

Schlussbericht

Verbundvorhaben



Identifikation mit autonomen Flugrobotern

Förderkennzeichen: 01MA13006E

Projektlaufzeit: 01.04.2014 bis 31.12.2016

Projektpartner:

Zuwendungsempfänger	Autor/en
Fraunhofer-Institut für Materialfluß und Logistik IML	
Aibotix GmbH	Moritz Wörner Mike Bui Benjamin Federmann
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn	
Panopa Logistik GmbH	
Spedition Wiedmann GmbH & Co. KG	

Datum: 26.05.2017

Inhaltsverzeichnis

I	Kurzdarstellung.....	3
1	Aufgabenstellung	3
2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	3
3	Planung und Ablauf des Vorhabens	3
4	Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand.....	4
5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	5
II	Eingehende Darstellung	5
1	Verwendung der Zuwendung im Einzelnen und erzielte Resultate.....	5
1.1	Verwendung der Zuwendungen	5
1.2	Technische Ergebnisse	9
2	Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	20
3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	20
4	Darstellung des voraussichtlichen Nutzens	21
5	Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	22
6	Veröffentlichungen	22
6.1	Studentische Abschlussarbeiten	22
6.2	Dissertationen	23
6.3	Tagungsbeiträge.....	23
6.4	Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften	23
6.5	Weitere Publikationen	24

I Kurzdarstellung

1 Aufgabenstellung

Das Gesamtziel des Forschungsprojektes InventAIRy war die Entwicklung eines Systems zur permanenten Inventur und Lokalisierung von Lagerbeständen mit Hilfe autonom fliegenden Flugrobotern in Verbindung mit Auto ID-Technologien. Dazu wurde ein autonomer Flugroboter entwickelt, welcher mit Hilfe diverser Sensoren autonom durch ein Lager navigieren und mit der AutoID-Technologie den Bestand des Lagers zu identifizieren.

Die Aufgaben von Aibotix im Projekt waren die Entwicklung der autonomen Flugsteuerung und die Integration der benötigten Sensorik für Navigation, des Navigationsrechner und der AutoID-Technologie.

2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Aibotix GmbH (Aibotix) beschäftigt sich mit der Entwicklung und Realisierung von intelligenten und einfach zu Bedienenden Flugrobotersystemen. Vor diesem Hintergrund werden mit den entwickelten Flugrobotersystemen Branchenlösungen aus der Luft realisiert. Der Aibot X6 bildet dabei eine Multisensorplattform, die auf Basis hoch innovativer Bildverarbeitungsverfahren und Multirotorkonzepten für Aufgaben im Bereich Vermessung, Inspektion, Dokumentation und Koordination entwickelt wurde.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

AP 1 Anforderungsanalyse	Anfang	Ende
1.1 Anwendungsszenarien		
1.2 Auto ID Technologie		
1.3 Funktionsanforderungen für die Steuerung	15.01.14	31.07.14
1.4 Lastenheft aller Anforderungen	01.03.14	31.07.14

AP 2 Systemdesign	Anfang	Ende
2.1 Komponenten des Gesamtsystems	01.03.14	31.08.14
2.2 Initialisierung der Anwendung	01.04.14	31.10.14
2.3 Flugregelung und Navigation	01.04.14	28.02.15
2.4 Anwendungsbezogene Hardwareentwicklung	01.07.14	28.02.15
2.5 Leitstand (Monitoring und Auswertung)	01.07.14	31.01.15
2.6 Pflichtenheft	01.11.14	31.01.15

AP 3 Entwicklung des Systemkomponenten des Flugroboter	Anfang	Ende
3.1 Flugregelung, Navigation und Kommunikation	01.07.14	31.12.16
3.2 Schätzung der Bewegung des Flugroboters	01.08.14	31.12.16
3.3 Anwendungsbezogene Hardwareentwicklung	01.07.14	31.12.16

AP 4 Entwicklung übergeordnete Navigationssteuerung	Anfang	Ende
4.1 Egozentrische Kartierung	01.07.14	31.12.16
4.2 Egozentrische Navigation	01.07.14	31.12.16

4.3 Allozentrische Kartierung	01.03.15	31.12.16
4.4 Allozentrische Navigation	01.04.15	31.12.16
4.5 Semantische Kartierung		
4.6 Missionsplanung		

AP 5 Systemintegration	Anfang	Ende
5.1 Leitstand und grafische Benutzerschnittstellen	01.04.15	15.12.15
5.2 Schnittstellenentwurf	01.06.15	31.12.16
5.3 Integration in IT Systeme	01.08.15	31.12.16
5.4 Infrastruktur für Flugroboter		

AP 6 Pilotierung & Tests	Anfang	Ende
6.1 Outdoor Testszenarien	01.10.15	31.12.16
6.2 Indoor Testszenarien		31.12.16

AP 7 Projektleitung und Ergebnisverbreitung	Anfang	Ende
7.1 Koordination	01.01.14	31.12.16
7.2 Geschäftsmodelle (Gemini)	01.01.15	31.12.16
7.3 Dokumentation	01.01.14	31.12.16

4 Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand

Die Intention des Projektes war die Entwicklung eines Systems zur permanenten Inventur und Lokalisierung von Lagerbeständen mit Hilfe autonomer Flugrobotern. Eine Inventur erfolgt heute in der Regel manuell ist somit zeit-, personal- und kostenaufwendig.

Aktuell finden autonome Flugroboter neben der militärischen Anwendung hauptsächlich Anwendung in der Landvermessung und Inspektion von Infrastruktur wie Windräder, Brücken oder Industrieanlagen. Die meisten, insbesondere alle genannten Anwendungen, sind jedoch GPS-basierte Außenanwendungen. Im Inneren von Gebäuden werden Flugrobotersysteme selten eingesetzt. Dies ist unter anderem darin begründet, dass räumliche Enge, umweltbedingte Beeinflussungen der Sensoren und das fehlende GPS-Signal eine manuelle und vor allem eine autonome Navigation erschweren.

In den letzten Jahrzehnten wurden eine Reihe verschiedener Verfahren und Sensoren für die sensorgestützte Indoor-Navigation mobiler Flugroboter entwickelt. Wobei sich die Indoor-Navigation in die Teilprobleme der autonomen Navigation mit SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) und Kollisionsvermeidung unterteilen lässt.

Für SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) in Innenräumen gibt es jedoch eine Vielzahl verschiedener Ansätze, die das Problem für zwei Dimensionen lösen für den Einsatz bei Flugrobotern wird allerdings ein 3 dimensionaler Ansatz benötigt.

Der Einsatz teilautonomer Flugroboter in industriellen Umgebungen bringt bedingt durch die dynamische Einsatzumgebung mit Personen- und Fahrzeugverkehr besondere sicherheitsrelevante Anforderungen und Herausforderungen mit sich.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Innerhalb des Projektkonsortiums arbeitete die Aibotx GmbH mit den Projektpartnern Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik und dem Computer Science Department der Universität Bonn zusammen.

Für die Integration des VI-Sensors und dem CAA Sensors-Modul erhielt Aibotix Unterstützung von den jeweiligen Herstellern der Sensoren.

II Eingehende Darstellung

1 Verwendung der Zuwendung im Einzelnen und erzielte Resultate

1.1 Verwendung der Zuwendungen

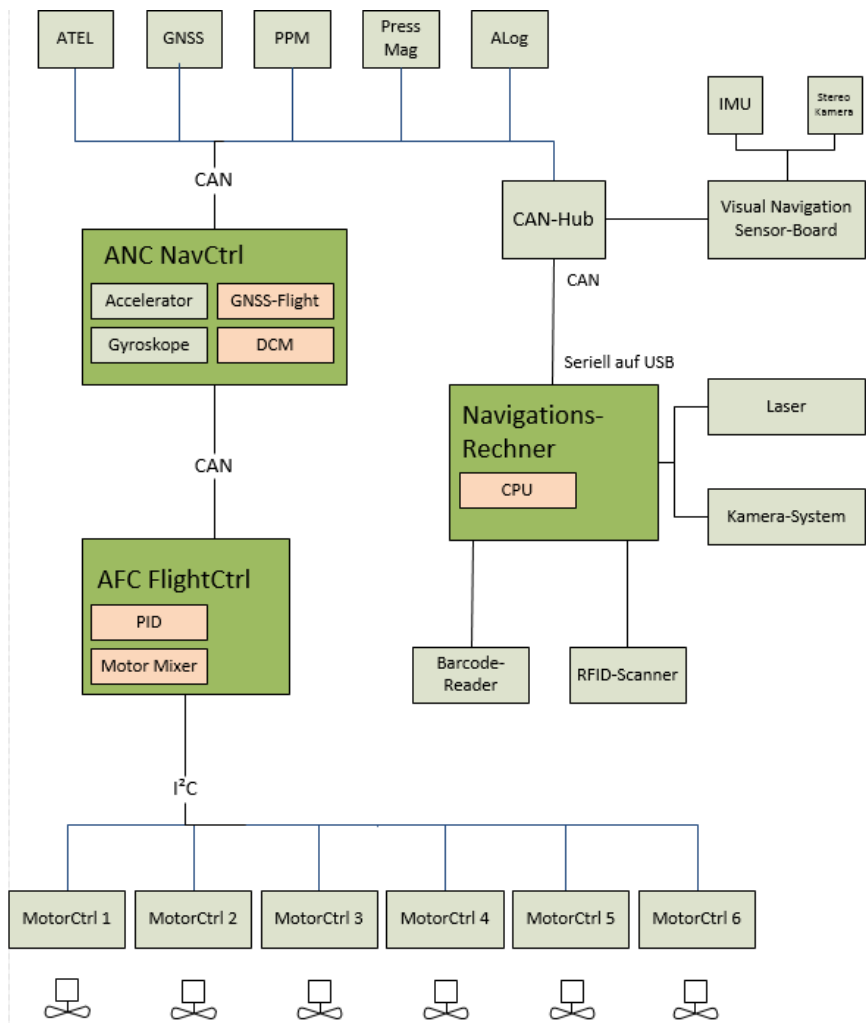
AP 1 Anforderungsanalyse

Aus Sicht von Aibotix wurden folgende Schwerpunkte erarbeitet:

- Selbstlokalisierung und Kollisionsvermeidung:
 - Positionshaltung unabhängig von GPS und Magnetometer
 - Geschwindigkeitsschätzung auf Basis einer IMU und optischer Sensoren
 - Lageschätzung auf Basis einer IMU und der optischen Sensoren
 - Collision Avoidance
 - Hochgenaue Positionierung in Indoorbereichen mit TPS / Prisma-Steuerung
- Kommunikationsinterface zwischen UAV, Navigationsrechner und Sensorik
 - Integration Navigationsrechner
 - Integration Sensoreinheit
- Laserbasiertes automatische Starten und Landen
- Hochgenaue Positionierung in Außenbereichen mit RTK-GPS
- Notfallmaßnahmen
 - RC Funkabbruch
 - Verbindungsabbruch zwischen Aibot und Navigationsrechner
 - Leere Batterie

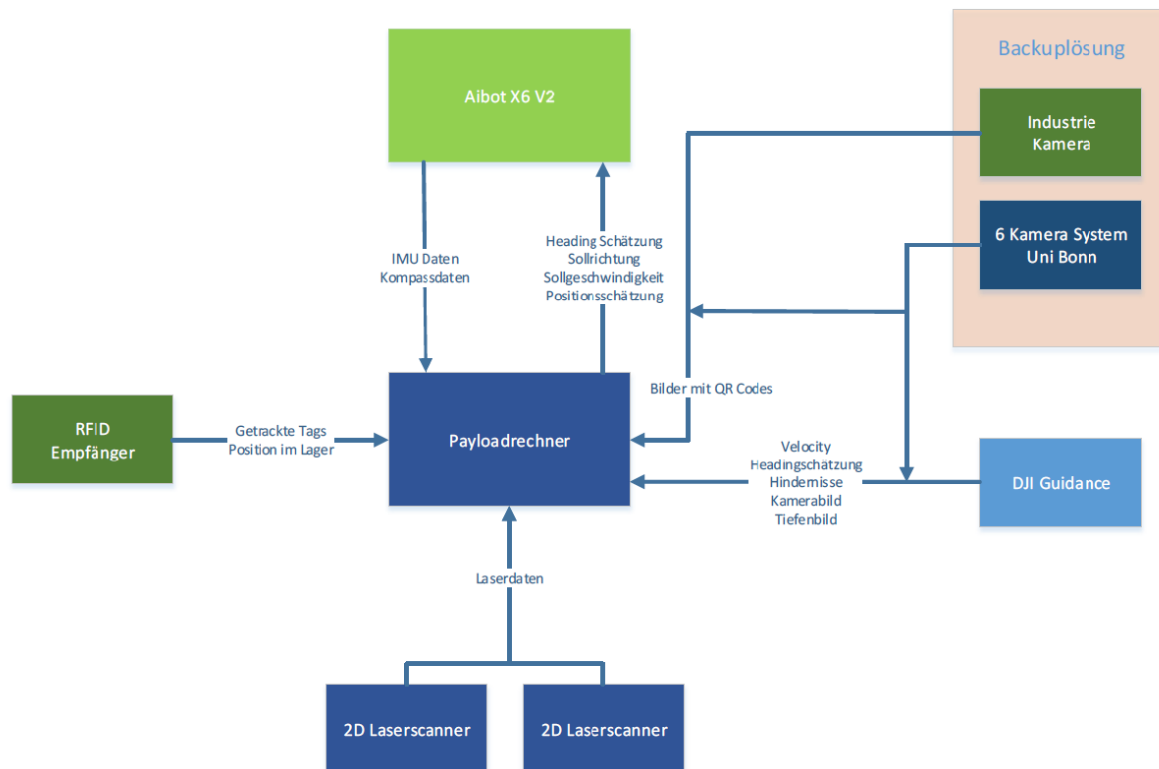
AP2 Systemdesign

Im Projektkonsortium wurde zu Beginn des Projektes folgende Systemarchitektur verabschiedet, welche auch bei der Integration des VI-Sensor verfolgt wurde.



Systemarchitektur zu Projektbeginn

Nach dem der VI-Sensor nicht mehr wie geplant im Forschungsprojekt eingesetzt werden konnte wurde die Systemarchitektur im Projektkonsortium noch mal überarbeitet. Nach der überarbeiteten Systemarchitektur wurde dann am Ende der Projektlaufzeit begonnen das System der Uni Bonn implementiert.



Überarbeitete Systemarchitektur

AP3 Entwicklung der Systemkomponenten

Im Arbeitspaket 3 hat Aibotix unterschiedlichste Sensoren zur Umsetzung der autonomen Navigation und Collision Avoidance evaluiert und getestet. Zu Beginn des Projektes wurde die Umsetzung der Anforderungen per Rada und einem Samrtkamera-System evaluiert. Aibotix hat sich aber im Laufe des Projektes, auf Grund des großen Fortschrittes im Markt, dafür entschieden einen rein optischen Sensor einzusetzen. Hierfür evaluierte, implementierte und testete Aibotix den VI-Sensor der Firma Skybotix. In den Test funktionierten die Features wie Indoor-Navigation (TPS / Prisma-Steuerung), Selbstlokalisierung, Collisions Avoidance und die indoor Positionshaltung sehr stabil.

Gegen Ende des 2ten Projekt Jahres wurde das Unternehmen Skybotix von einem amerikanischen Unternehmen aufgekauft. Dadurch viel der Zugriff auf den VI-Sensor und dessen Sourcen weg und somit auch keine finale Integration mehr möglich. Der neuen Situation geschuldet begann Aibotix diverse Alternativen zum VI-Sensor zu evaluieren. Eine gute Alternative schien das Guidance-Module von DJI zu sein. Die Evaluation zeigte aber, dass das System nicht offen genug war um die Ziele des Projektes wie geplant um zusetzen. Somit entscheid sich das Konsortium dafür, das entwickelte System der Uni Bonn als finalen Sensor in den Aibot zu integrieren.

AP4 Entwicklung übergeordneter Navigationssteuerung

Für die Integration des Navigationsrechner der Uni Bonn mussten Schnittstellen zwischen dem Aibot und dem Navigationsrechner geschaffen werden. Dabei haben sich Aibotix und die Uni Bonn auf die standartisierte MAVLink Schnittstelle geeignet.

MAVLink (Micro Air Vehicle Communication Protocol) beschreibt dabei ein leichtgewichtiges, headerbasierers Kommunikationsprotokoll. Es wurde ein Satz von custom messages definiert die für den Austausch der Daten zwischen Navigationsrechner und Aibot genutzt werden. Die definierten Nachrichten dienen zur Navigation für den Aibot und zur Lagebestimmung für den Navigationsrechner der Uni Bonn.

Der Datenaustausch wurde über eine von Aibotix entwickelte Platine gelöst. Diese Platine konnte via USB an den Navigationsrechner der Uni Bonn angeschlossen werden und liefert aufbereitete CAN-Daten des Aibots.

AP5 Systemintegration

Für die Integration des VI-Sensors der Firma Skybotix wurde der Sensor über die gleiche Hardware Schnittstelle wie die Uni Bonn angeschlossen. Auch wurde die Kommunikation über das standartisierte Nachrichtenprotokoll MAVLink realisiert. Auch hierbei wurden custom messages definiert die zur Steuerung des Aibots dienen. Der Aibot hat seine internen Sensordaten an den VI-Sensor weitergeleitet. Mithilfe der Sensordaten und der von Skybotix berechneten Sensordaten wurde die Lage im Raum bestimmt und Korrekturdaten und Flugmanöver vom VI-Sensor berechnet. Diese Daten wurden an den Aibot gesendet, die der Aibot dann ausführte um Indoor zu navigieren. Es wurden auch definierte Wegpunkte vom VI-Sensor berechnet, die für den autonomen Flug Indoor benötigt worden sind. Diese Wegpunkte und dessen Koordinaten wurden vom VI-Sensor an den Aibot geschickt und vom Aibot dann abgeflogen.

Die im Arbeitspaket 4 beschriebene Standard-Schnittstelle über MAVLink für die Kommunikation zwischen Aibot und dem Navigationsrechner der Uni Bonn ist wie folgt beschrieben:

Navigationsrechner -> Aibot

Variable	Type	Variable name	Description
Timestamp	uint32_t	time	Time in sec * 1E3 since startup
Position	int32_t[3]	pos[3]	Position in x,y,z in m *1E3
Velocity	int32_t[3]	vel[3]	Geschwindigkeit in x,y,z in m/s *1E3
RPY	int32_t[3]	rpy[3]	Roll / Pitch / Yaw in rad * 1E3 in Richtung positiver x/y/z Achse
Quality	int16_t	quality	Qualität der State Estimation von 0...100

Aibot X6 V2 -> Navigationsrechner

Variable	Type	Variable name	Description
Time	uint32_t	time	Time since startup in s * 1E3
Accel.	int32_t[3]	acc[3]	Accelerometer output in m/s*s * 1E3
Gyr	int32_t[3]	gyro[3]	Gyroscope output in rad/s * 1E3
Mag	int32_t[3]	mag[3]	Magnetometer output in gauss * 1E3

AP6 Pilotierung und Tests

Aibotix plante und führte mit den Konsortialpartnern diverse Systemtests und Demonstrationen durch. Für die Durchführung der Systemtests und Demonstrationen stellte Aibotix Piloten und das benötigte Equipment.

1.2 Technische Ergebnisse

1.2.1 Autonome Navigation und Kollisionsvermeidung

Radar-Integration / Entwicklung

Erste Versuche im Bereich Radar-Integration wurden mit einem Evaluations-Kit der Firma Innosent (Modell iSYS 4001) durchgeführt.



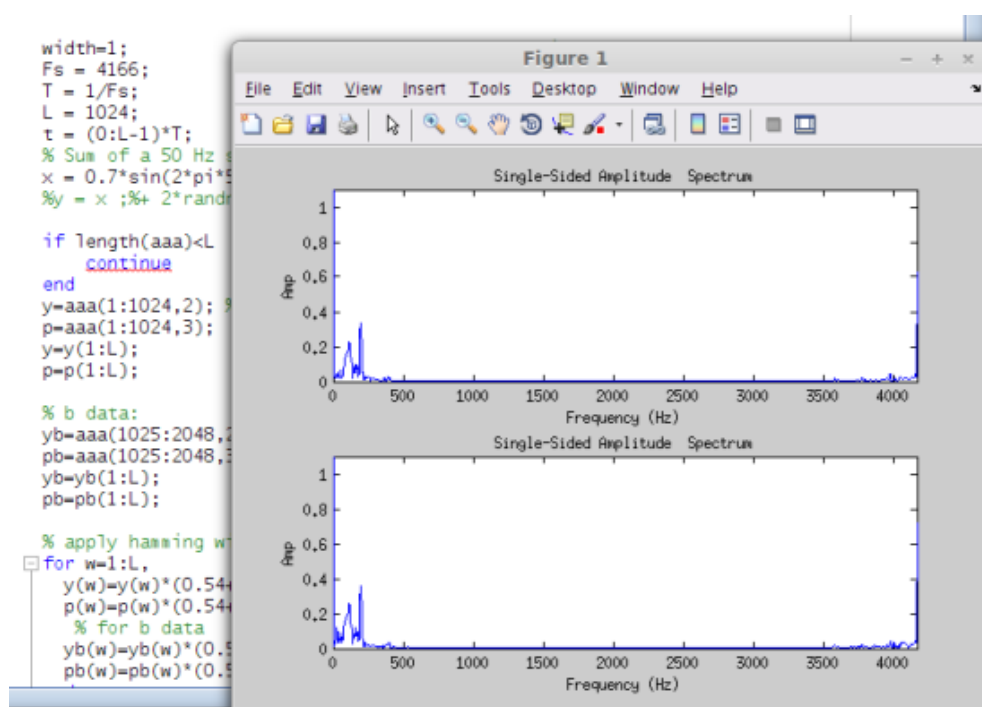
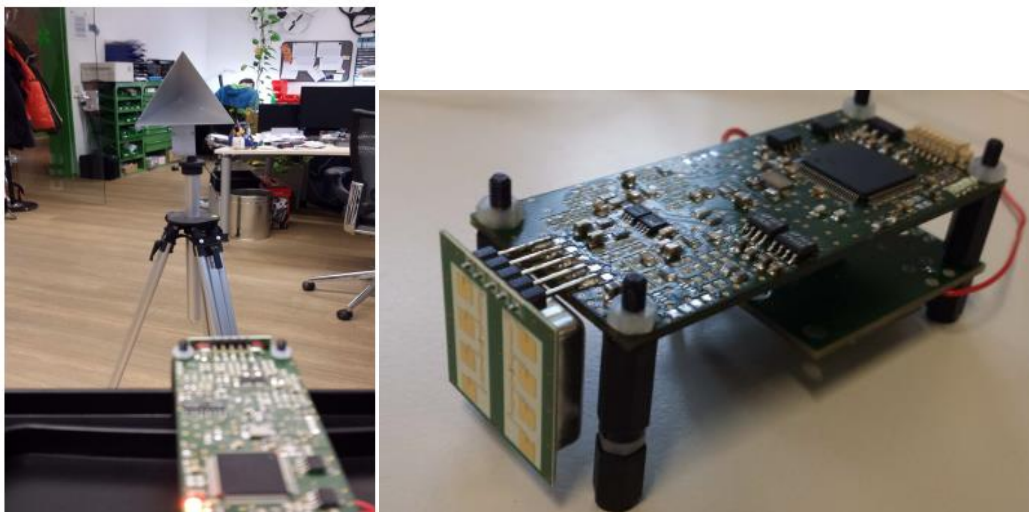
Im Laufe der Tests wurde auf den zu verwendenden Sensor IVS-465 der Firma Innosent umgestellt. Der Sensor ermöglicht mit einer komplexen Fast-Fourier-Transformation die Erkennung der Bewegungsrichtung, ebenso wie die Bestimmung der Geschwindigkeit (Bestimmung der einfachen Dopplerfrequenz), wie auch der Entfernung.

Umgesetzt wurde:

- Auslegung und Simulation einer Verstärkerschaltung mit mind. 70dB Verstärkung
- Rauscharmer / Störungsarmer Aufbau
- Bandpassfilter
- Trennung von analog und digitalem Bereich auf einer Platine
- Möglichkeit einer adaptiven Verstärkung

Für die Integration des Radar-Sensors wurde eine Platine entwickelt, mit welchem auch die Kommunikation mit dem Aibot X6 über den CAN-Bus möglich ist.

In den folgenden Bildern ist der Testaufbau mit der entwickelten Platine und dem adaptierten Radarsensor zu sehen. Mit diesem Testaufbau wurden verschiedene Versuchsreihen zur Beurteilung der Messqualität, sowie Simulation und Visualisierung über MatLab durchgeführt.



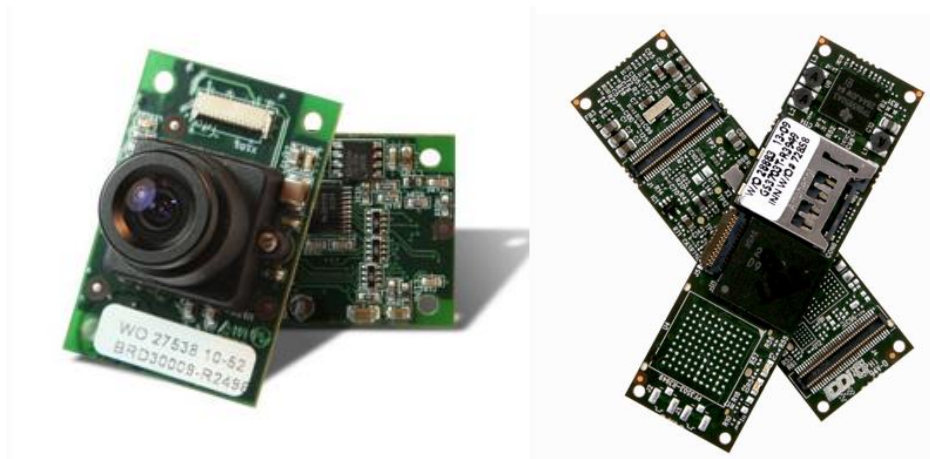
Nach Abschluss der Messreihen wurde eine Software für den Mikrocontroller entwickelt. Daraufhin wurde die Flugsteuerungs-Software des Aibot X6 entsprechend angepasst, um sowohl eine Kollisionsvermeidung als auch eine automatische Landung auf Basis des Radar-Signals zu testen.

Smart-Camera Integration / Entwicklung:

Als weitere Möglichkeit zur Selbstlokalisierung wurde die Verwendung eines Smart Camera-Systems in Betracht gezogen, bei welchem bis zu 8 Kameras mit jeweils separater Logik-Einheit auf dem Aibot X6 verteilt werden und aufbereitete Informationen (Feature-Extraktion, Punktwolken, ...) zur Lokalisierung an die zentrale Steuerungseinheit übertragen werden.

Auf einem Gumstix-Board wurde das von der ETH Zürich entwickelte einfache Blockmatching Verfahren PX4 Flow zur Bewegungsabschätzung adaptiert. Eingesetzt wurde ein 1Ghz Prozessor mit 1GB RAM und einer Auflösung von 752 x 480, 10 Bit.

Für eine Lokalisierung mit Hilfe des Optical Flow-Verfahrens (Erstellen eines Vektorfelds, das die Bewegungsrichtung und -Geschwindigkeit für jeden Bildpunkt einer Bildsequenz angibt) wurden erste experimentelle Versuche unternommen, hier konnte jedoch noch kein aussagekräftiges Ergebnis benannt werden. Für die Versuchsreihe wurde ein PX4-Modul (entwickelt durch die ETH Zürich) verwendet. Dieses liefert bei 120 bis 250 Hz Aufnahmen im 4 x 4 Binning-Modus, welche über einen eigenen ARM-Prozessor ausgewertet werden. Über ein eingebautes Gyroskop werden automatisch unterschiedliche Kamerawinkel herausgerechnet, ein Ultraschall-Sensor wird zur Distanzabschätzung ausgewertet. In ersten Testläufen lieferte der Sensor gute Ergebnisse bei einer Entfernung kleiner gleich 5 Meter. Die Genauigkeit wurde jedoch durch einen stark homogenen Untergrund negativ beeinflusst. Experimenteller Aufbau: Ansteuerung und Auswertung des PX4-Moduls



Eigenbewegungsschätzung (EBS)

Der Algorithmus der ETH Zürich wurde angepasst, um 6 Freiheitsgrade (inkl. Rotation und Abstand) darstellen zu können. Das Verfahren basiert auf dem RANSAC-Algorithmus.

VI-Sensor:

Aufgrund der großen Fortschritte im Bereich visueller Navigation, hatte Aibotix einen Sensorwechsel vorgenommen. Gewechselt wurde von dem Radar-System auf den VI-Sensor.

Hierzu arbeitete Aibotix eng mit dem Hersteller Skybotix zusammen. Deren VI-Sensor (Visual Inertial-Sensor) besteht aus einer Kombination aus einem Stereo-Kamerasystem und einer eigenen IMU (inertial measuring unit), welche durch eine Sensor-Fusion in einem extended Kalman-Filter zu einer Geschwindigkeits- und Posenschätzung im Raum verwendet werden kann. In der ersten Ausbaustufe verfügt der VI-Sensor über ein Front-Stereo-Kamerapaar (Stereometrie) und einer Downlooking-Kamera (Optical-Flow). In der letzten Ausbaustufe hat der VI-Sensor 4 Stereo-Kamerapaare (360° Rund um Blick) und eine Downlooking-Kamera.



Bild: Skybotix VI-Sensor

Gemeinsam mit dem Sensorhersteller wurde die Integration auf Aibot X6 V2 vorgenommen. Hierzu wurde durch Aibotix das MAVLINK-Protokoll als Standard-Interface implementiert. Hierüber werden in der ersten Stufe simulierte GPS- und Magnetometer an die Flight-Control des Aibot X6 V2 übertragen. Auf Basis dieser Daten kann der Aibot X6 V2 sowohl in horizontaler- als auch in vertikaler Richtung seine Position sauber halten.

In der zweiten Ausbaustufe (Februar 2015) wurde eine bidirektionale Kommunikation implementiert, so dass zusätzlich die Sensordaten des Aibot X6 V2 in der Sensor-Fusion einfließen und zu einer stabileren Positionshaltung beitragen.

Für die Features „Static Collision Avoidance“ und „Reactive Frontal Collision Avoidance“ wurden Anpassungen in der Flugsteuerung (FlightCtrl) vorgenommen, um auf ein Hindernis (Repräsentiert durch einen Richtungsvektor und Abstandswert) reagieren zu können.

In den Labor-Tests funktionierten die Features „Indoor Position-Hold“ und „Static Collision Avoidance“ recht zuverlässig und stabil.

Um Indoor einen präzisen Wegpunktflug ohne vorherige Kartographierung der Umgebung machen zu müssen, setzt Aibotix auf eine Kombination von VI-Sensor und Leica MS50. Die Leica MS50 ist ein Tachymeter der mit Hilfe eines Lasers die Position eines Prismas bestimmen kann. Das Prisma wurde am Aibot befestigt, so dass die Leica MS50 die Position des Aibots mit Hilfe des Prismas bestimmen konnte.

Die Positionsbestimmung des Prismas dient hauptsächlich zur Referenzpositionsbestimmung für den Wegpunktflug. Um den Wegpunktflug durchzuführen wird werden 4 Punkte mit Hilfe

des Lasers des Tachymeters eingemessen. Anhand der eingemessenen Punkte wird ein Grid erzeugt und an den VI-Sensor gesendet. Anhand des Grids werden Wegpunkte berechnet und an den Aibot gesendet, die dann abgeflogen werden.

Während des Fluges verfolgt die MS50 die Position des an den Aibot montierten Prismas. Diese Referenzposition wird kontinuierlich an den VI-Sensor geschickt und arbeitet ähnlich wie ein GPS System nur Indoor. Anhand der Referenzposition und den vorher bestimmten Positionen des Wegpunktfluges kann der Wegpunktflug ohne vorher eingemessene Karte geflogen werden.

Falls die Verbindung zwischen Tachymeter und Prisma verloren gehen sollte, kann das VI-Sensorsystem auch ohne update der Referenzposition den Flug fortsetzen, da einige initiale Referenzpositionen ausreichen um die Positionsbestimmung des VI-Systems zu korrigieren.

Wie in den Zwischenberichten erwähnt wurde der Sensorhersteller des VI-Sensors von einem amerikanischen Unternehmen übernommen. Durch die Übernahme steht der VI-Sensor dem Markt nicht mehr zur Verfügung. Somit fiel auch der Support durch den Zulieferer weg und der Zugriff auf die Sourcen des VI-Sensors wurden stark eingeschränkt. Durch diese Einschränkungen konnte der VI-Sensor nicht wie geplant an den Aibot implementiert werden. Es konnte nur das Feature „Indoor Position-Hold“ implementiert werden.

Evaluation von Alternativen zu VI-Sensor:

Als Alternativen wurden zum einen die Orientierung im Raum mit Hilfe eines 2D-Laser-Scanner und zum anderen ein Optical-Flow-Verfahren in Verbindung mit dem Tracking eines Tachymeters, der Einsatz des DJI Guidance und CAA-Moduls untersucht.

2D Laser-Scanner (Hokuyo – UST-10LX)

Mit dem 2D Laser-Scanner wurden via ROS erste Daten mit dem „Hector SLAM“ Verfahren in den Büroräumen von Aibotix aufgezeichnet. Die Ergebnisse der ersten Testreihen verdeutlichten, dass mit dem „Hector SLAM“ Verfahren die Ziele nicht wie geplant erfüllt werden können. Aus diesem Grund soll das „gmapping“ Verfahren evaluiert werden. Im Gegensatz zu „Hector SLAM“ benötigt „gmapping“ einen externen Input von Positionsdaten. Diese sollen als zweiten Schritt aus dem Kopter an den Laptop gesendet werden. Gesendet werden die Daten im MAVLink-Format mit anschließender Übersetzung für ROS. Vom Laptop können z.B. Daten der Karte (zur Navigation) und der Occupancy Map (für Collision Avoidance) an den Kopter gesendet werden.



Bild: Hokuyo – UST-10LX

Optical Flow zur Schätzung des Headings

Als Optical Flow-Sensor wurde der PX-Flow von Pixhawk in Erwägung gezogen. Generell liefert der optische Fluss Bewegungsdaten über die Verfolgung von Feature Points über mehrere Bilder. Jedoch ist keine einfache Unterscheidung zwischen Translation- und Rotation möglich. Untersucht wurde, ob anhand von Feature Points auch die Gier-Bewegung bzw. das Heading des Aibot hinreichend genau ermittelt werden kann.

Das Ergebnis der Untersuchung zeigte, dass die aktuelle Firmware des PX-Flow nicht die für Aibotix nötigen Informationen bereitstellt. Somit scheidet der Einsatz des PX-Flow zum aktuellen Stand aus.



Bild: PX-Flow von der ETH Zürich

DJI Guidance Module:

Als weitere Alternative zum Skybotix VI-Sensor, hat Aibotix zum Ende des Projektes begonnen das Guidance-Sensor-Modul von DJI zu evaluieren. Dieses ermöglicht eine aktive Collision-Avoidance sowie eine autonome In- und Outdoor Navigation.



Bild : DJI Guidance-Sensor-Module

Das Guidance-System besteht aus 5 Stereokamera-Modulen (4 für eine 360° Rundumsicht und ein Downlooking-Modul) und einer Processor-Unit. Jedes Kamera-Modul verfügt über ein Stereokamera-Paar und einem Ultraschall-Sensor, welcher das Stereokamera-Paar im Nahbereich unterstützt. Mit dem Downlooking-Modul kann über ein Optical-Flow die Geschwindigkeit über Grund ermittelt werden. Desweiteren verfügen die Kamera-Module über einen FPGA welcher die Processor-Unit bei der Bildverarbeitung unterstützt. Die Processor-Unit verfügt über eine IMU für die Lageschätzung des Guidance-Systems.

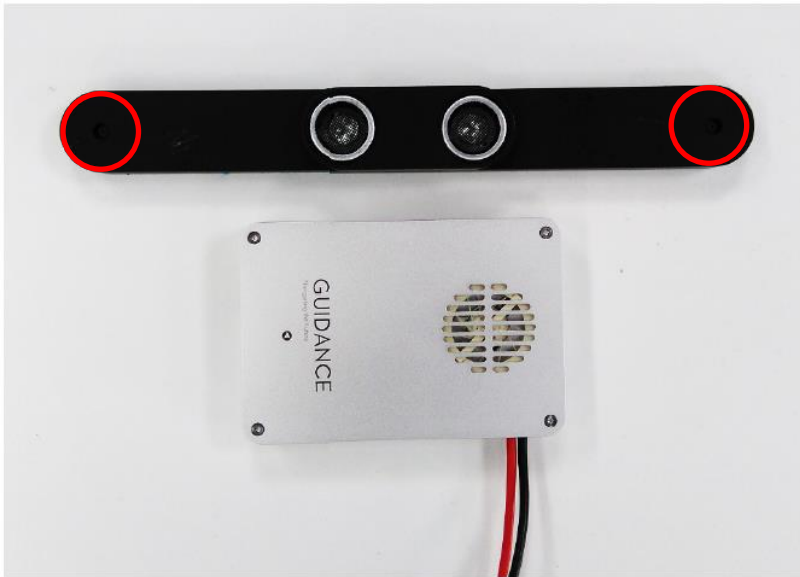


Bild: Kameramodul mit Stereokamerapaar (rote Markierung) und ultraschallbasierter Entfernungssensor + Processor-Unit

Aibotix hat begonnen erste grundlegende Erfahrungen mit dem Guidance-System zu sammeln. Hierzu wurde ein Programm geschrieben, welches die zur Verfügung gestellten Daten des Systems ausliest. Folgende Daten werden zur Verfügung gestellt:

- Ultrasonic Distance (für alle 5 Module)
- Obstacle Disatance (für alle 5 Module)
- Accelerometer (Processor-Unit)
- Quaternion/Lageschätzung (Processor-Unit)
- Velocity (Processor-Unit)
- Kamerabild und Tiefenbild für jede Kamera in jedem Modul

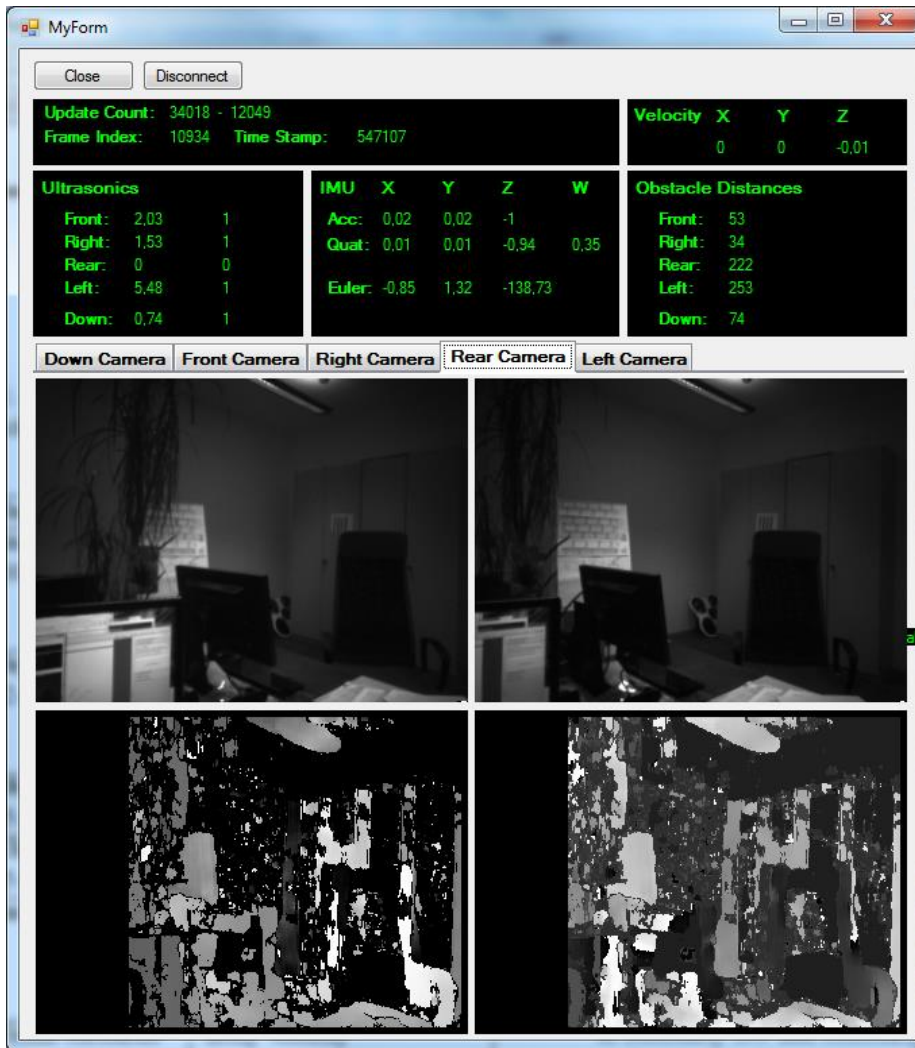


Bild: Visualisierte Daten des Guidance-System

Wie man in der Abbildung der visualisierten Daten des Guidance-Systems sehen kann, können die Tiefenbilder (die unteren beiden) nicht richtig dargestellt werden. Es wurde versucht das Auslesen der Daten der Tiefenbilder zu optimieren, es konnte aber keine Verbesserung erzielt werden.

Für die ersten Flugtests wurde das DJI Guidance-System auf die DJI Matrice 100 adaptiert.



DJI MAtrice 100 mit DJI Guidance

Bei der weiteren Evaluation und den damit verbundenen Tests des DJI Guidance System stellte sich heraus, dass das System nicht die benötigte Flexibilität zur Umsetzung des Indoor Position Hold verfügt, welches für das Projekt zwingend erforderlich ist.

CAA-Sensor-Modul

Als eine Alternative zu der Umsetzung des Collision Avoidance evaluierte Aibotix das CAA-Sensor-Modul (Collision Avoidance Assistant) der EmQopter GmbH evaluiert, welcher eine 360° Hinderniserkennung und Kollisionsvermeidung, auf Basis einer Abstandsregelung ermöglicht.

Das CAA-Modul besteht in der Basisversion aus Infrarot- und Ultraschall-Sensoren und kann je nach Anforderungen um weitere Sensoren wie LIDAR, Stereo Vision, Laser Scanner, Radar und Time of Flight erweitert werden. Der Messbereich des Sensors in der Basis-Variante liegt zwischen 20cm/80cm bis 500cm.

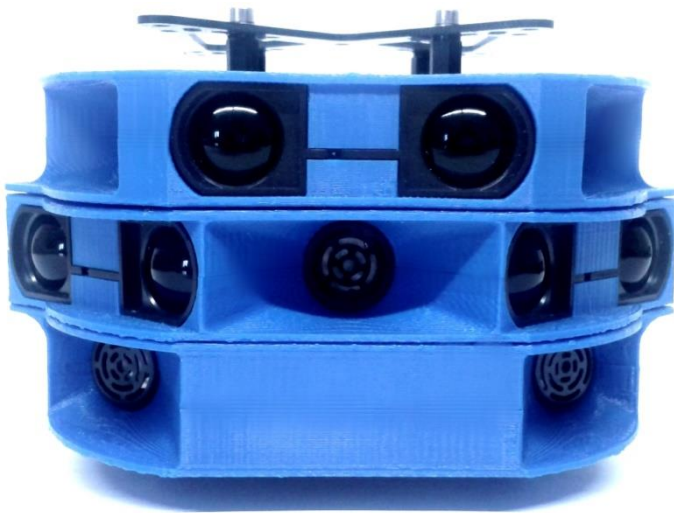


Bild: CAA-Sensor-Modul mit Infrarot- und Ultraschall-Sensoren

In Zusammenarbeit mit der EmQopter GmbH wurde das Basis CAA-Sensor-Modul in den Aibot X6 V2 integriert. Der Sensor wurde so integriert, dass der einzuhaltende Abstand über ein Software-Interface konfigurierbar ist.

Die ersten Tests in einer Halle zeigten ein stabil funktionierendes Collision Avoidance mit dem der Basis-Version des CAA-Moduls. Bei den Tests hielt der Aibot den vor konfigurierten Abstand zu den Hindernissen.

Fazit:

Die gesammelten Erfahrungen bei den Evaluationen von Sensoren für die Selbstlokalisierung und Mobilitätssensorik sowie bei der Integration des VI-Sensors und des CAA-Modul haben gezeigt, dass es viele verschiedene Ansätze zur Umsetzung einer Selbstlokalisierung und Collision-Avoidance gibt. Aus der Sicht von Aibotix liegt die Zukunft bei der Selbstlokalisierung in optischen Systemen. Gerade auf diesem Bereich gibt es große Entwicklungsfortschritte auf dem Markt. Der Vorteil beim Einsatz von optischen Sensoren ist, dass diese bei einem geringen Gewicht sehr leistungsfähig sind sowie diese Sensoren auch noch andere Anwendungsbereiche mit abdecken können.

1.2.2 Hochgenaue Positionierung in Außenbereichen mit RTK-GPS

Für die bestmögliche Positionsbestimmung des Aibots in Außenbereichen entwickelte Aibotix ein hochgenaues RTK-GPS. Hierfür wurde eine Platine entwickelt welche mit einem GPS-Modul von NovAtel bestückt wird. Um die bestmögliche Antennenkombination zu ermitteln, wurden viele Tests mit verschiedenen Antennentypen durchgeführt. Bei den Tests wurde gezielt darauf geachtet, wie viele Satelliten empfangen werden und in welcher Zeit der für eine hochgenaue Positionsbestimmung benötigte GPS-Fix erreicht wird.

Parallel wurde die bestehende Telemetrieschnittstelle zwischen Groundstation und Aibot so erweitert, dass die für einen hoch genauen GPS-Fix benötigten Korrekturdaten an den Kopter übertragen werden können.

Nach dem das optimale Setup ermittelt und die Telemetrieschnittstelle erweitert wurde wurden bei diversen Flugtests Bilddaten gesammelt und zu Orthophotos und 3D-Modellen prozessiert. In den prozessierten Daten konnte dank dem entwickelten RTK-GPS Genauigkeiten von bis zu einem 1cm erreicht werden. Mit Hilfe des RTK-GPS können von Außenlägern hoch genaue Orthophotos und 3D-Modelle erzeugt werden um z.B. eine Inventur von Schüttgut durchführen zu können.



1.2.3 Höhenhaltung / automatisches Starten und Landen

Standardmäßig setzt Aibotix für die Höhenhaltung eine Sensor-Fusion aus Barometer, GPS, Accelerometer und Ultraschall für den Nahbereich ein. Da im Innenbereich selten auf GPS zurückgegriffen werden kann und sowohl Barometer (z.B. durch Schließen einer Tür) und Ultraschall (durch Reflektionen an Wänden) nur bedingt verwertbare Werte liefern, wurden von Aibotix verschiedene Testaufbauten mit alternativer Sensorik untersucht.

Versuche wurden hier verstärkt mit Laser- und Radarsystemen durchgeführt. Die Kombination beider Systeme führte zu sehr guten Ergebnissen. Durch den Umstieg auf die visuelle Navigation werden diese Sensoren jedoch im weiteren Projektverlauf nicht weiter berücksichtigt.



Bild: Laser-Modul mit Adaptionplatte für Aibot X6 V2

1.2.4 Sicherheitskonzept

Bei der Umsetzung des Sicherheitskonzeptes wurde für die Fehler wie Funkabbruch zur Funkfernsteuerung und leere Batterien auf bereits bestehende Failsafe-Szenarien zurückgegriffen.

- RC Funkabbruch -> Position Hold
- Leere Batterie -> Auto-Landing

Für den Fall, dass die Kommunikation zwischen Aibot und Navigations-Rechner unterbrochen wird war als Failsafe-Szenario geplant, dass der Aibot in Position Hold geht. Dieses Szenario lässt sich aber aufgrund der geänderten Systemdesigns nicht wie geplant umsetzen, da alle Sensoren die für die Indoor-Navigation und Steuerung benötigt werden über den Navigationsrechner mit dem Aibot verbunden sind. Sollte es zu dem Fehlerfall kommen, so muss der Pilot den Kopter übernehmen und diesen manuell landen.

2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Um die Ziele des Projektes zu erreichen, wurde der Großteil der zur Verfügung stehenden Mittel für Entwicklungsmitarbeiter verausgabt, so dass die aus dem Vorhaben entstehenden Aufgaben evaluiert, getestet und umgesetzt werden konnten.

Ein weiterer Teil wurde zur Anschaffung von Sensoren und anderem Equipment verwendet, welches für die Evaluierung und Umsetzung der Arbeits-Pakete benötigt wurde.

Geräte und Andere Investitionen:

- VI Sensor: Der VI-Sensor der Firma Skybotix wurde zur Umsetzung der autonomen Navigation und Collision Avoidance eingesetzt.
- Hokuyo UST-10LX Laser Scanner: Der Laser Scanner wurde als Alternative für den VI-Sensor evaluiert.
- PX4 Flow Sensor Kit: Mit dem PX Flow Modul wurde als Alternative zur Bestimmung des Headings evaluiert.
- DJI Matrice 100 + DJI Guidance: Zur Evaluierung des DJI Guidance Sensors als Alternative zum VI-Sensors.
- CAA Sensor Modul: Mit dem CAA Sensor Modul wurde ein Collision Avoidance umgesetzt
- Payloadrechner: Der Rechner wurde zur Simulation des Payloadrechner der Uni Bonn und für Testzwecke verwendet.

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die geleistete Arbeit sowie die dafür aufgewendeten Ressourcen entsprechen in vollem Umfang dem begutachteten und bewilligten Antrag sowie den im Rahmen von Umwidmungsanträgen genehmigten notwendigen Anpassungen. Im Rahmen des gesamten Projektes wurde ein Aufwand geleistet, der wegen seines Umfanges von den Beteiligten nicht aus Eigenmitteln hätte getragen werden können. Da alle im Arbeitsplan formulierten Aufgaben bearbeitet wurden, waren die aufgewendeten Ressourcen zur Durchführung des Vorhabens notwendig. Darüber hinaus mussten keine zusätzlichen Ressourcen zur Durchführung des Vorhabens aufgewendet werden.

Bei denen von der Aibotix GmbH geleisteten Arbeiten im Forschungsprojekt InventAIRy lag der Fokus auf der Umsetzung der Indoor-Navigation (Indoor Position Hold, Collision-Avoidance und autonomer Indoor-Wegpunktflug), der Integration der Identifikations-Sensorik (RFID-Tags, Bar-, QR-Codes und Klarschrift) und auf Durchführung der Testflüge und Demonstrationen.

Darüber hinaus wurden von den beteiligten Mitarbeitern administrative und koordinative Tätigkeiten durchgeführt, soweit diese aufgrund organisatorischer und rechtlicher Rahmenbedingungen notwendig waren, um eine ordnungsgemäße Durchführung und Dokumentation des Projekts zu gewährleisten.

4 Darstellung des voraussichtlichen Nutzens

Die Margen im Bereich der Logistik sind niedrig. Wettbewerbsvorteile werden stets dann ermöglicht, wenn es zu Prozessoptimierungen kommt, Kosten eingespart oder Abläufe beschleunigt werden können. Die Gestaltung ergebnisorientierter Abläufe von (Intra-)Logistikprozessen sowie die Unterstützung aller Aufgaben im Zusammenhang mit weiteren verwandten Prozessen basieren auf der Auswertung valider Daten. Diese können entlang der gesamten Wertschöpfungs- und Lieferkette generiert und ausgewertet werden, wobei auch Hilfsstoffe und -güter sowie Ladungsträger und Lagerressourcen zu berücksichtigen sind. Bei der Generierung der Daten bedarf es stets einer Ausgestaltung der Datenerfassungsprozesse orientiert an den örtlichen, räumlichen und prozessbezogenen Gegebenheiten. Im Bereich der Logistik und des Lagermanagements spielen die Faktoren Zeit und optimale Volumennutzung die entscheidenden Rollen. Die Wirtschaftlichkeit aller Transport- und Lagerprozesse wird immer dann negativ beeinflusst, wenn es zu Fehlbuchungen, Warenverlust, Leerlauf oder Verzögerungen kommt. Diese vier Herausforderungen werden meist von einem Informationsmangel beeinflusst.

Eine Folgeorganisation aus dem Projekt InventAIRy kann eine Lösungen entwickeln, mit der sich Daten mit Hilfe von Multisensorplattformen im Umfeld von Logistik- und Lagerprozessen bzw. dem Supply Chain Management erfassen und unter Verwendung intelligenter Systeme auswerten lassen. Als Teil der Innovationen im Bereich Industrie 4.0 sowie angelehnt an die Entwicklungen des IoT werden dafür verschiedenste Sensoren herangezogen, um Objekteigenschaften, Label oder anderweitig relevante Identifizierungsmerkmale erfassen zu können. Diese Daten werden den Kunden wahlweise als Rohinformation für die Weiterverarbeitung in nachgelagerten oder übergeordneten Systemen oder ausge- und bewertet zur Verfügung gestellt. Auf Basis dieser Daten werden Abläufe optimiert, Automatisierungsprozesse dank M2M-Kommunikation beschleunigt oder aber Planungsprozesse angestoßen. Die pro- und retrospektive Bewertung dieser Daten ist dabei Basis für die Ausgestaltung zukünftiger Szenarien zur langfristigen Sicherung der Wirtschaftlichkeit komplexer Organisationsformen im Zusammenhang mit Lager- und Logistikaufgaben, bspw. des Bestandsmanagements. Als Trägerplattform für die automatisierte Erfassung von Beständen wird auf die Technologie einer Drohne zurückgegriffen, die auch im Innenbereich vollständig autonom navigieren kann.

Von den Daten und deren Auswertung profitieren alle beteiligten Parteien. Hersteller bzw. Lieferanten können ihre Lagerhaltung sowie die Logistikprozesse optimal an den Bedürfnissen der Kunden, den Kapazitäten sowie unter Berücksichtigung externer Faktoren und Limitierungen (Ressourcen, Raum und Zeit) ausrichten. Logistikunternehmen steigern ihre Wirtschaftlichkeit durch die Verwendung der auf Basis der Sensoren erhaltenen (Echtzeit-)Informationen zur Beschleunigung ihrer Prozesse und Vermeidung von Fehlern. Als plakative Beispiele seien hier Fehlbuchungen, aufwändige Such- und Korrekturprozesse, langwieriges Retourenmanagement, kostspielige Zählprozesse (Vollpaletten, Anbruchpaletten, Einzelprodukte) sowie die Beweissicherung genannt. Gleichzeitig bieten die Multisensorplattformen zur Erfassung der Daten Potentiale zur Senkung der Kosten sowie Reduzierung des Personalplanungsaufwands. (End-)Kunden erhalten stets genaue Informationen über den aktuellen Standort ihrer Waren, profitieren von optimierten Prozessketten und können auf Basis der Daten gemeinsam mit den Lieferanten und Logistikunternehmen planen. Gleichzeitig bietet der regelmäßige Einsatz der Lösungen Möglichkeiten zur Beweissicherung und Dokumentation in einer Echtzeitanimation, unterstützt regulatorische Vorgaben und bringt eine bis heute neue Form der Transparenz in Logistikprozesse. Leerstände, Fehl- und Überbuchungen, Verlust durch Nichtauffinden, manuelle Kontrollen sowie aufwändige Inventurprozesse können auf ein Minimum reduziert werden.

5 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Projektlaufzeit wurden von verschiedenen ausländischen Stellen ähnliche Projekte bekannt, die den Einsatz von UAVs in Lagerhäusern behandeln. Das Forschungsprojekt „InventAIRy“ verfolgt aber im Vergleich zu den anderen bekannt gewordenen Projekten den Einsatz von Autonomen UAVs in In- und Outdoor Lagerbereichen.

6 Veröffentlichungen

6.1 Studentische Abschlussarbeiten

Art	Autor	Titel	Jahr
Masterarbeit	Dahmen, F.	Entwicklung einer SMART-Kamera	2014
Diplomarbeit	Lang, M.	Analyse, Evaluation und Aufbau eines auf Radarbasis bestehenden Systems für den Einsatz in UAV für Lokalisierung und Bewegungsbestimmung	2014

6.2 Dissertationen

Im Rahmen des Projektes wurden seitens der Aibotix GmbH keine Promotionsvorhaben begonnen oder fortgeführt.

6.3 Tagungsbeiträge

Art	Autor	Titel, Veranstaltung	Jahr
Vortrag	Fiedler, M., Federmann, B.	Automatisierung des Bestandsmanagements mit Hilfe von Drohnen, CeBIT	2016
Vortrag	Fiedler, M., Federmann, B.	Automatisierung des Bestandsmanagements mit Hilfe von Drohnen, BITKOM	2016
Vortrag	Federmann, B.	Automatisierung des Bestandsmanagements mit Hilfe von Drohnen, DroneMasters	2016
Keynote	Fiedler, M., Federmann, B.	Drohnen in der Logistik, dmexco	2016
Diskussion	Federmann, B.	Digitalisierung der letzten Meile, netz:regeln	2016
Vortrag	Wrycza, P.	Drohnen in der Logistik, IAA Nutzfahrzeuge	2016

6.4 Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften

Art	Autor	Titel, Publikation	Jahr
Beitrag	Dr. Machill, H., Freund, M.	InventAIRy, Handbuch Industrie 4.0, 2. Auflage	2016

6.5 Weitere Publikationen

Art	Autor	Titel, Medium	Jahr
Artikel	Koller, P.	Drohne erledigt die Lager-Inventur im Flug, Elektronik Praxis	2014
Artikel	Fiedler, M.	Die Drohne als Inventurhelfer, Computer Automation	2015
Artikel	Fiedler, M., Federmann, B.	Lagerlogistik mit autonomen Flugrobotern optimieren, PC Welt	2016
Interview	Wrycza, P.	Tigerenten Club	2017