

**Teil I.: Kurze Darstellung**  
**des**  
**Abschlussberichts zum Forschungsvorhaben**

**Verbundprojekt: Einsatz autonomer Drohnen zur nachhaltigen Pflanzenproduktion in  
Gewächshäusern (FlyingData) - Teilprojekt 3**

Zuwendungsempfänger:

**iotec GmbH  
Albert-Einstein-Str. 30  
D-49076 Osnabrück**

Förderkennzeichen:

**2818507C18**

Laufzeit:

**01.01.2020 – 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**

Technisches und wissenschaftliches Ziel des Vorhabens ist es daher, Kleindrohnen autonom im Gewächshaus in Betrieb zu nehmen und mit Sensorik im Bereich der Klimaregung auszurüsten. Pfadplanung, autonomes Landen, Aufladen, Starten, Zielfindung, Hinderniserkennung sind zu entwickeln und so weit wie möglich zu optimieren. Navigation ist mit UWB-Sensoren, integrierten Sensoren und LED-Signalen zu realisieren. Bei dem Einsatz von Drohnen in Gewächshäusern ist zu beachten, dass die durch die Flüge entstehenden Turbulenzen unterhalb der Drohne die Pflanzen in ihrem Wachstum beeinflussen können (positiv wie negativ). Ebenso ist zu beachten, dass schwierig zu ortende und zum Teil variable Hindernisse im Gewächshaus (Binderstiele, bewegliche Energieschirme, Gießwagen, Mobiltischroboter,...) die Anwendung erschweren.

Als Anwendungsfall wird beim Drohneneinsatz in dem Projekt auf die Klimaregung fokussiert. Die konventionelle Klimaregelung in Gewächshäusern basiert auf den Informationen von fest installierten Sensoren, die Luftfeuchtigkeit, Temperatur, CO<sub>2</sub>-Gehalt der Innenluft und evtl. noch die einfallende Globalstrahlung gewächshausabteilungsspezifisch an einem Punkt erfassen. Die Klimaparameter selbst in kleineren Gewächshaus-Einheiten unterscheiden sich aber sowohl in der Fläche als auch im Raum deutlich. Eine hochaufgelöste dreidimensionale Erfassung ist daher von großer Bedeutung, um Problemstellungen situationsgerecht und adäquat entscheiden zu können.

Zusammenfassend soll also ein Sensorikdrohenprototyp entwickelt, in der Gewächshauspraxis erprobt und zu einem innovativen System ausgebaut werden. Die gartenbauliche Produktion in Gewächshäusern w.re damit effizienter, nachhaltiger und auch kostengünstiger.

Die Ausgangslage stellen Drohnen dar, die in unterschiedlichsten agrarorientierten Applikationen schon seit geraumer Zeit eingesetzt werden. Vielfach werden landwirtschaftliche Flächen in Höhen deutlich über 10 m überflogen, um mit Hilfe von RGB-, NIR- oder Multispektralkameras Aussagen über den Pflanzenbestand zu erhalten (siehe Krishna, 2018). Jedoch arbeiten die Drohnen nicht autonom, sondern werden manuell gesteuert. Im Gegensatz zur Freilandlandwirtschaft findet man nur sehr wenig Literaturstellen zum Drohneneinsatz in Gewächshäusern. Hier wird das große Potential von Drohnen für die Erfassung von Klimadaten immer wieder festgestellt (so z.B. Tripolitsiotis et al. 2018), aber es finden sich keine konkreten Applikationen eines autonomen Drohneneinsatzes (siehe auch Bashi et al., 2017). So beschreiben Roldan et al. (2016) eine Klimaerfassungsdrohne für Gewächshäuser, jedoch ohne praktikable Anwendung. Bezüglich der Klimadatenerfassung mit Drohnen muss noch Nassar et al. (2018) erwähnt werden. Sie konzipierten

zukunftsorientierte Kleinstsensoren für Luftfeuchte und Temperatur, so dass die Sensoren selbst ein Coptersystem darstellen, welches sich passiv durch Auftrieb in Pflanzenbeständen bewegen könnte.

## **2. Ablauf des Vorhabens**

Im Rahmen der beantragten Forschungsaktivitäten soll eine autonom fliegende Kleindrohnen für Gewächshausanlagen entwickelt werden, die entlang eines vorgegebenen Pfades Klimadaten aufzeichnen und zwecks Klimaregelung an den Klimacomputer weitergeben. Dazu wurde das Projekt „FlyingData“ in die folgende sieben Arbeitspakete eingeteilt:

- Abstimmung und Definition von Schnittstellen
- Erstellung von Kriterienkatalogen für die Systemkomponenten
- Auswahl von Systemkomponenten
- Tests und Versuche zur Entscheidungsfindung Positionserfassungssystem
- Technische Weiterentwicklungen
- Untersuchungen und Datenerhebungen
- Vorstellung von End-, Zwischen- und Teilergebnissen

## **3. Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Bei der Durchführung des Projektes wurde ein Positionierungssystem für Drohnen realisiert. Dazu wurde nach einer Untersuchung verschiedenster Technologien zur Positionserkennung, die Lösung die auf die Technologie Ultra-Wide-Band (UWB) setzt, für die Umsetzung ausgewählt. Daher wurden UWB Systemen Genauigkeitstests durchgeführt, diese haben maximale Ungenauigkeiten von 0,4m ergeben, sodass diese Technologie für die Positionsbestimmung mit einer Drohne eingesetzt werden kann, da sie die Anforderung von einer maximalen Abweichung von 0,5m unterschreitet.

Testflüge im Gewächshaus wurden nach den erfolgreichen Testflügen im Outdoor/Hallen-Szenario durchgeführt. Diese zeigten auf den X-/Y-Achsen eine ausreichende Genauigkeit für autonome Flüge. Die Höhenbestimmung über die Z-Achse wurde mit einem Barometer realisiert, welches durch eine Kalibrierungslösung während der Inbetriebnahme, die eine ausreichende Genauigkeit für autonome Flüge ermöglicht.

Die Lokalisierungstechnik-Software wurde für eine schnellere und zuverlässigere Einrichtung an neuen Standorten optimiert. Zudem wurden die Softwarelösungen für Datenübertragung, Barometerkalibrierung und Pfadplanung auf einem System vereint, wodurch die Abhängigkeiten vor dem Abflug minimiert wurden. Diese gesamten Prozesse wurden dokumentiert und bei der Übergabe der Technologie an eine Hochschule mitgeliefert. Diese

ist nun in der Lage, eigenständig Flugversuche durchzuführen. Abschließend wurde die Robustheit der Positionsbestimmung in der Firmware optimiert.

Für die Durchführung des Projektes war zudem die Zusammenarbeit mit dem Projektpartnern wesentlich entscheidend. An der Projektdurchführung waren die folgenden Partner beteiligt: RAM GmbH und die Hochschule Osnabrück 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**

**Verbundprojekt: Einsatz autonomer Drohnen zur nachhaltigen Pflanzenproduktion in  
Gewächshäusern (FlyingData) - Teilprojekt 3**

Zuwendungsempfänger:

**iotec GmbH  
Albert-Einstein-Str. 30  
D-49076 Osnabrück**

Förderkennzeichen:

**2818507C18**

Laufzeit:

**01.01.2020 – 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 .....	10
3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	10
4. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit.....	10
5. Bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet an anderen Stellen.....	10
6. Veröffentlichungen der Ergebnisse.....	10

## **Abbildungsverzeichnis**

<b>Abbildung 1:</b> Verwendeter Bluetooth Tag (links) und AoA Anker (rechts) der Firma ublox ...	3
<b>Abbildung 2:</b> Verwendeter Bluetooth Tag (links) und AoA Anker (rechts) der Firma ublox ...	4
<b>Abbildung 3:</b> Oberfläche der POZYX Software .....	6
<b>Abbildung 4:</b> Darstellung der Flugstrecke des Copters in der Software QGroundControl .....	7
<b>Abbildung 5:</b> UWB-Anker in 3D-gedruckten Gehäuse im Gewächshaus .....	8

## II. Eingehende Darstellung

### 1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Um die gesetzten Ziele zu erreichen, werden die Arbeitsschritte granular in 24 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.

#### AP1: Definition und Spezifikation von Datenschnittstellen (RAM, iotec, COALA)

Im Rahmen dieses Arbeitspakets werden die Definitionen und Spezifikationen für die Datenschnittstellen erarbeitet. Für die Kommunikation mit der Drohne und der Flugplanung wird auf den weit verbreiteten Standard MAVLink im UAV-Bereich gesetzt. Die Schnittstellen zu diesem Protokoll sind bereits in verschiedenen Programmiersprachen implementiert worden ([http://mavlink.io/en/#supported\\_languages](http://mavlink.io/en/#supported_languages)) und konnten daher effizient genutzt werden. Im Allgemeinen erfolgt die Kommunikation von MAVLink über ein XML-Format, in dem die entsprechenden Parameter in einer XML-Liste bereitgestellt werden.

MAVLink kann bei der verwendeten Drohne sowohl über ein proprietäres 433-MHz-Empfänger/Sender-System als auch über das WLAN-Netzwerk des verwendeten ESP32 angesprochen werden. Aufgrund der Verbreitung dieses Standards besteht die Möglichkeit, bestehende Software zu verwenden und somit effektiv auf bereits laufende Projekte aufzubauen, um die Entwicklung voranzutreiben.

Da die WLAN-Verbindung über den ESP32 verfügbar ist und die Anbindung der Sensoren dadurch erleichtert wird, ist geplant, die Sensordaten über WLAN zu übertragen und die Flugplanung über WLAN mithilfe des MAVLink-Protokolls zu konfigurieren

#### AP2: Erstellung eines projektspezifischen Kriterienkataloges zur Auswahl des Positionserkennungssystems (iotec, RAM, COALA)

Zur Positionsbestimmung stehen mehrere Systeme zur Auswahl. Das am meisten verwendete System für die Lenkung von autonomen Drohnen ist GNSS. Dieses Positionierungsverfahren wird längst in verschiedenen Produkten verwendet und hat sich am Markt etabliert. Problematisch ist hierbei jedoch, dass ein solches System unter Glas durch Störungen nicht alleinig verwendet werden kann. Dies haben GPS-Messungen im Gewächshaus ergeben, in dem der Standort um mehrere Meter abwich.

Um das Problem weiter zu adressieren und nach einer Möglichkeit zu suchen, die Drohne autonom flugfähig zu bekommen sollten zunächst verschiedene Positionierungssysteme miteinander verglichen werden und mit Hilfe eines Kriterienkatalogs kritisch hinterfragt werden. Ein solcher Kriterienkatalog könnte im Rahmen von indoor-Lokalisierungssystemen wie folgt aussehen.

Kriterien für die Auswahl solcher Systeme sind: Grundsätzliche Genauigkeit des Systems, Kosten aller benötigten Komponenten, Unabhängigkeit von äußeren Störfaktoren.

### AP3: Realisierung Positionserkennungssystem (iotec, We, Ra)

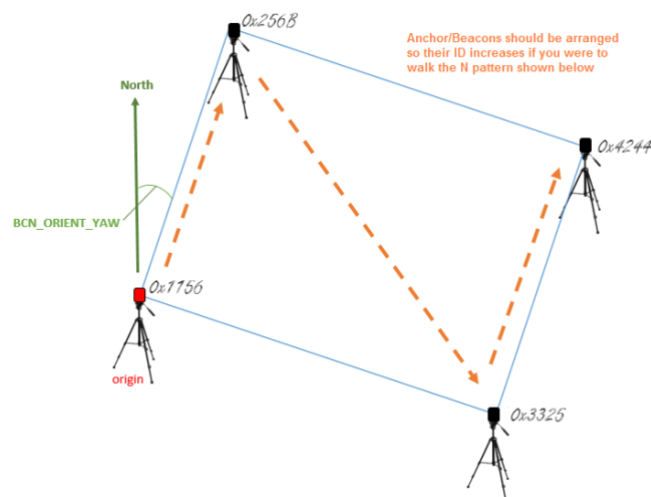
Drei verschiedene Technologien (GPS, Bluetooth, Ultra-Wide-Band) haben die meiste Übereinstimmungen mit den Kriterien aufgewiesen. Daher wurde mit diesen Technologien Testaufbauten zur Validierung des Positionserkennungssystem realisiert.

Dazu wurden Tests und Untersuchungen zur Positionserkennung im Labor sowie im Gewächshaus mit den drei Technologien durchgeführt.

GPS - Es hat sich herausgestellt das GPS im Laborbereich sowie im Gewächshaus nur teilweise verfügbar war und bei Stillstand des Sensors Sprünge > 3 m angezeigt hat. Somit ist der Einsatz vom GPS im Gewächshaus nicht möglich.

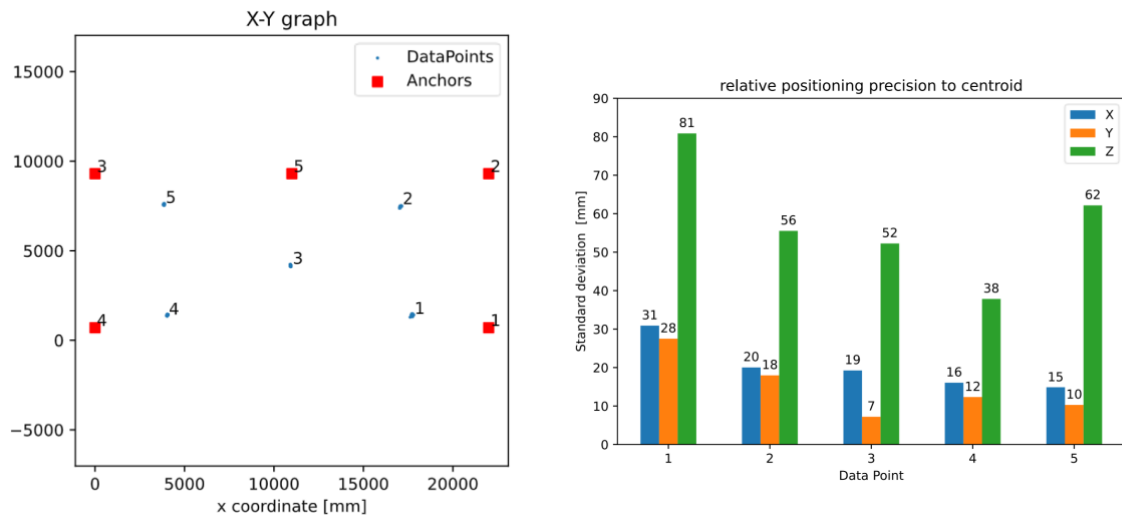
Bluetooth - Es wurden Tests mit Bluetooth durchgeführt. Dieses Signal stand im Labor und Gewächshaus durchgehend zur Verfügung hat jedoch bei den Genauigkeitsuntersuchungen Sprünge von bis zu 1,4 m angezeigt und ist somit für die Navigation einer Drohne im Gewächshaus nicht einsetzbar.

UWB - Die dritte Technologie, mit der die Untersuchungen durchgeführt wurden, war Ultra-Wide-Band (UWB). Die Tests haben ergeben, dass wie bei Bluetooth durchgehend eine Position übermittelt wurde. Als UWB-System wird das proprietäre Ortungssystem von POZYX verwendet. Durch Laufzeitmessung der Signale wird die Position, mit Hilfe der fest verbauten Anker, im dreidimensionalen Raum verortet.



**Abbildung 1:** Verwendeter Bluetooth Tag (links) und AoA Anker (rechts) der Firma ublox

Für den UWB-Testaufbau wurde zunächst ein Versuch in einer großen leeren Halle durchgeführt. Der größte Messaufbau war hierbei 22m x 9,3m x 5m (L x B x H). Die Anker, welche die Außengrenze markieren sind in der folgenden Abbildung rot dargestellt. Die Maximale Höhendifferenz der Anker beträgt in diesem Aufbau Es wurde ein Dreibeinstativ mit einem UWB-Tag ausgestattet und auf vorher eingemessene Messpunkte gestellt in der folgenden Abbildung Blau dargestellt.



**Abbildung 2:** Verwendeter Bluetooth Tag (links) und AoA Anker (rechts) der Firma ublox

Der relative Fehler für diese Präzisionsmessung lag im Maximum bei ~33mm für X und Y und 81mm für die Z-Achse. Diese Messungen wurden für verschiedene Aufbauten wiederholt und der radiale Fehler im dreidimensionalen Raum über eine Chi-Verteilung (97,5%) ermittelt.

Die Präzisionsergebnisse vom POZYX System in einem definierten Umfeld zeigen, dass dieses System sich grundsätzlich gut für die Innenraum Navigation eignen kann. Aus diesem Grund wird sich folgend als Positionierungssystem für das POZYX System entschieden. Es sollte jedoch an dieser Stelle erwähnt werden, dass die Präzision nicht die Genauigkeit des Systems, sondern die Wiederholbarkeit zu einem gewissen Punkt widerspiegelt, welches für die Navigation benötigt wird.

AP4: Tests und Untersuchungen zur Positionserkennung (Labor, Versuchsgewächshaus, Praxisbetrieb; fixierter Copter, Flug-Copter, Tag-Nachtbetrieb, Störgrößenberücksichtigung), dabei werden vorhandene Coptersysteme verwendet (Ra, We, iotec)

Die Genauigkeitstests haben maximale Ungenauigkeiten von 0,4m ergeben, sodass diese Technologie für die Positionsbestimmung mit einer Drohne eingesetzt werden kann, da sie die Anforderung von einer maximalen Abweichung von 0,5m unterschreitet.

AP5: Erstellung eines projektspezifischen Kriterienkataloges zur Auswahl der Klimasensoren (Ru, RAM, iotec, COALA)

Die iotec hat bei der Erstellung eines projektspezifischen Kriterienkataloges zur Auswahl der Klimasensoren unterstützt.

AP6: Sensorenauswahl, -beschaffung, -test, -kalibrierung (Ru, COALA, iotec, RAM)

Bei der optimalen Auswahl der Sensoren konnte die iotec maßgeblich zur Unterstützung beitragen.

AP7: Erstellung eines projektspezifischen Kriterienkataloges zur Auswahl der einzusetzenden Drohnen (Ra, RAM, iotec, Coala)

Die iotec leistete wertvolle Unterstützung bei der Entwicklung eines auf das Projekt zugeschnittenen Kriterienkatalogs zur Auswahl der einzusetzenden Drohnen. Dazu wird zunächst beschlossen ein großer flugstabiler Hexacopter und später ein kleiner, besser für ein Gewächshaus passenderer Quadrocopter verwendet.

AP8: Drohnenauswahl, Beschaffung und Tests (Ra, COALA, iotec, RAM)

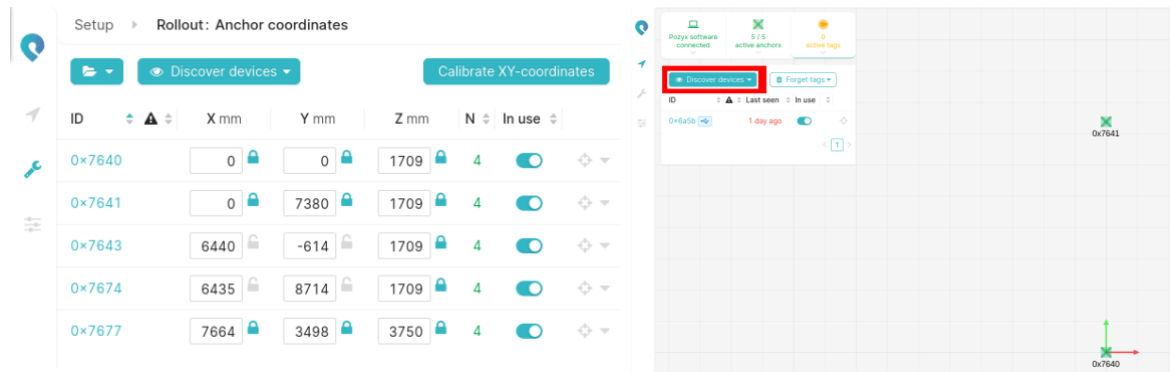
Die iotec hat bei der Auswahl der Drohnen unterstützt und anschließend eine Drohne beschafft, diese in Betrieb genommen und getestet. Dazu wurde zunächst beschlossen eine große flugstabile Drohne und später eine kleine, besser für ein Gewächshaus passendere, Drohne zu verwenden.

Dies beschleunigte die Entwicklungszeit, da die Navigation auf dieser einfacher zu testen und zu optimieren war. Später konnte das Ergebnis auf eine kleinere Drohne übertragen werden. Dies konnte zu einer schnelleren Entwicklung beitragen.

AP9: Realisierung der notwendigen Datenübertragungen (Navigation, Sensoren, PC bzw. später Klimaregelcomputer) (WE, RAM, iotec)

Das UWB-System besteht aus Ankern, die im Raum aufgestellt werden und einem Tag, der auf der Drohne angebracht wird. Die Kommunikation zwischen dem Tag und der Drohne zur Übergabe der anzusteuernenden Koordinaten sowie der Ist-Werte ist umgesetzt worden.

Im Gewächshaus ist ein UWB-System zur Positionsbestimmung stationär installiert und eingerichtet worden. Die Ersteinrichtung wurde mit der von POZYX mitgelieferten Software umgesetzt.



**Abbildung 3:** Oberfläche der POZYX Software

Die Software zur Pfadplanung steht zur Verfügung und es können Routen im Gewächshaus geplant und abgeflogen werden (Einschränkung: Die Regelung der Z-Höhe ist noch nicht ausreichend (siehe AP11), sodass die Tests aktuell nur durch iotec durchgeführt werden).

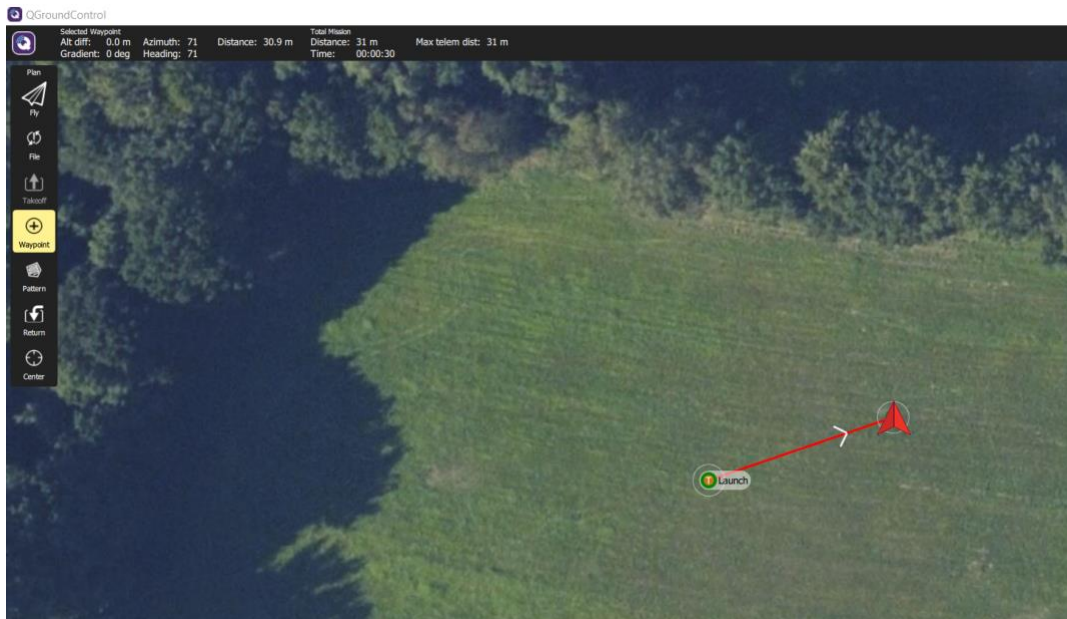
Die UWB-Daten Positionsdaten der Drohne werden zum Companion Computer weitergeleitet und über WLAN zusammen mit den Sensordaten in die Datenbank geschrieben.

#### AP10: Entwicklung von Algorithmen zur Realisierung der Pfadplanung (Ra, We, iotec)

Anstatt eigene Algorithmen für die Planung zu entwickeln, haben wir uns auf bereits vorhandene Fahrplannavigations-Systeme verlassen. In diesem Projekt setzen wir generell auf Ardupilot, eine in der UAV-Branche renommierte Softwarelösung.

Ardupilot ist eine offene, anpassungsfähige Plattform, die für die Steuerung verschiedenster unbemannter Fahrzeuge konzipiert wurde. Sie bietet Unterstützung für Flugzeuge, Hubschrauber und Quadcopter. Die primäre Funktion von Ardupilot liegt in der Überwachung und Regulierung der Bewegung und Stabilität des Fahrzeugs, basierend auf einer kontinuierlichen Analyse der Daten von einer Vielzahl an Sensoren, einschließlich Gyroskopen, Beschleunigungsmessern, GPS-Modulen und UWB. Diese Daten werden herangezogen, um die Motorleistung sowie die Steuerung des Fahrzeugs in Echtzeit zu justieren, wodurch eine stabile und kontrollierte Fortbewegung gewährleistet wird. Ein wesentlicher Vorzug von Ardupilot ist zudem die einfache Integration einer breiten Palette an Sensoren. Die Software bietet eine umfangreiche Auswahl an Flugmodi und Einstellungsoptionen, die bequem konfiguriert werden können. Überdies ermöglicht Ardupilot die Automatisierung von Flugmissionen, sodass das Fahrzeug autonom vorprogrammierte Routen abfliegen kann.

Für eine benutzerfreundliche Koordinatenverwaltung haben wir uns in diesem Projekt für die Software QGroundControl entschieden. Sie ermöglicht eine effiziente Interaktion zwischen dem Benutzer und der Drohne, wobei die Drohne sowohl über MAVLink in einem IP-Netzwerk als auch über das 433MHz System eingerichtet werden kann.



**Abbildung 4:** Darstellung der Flugstrecke des Copters in der Software QGroundControl

#### AP11 Realisierung der Copternavigation unter der Berücksichtigung von Onboard-Sensoren, Pfadplanung und Positionsbestimmung, Optimierungen (iotec, Ra, We)

Die Entwicklung der Copternavigation, die Onboard-Sensoren, Pfadplanung und Positionsbestimmung integriert, wurde eingeleitet und konnte durch die Vorarbeit abgeschlossen werden, was erfolgreiche Testflüge ermöglichte.

Die Flüge erstreckten sich von Outdoor-Szenarien über große Hallen bis hin zu autonomen Flügen im Gewächshaus, wobei die Pfadübertragung nun kabellos erfolgte.

Für die ersten Tests wurde ein Outdoor Szenario gewählt, um möglichst wenig Einfluss von der Umgebung zu gewährleisten. Zusätzlich ist wie bereits oben beschrieben, das am besten integrierte Positionierungssystem bei UAVs GNSS. Um die generelle Positionierung und Navigation zu testen wurde auf GNSS gesetzt. Dieses war einfach zu integrieren und so konnten schnell vielversprechende Ergebnisse erzielt werden. Der erste Test wurde auf einem ländlichen Feld durchgeführt. Dazu wurde dem Copter eine Planung zum Flug eines rechteckigen Quadrats übertragen. Der Umfang der Gesamtstrecke betrug ungefähr 600m und wurde erfolgreich abgeschlossen. Dabei wurde vor allem ein Augenmerk auf den erfolgreichen Start und der Landung gelegt. Die Drohne hobte selbstständig, nach dem Starten über einen Schalter an der Fernbedienung, ab und landete nach der Mission eigenständig und begab sich in einen sicheren Modus, in dem die Rotoren und erneutes Aktivieren ohne manuelle Bestätigung deaktiviert wurden. Somit war die grundsätzliche sichere Flugfähigkeit und die Navigation der Drohne unter freiem Himmel gewährleistet. Dies galt als Meilenstein auf dem folgend die ersten Tests unter Dach erfolgen konnten.

Die zweiten Tests fanden in einer leeren Lagerhalle statt. Diese war vollständig geschlossen, somit wurde die Nutzung des GPS im Innenraum unmöglich. Dies war der erste Test, welcher zusammen mit dem UWB-System durchgeführt wurde. Dazu wurde auf dem Hexacopter die entsprechende Elektronik verbaut. Das bedeutet der Flugcontroller wurde mit einem

Mikrocontroller verbunden. Dieser hat die Daten des auf der Drohne montierten UWB-Tags aufgearbeitet und in einem für das Ardupilot verständlichen Format übertragen. Aus diesen Daten war es der Software auf dem Flugcontroller möglich, die aktuelle Position des Quadrocopters zu berechnen. Durch Fusion der Sensordaten des Flugcontrollers (IMU, Barometer, UWB), konnte der Grundstein der autonomen Flugplanung gelegt werden. Der Testaufbau hatte die Größe von 10x10 Metern, in dem die Drohne mehrere Missionen erfolgreich durchführte.

Für die Realisierung im Gewächshaus wurden zunächst die UWB-Anker verbaut. Dazu wurden diese mit einem eigens entwickelten 3D gedruckten Arm an vorhandenen Gestängen montiert. Anschließend wurden diese zunächst mit Hilfe der POZYX Software eingerichtet und in Betrieb genommen. Dazu war es notwendig die Koordinaten mit Hilfe eines Laser-Distanzsensors auszumessen und in die Software zu übertragen.



**Abbildung 5:** UWB-Anker in 3D-gedruckten Gehäuse im Gewächshaus

Diese Positionsdaten wurden außerdem auf einem weiteren Mikrocontroller mit UWB-Tag übertragen.

Dies war notwendig, um eine möglichst einfache Einrichtung ohne die Notwendigkeit der proprietären POZYX-Software zu gewährleisten. Diese Entwicklung geschah aus dem Grund, dass die Anker nach einem Neustart die vorhandenen Konfigurationsparameter verloren haben. Mit Hilfe dieses Konfigurationstools konnten die Anker nach einem Neustart durch das einfache Starten des Mikrocontroller automatisch mit den gespeicherten Parametern eingerichtet werden.

Die Testflüge im Gewächshaus zeigten auf den X-/Y-Achsen eine ausreichende Genauigkeit für autonome Flüge. Die Höhenbestimmung über die Z-Achse wurde mit einem Barometer realisiert, welches im Gewächshaus zunächst nur bedingt zuverlässig arbeitete. Daher folgte eine Optimierung der Höhenbestimmung durch zusätzliche UWB-Anker und Softwareanpassungen, wodurch die Drohne, jedoch noch besser im Gewächshauseinsatz funktioniert.

Die Z-Achse für autonome Flüge wurde anschließend optimiert, indem verschiedene Barometer-Tests durchgeführt und eine Kalibrierungslösung entwickelt wurde, die eine ausreichende Genauigkeit für autonome Flüge ermöglicht. Die Lokalisierungstechnik-Software wurde für eine schnellere und zuverlässigere Einrichtung an neuen Standorten optimiert. Zudem wurden die Softwarelösungen für Datenübertragung, Barometerkalibrierung und Pfadplanung auf einem System vereint, wodurch die Abhängigkeiten vor dem Abflug minimiert wurden. Diese gesamten Prozesse wurden dokumentiert und bei der Übergabe der Technologie an eine Hochschule mitgeliefert. Diese ist nun in der Lage, eigenständig Flugversuche durchzuführen. Abschließend wurde die Robustheit der Positionsbestimmung in der Firmware optimiert.

#### AP14 Sensorimplementierung an den Drohnen, Flug-Tests (Ru, iotec)

Bei der Sensorimplementierung bot die iotec umfangreiche Unterstützung, damit Sensorwerte zu den richtigen Zeitpunkten aufgenommen werden konnten. Anschließend wurden erste Flugtests im Gewächshaus durchgeführt. Bei diesen Flügen wurde sichergestellt, dass alle sicherheitsrelevanten Einrichtungen, wie zum Beispiel die Notabschaltung funktionierten. Es wurden Tests mit dem Anfliegen verschiedener Positionen, sowie Start und Landung übernommen. Desweiteren wurden enge Flugrouten geplant, um das Verlassen des Bereiches beim Korrigieren analysieren zu können. Die ersten Flugtests verliefen positiv.

Nachdem sicher gestellt war, dass die Flugtests wie gewünscht verliefen wurde das System an die Mitarbeiter der Hochschule Osnabrück übergeben.

#### AP17 Visualisierung der 3D-Klimadaten und Copterpositionen (RAM, COALA, iotec)

Die Visualisierung der Copterposition erfolgt wie oben beschrieben über QGroundControl indem die aktuelle Position über einen Marker eingeblendet wird. Bei einer Synchronisation wird die aktuelle Karte von OpenStreetMaps im Hintergrund angezeigt.

#### AP20 Test und Bewertung des Endsystems (Prototyp) im Praxiseinsatz (Ra, COALA, RAM, iotec)

Die Einsätze der autonomen Drohne wurden erfolgreich im Praxiseinsatz durchgeführt. Nach Übergabe des Gesamtsystems waren nur wenige Termine zum Austausch des Systems notwendig und viele Tests konnten durch die Hochschule selbstständig durchgeführt werden.

#### AP22: Vorstellung erreichter Zwischenergebnisse auf Ausstellungen. Messen und Verbandstreffen, Einholen von Erfahrungen und Kommentaren aus der Praxis

Auf der Gartenbaumesse IPM in Essen wurde der autonome Quadrocopter zur nachhaltigen Pflanzenproduktion in Gewächshäusern dem Fachpublikum vorgestellt.

## **2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Die wichtigsten Positionen sind die Personalkosten und die Materialkosten für die Umsetzung der Erfassungseinheiten sowie die sonstigen unmittelbaren Vorhabenskosten.

## **3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Die Entwicklung einer Copternavigation und Positionsbestimmung im Gewächshausbereich stellt eine Herausforderung mit erheblichen Risiken dar. Durch die großen Dimensionen moderner Gewächshausanlagen mit mehreren Hektar Größe kommt erschwerend hinzu, dass viele Funksysteme schnell an Ihre Grenzen bezüglich der Reichweite kommen.

Die iotec GmbH besitzt eine grundsätzliche Infrastruktur. 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 Positionierung- und Navigationsstechniken sowie der Schnittstellen zur Ansteuerung von Drohnen. Die neugewonnen Kenntnisse im Bereich der Positionierungstechniken werden voraussichtlich in zukünftigen Entwicklungsprojekt eingesetzt werden.

Im Bereich des Drohnenavigation wird die zukünftige Entwicklung daraus bestehen, dass die gewonnen Erkenntnisse in die Weiterentwicklung der Pfadalgorithmen für industrielle Anwendungen einfließen werden.

## **5. Bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet an anderen Stellen**

Nach eigenen Kenntnissen ist die entwickelte Positionierungslösung zurzeit das einzige System, welches unter Glas eine ausreichende Auflösung und Genauigkeit darstellt, um Pflanztsche und deren Positionen zu erkennen.

## **6. Veröffentlichungen der Ergebnisse**

Die Ergebnisse des Projektes Checkpots wurden u.a. in Vorträgen und auf Postern vorgestellt.