammenfassung

Projektziel war es, die Einsatzmöglichkeiten von Drohnen für den Anbau von Salat im Gewächshaus zu prüfen. Im Rahmen des Projektes wurde ein Angebot der Firma Corvus Drones aus Ede/Niederlande bewertet. Eingesetzt wurde eine autonom agierende Indoor-Drohne, welche zur Bestandsüberwachung im Hinblick auf Wachstum und Pflanzengesundheit eingesetzt werden kann.

Nach einer Vorbereitungs- bzw. Implementationsphase startete der Flugbetrieb am 15.04.2024 und endete am 23.10.2024. Der Zeitraum bis zum 10.07.2024 wurde unter anderem zur Optimierung der Flugroute, Bildabfolge und zur Minimierung von Bildüberschneidungen genutzt. Vom 11.07.2024 bis zum 23.10.2024 erfolgte der Flugbetrieb vollautomatisch und nahezu störungsfrei. Nach jedem Flug wurden die Bilder in eine anbietereigene Cloud hochgeladen und mit Hilfe einer KI-basierten Computer-Vision-Software interpretiert sowie die Ergebnisse nach maximal 60 Minuten ausgewertet. Die Daten wurden dem Nutzer in Form eines Flugberichtes zur Verfügung gestellt.

Der Flugbericht einschließlich der Bildabfolge wurde bis zum Projektende ständig optimiert. Die Qualität und Auflösung der Bilder ließen ein Bestandsmonitoring im Hinblick auf Pflanzenwachstum und -zustand (Schädlinge, Krankheiten, sonstige Anomalien) zu. Im Flugbericht wurden alle Salatköpfe ausnahmslos erkannt und konnten präzise auf Fläche und Durchmesser vermessen werden. Die Daten stimmten mit der Realität überein. Am Ende der Projektlaufzeit konnte mit Hilfe von im Bestand implementierten QR-Codes die Position jedes einzelnen Salatkopfes genau bestimmt werden. Gewichtsmessungen bzw. -prognosen konnten jedoch noch nicht erstellt werden. Aufgrund eindeutiger Korrelationen zu den von den Mitarbeitern der LWG erfassten Gewichtsdaten ist dies, wie im Ausblick formuliert, perspektivisch für die nahe Zukunft denkbar.

Aussagen zu Pflanzenzustand und -gesundheit sind mit Hilfe der gemachten Fotos durch das menschliche Auge möglich. Erkannt wurden Anomalien von mehr als 1 mm Größe. Eine automatische visuelle Erkennung soll nach einem Anlernen der Software in der Zukunft möglich sein.

Der Einsatz von Drohnen ist in (naher) Zukunft nach einer technischen Optimierung der Drohne und inhaltlicher Verbesserungen des angebotenen Flugberichtes denkbar und dann aus betriebswirtschaftlicher Sicht empfehlenswert.

2 Einleitung

2.1 Problemstellung

Die Digitalisierung im Ackerbau eröffnet neue Wege. Die Pflanzengesundheit der Bestände kann nun automatisch überwacht und bewertet werden. Eine Möglichkeit bietet beispielsweise der Einsatz von Drohnen, welche zur Bestandsüberwachung mit moderner Kamertechnik ausgerüstet sind. Im Rahmen des Projektes „FarmerSpace“ wurden Drohnen für den Einsatz zur Bestandsüberwachung entwickelt und mit Hilfe von KI automatisierte Handlungsabläufe erarbeitet.

Bei Outdoor-Anwendungen basiert die Drohnenavigation auf die Nutzung von GPS-Daten. In Gewächshäusern können jedoch GPS-Signale unterbrochen werden und sind damit für Navigationszwecke nicht zuverlässig genug. Für den autonomen Flug in einem Gewächshaus ist somit eine andere Technologie erforderlich. Am gebräuchlichsten ist der Einsatz von ortsfesten Navigationsfunkstellen (Funkbaken) oder von visuellen Markierungen wie im Projekt genutzt. Funkbaken ermöglichen eine gute Drohnenpositionierung, allerdings ist die Installation teuer. Der Implementierungsaufwand für visuelle Markierungen ist gering und in jedem Gewächshaus möglich.

Die Produktionsfläche für Salat im geschützten Anbau steigt kontinuierlich. Das Produktionsverfahren ist mit bis zu 300 Salatköpfen/m² und Jahr intensiv und damit ressourcensparend. Salat kann ganzjährig zeit- und witterungsunabhängig sowie nachfrageorientiert angebaut werden. Allerdings verlangt diese Art des Anbaus optimale Anbaubedingungen und ein ständiges sorgfältiges Monitoring.

Das Unternehmen „Corvus Drones“ bietet eine Drohne für ein permanentes Bestandsmonitoring von hydroponisch angebautem Salat im geschützten Anbau an. Damit soll das hydroponische Anbauverfahren von Salat im Hinblick auf Ertrag, Qualität und Ressourceneinsparung optimiert werden.

Die angebotene Drohnentechnik wird bereits bei der Produktion von Rosen in der Praxis eingesetzt. Das im Flugbericht enthaltende Ertragsprognosemodell für Rosen wurde von mehreren niederländischen, ecuadorianischen und einem deutschen Unternehmen getestet. Der Einsatz der Drohnen ermöglichte eine 5 bis 9-tägige Vorhersage des optimalen Schnittzeitpunktes mit 90 %-iger Sicherheit. Auch konnte Mehltau erkannt werden.

Die Drohne ist mit modernster RGB-Kameratechnik ausgestattet, mit deren Hilfe optische Wachstumsparameter und Anomalien erkannt werden können. Daher können Aussagen über das Wachstumsstadium und den optimalen Erntezeitpunkt getroffen werden. Anomalien, die durch abiotische und biotische Faktoren wie Blattverfärbungen oder Raupen verursacht werden, sind ebenso erkennbar.

Die Corvus-Drohnen fliegen vollautomatisch und die Fotos werden unmittelbar in eine Cloud gesendet und ausgewertet.

Laut Angaben des Unternehmens werden folgende Daten im Rahmen der Anwendung für den Salatanbau gesammelt:

- Blattflächenentwicklung,
- Durchmesserbestimmung bei Kopfsalat (Größen- und Gewichtsschätzung),
- Erkennen von kleinen Pflanzen,
- Spitzenverbrennung (Randen bei Salat),
- Schädlings- und Krankheitserkennung (Raupenfraß, Blattlausbefall, Botrytisflecken, usw.),
- falsch ausgerichtete Rinnen.

2.2 Ziele

Der Versuch dient der Validierung der beschriebenen Technik im hydroponischen Salatanbau. Dazu wurde in einem Folienhaus am Versuchsstandort Bamberg Salat im System „Deep-Water-Culture“ hydroponisch angebaut. Das grundlegende Ziel des Projekts war die Optimierung des hydroponischen Anbauverfahrens für Salat, um sowohl den Ertrag zu steigern als auch Ressourcen einzusparen. Dies sollte unter anderem durch die frühzeitige Erkennung von Fehlentwicklungen erreicht werden. Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln durch eine frühzeitige Erkennung von Pflanzenkrankheiten und -schädlingen kann dadurch deutlich reduziert werden. Es wurde geprüft, inwieweit die gesammelten Daten zur Festlegung von Schadschwellen und geeigneten Erntezeiträumen genutzt werden können und ob diese mit der Realität übereinstimmen.

2.3 Hydroponischer Anbau von Salat

2.3.1 Technische Voraussetzungen und Implementierung der Drohnen am Standort



*Bild 1: Gesamtansicht des Folienhauses in Bamberg
(DWC- Systeme: Dry Hydroponics links und Botmann
Hydroponics rechts)*

Die eingesetzten Drohnen fliegen mit Hilfe einer auf Kameranavigation basierenden Nutzung der visuellen Trägheits-Odometrie (VIO). Diese Methode basiert auf einer Kombination von visuellen Kameradaten mit Bewegungsdaten für die Ausrichtung bzw. Bewegung der Drohne. Für den autonomen Flug der Drohne wurde das Folienhaus mit genau eingemessenen visuellen Markierungen ausgestattet (Bild 1) und eine genaue Karte (Abbildung 1 bis 3) angefertigt.

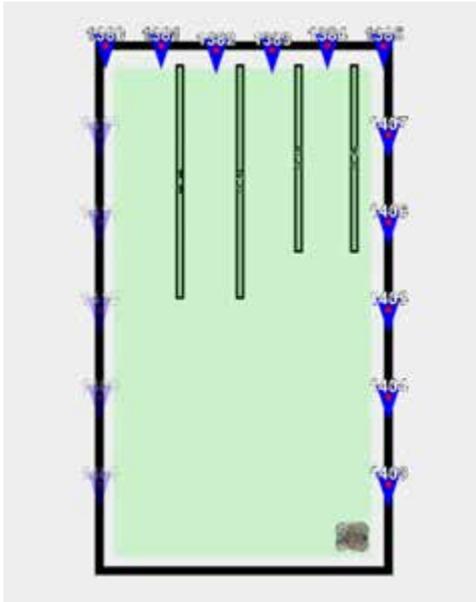


Abbildung 1: Flugplan mit Markierungen

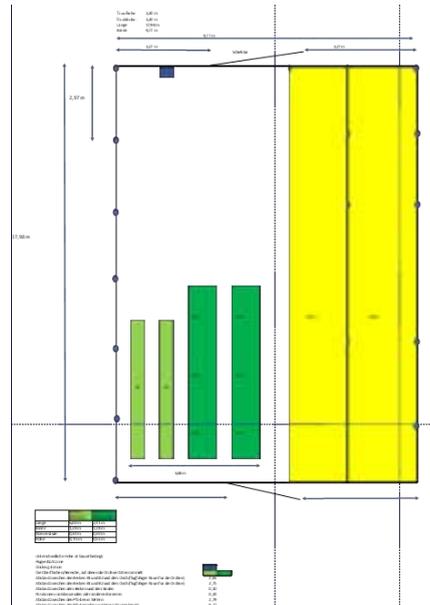


Abbildung 2: Lageplan vom Folienhaus

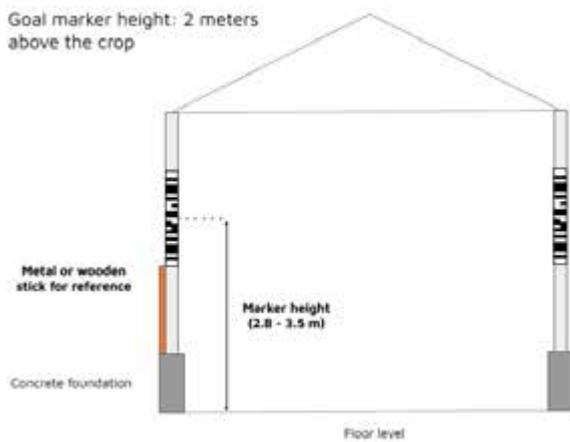


Abbildung 3: Erstellter Gewächshausquerschnitt

Das Gewächshaus wurde an den Gewächshauspfosten mit Markierungen (Bild 2) versehen. Jede Markierung hatte eine eindeutige ID in Form einer Nummer. Die ID wurde in der unteren linken Ecke der Markierung positioniert. Damit war die Drohne in der Lage, diese Markierungen visuell zu erkennen. Start, Landung und Batterieaufladung erfolgte mit Hilfe einer Ladestation (Bild 3).

Der Flugraum über der Ladestation sollte 1,50 m betragen. Der minimale horizontale Abstand zu Hindernissen war 70 cm und vertikal 150 cm. Die Flughöhe betrug 2,60 m. Weiterhin wurde ein WLAN mit Hilfe eines LTE-Router mit einer Leistung von 50 Mbit/s eingerichtet.



Bild 2: Vermessung und Markierung des Folienhauses



Bild 3: Ladestation

Die eingesetzten Drohnen verfügten über drei Kameras. Eine hochauflösende RGB-Kamera lieferte farbige Bilder in den Wellenlängen Rot, Grün und Gelb (Bild 4). Diese Kamera war nach unten gerichtet und sammelte während des Fluges die Bilder vom Bestand. Sie konnte Verfärbungen und Löcher, etc. von 1-2 mm erkennen. Zur Landung in der Dockingstation kam diese Kamera ebenfalls zum Einsatz.

Eine Hi-Res-Kamera auf der Vorderseite der Drohne (Bild 5) und eine größere Tracking Kamera (Bild 6) auf der Rückseite der Drohne bildeten das visuelle Positionierungssystem. Mithilfe dieser Kameras erkannte die Drohne die an den Gewächshauspfosten angebrachten Markierungen. Anhand dieser Informationen konnte sich die Drohne autonom im Gewächshaus präzise positionieren und navigieren. Die Drohne konnte laut Anbieter mit einer einzigen Akkuladung etwa 1500 m²/h scannen, inklusive Aufladung und Flug. Ein Hektar wäre nach 6 Stunden somit vollständig gescannt, so der Anbieter.



Bild 4: RGB-Kamera bildet das menschliche Sehvermögen nach zur Bestandsorientierung



Bild 5: Hochauflösende Hi-Res-Kamera zur Markierungserkennung



Bild 6: Tracking-Kamera zur Größenbestimmung



Bild 7: Barcodes helfen bei der Orientierung, eine automatische Erkennung wird angestrebt.

Tabelle 1: Technische Daten der eingesetzten Drohne

Gewicht inklusive Akku	350 g
Flugzeit im Versuch 200 m ²	15 Minuten
Zeit zum vollständigen Aufladen eines entladenen Akkus	30 – 45 Minuten
Reichweite/Leistung inklusive Ladung	1500 m ² /h, 6 h für einen ha
Flughöhe über der Dockingstation	1,50 m
Flughöhe	2,60 m
Fotoabdeckung	1,60 x 1,20 m
WLAN	> 20 Mbit

2.3.2 Das Deep-Water-Culture System - DWC

Für die angedachte Leistungsüberprüfung wurde im Versuchsbetrieb Bamberg hydroponischer Salat in Deep-Water-Culture (Tiefwasserkultur) angebaut. Der hydroponische Anbau erfolgte auf Flößen. Die Pflanzen wurzelten erdelos in einer mit Nährstoffen angereicherten Lösung. Genutzt wurden die Anbausystemsysteme von Botman Hydroponics bzw. von Dry Hydroponics, beide aus den Niederlanden. Bei beiden Systemen wurde aufgrund seiner Strukturstabilität für die Jungpflanzenanzucht das torfhaltige Substrat Potground H 80 von der Firma Klasmann-Deilmann GmbH verwendet. Dies ist nötig, da die Pflanzen über die gesamte Kulturdauer im Erdpresstopf verbleiben. Die angestrebte Wassertiefe von 30 cm realisierte stabile Wachstumsbedingungen im Hinblick auf die Temperatur (20 - 25°C) und elektrische Leitfähigkeit (1,8 - 2,0 mS) in der Nährlösung.

Beim **System Botman** (Bild 8 und 9) werden die Jungpflanzen mit Hilfe von Growcoons (Netzbechern) auf Jungpflanzenplatten (630 Pflanzen/m²) angezogen. Nach 19 bis 21 Tagen können die Jungpflanzen auf die DWC-Schwimmflöße auf Endabstand gesetzt werden (22 Pflanzen/m²).



Bild 8: System Botmann



Bild 9: System Botmann,
Jungpflanzen auf DWC-Floats

Die Jungpflanzenanzucht beim **Dry Hydroponics**-System erfolgt zunächst in 4 x 5 x 5 cm Erdpresstöpfen auf Startflößen. Sobald die Wurzeln an der Unterseite der Erdpresstöpfe eine Länge von ca. 1 cm aufwiesen, wurden diese mit den Erdpresstöpfen auf die Schwimmkörper im Wasserbecken auf Endabstand gesetzt. Die Pflanzdichte betrug 29,4 Pflanzen/m² (Bild 10 und 11).



Bild 10: System Dry Hydroponics



Bild 11: Jungpflanzenanzucht auf Seed/Start-Float S24

Im Rahmen des Projektes wurden verschiedene Sorten Kopfsalat bzw. Eissalat ausgesät (Tabelle 2). Für den Anbau wurde ein Düngerezept vom Unternehmen Dry Hydroponics genutzt (Tabelle 3). Im Verlauf des Projektes wurde regelmäßig auf einen EC von 1,7 mS aufgedüngt.

Tabelle 2: Sortenübersicht

Typ	Sorte	Herkunft
Kopfsalat	Emeldia	Rijk Zwaan Welver GmbH
Eissalat (rot)	Adalyn	Enza-Zaden Dannstadt-Schauernheim
Salanova	XAPIA RZ (79-ML4082)	Rijk Zwaan Welver GmbH
Eissalat (grün)	Divisor	Enza-Zaden Dannstadt-Schauernheim
Kopfsalat	Treslia (42-BU1911)	Rijk Zwaan Welver GmbH
Kopfsalat	Fairly	Enza-Zaden Dannstadt-Schauernheim
Kopfsalat	Casey	Enza-Zaden Dannstadt-Schauernheim
Eissalat (rot)	SUPRADAI (82-OA3465)	Rijk Zwaan Welver GmbH
Salanova	COOK RZ (79-12)	Rijk Zwaan Welver GmbH

Tabelle 3: Düngerezept

EC	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
mS	mmol/l							
2,0	0,5	6,5	0,6	3,25	1,0	11	0,9	0,9
HCO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SiO ₃ ²⁻	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
mmol/l			µmol				mmol/l	
4,9	0,8	0,1	40	5	3	25	2	1

Eine stichprobenartige Einzelgewichtserfassung erfolgte einmal pro Woche im Kulturverlauf. Nach Erreichen der Erntereife wurden alle Einzelköpfe separat gewogen. Damit konnte der Korrelationseffizient zu den von der Drohne gelieferten Vermessungsdaten bestimmt werden.

Tabelle 4: Einzelgewichtserfassung, Ernte am 10.07.2024

Botmann								
Einzelkopfgewicht (g) von links beginnend								
Sorte	Aussaat	Ernte	Reihe	1	2	3	4	5
Emeldia	23.05.	10.07.	1	261	352	235	458	302
Emeldia	23.05.	10.07.	2	302	299	438	404	491
Emeldia	23.05.	10.07.	3	390	379	379	466	283
Emeldia	23.05.	10.07.	4	388	306	197	435	415
Emeldia	23.05.	10.07.	5	389	369	293	365	323
Emeldia	23.05.	10.07.	6	250	359	420	309	351
Emeldia	23.05.	10.07.	7	431	287	319	397	373
Emeldia	23.05.	10.07.	8	412	279	400	372	394
Emeldia	23.05.	10.07.	9	424	389	382	418	437
Emeldia	23.05.	10.07.	10	345	431	343	395	352
Emeldia	23.05.	10.07.	11	346	306	408	362	398
Emeldia	23.05.	11.07.	12	305	422	323	285	241

Um die von der Drohne gesammelten Daten vergleichen zu können, wurde außerdem zweimal pro Woche eine Mängelbonitur durchgeführt (Tabelle 5).

Tabelle 5: Beispiel einer Mängelbonitur vom 11.07.2024

Botman (Becken 1)															
R_Nr	Auffälligkeiten		Wachstumsanomalien	Farbe	Randen	Seiten-triebe	Laus	Trocken-rand	Ausfall	Fraß-schaden	Falscher Mehltau	Minier-fliege	Fäule	Sonstiges	Bemerkung
	nein	ja													
1		x		5									2		
2		x								2					
3		x								1,6,2				3	
4		x								1,4					
5	x														
6	x														
7		x			1,4										
8	x														
9	x														
10		x			4										
11	x														
12		x				3,1								1	
13	x														
14		x				4				4				3	
15		x												5	
16	x				1	2									
17		x												5	
18		x													

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Funktionalität

Vom 15.04.2024 bis zum 23.10.2024 wurden insgesamt 137 Flüge durchgeführt. In Abhängigkeit vom Sonnenstand (Gegenlicht) wurde eine Startzeit zwischen 8:00 und 10:00 Uhr gewählt. Ein Flug dauerte ca. 4 Minuten und lieferte am Ende jeden Fluges 34 bis 35 auswertbare Bilder. Die Bilder wurden von einem auf Computerbildauswertung spezialisierten Unternehmen (Track32) zeitnah analysiert. Die einzelnen Salatköpfe wurden erkannt und die Fläche und der Durchmesser der einzelnen Salate berechnet. Mit einem QR-Code konnte die Position jedes einzelnen Salatkopfes am Ende bestimmt werden (Bild 7). Zu Beginn des Projektes musste die Drohne aufgrund eines mechanischen Schadens ersetzt werden. Am 24.06.2024 musste die Drohne aufgrund einer wetterbedingten Überhitzung der Platine durch eine neue Drohne ausgetauscht werden. Die neue Drohne war mit einer leistungsfähigeren Lüftung ausgestattet. Diese erlaubte einen Flugbetrieb bei Temperaturen bis zu 50 °C. Ab dem 10.07.2024 erfolgte der Flugbetrieb nahezu störungsfrei.

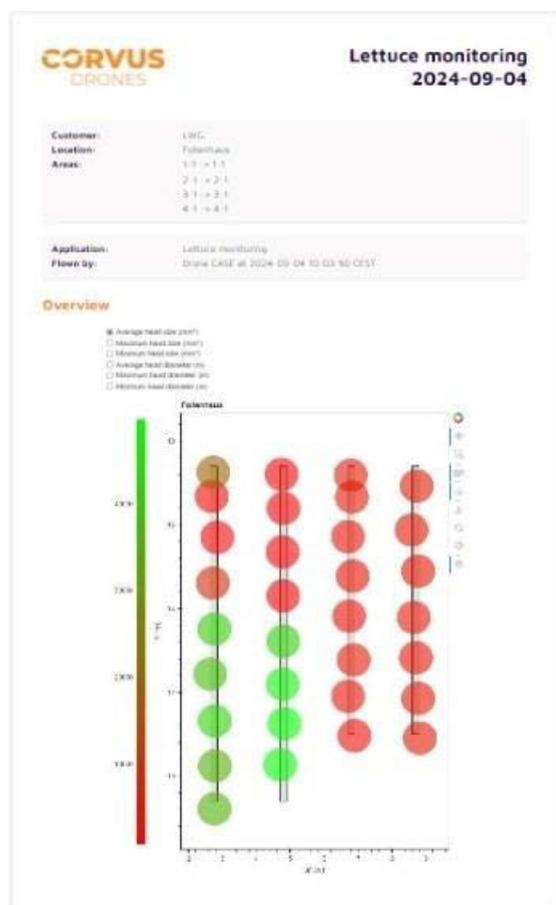


Abbildung 4: Bericht vom 04.09.2024, jeder Punkt steht für ein Foto.



Bild 12: Jedes Foto liefert Informationen zu den vermessenen Salaten.

3.2 Berichterstellung

Jedes Mal, wenn die Drohne einen Flug ausführte, wurde automatisch ein Bericht erstellt. Der Bericht enthielt eine Karte, die Punkte an verschiedenen Gewächshauspositionen zeigte (Abbildung 4). Jeder Punkt gab die Position wieder, an der ein Bild aufgenommen wurde. Die eingestellte Flughöhe betrug permanent 2,60 m. Ein Foto umfasste eine Fläche von ca. 1,60 x 1,20 m. Der Bericht lieferte zeitnah zu jedem Foto folgende Informationen (Bild 12):

- durchschnittliche Kopfgröße in mm²,
- maximale und minimale Kopfgröße,
- durchschnittlichen, minimalen und maximalen Kopfdurchmesser.

Der Flugbericht einschließlich der Bildabfolge wurde bis zum Projektende ständig optimiert. Die Qualität und Auflösung der Bilder ließen ein Bestandsmonitoring im Hinblick auf Pflanzenwachstum und -zustand (Schädlinge, Krankheiten, sonstige Anomalien) zu. Im Flugbericht wurden alle Salatköpfe ausnahmslos erkannt und konnten präzise auf Blattfläche und Kopfdurchmesser vermessen werden. Die Daten stimmten mit der Realität überein. Am

Ende der Projektlaufzeit konnte mit Hilfe von im Bestand implementierten QR-Codes die Position jedes einzelnen Salatkopfes genau bestimmt werden.

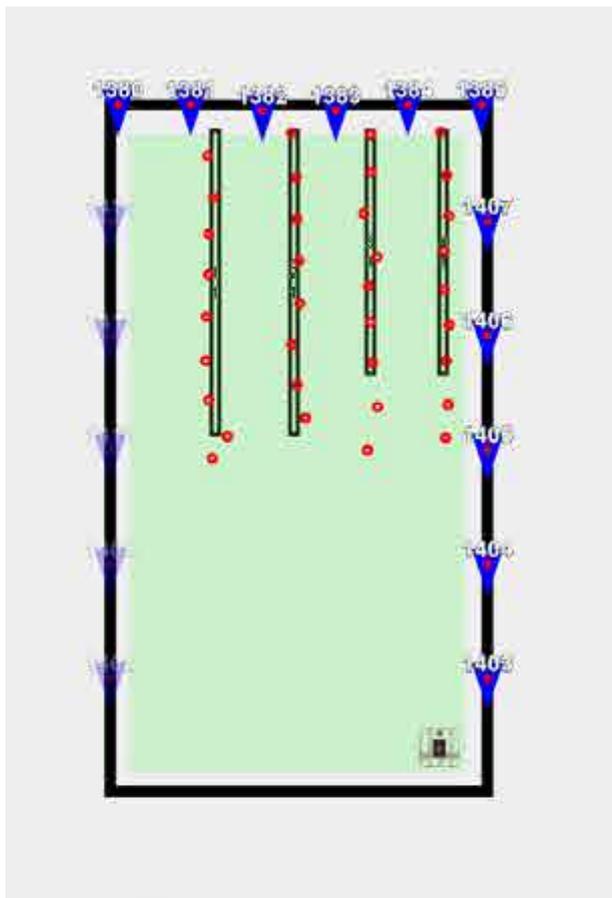


Abbildung 5: Flugkarte vom 13.05.2024

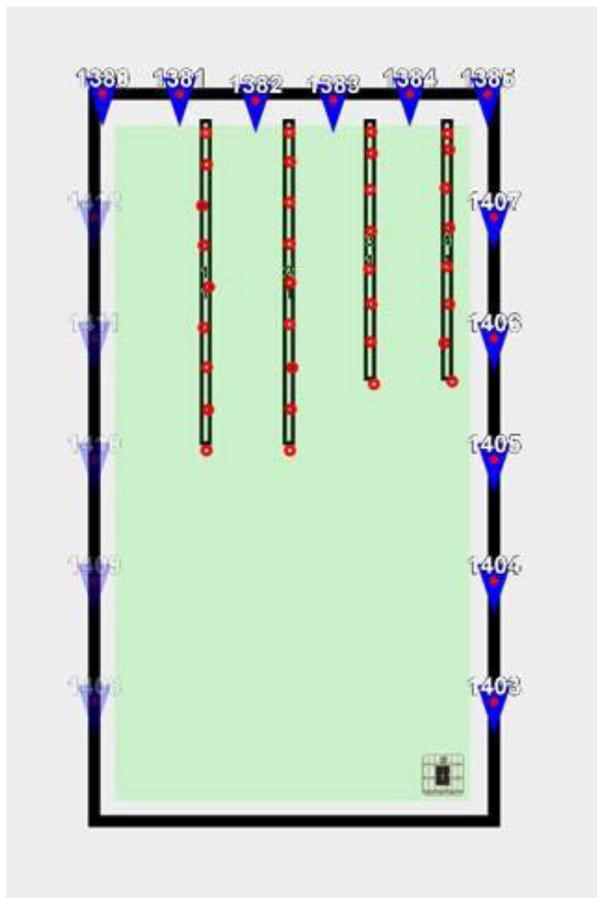


Abbildung 6: Optimierte Flugkarte vom 12.10.2024

3.3 Größenmessung

Gewichtsmessungen bzw. -prognosen konnten jedoch noch nicht erstellt werden. Aufgrund eindeutiger Korrelationen zu den von den Mitarbeitern der LWG erfassten Gewichtsdaten ist dies wie im Ausblick formuliert perspektivisch für die nahe Zukunft denkbar.



Bild 13: Dry Hydroponics Reihe 1

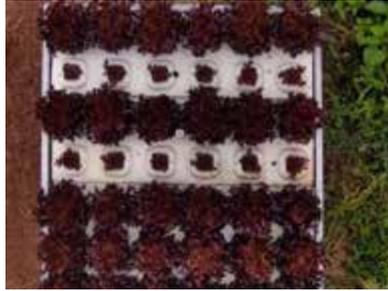


Bild 14: Dry Hydroponics Reihe 1 -6



Bild 15: Dry Hydroponics Reihe 6-12



Bild 16: Dry Hydroponics Reihe 11 bis 16 und DHs



Bild 17: Reihe 15 -21



Bild 18: Dry Hydroponics Reihe 21-24, Jungpflanzenanzucht



Bild 19: Dry Hydroponics Reihe 21- 24



Bild 20: Jungpflanzenanzucht

Tabelle 7: Beispiel für die Datengrundlage zur Berechnung von Korrelationskoeffizienten

Nummer	Sorte	Gewicht (g)	Blattfläche mm²	Kopfdurchmesser (m)	Reihen- nummer
Bild 15	Adalyn	122	31797	0,240	1
Bild 14	Adalyn	50	3719	0,083	2
Bild 14	Adalyn	36	5765	0,108	2
Bild 14	Adalyn	64	4839	0,090	2
Bild 14	Adalyn	49	4483	0,097	2
Bild 14	Adalyn	63	5930	0,111	2
Bild 14	Adalyn	53	6633	0,121	2
Bild 14	Adalyn	164	35231	0,226	3
Bild 14	Adalyn	165	44467	0,256	3
Bild 14	Adalyn	128	33151	0,210	3
Bild 14	Adalyn	145	42484	0,252	3
Bild 14	Adalyn	155	39912	0,234	3
Bild 14	Adalyn	106	32805	0,226	3
Bild 14	Adalyn	96	6171	0,115	4
Bild 14	Adalyn	75	5754	0,099	4
Bild 14	Adalyn	80	4444	0,083	4
Bild 14	Adalyn	102	5299	0,109	4
Bild 14	Adalyn	87	5280	0,112	4
Bild 14	Adalyn	57	5619	0,107	4
Bild 14	Adalyn	131	39604	0,231	5
Bild 14	Adalyn	82	34553	0,214	5
Bild 14	Adalyn	124	38535	0,223	5
Bild 14	Adalyn	158	41066	0,231	5
Bild 14	Adalyn	106	37928	0,228	5
Bild 14	Adalyn	99	31725	0,207	5
Bild 14	Adalyn	108	33563	0,220	6
Bild 14	Adalyn	94	30614	0,213	6
Bild 14	Adalyn	122	35130	0,224	6



Bild 21: Foto zu Tabelle 5



Bild 22: Kopfvermessung



Bild 23: QR-Code zur Datenzuordnung im Bild

3.4 Pflanzenanomalien

Die Aufnahmequalität der Fotos war durchwegs sehr gut. Anomalien wie Fraßschäden (> 1 mm) und Verfärbungen waren deutlich zu erkennen. Aussagen zu Pflanzenzustand und Pflanzengesundheit sind mit Hilfe der gemachten Fotos durch das menschliche Auge möglich. Erkannt wurden Anomalien von mehr als 1 mm Größe. Eine automatische visuelle Erkennung soll nach einem Anlernen der Software laut Anbieter in der Zukunft möglich sein.



Bild 24: Fehlstellen



Bild 25: Fehlstellen



Bild 26: Fraßschäden



Bild 27: Fraßschäden

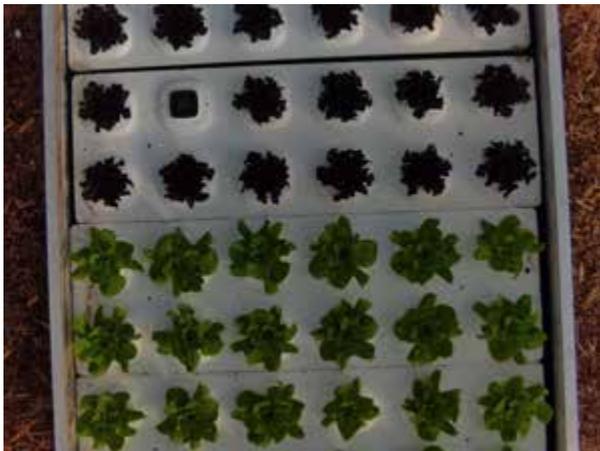


Bild 28: Fraßschäden



Bild 29: Fraßschäden

3.5 Aufgangsbonitur



Bild 30: Aufgangsbonitur

Corvus Drones bietet eine Aufgangsbonitur als App an. Dazu müssen die Anzuchtschalen mit einem QR-Code markiert werden. Jeder aufgegangene Sämling wurde erkannt. Für jede erkannte Anzuchtschale wird eine Sämlings-Zählung durchgeführt und die Keimrate jeder Schale berechnet. Für eine automatische Erkennung muss die Software ebenfalls angelernt werden. Danach ist eine automatisierte Berichterstellung möglich (Bild 30).

4 Ausblick

Der Einsatz von Drohnen im Unterglas-Gemüseanbau hat das Potenzial die Anbaueffektivität zu erhöhen. Ressourcen können durch eine Früherkennung von Schädlings-/Pilzbefall und Nährstoffmangel eingespart werden. Eine drei bis vierwöchige Ertragsprognose würde die Anbauenden in ihrer Marktposition stärken. Die Erstellung einer Ertragsprognose möchte das Unternehmen Corvus Drones in naher Zukunft durch den Einsatz einer 3D-Kamera realisieren. Damit sind Aussagen zu den Salatgewichten möglich. Unter Hinzunahme von Klimadaten, wie Licht und Temperatur, ist es möglich, für den Nutzer ein standortspezifisches KI-basiertes Prognosemodell zu erstellen. Laut Aussagen des Anbieters wird dieser Service bereits 2025 umgesetzt und könnte dann in der Praxis erprobt werden.

Die automatische Erkennung von Wachstumsanomalien, welche durch Schädlinge, Düngungsfehler und andere Faktoren verursacht werden, sowie die Erstellung von Aufgangsbonituren ist bereits mit der auf dem Markt verfügbaren KI-basierten Computer-Vision-Software möglich. Durch den Einsatz von Bildern können mithilfe von maschinellem Lernen (ML) Handlungsalgorithmen entwickelt werden, welche Diagnosen, Schadschwellen und Düngungsempfehlungen umfassen.

5 Öffentlichkeitsarbeit

5.1 Vorträge

25.07.2024 Pressetermin

26.02.2025 Online-Winterberichtsreihe: Erdeloser Anbau von Tomaten, Melonen, Salat und Ingwer

25.03.2025 IEF-Projekttag: Projekte und Versuche im Gemüsebau

5.2 Veröffentlichungen

FISA Forschungsinformationssystem Agrar und Ernährung <https://www.fisaonline.de>

Projektseite Homepage LWG Veitshöchheim, März 2024

Fachartikel - Digitalisierung im Gemüseanbau: Technik von morgen schon heute auf dem Prüfstand, Gartenbauprofi Monatszeitschrift für Obst, Gemüse, Zierpflanzen; August 2024

Fachartikel - Drohnen und Biosensoren für den Salat: Moderne Technik im Gemüseanbau, Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt, 14.09.2024

Fachartikel - LWG - Technik von Morgen schon heute auf dem Prüfstand, www.gabot.de, 13.08.2024

Fachartikel - LWG - Technik von Morgen schon heute auf dem Prüfstand, www.fruitnet.com, 14.09.2024

Tagespresse - High-Tech im Gewächshaus, Münchner Merkur, 21/22.09.2024

Fachartikel - Zeitschrift Gemüse, für September 2025 angekündigt

5.3 Fernsehbeitrag

Gemüseanbau in Bayern: Drohne hilft bei Personalmangel, Sat 1 Bayern, 05.10.2024

6 Literatur

Staatministerin Michaela Kaniber Regierungserklärung (20.05.2021),
Landwirtschaft 2030: nachhaltig, smart, fair

Vertretung in Deutschland Europäische Kommission (22.06.2022)

Europäischer Grüner Deal: Weniger chemische Pestizide, umfassende Renaturierung

https://germany.representation.ec.europa.eu/news/europaischer-gruner-deal-weniger-chemische-pestizide-umfassende-renaturierung-2022-06-22_de

Zukunftsfähige Anbausysteme Zuckerrübe – Innovationen und künstliche Intelligenz

<https://www.ifz-goettingen.de/forschung/projekte>

Drohnen: Vom Monitoring zur gezielten Fungizidapplikation

<https://www.praxis-agrar.de/pflanze/ackerbau/pflanzenschutz/drohnen-vom-monitoring-zur-gezielten-fungizidapplikation>

<https://www.floraldaily.com/article/9672607/corvus-drones-announces-launch-of-rose-yield-application/>

<https://dryhydroponics.nl/>

<https://www.track32.nl/greenhouse>

<https://www.botmanhydroponics.eu/>

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Angaben zur Drohne	11
Tabelle 2: Sortenübersicht	13
Tabelle 3: Düngerezept.....	13
Tabelle 4: Einzelgewichtserfassung, Ernte am 10.07.2024	14
Tabelle 5: Beispiel einer Mängelbonitur vom 11.07.2024	14
Tabelle 6: Korrelationskoeffizienten	18
Tabelle 7: Beispiel für die Datengrundlage zur Berechnung von Korrelationskoeffizienten.....	20

8 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Flugplan mit Markierungen © Corvus Drones	9
Abbildung 2: Lageplan vom Folienhaus © Corvus Drones.....	9
Abbildung 3: Erstellter Gewächshausquerschnitt © Corvus Drones.....	9
Abbildung 4: Bericht vom 04.09.2024, jeder Punkt steht für ein Foto © Corvus Drones.....	16
Abbildung 5: Flugkarte vom 13.05.2024 © Corvus Drones	17
Abbildung 6: Optimierte Flugkarte vom 12.10.2024 © Corvus Drones	17
Abbildung 7: Anbauplan am 16.09.2024 © Corvus Drones	18

9 Bildverzeichnis

Bild 1: Gesamtansicht des Folienhauses in Bamberg (DWC-Systeme: Dry Hydroponics links und Botmann Hydroponics rechts) © Martin Schulz LWG Veitshöchheim	8
Bild 2: Vermessung und Markierung des Folienhauses © Martin Schulz LWG Veitshöchheim.	10
Bild 3: Ladestation © Martin Schulz LWG Veitshöchheim	10
Bild 4: RGB-Kamera bildet das menschliche Sehvermögen nach zur Bestandsorientierung © Martin Schulz LWG Veitshöchheim	11
Bild 5: Hochauflösende Hi-Rest-Kamera zur Markierungserkennung © Martin Schulz LWG Veitshöchheim	11
Bild 6: Tracking-Kamera zur Größenbestimmung © Martin Schulz LWG Veitshöchheim.....	11
Bild 7: Barcodes helfen bei der Orientierung, eine automatische Erkennung wird angestrebt © Martin Schulz LWG Veitshöchheim	11
Bild 8: System Botmann © Martin Schulz LWG Veitshöchheim.....	12
Bild 9: System Botmann, Jungpflanzen auf DWC-Floats © Martin Schulz LWG Veitshöchheim .	12
Bild 10: System Dry Hydroponics © Martin Schulz LWG Veitshöchheim	13
Bild 11: Jungpflanzenanzucht auf Seed/Start-Float S24 © Martin Schulz LWG Veitshöchheim ..	13
Bild 12: Jedes Foto liefert Informationen zu den vermessenen Salaten © Corvus Drones/Track32/LWG Veitshöchheim	16
Bild 13: Dry Hydroponics Reihe 1 © Corvus Drones/LWG-Veitshöchheim	19
Bild 14: Dry Hydroponics Reihe 1-6 © Corvus Drones/LWG-Veitshöchheim	19
Bild 15: Dry Hydroponics Reihe 6-12 © Corvus Drones/LWG-Veitshöchheim	19
Bild 16: Dry Hydroponics Reihe 11 - 16 und DHs © Corvus Drones/LWG-Veitshöchheim	19
Bild 17: Reihe 15-21 © Corvus Drones/LWG-Veitshöchheim	19
Bild 18: Dry Hydroponics Reihe 21-24, Jungpflanzenanzucht © Corvus Drones/LWG-Veitshöchheim	19
Bild 19: Dry Hydroponics Reihe 21-24 © Corvus Drones/LWG-Veitshöchheim	19
Bild 20: Jungpflanzenanzucht © Corvus Drones/LWG-Veitshöchheim	19
Bild 21: Foto zu Tabelle 5 © Corvus Drones/Track 32/LWG-Veitshöchheim	21
Bild 22: Kopfvermessung © Corvus Drones/Track 32/LWG-Veitshöchheim	21
Bild 23: QR-Code zur Datenzuordnung im Bild © Martin Schulz LWG Veitshöchheim	21
Bild 24: Fehlstellen © Corvus Drones/LWG-Veitshöchheim	21
Bild 25: Fehlstellen © Corvus Drones/LWG-Veitshöchheim	21
Bild 26: Fraßschäden © Corvus Drones/LWG-Veitshöchheim	22
Bild 27: Fraßschäden © Corvus Drones/LWG-Veitshöchheim	22
Bild 28: Fraßschäden © Corvus Drones/LWG-Veitshöchheim	22
Bild 29: Fraßschäden © Corvus Drones/LWG-Veitshöchheim	22
Bild 30: Aufgangsbonitur © Corvus Drones/Track 32/LWG-Veitshöchheim	23

IMPRESSUM

Herausgeber

Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG)
An der Steige 15, 97209 Veitshöchheim,
Telefon +49 931 9801-0, www.lwg.bayern.de

Redaktion und Gestaltung

Institut für Erwerbs- und Freizeitgartenbau (IEF), ief@lwg.bayern.de

© LWG Veitshöchheim, Nachdruck und Veröffentlichung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers.