

Teil I.: Kurze Darstellung
des
Abschlussberichts zum Forschungsvorhaben

**Sensorbasiertes Monitoring und Entscheidungshilfe
für den integrierten Pflanzenschutz in Gewächshauskulturen
(IPMaide) - Teilprojekt 4**

Zuwendungsempfänger:

**iotec GmbH
Albert-Einstein-Str. 1
D-49076 Osnabrück**

Förderkennzeichen:

2818506D18

Laufzeit:

15.11.2019 bis 31.12.2023

Monat der Erstellung:

06/2024

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

I. Kurze Darstellung

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie der wissenschaftliche und technische Stand an den angeknüpft wurde

Zielsetzung des Gesamtprojektes war die Entwicklung eines Assistenzsystems in Form einer App zur Entscheidungsunterstützung im PS im Gewächshaus. Automatisiertes Schädlingsmonitoring, das Einbinden von Datenbanken und das intelligente Verknüpfen von Informationen sollten zur Reduktion des PSM-Einsatzes und der Verbesserung des Anwenderschutzes beizutragen. In einer halbjährigen Projekterweiterung wurde darüber hinaus die Übertragbarkeit der erarbeiteten Ansätze auf zukünftige Anwendung in Vertical Farming (VF) Anlagen untersucht.

Die Iotec hat dazu im Wesentlichen die Arbeitspakete bearbeitet, die sich mit der Entwicklung der Schaderregerfassung mit automatischen Fallensystemen befassen.

Voraussetzung für die Arbeiten zur Weiterentwicklung von automatisierten Fallensystemen mit erhöhter Attraktivität bei geringen Schaderregerdichten waren die Ergebnisse aus dem BLE Projekt DSSARTH. Zudem sind weitere bildgebende Fallensysteme vorhanden, bei denen die automatische Erkennung, sofern überhaupt vorhanden, auf wenige Arten beschränkt.

2. Ablauf des Vorhabens

Im Rahmen der beantragten Forschungsaktivitäten sollte in AP2 ein automatisiertes Fallensystem mit erhöhter Attraktivität bei geringen Schaderregerdichten entwickelt werden, um ihre Attraktivität vor allem bei niedrigen Schädlingsdichten und empfindlichen Kulturen zu verbessern. Die Basis hierfür bildet eine im BLE Projekt DSSARTH entwickelte Plattform für den Einsatz von farbigen Klebtafeln zum Monitoring von Schädlingen. Um die Attraktivität der Klebtafel zu erhöhen ist zum einen geplant die Plattform, um selbstleuchtende Farbflächen auf Basis von innovativen LED-Techniken zu erweitern und zum anderen spezifische Duftstoffe (Kairomone, Pheromone) zu integrieren um die Attraktivität von Fallensystemen für Problemschädlinge z.B. Thripse, Schadschmetterlinge deutlich zu erhöhen. Zur einfachen Integration in eine bestehende Dateninfrastruktur wird eine Positionierungslösung entwickelt, welche u.a. zur Positionsbestimmung der Fallen genutzt wird. Durch die Nutzung von virtuellen Zäunen (Geofences) um die verschiedenen Fallen, können Aktionen, welche eine Fehlinterpretation der Messdaten hervorrufen verhindert werden. Sobald ein Mitarbeiter des Betriebs einen Bereich eines Geofence betritt, wird die darin befindliche Falle deaktiviert. Dadurch wird verhindert, dass aufgeschreckte Insekten in die Fallen fliegen und einen stärkeren Befall „simulieren“. Anomalieerkennung anhand der Kombination der Sensordaten (z.B. Schädlingsbefall) mit den Daten der Indoorlokalisierung (z.B. Intensität der Pflanzenbearbeitung) und den Ertragsdaten (z. B. verkaufbare Komponenten). Im Rahmen

von Gewächshausuntersuchungen unter kontrollierten Bedingungen werden optimierte Fallensysteme getestet und ihre zeitliche und räumliche Aussagekraft für den biologischen und integrierten Pflanzenschutz beurteilt.

Bezüglich der Nutzung dieser Methode in einer VF-Anlage wurde ein theoretisches Konzept ausgearbeitet.

3. Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Robuste Erfassungseinheit für den Einsatz im Gewächshaus

Die Machbarkeit für eine robuste und automatische Erfassung und Auswertung von Schad- und Nutzinsekten im Gewächshaus ist mit dem Forschungsvorhaben IPMaide nachgewiesen worden. Die bislang manuellen Prozesse zur Erfassung und Auswertung von Schad- und Nutzinsekten konnten automatisiert werden. Dabei wurde die gesamte Kommunikationskette von den Schad- und Nutzinsekten, die mit den Gelbtafeln gefangen wurden, über die automatische Erkennung Insekten bis zur Übertragung dieser Informationen zum Entscheidungshilfesystem realisiert. Sodass tagtägliche Informationen über den aktuellen Befall, in den Bereichen im Gewächshaus in denen die Erfassungseinheiten aufgestellt wurden, zur Verfügung standen. Speziell auf die anspruchsvollen Anforderungen im Gewächshaus wurde der mechanische Aufbau der Erfassungseinheit erfolgreich getestet.

Zudem wurde die Einheit mit LEDS und Lockstoffen erweitert, sodass eine bessere Fängigkeit erreicht werden konnte.

Erfolgreiche Integration in eine Vertikal-Farming Kammer, sodass die Systeme zukünftig auch in diesem Umfeld eingesetzt werden können.

Verbesserung der Erkennung von Insekten sowie eine Vereinfachung des Labelings

Im Bereich der Erkennung von Nützlingen und Schädlingen wurde durch den Einsatz eines Region-based Convolutional Neural Network (RCNN) eine schnellere Auswertung der Daten durch eine direkte Objekterkennung realisiert. Zudem wurde eine Infrastruktur zum Anlernen des Systems mit neuen Trainingsdaten zur automatisierten Erzeugung neuer angelernter neuronalen Netze entwickelt. Diese Infrastruktur enthält auch eine einfache grafische Oberfläche, auf dem Bild einer aufgenommenen Gelbkarte mit Insekten dargestellt werden und direkt gelabelt werden können.

Für die Durchführung des Projektes war zudem die Zusammenarbeit mit dem Projektpartnern wesentlich entscheidend. An der Projektdurchführung waren die folgenden Partner beteiligt: GID GeoInformationsDienst GmbH, Leibniz Universität Hannover, IPP, Julius-Kühn-Institut (Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst, Institut für Anwendungstechnik im

Pflanzenschutz), die auch die Projektkoordination übernimmt. Die beteiligten Partner bringen entsprechende Kompetenzen und Ressourcen in das Projekt ein, die in dieser spezifischen Kombination einmalig sind und somit einen hohen Innovationswert erwarten lassen.

Teil II.: Eingehende Darstellung
des
Abschlussberichts zum Forschungsvorhaben

**Sensorbasiertes Monitoring und Entscheidungshilfe
für den integrierten Pflanzenschutz in Gewächshauskulturen
(IPMaide) - Teilprojekt 4**

Zuwendungsempfänger:

**iotec GmbH
Albert-Einstein-Str. 1
D-49076 Osnabrück**

Förderkennzeichen:

2818506D18

Laufzeit:

15.11.2019 bis 31.12.2023

Monat der Erstellung:

06/2024

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
Abbildungsverzeichnis	1
II. Eingehende Darstellung	2
1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse	2
2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	14
3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	14
4. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit.....	15
5. Bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet an anderen Stellen.....	15
6. Veröffentlichungen der Ergebnisse.....	15

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Darstellung der Sensorwerte und des Kommunikationsweges.....	3
Abb. 2: Darstellung des gesamten Ökosystems der Datenquellen	3
Abb. 3: CAD-Skizze der finalen Erfassungseinheit	5
Abb. 4: CAD-Skizze der teilgeöffneten Erfassungseinheit (Serviceöffnung)	5
Abb. 5: Aufnahme des Rotors (Rotes Bauteil).....	6
Abb. 6: Erfassungseinheit in einer Vertikal-Farming Kammer	8
Abb. 7: Abbildung des LED-Moduls.....	9
Abb. 8: Abbildung der LED-Platine	9
Abb. 9: Abbildung des Rotors inkl. der LED-Plexiglas Fronten.....	10
Abb. 10: Seitlich beleuchtete LED-Front von vorne (links) und von oben (rechts).....	10
Abb. 11: Bewertung der Nützlings- und Schädlingspopulation je Kachel.....	12
Abb. 12: RCNN Einsatz zur Klassifizierung Erkennung der Insektenposition	12
Abb. 13: Label Studio Software zur manuellen Klassifizierung des Bildmaterials.....	13

II. Eingehende Darstellung

1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Um die gesetzten Ziele zu erreichen, werden die Arbeitsschritte in 8 Arbeitspaketen aufgeteilt. Diese werden durch die iotec GmbH und den Projektpartner im Laufe des Projektes durchgeführt.

Im Folgenden werden, die durch die iotec bearbeiteten Arbeitspakete beschrieben und die Ergebnisse präsentiert. Es wurde dabei eine Weiterentwicklung der entwickelten Plattform für den Einsatz von farbigen Klebtafeln zum Monitoring von Schädlingen aus dem BLE-Projekt DSSARTH durchgeführt.

Die IPMaide-Sensorfalle ist ein sensorbasiertes Monitoring System zur Entscheidungshilfe für den integrierten Pflanzenschutz in Gewächshauskulturen. Der Befall von Pflanzen mit Schädlingen wird zeitnah erfasst und weitergeleitet. Der aktuelle Befall wird an eine Plattform übertragen, die auf der Grundlage des festgestellten Schädlingsbefalls Handlungsempfehlungen zur Bekämpfung ausstellt. Dazu werden mehrere Mal täglich Fotos von einer Klebefläche aufgenommen, ausgewertet und Parameter zur Verfügung gestellt. Parallel besteht die Möglichkeit auch asynchron Aufnahmen auszulösen und diese zusätzlich auf einem USB-Stick zu speichern, um diese einzusehen zu können.

AP 1: Anforderungsprofil sowie Daten- und Modellintegration über Schnittstellen

1.1 Definition der Anforderungen und des Informationsbedarfs [Alle]

Es wurde zusammen mit den Projektpartner ein Anforderungsprofil sowie die Daten- und Modellintegration über Schnittstellen erarbeitet. Dazu wurde unter anderem die Schnittstelle vom automatischen Fallensystem zum IPMaide Assistenzsystem umgesetzt, in dem Zuge wurden auch die Inputparameter u.a. für verschiedene Sensoren aufgestellt. Als API wird eine Open-Source-Implementierung der OGC SensorThings API eingesetzt, über die die Sensoren Ihre Werte dem Server der GID mitteilen. Der Insektensensor ist hierbei die komplexe Lösung aus künstlicher Intelligenz (KI) und Kamera, welche in diesem Projekt maßgeblich durch die iotec entwickelt wird.

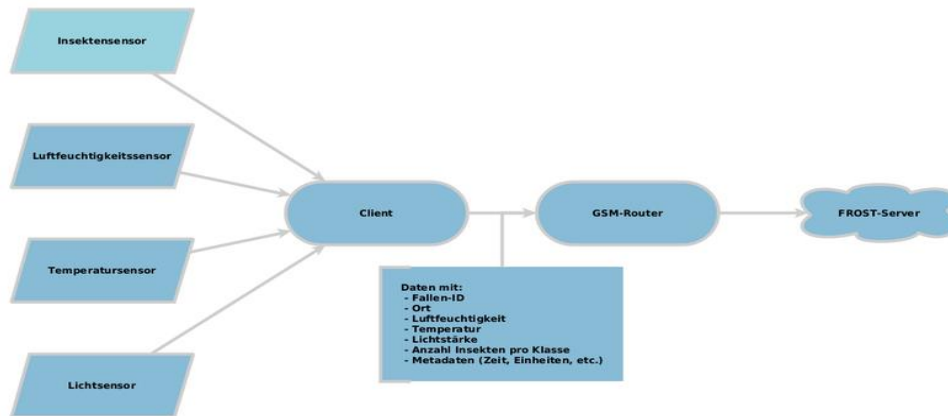


Abb. 1: Darstellung der Sensorwerte und des Kommunikationsweges

1.2 Datenbeschaffung (Bestimmung notwendiger Datengrundlagen und -verfügbarkeiten, Auswahl geeigneter Datenquellen, -qualitäten, Festlegung geeigneter Datenformate und Übertragungsstandards)

Das komplexe Ökosystems dieses Projekts weist vielfältige bidirektionale Verbindungen auf. Diese wurde zu Projektbeginn aufgestellt, in diesem Prozess hat sich die iotec, speziellen bezüglich des Fallensystems, miteingebracht.

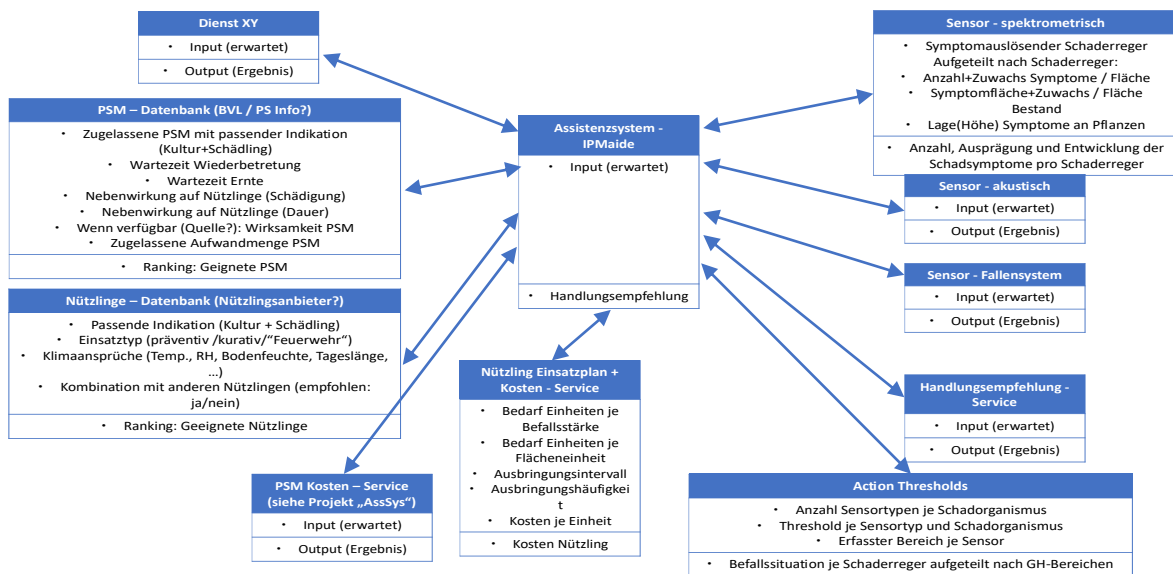


Abb. 2: Darstellung des gesamten Ökosystems der Datenquellen

AP 2: Schaderregerfassung mit verschiedenen automatischen Fallensystemen

Im Arbeitspaket 2 wird ein automatisiertes Fallensystem zur Schaderregerfassung entwickelt, dabei stellt der in DSSARTH entwickelte Demonstrator einer Erfassungseinheit die Basis dar. Dieser Demonstrator wird in diesem Arbeitspaket verbessert in dem unter anderem

eine LED-Tafel sowie Duftstoffe integriert werden, um Untersuchungen zur Erhöhung der Fängigkeit zu realisieren. Parallel wurde die Mechanik des Demonstrators überarbeitet.

2.1 Konzeption eines automatisierten Fallensystems auf Basis von LED-Farbtafeln und Duftstoffen

Für die Konzeption des IPMAIDE Systems soll auf die Erfahrungswerte, die aus dem vorangegangenen Projekt DSSARTH erworben wurden, aufgesetzt werden. Dort wurden verschiedene Systeme zur Erfassung von Gelbtafeln untersucht. Unter anderem eine Drehung mehrerer Gelbtafeln und Scannen der Gelbtafel über eine Contact Image Sensor (CIS). Dort war die große Herausforderung der dynamischen Regulierung der Helligkeit und das Herausfiltern der Verzerrung über eine nichtlineare Funktion.

Das Drehen der Gelbtafel um 180° auf einem Rotor war ein anderer vielversprechender Ansatz. Dieses scheint sinnvoll vom Grundkonzept und bietet in Hinsicht auf die folgenden Unterpunkte vielversprechende Möglichkeiten.

Es sollen stabilere Materialien verwendet werden die unter anderem Temperatur stabil sein sollen. Die ursprüngliche Falle war vollständig aus PLA-Kunststoff im Fused Deposition Modeling (FDM) gefertigt. Es kam heraus, dass bei Verwendung unter Glas sich das Kunststoff verformte und keine ausreichende Stabilität für die Verwendung in diesem Szenario bietet. Die neue Version soll so entwickelt werden, sodass auch stärkere Temperaturschwankungen nur geringen Einfluss auf das System haben darf.

Das „Image Stitching“ also das Zusammenführen mehrerer Bilder erwies sich als fehleranfällig und könnte einen Einfluss auf die Ergebnisse der künstlichen Intelligenz (KI) haben. Aus diesem Grund soll die folgende Version mit nur einer Kamera funktionieren. Aus diesen Bedingungen folgt die Konsequente Weiterentwicklung der DSSARTH Falle.

Die Grundbedingungen für das neue System sind wie folgt:

- Material: 2-3mm Aluminium für das Gehäuse, da das System aufgehängt werden soll und dazu gewisse Stabilität bieten muss. 3D gedruckte Innenteile sollen aus FDM gedruckten PETG bestehen, um eine hohe Temperaturtoleranz aufzuweisen.
- Motorauswahl: langlebiger Motor zum Drehen der Gelbtafel.
- Kameraauswahl: Eine Kamera mit Objektiv welche den gesamten Bereich der Erfassung abdecken kann und dabei möglichst wenig Verzerrung bietet.
- Computerauswahl: Einplatinencomputer mit der Möglichkeit eine komplexe KI auszuführen.
- Beleuchtung: Für die Beleuchtung der Flächen sollen LED-Plexiglas mit einer Kombination von LEDs mit spezifischen Wellenlängen verwendet werden: Grün, Blau.

- Sensoren: Beleuchtungsmessgeräte, Temperatur (innen/außen), Luftfeuchtigkeit

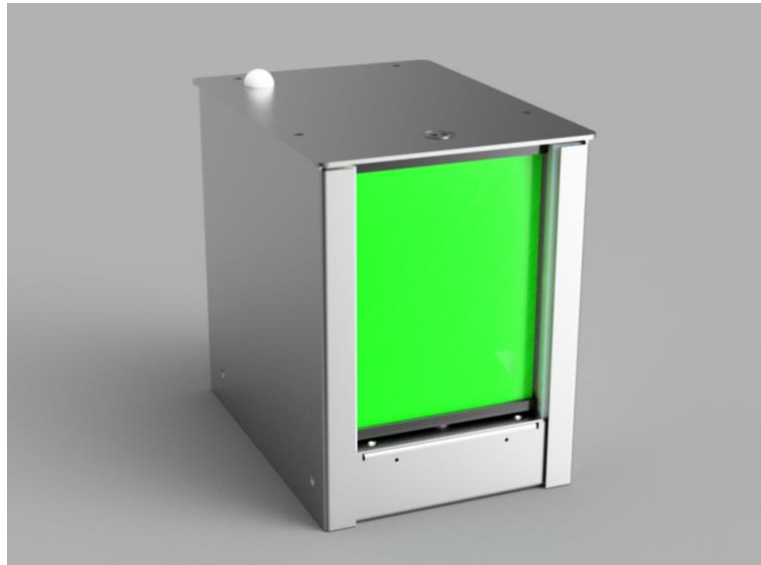


Abb. 3: CAD-Skizze der finalen Erfassungseinheit

Material & Konstruktion:

Die Konstruktion wurde aus ALMG3 Aluminium mit einer Dicke von 2,5mm gelasert, gekantet und weiter verarbeitet. Die Gewinde wurden mit Stahl Blindnietmuttern eingebaut.

Um die Falle aufhängen zu können wurden M6 Transportösen an der Oberseite verschraubt. Die Falle wurde so konzeptioniert, dass für eine Reparatur im Innenbereich nur die Abdeckplatte oben und ein Seitenteil demontiert werden muss. Danach können die Seitenelemente und der Rotor entnommen werden.

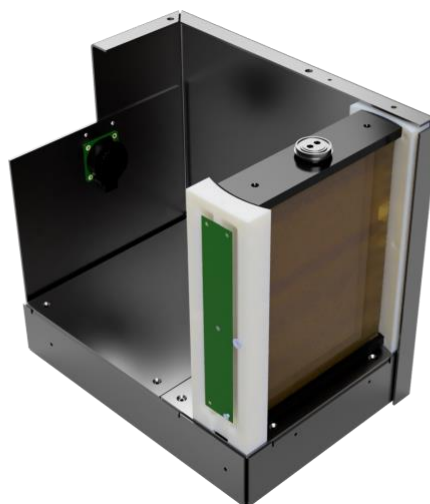


Abb. 4: CAD-Skizze der teilgeöffneten Erfassungseinheit (Serviceöffnung)

Der Rotor wird über zwei Flansch-Kugellager auf dem Gehäuse gelagert und übt keinen Druck auf den im unteren Teil befindlichen Servomotor aus. Gleichzeitig ist dieser Steckbar auf dem Servomotor befestigt und lässt sich mit der Entnahme der Abdeckplatte für Wartungen entnehmen.

Motorauswahl:

Um den Rotor zuverlässig auf eine Position drehen zu können wurde ein digitaler Servomotor ausgewählt. Diese Motoren verfügen bereits über eine integrierte Ansteuerung zu einem absoluten Drehwinkel. Dies geschieht über eine Pulsweitenmodulation (PWM) bei einer festen Frequenz.

Weiter wurde ein digitaler Servomotor mit einem hohen Drehmoment und Metallgetriebe verwendet. Wie oben bereits erwähnt wurde darauf geachtet, dass kein starker Druck auf den Servomotor ausgeübt wird. Dies sollte dazu beitragen, dass der Servomotor langlebig ist.

Jedoch zeigte sich zum Ende des Projekts, dass bei mehreren Servos Probleme mit der im Servomotorgehäuse liegenden Elektronik auftraten.

Somit musste die Konzeption des Fallensystems im Bereich des Servomotors, welche die Gelbtafeln dreht überarbeitet werden, da die erzeugten Bilddaten durch Bauteiltoleranzen zu unterschiedlichen Aufnahmewinkeln führten. Dies führte dazu, dass die beleuchtete Fläche nicht rechtwinkelig zu der Beleuchtung stand. Dadurch schien das Licht auf die Platte und nicht durch die Seite. Dies führte dazu, dass Stellen der Platte unregelmäßig beleuchtet wurde und es kam daraufhin zu einer fehlerhaften Auswertung der Objekte auf der Gelbtafel.

So wurde die Aufnahme des Rotors der Einheit so überarbeitet, dass diese einstellbar und Feder gedämpft bis zu einem Anschlagspunkt rotieren kann und durch die Feder dort gespannt wird. Dies minimiert die schräge Stellung des Rotors bei Fotoaufnahmen. Weiter lässt sich der exakte Punkt über Löcher an der Front mit einem Innensechskantschlüssel einstellen.



Abb. 5: Aufnahme des Rotors (Rotes Bauteil)

Kameraauswahl:

Für IPMaide wurde die Raspberry Pi High Quality Kamera mit C-Mount ausgewählt. Diese Kamera verfügt über einen Sony IMX477R Sensor und einer C- / CS-Mount-Aufnahme um Objektive direkt an die Kamera befestigen zu können. Die Auflösung des Sensors beträgt 12.3Megapixel. Zusätzlich lässt sich diese Kamera direkt über ein FPC-Kabel mit dem Raspberry Pi verbinden. Auch die Softwareunterstützung ist durch die Kompatibilität gegeben. Da der Arbeitsabstand zu dem aufzunehmenden Objekt relativ kurz ist wird ein Weitwinkelobjektiv eingesetzt.

Computerauswahl:

Für die Verwendung des Prozessors zur Datenverarbeitung und Kommunikation, wurde aus dem Vorgänger DSSARTH weiter auf dem Raspberry Pi aufgesetzt.

Da in diesem Projekt eine KI auf der Falle zum Einsatz kommt wurde die Version des Raspberry Pi von 3 auf 4 aktualisiert. Der Raspberry Pi 4 bietet durch seine Eigenschaften genug Leistung, um für die Anforderungen dieses Projektes zu genügen.

Ferner kann durch die Verwendung eines solch gut unterstützen Systems, mehr Zeit in die Entwicklung der Applikation fließen. Es soll hierbei erwähnt werden, dass das Betriebssystem des Raspberry Pi für das IPMAIDE System eigens angepasst und kompiliert wurde.

Dadurch sind auf dem System nur die notwendigen Komponenten eingebaut worden und die Systeme müssen nicht, oder nur wenig angepasst werden. Dies führt dazu, dass diese sich einfach fertigen lassen, ohne auf Basis eines bestehenden Betriebssystems Anpassungen durchführen zu müssen.

Sensoren:

Am IPMaide System sind mehrere Sensoren verbaut, welche Daten der Umgebung erfassen und über die Schnittstelle übertragen:

- Lichtsensoren (BH1750)

Der BH1750 ist ein fortschrittlicher digitaler Lichtsensor, der dazu verwendet wird, die Lichtintensität in der Umgebung zu messen. Seine Fähigkeit, die Beleuchtungsstärke in Lux zu messen und die Daten über eine I2C-Schnittstelle digital auszugeben, macht ihn besonders praktisch für die Integration in Embedded-Systemen wie dem IPMaide. Der Sensor kann eine große Bandbreite von Lichtintensitäten messen, was ihn ideal für Anwendungen unter Glas macht. Der im IPMaide verbaute BH1750 verfügt zusätzlich über einen Halbkugeldiffusor, der gleichzeitig als Spritzschutz dient, was besonders vorteilhaft ist, da der Lichtsensor auf der Oberseite des Systems verbaut werden muss.

- Temperatur & Luftfeuchtigkeit innen (DHT11)
Im IPMaide System wird der DHT11 zur Überwachung der Umgebungsbedingungen im Innenraum genutzt. Dies dient dazu, die Arbeitsbedingungen des Raspberry Pis zu dokumentieren und eventuelle Fehler rückblickend nachvollziehen zu können. Jedoch wird der DHT11 offensichtlich auch durch die Abwärme des Prozessors beeinflusst, was ihn weniger geeignet für präzise Umgebungsüberwachungen macht. Für kritischere Anwendungen könnte daher ein präziserer Sensor in Betracht gezogen werden.
- Temperatur & Luftfeuchtigkeit außen (DHT20)
Für die Überwachung der Außenumgebung verwendet das IPMaide System den DHT20, der eine deutliche Verbesserung gegenüber dem DHT11 bietet. Er zeichnet sich durch eine höhere Genauigkeit und einen erweiterten Messbereich aus. Dank seiner I2C-Schnittstelle lässt sich der DHT20 problemlos in das System integrieren, was die Datenübertragung und Systemkommunikation vereinfacht. Dies macht ihn ideal für den Einsatz in anspruchsvolleren Umgebungen, wo präzise Messungen der Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit erforderlich sind.

Im Rahmen der VF-Projekterweiterung wurde die Erfassungseinheit für den Einsatz in Vertikal-Farming Kammern weiterentwickelt. Dazu wurden zuerst die Anforderungen aufgenommen und anschließend ein Konzept für eine Aufnahmevorrichtung erstellt. Dieses bestand zum einen aus einer mechanischen Anpassung, um die Erfassungseinheit an ein Portalsystem anzubinden. Zum anderen wurde die elektrische Anbindung umgesetzt, sodass das System an einen an einer Schleppkette befindlichen Kabelsatz angeschlossen werden konnte. Abschließend wurde die Erfassungseinheit an einem Portalsystem angebunden.



Abb. 6: Erfassungseinheit in einer Vertikal-Farming Kammer

2.2 Integration von schmalbandigen LEDs in Lichtfallensystemen

Damit Insekten von der Falle angezogen werden, sollen LEDs mit spezifischen Wellenlängen verwendet werden. Die passenden LEDs wurden zusammen mit den Projektpartnern ausgesucht. Für die ersten Tests wurde ein fertiges LED-Modul von LUMITRONICS verwendet. Dieses beinhaltet LEDs von der Firma Nichia welche alle im gewünschten Farbspektrum liegen. Das Modul beinhaltet die LEDs in den Farben: Weiß, Blau, Grün, Rot. Davon sollen die Farben Grün und Blau vorerst im Außenbereich verwendet werden. Dieses Modul ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

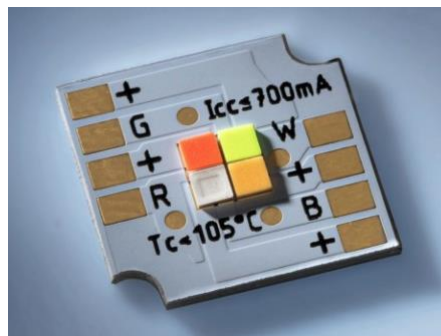


Abb. 7: Abbildung des LED-Moduls

Da dieses Modul mit dem quadratischen Aufbau mit der Falle inkompatibel ist, da das Array breiter war als die Plexiglasscheibe die beleuchtet werden sollte. Daher wurde eine Platine entwickelt bei der die entsprechenden LEDs in einer Reihe seitlich zum Rotor angebracht sind. Weiterhin wurde diese mit einer Schaltung versehen, um die einzelnen Farben über I2C schalten zu können, um so einen Farbwechsel zu ermöglichen und dabei verschiedene Konfigurationen im Gewächshaus ausprobieren zu können. Die Spannungsversorgung der LEDs wird dabei durch zwei Stromquellen zur Verfügung gestellt.



Abb. 8: Abbildung der LED-Platine

Damit die LEDs nur die Flächen beleuchten und nicht direkt in das Gewächshaus strahlen wurde der Rotor so umgebaut, dass dieser nun auf der Vorder- und Rückseite LED-Plexiglas

enthält, in welches seitlich das Licht induziert wird. Dieses ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



Abb. 9: Abbildung des Rotors inkl. der LED-Plexiglas Fronten

Durch die seitliche Beleuchtung der Plexiglas Fronten wurde ein gleichmäßiges Ausleuchten der Frontflächen erreicht.

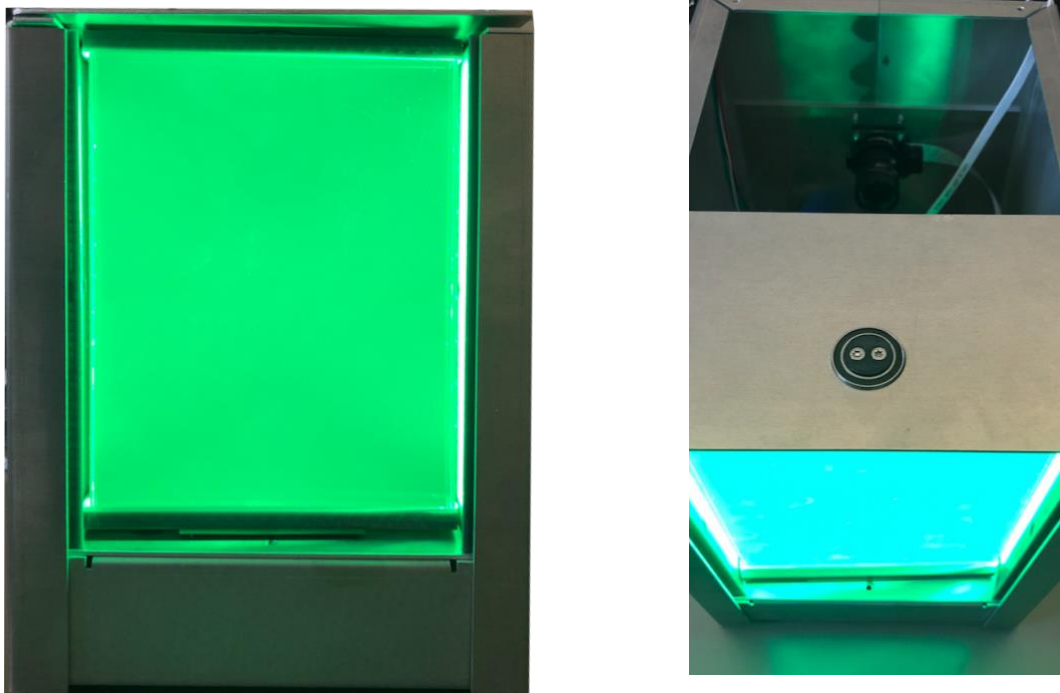


Abb. 10: Seitlich beleuchtete LED-Front von vorne (links) und von oben (rechts).

2.6 Indoorlokalisierungssystem (Geofences) zur Reduzierung von Fehlaufnahmen während der Pflanzenpflege / Fehlinterpretation der Messdaten

Um die Messdaten mit historischen Daten zu vergleichen, ist geplant Momente in denen Insekten aufgescheucht werden rauszufiltern. Dies soll durch eine Deaktivierung der Gelbtafel gelöst werden, indem die Klebefläche bei der Pflanzenpflege nach Innen gedreht wird, sodass keine Insekten gefangen werden können.

Zur Identifikation der Pflanzenpflege in der Nähe der Erfassungseinheit wurde eine Technologie ausgewählt, die in einem anderen Forschungsprojekt gute Ergebnisse im Bereich der Positionsbestimmung erreichte. Im Projekt FlyingData wird die Ultra-Wide-Band Technologie zur autonomen Navigation von einem Quadropter genutzt, diese Lösung wurde zuerst im Labor und anschließend im Gewächshaus erfolgreich validiert. Genutzt wird es in diesem Projekt, dass ein Tag in der Erfassungseinheit sitzt, der die Entfernung zu den Tags, die die Mitarbeiter im Gewächshaus tragen misst. Sobald der Abstand vom Tag in der Falle zu einem Tag an einem Mitarbeiter einen eingestellten Abstand unterschreitet, wird die Gelbtafel deaktiviert, in dem sich die Gelbtafel in den Innenbereich dreht.

2.7 Testen von Prototypen unter Gewächshausbedingungen und Praxisbedingungen

Die ersten Tests haben die Robustheit des Systems Großteils bestätigt. Jedoch hat der Prototyp an einer entscheidenden Stelle, der Bildaufnahme, nicht zuverlässig funktioniert. Bei den Aufnahmen variierte der Winkel von Gelbtafel zur LED-Beleuchtung, sodass die Bilder unterschiedlich beleuchtet wurden und dadurch teilweise schlechte Aufnahmen (zu ungleichmäßige Beleuchtung) erzeugten.

Daraus resultierte die Überarbeitung der Aufnahme des Rotors welche im Meilensteine 2.1 abgebildet ist. Daher hat uns der Projektpartner die Falle für eine konstruktive Überarbeitung zurückgegeben und es wurde eine konfigurierbare gefederte Komponente integriert (siehe 2.1). Dieser überarbeitete Prototyp wurde dem Projektpartner zur Verfügung gestellt und wurde anschließend erfolgreich im Gewächshaus eingesetzt.

2.8 Anomalieerkennung anhand der Kombination der Informationen (Sensordaten, Betriebsdaten)

Die Anomalieerkennung zwischen Sensordaten und Betriebsdaten wurde in diesem Projekt durch eine Überarbeitung des Algorithmus zur Erkennung der Nützlings- und Schädlingsarten auf der Klebetafel ersetzt, welcher eine schnellere Auswertung und eine bessere Genauigkeit erreichten.

In einer ersten Version wurde ein eigenentwickeltes Faltungsnetzwerk (CNN) verwendet und in einem Sliding-Window Ansatz das aufgenommene Bild in Kacheln unterteilt und der anteilige Besatz der Fläche mit den jeweiligen Nützlings- und Schädlingsarten kalkuliert. Somit war die Wachstumsprognose der Populationen möglich (siehe Abbildung 11). Ein Nachteil

dieser Methode ist die vordefinierte Anzahl an Pixeln (Breite und Höhe) zur Klassifizierung der Objekte.

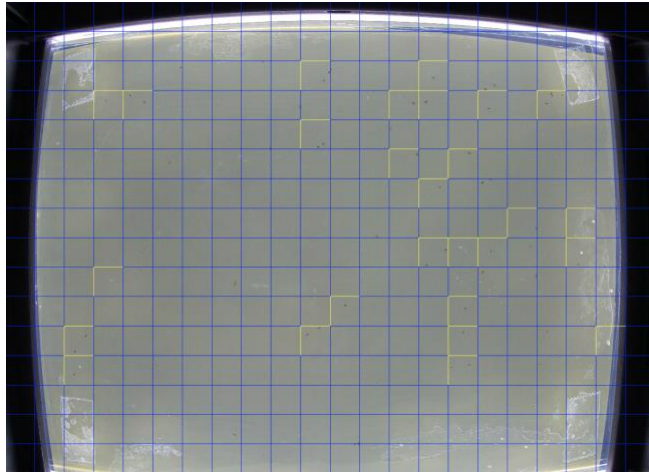


Abb. 11: Bewertung der Nützlings- und Schädlingspopulation je Kachel

Parallel zur konstruktiven Überarbeitung der Fallen wurde ein neues neuronales Netz angelegt, welches eine schnellere Auswertung der Daten durch eine direkte Objekterkennung gegenüber dem Vorgänger realisiert. Hierbei handelt es sich um ein Region-based Convolutional Neural Network (RCNN). Anstelle einer Bewertung, welche Insektenart in einem Abschnitt dominiert, wird mit dem neuen Ansatz direkt jedes Individuum lokalisiert und klassifiziert. Hierdurch wurde eine noch eine höhere Genauigkeit von 81% bei weißen Fliegen erreicht (siehe Abbildung 12).

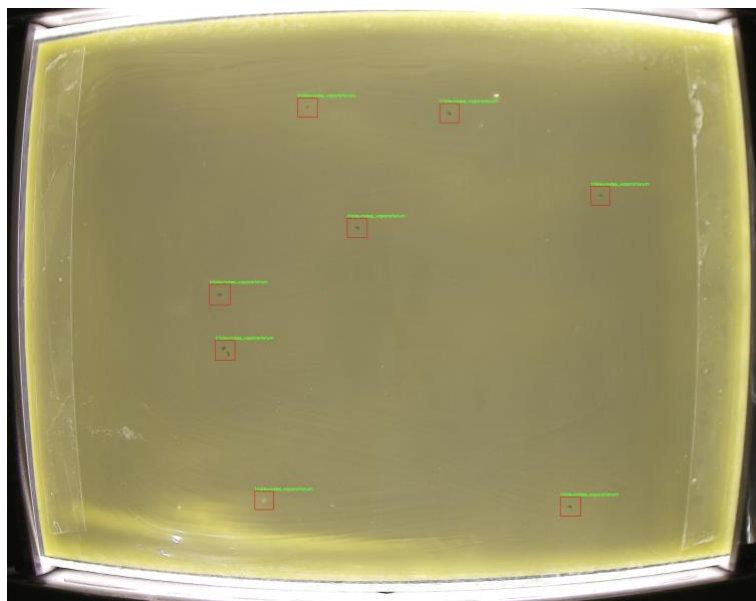


Abb. 12: RCNN Einsatz zur Klassifizierung Erkennung der Insektenposition

Diese Optimierung wurde durch den Einsatz eines, mit anderen Objekten vortrainierten RCNN, welches um die im Projekt zu analysierenden Insekten erweitert wurde, erreicht. Ein Vorteil des weitertrainierten RCNNs sind dabei deren Region-Proposal-Methoden, um mögliche Objekte in einem Bild direkt zu identifizieren und dann diese Regionen detailliert zu analysieren. Dies reduziert die Anzahl der Regionen, die analysiert werden müssen, erheblich und fokussiert die Berechnungen auf wahrscheinlich relevante Bereiche. Durch das gezielte Fokussieren auf diese Regionen können RCNNs eine höhere Genauigkeit bei der Objekterkennung erzielen, da sie detaillierte Informationen aus den relevanten Bildausschnitten extrahieren können. Durch das Vortrainierte Netz sind fernerhin Bereiche, in denen keine Insekten oder nur Schmutz ist, einfacher zu erkennen. Auch eine Festlegung auf eine genaue Pixelgröße der erkannten Insekten ist nicht mehr notwendig.

In Zuge der Überarbeitung von Hardware und KI wurde auch ein Update des Betriebssystems, sowie der eingesetzten Bibliotheken durchgeführt, um den neuen Algorithmus auf dem System lauffähig zu bekommen. Im Zuge der Weiterentwicklung des Neuronalen Netzes und des Algorithmus zur Analyse der Einzelbilder, zur Laufzeit der Falle, wurde ein Infrastruktur zum Anlernen des Systems mit neuen Trainingsdaten zur automatisierten Erzeugung neuer angelernter neuronalen Netze entwickelt. Hier wurde die frei verfügbare Software „Label Studio“ für das Projekt aufgesetzt. In das Label Studio können hohe Datenmengen aufgenommener Bilder geladen werden, welche durch einen Menschen manuell klassifiziert, bzw. gelabelt werden können. Hierzu ermöglicht es eine einfache grafische Oberfläche, auf dem Bild einer aufgenommenen Gelbkarte mit Insekten, kleine Rahmen zu ziehen und zuvor durch Drücken einer, nach Legende sortierten Ziffer, die Insektenart anzugeben (siehe Abbildung 13).

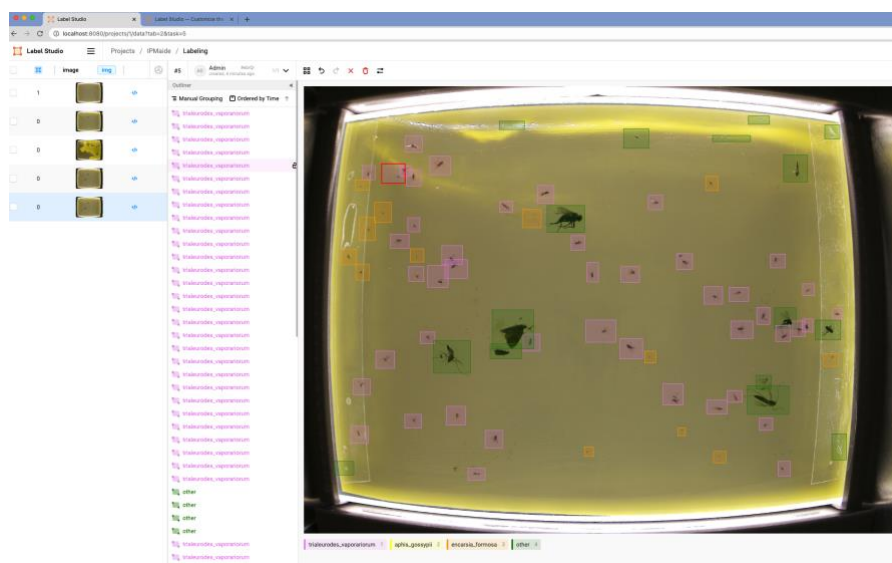


Abb. 13: Label Studio Software zur manuellen Klassifizierung des Bildmaterials

Um aus den gelabelten Daten ein neuronales Netz zu trainieren, war bisher jeweils die Arbeit eines Entwicklers notwendig. Dieser hat manuell die gelabelten Bilder eingelesen, das neuronale Netz antrainiert und das trainierte Netz bewertet. Durch unsere Neuentwicklung „Model Studio“ wurde ein neues grafisches Werkzeug entwickelt, mit welcher dieser Prozess durch eine fachkundige Person ohne Programmierkenntnisse angestoßen werden kann. In der GUI ist es möglich, ein Labelstudio Projekt auszuwählen und durch Checkbox-Auswahl der zu betrachtenden Insektenarten ein Netz zu trainieren. Die Qualität des trainierten Netzes wird dann als Ergebnisgrafik angezeigt und kann mit zuvor trainierten Netzen verglichen werden. Wenn das Netz die vorherigen Ergebnisse optimiert, kann es heruntergeladen und manuell durch einen Entwickler auf die Falle geladen werden. Dieser Prozess wurde im Jahr 2023 noch erweitert, sodass das neu angelernte neurale Netz direkt in die Erfassungseinheiten eingespielt werden können, ohne dass der Anwender dazu einen Entwickler und physikalischen Zugriff auf die Falle benötigt. Das Update wird direkt über die bestehende Kommunikationskanäle in die Falle eingespielt. Durch den Einsatz der RCNN Netze und die Möglichkeit des Trainings durch die Nutzer kann ein zunehmend steigender Klassifizierungserfolg erreicht werden.

AP 3: Schaderregererfassung mit akustischen Sensoren

Bei diesem Arbeitspaket hat iotec die Projektpartner bei der Auswahl geeigneter Sensoren unterstützt.

AP 4: Schaderregererfassung mit bildgebenden spektrometrischen Verfahren

Bei diesem Arbeitspaket hat iotec die Projektpartner bei der Auswahl geeigneter Kamerasystem unterstützt.

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen sind die Personalkosten und die Materialkosten sowie die sonstigen unmittelbaren Vorhabenskosten.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Entwicklung eines digitalen Assistenzsystems ist für die Umsetzung automatisierter und integrierter Pflanzenschutzmaßnahmen und somit auch der Verbesserung des Betriebsmanagements im Produktionsbereich von Gemüsekulturen im Gewächshaus als notwendig zu erachten und stellt maßgebliche Vorteile für den Anwender dar.

Die iotec GmbH besitzt eine grundsätzliche Infrastruktur zur Entwicklung von Hardwarenahen KI-Anwendungen. Allerdings sind für Forschungsvorhaben mit diesem Aufgabenumfang und

die dazugehörigen Neuentwicklungen von Gerätschaften die Mittel für Personal und die Ressourcen für die Entwicklung von Gerätschaften nicht vorhanden. Ohne die erhaltene Förderung wären die geleisteten Arbeiten bzw. Ergebnisse nicht möglich gewesen.

4. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit

Die Ergebnisse und Erkenntnisse, die in diesem Projekt gewonnen wurden, ergänzen das Wissen der iotec im speziellen im Bereich der KI-Anwendung zur Bildanalyse. Die neugewonnen Kenntnisse im Bereich der Entwicklung von Algorithmen werden voraussichtlich in zukünftigen Entwicklungsprojekt eingesetzt werden.

Im Bereich der Erfassungseinheit wird die zukünftige Entwicklung daraus bestehen, dass die gewonnen Erkenntnisse in die Weiterentwicklung in einen Prototyp einfließen werden.

5. Bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet an anderen Stellen

Nach eigenen Kenntnissen befinden sich im Bereich der automatisierten Erkennung von Insekten verschiedene Projekte, wobei diese die Gelbtafeln direkt fotografieren ohne Umgebungseinflüsse zu reduzieren (Optimierung der Bildqualität) oder mittels weiterer Einflüsse (LEDs, Duftstoffe) die Fängigkeit erhöhen.

6. Veröffentlichungen der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Projektes IPMaide wurden in Vorträgen und auf Postern vorgestellt.