



Autonomous Flight

Studienarbeit

im Studiengang Luft- & Raumfahrttechnik/-elektronik
an der DHBW Ravensburg
Campus Friedrichshafen

von

Pia Schuler

und

Max Najork

06.07.2015

| | |
|----------------------|---------------------------|
| Bearbeitungszeitraum | 01.10.2014 bis 19.06.2015 |
| Matrikelnummer | 6460715 und 2794169 |
| Betreuer | Prof. Dr. Thomas Mannchen |



Erklärung

Erklärung

gemäß § 5 (3) der „Studien- und Prüfungsordnung DHBW Technik“ vom 22. September 2011.

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel

Autonomous Flight

selbständig angefertigt, nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und wörtliche sowie sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Manching, den 06.07.2015

Pia Schuler

Max Najork



Kurzfassung

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Gesamtentwicklung des DHBW Multicopter Projektes. Ziel ist es dabei, ein UAS (Unmanned Aerial System) zu entwickeln, welches autonom Missionen durchführen kann. Hierzu wird zunächst das Projekt in unterschiedliche Phasen eingeteilt, die im weiteren Verlauf der Arbeit erläutert werden. Insbesondere wird dabei auf die Konzeptphase, Anforderungserhebung, Validation und Verifikation sowie die Flugerprobung eingegangen.

Dazu werden verschiedene Konzepte zur Kommunikation, mit einer Bodenstation oder anderen UAS, sowie mögliche Missionen vorgestellt. Hierbei wird zwischen Einzel- sowie Schwarm-Missionen unterschieden. Anschließend wird die Erhebung von Anforderungen sowie deren Validation und Verifikation thematisiert.

Eine wichtige Rolle spielt zudem die Aufstiegserlaubnis und die dazugehörigen Auflagen. Dies führt zu einem komplexen System von Dokumenten und Checklisten, die durch unterschiedliche Rollen, als Entwickler sowie Betreiber, klassifiziert und im Detail besprochen werden.

Um die Arbeit nachfolgender Gruppen nachhaltig effizienter gestalten zu können, wird der vergangene Ablauf mit einem standardisierten Luftfahrt-Entwicklungsprozess verglichen und ein Vorschlag für eine verbesserte Vorgehensweise vorgestellt. Zudem werden die Gesamtergebnisse diskutiert und die Erfahrungen der Projektleitung weitergegeben.



Abstract

Abstract

This paper deals with the general development of the DHBW multicopter project. The main goal is to develop a UAS (Unmanned Aerial System) which can autonomously execute missions. At first the Project is separated into different phases which will be explain in more detail. Thereby the focus is on the concept phase, the requirements engineering, the validation such as verification as well as the flight tests.

To do so different concepts about communication, with a ground station or with other UAS, and possible missions will be discussed. Those are differentiated between single and swarm missions. After that the requirements engineering, validation and verification will be explained, together with the realization in the different documents.

Another important role has the permission to accent and the associated constraints. This leads to a complex structure of documents and checklists, which will then be divided into different views, as a developer and operator, and explained in detail.

To sustainably improve the efficiency of following groups, the past procedures are being compared with a standardized aviation development process which will lead to suggestion for an improved future approach. In addition the project results will be discussed and experiences of the project management are being shared.



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-------------|
| Erklärung..... | II |
| Kurzfassung..... | III |
| Abstract..... | IV |
| Inhaltsverzeichnis | V |
| Abbildungsverzeichnis | VIII |
| Tabellenverzeichnis..... | IX |
| Abkürzungsverzeichnis | X |
| 1 Einleitung..... | 1 |
| 2 Zielsetzung und Aufgabenstellung..... | 4 |
| 3 Projektphasen..... | 5 |
| 3.1 Konzeptphase | 5 |
| 3.2 Designphase | 5 |
| 3.3 Anforderungserhebung..... | 6 |
| 3.4 Validation | 6 |
| 3.5 Verifikation | 7 |
| 3.6 Flugerprobung..... | 7 |
| 3.7 Ist- Soll- Prozessvergleich..... | 7 |
| 4 Konzepte | 10 |
| 4.1 Kommunikationskonzepte | 10 |
| 4.1.1 UAS - Bodenstation..... | 11 |
| 4.1.2 UAS - UAS | 12 |
| 4.1.3 Signalketten | 12 |
| 4.1.4 UAS - Fleye..... | 13 |
| 4.2 Missionskonzepte..... | 14 |
| 5 Anforderungen und Verifikation | 17 |
| 5.1 Anforderungen..... | 17 |
| 5.2 Verification | 26 |



Inhaltsverzeichnis

| | | |
|---------------|--|-----------|
| 5.3 | Test Procedures and Report | 29 |
| 6 | Abläufe und Checklisten..... | 31 |
| 6.1 | Aufstiegserlaubnis | 31 |
| 6.2 | Abläufe und Dokumente | 34 |
| 6.3 | Dokumente | 35 |
| 6.3.1 | <i>Safety of Flight Declaration</i> | <i>38</i> |
| 6.3.2 | <i>Herstellercheckliste</i> | <i>38</i> |
| 6.3.3 | <i>Eingestellte EEPROM Parameter</i> | <i>39</i> |
| 6.3.4 | <i>Betriebshandbuch</i> | <i>40</i> |
| 6.3.5 | <i>Operational Checklist</i> | <i>40</i> |
| 6.3.6 | <i>Gerätespezifische Checkliste</i> | <i>41</i> |
| 6.3.7 | <i>Mission Checklist</i> | <i>41</i> |
| 6.3.8 | <i>Hauptflugbuch</i> | <i>42</i> |
| 7 | Organisation und Arbeitsweise..... | 43 |
| 7.1 | Ablauf | 43 |
| 7.2 | Zeitplanung | 43 |
| 7.3 | Meetings..... | 43 |
| 8 | Zusammenfassung und Ausblick | 45 |
| Anhang | | 49 |



Inhaltsverzeichnis

Autorenverzeichnis

| Autor | Abschnitte |
|-------------|---|
| Max Najork | Kurzfassung, Abstrakt Kapitel: 3, 4.1, 6, 7, 8 |
| Pia Schuler | Kapitel: 2, 4.2, 5 |
| Jan Krecke | Einleitung |



Abbildungsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| <i>Abbildung 1: Projektphasen.....</i> | <i>5</i> |
| <i>Abbildung 2: Entwicklung in Life Cycles nach ARP 4754A [5].....</i> | <i>8</i> |
| <i>Abbildung 3: Ist- Soll- Prozessvergleich</i> | <i>9</i> |
| <i>Abbildung 4: Übersicht der Links</i> | <i>10</i> |
| <i>Abbildung 5: Kommunikation UAS - Bodenstation.....</i> | <i>11</i> |
| <i>Abbildung 6: Kommunikation UAS - UAS</i> | <i>12</i> |
| <i>Abbildung 7: Kommunikation UAS - Fleye.....</i> | <i>13</i> |
| <i>Abbildung 8: Gliederung der "Safety Requirements"</i> | <i>22</i> |
| <i>Abbildung 9: Aufbau eines Requirements.....</i> | <i>23</i> |
| <i>Abbildung 10: Aufbau Verification.....</i> | <i>27</i> |
| <i>Abbildung 11: Means of Compliance [7]</i> | <i>28</i> |
| <i>Abbildung 12: Flugversuchsprozess.....</i> | <i>34</i> |
| <i>Abbildung 13: Checklisten aus Hersteller- und Operatorsicht.....</i> | <i>36</i> |



Tabellenverzeichnis

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| <i>Tabelle 1: Missionskonzepte 1</i> | <i>14</i> |
| <i>Tabelle 2: Missionskonzepte 2</i> | <i>15</i> |
| <i>Tabelle 3: Requirements alt.....</i> | <i>18</i> |
| <i>Tabelle 4: Safety Requirements</i> | <i>26</i> |
| <i>Tabelle 5: Durchführung von TR1.....</i> | <i>30</i> |
| <i>Tabelle 6: Übersicht der Dokumente</i> | <i>37</i> |
| <i>Tabelle 7: Aufgaben und Verantwortlichkeiten Herstellercheckliste</i> | <i>39</i> |



Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|------|--|
| ARP | Aerospace Recommended Practice (SAE) |
| MoC | Means of Compliance |
| RTCA | Radio Technical Commission for Aeronautics |
| SAE | Society of Automotive Engineers |
| TBD | To Be Determined |
| UAS | Unmanned Aerial System |
| UAV | Unmanned Aerial Vehicle |



Einleitung

1 Einleitung

Wie bei vielen anderen wichtigen Erfindungen auch, liegen die Ursprünge der unbemannten Luftfahrt beim Militär. Bereits 1849 kamen österreichische Streitkräfte auf die Idee, Bomben per Ballon nach Venedig zu transportieren und abzuwerfen [1]. Diese zugegebenermaßen rudimentäre Art und Weise der Kriegsführung hat selbstverständlich wenig mit modernen Drohnen zu tun; die ihr zugrunde liegende Problemstellung und die sich ergebenden Vorteile sind jedoch nicht allzu weit von denen der heutigen Einsatzgebiete entfernt: Unbemannte Flugobjekte sollen den Menschen entlasten oder Aufgaben durchführen, zu denen ein Mensch gar nicht fähig wäre. Ging es den alpenländischen Invasoren im 19. Jahrhundert noch darum möglichst viele Leben der eigenen Soldaten zu schonen (ein Motiv, das sich auch heute noch wiederfindet, zum Beispiel in den von den US-amerikanischen Streitkräften geführten Drohnenkriegen im Nahen Osten), so lassen sich *Unmanned Aerial Vehicles* (UAVs) heutzutage für eine schier unbegrenzte Anzahl an Anwendungen einsetzen. Am *Massachusetts Institute of Technology* beispielsweise, wurden Personen, die Gäste und Studenten über den Campus führen, durch Drohnen ersetzt, die sich vom Anwender per Smartphone-App rufen lassen, und dann per GPS und Bildverarbeitungssoftware zum Zielort navigieren [2]. Ähnlich futuristisch geht es vor den Küsten der Vereinigten Staaten zu, wo ferngesteuerte Drohnen zum Kampf gegen den Drogenschmuggel eingesetzt werden. Innerhalb der ersten zwei Wochen nach Einführung des Systems konnten über 600 kg Kokain sichergestellt werden [3]. Zu medialer Berühmtheit gelangte Amazons Vorhaben, Pakete innerhalb von maximal 30 Minuten seinen Kunden zuzustellen [4]. Dies soll ebenfalls durch den Einsatz von unbemannten und autonom fliegenden Drohnen erfolgen. Bis zur Markteinführung des Systems wird zwar noch etwas Zeit vergehen, aber der Anblick von selbständig agierenden Flugobjekten in unseren Städten wird uns in nicht allzu ferner Zukunft unter Umständen genau so vertraut sein wie der eines Lieferwagens.

Auch in den Bereichen Forschung, Aufklärung, Natur- und Tierschutz, Journalismus, Search and Rescue, Filmproduktion und Landwirtschaft können durch den Einsatz von UAVs Aufgaben bearbeitet werden, die vom Menschen nicht oder nur mit ungleich größerem Aufwand bewerkstelligt werden könnten.



Einleitung

Die unbemannte Luftfahrt ist also ein verheißungsvolles Gebiet, wenn es darum geht, zukünftige Märkte zu erschließen. Dementsprechend sinnvoll ist es, dass Hochschulen ihre Studierenden frühzeitig an das Thema heranzuführen. Im Wintersemester 2014/15 wurde deshalb am Campus Friedrichshafen der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg das studentische Projekt Locator ins Leben gerufen. 10 Studierende arbeiteten an dem Projekt und dokumentieren ihre Ergebnisse in dieser Reihe von Studienarbeiten. Die Bearbeitung fand im Wintersemester 2014/15 und im Sommersemester 2015 statt. Es waren die ersten sechs Monate des Projekts Locator, unterbrochen von drei Monaten Praxisphase. Dieser Zeitraum stellt lediglich den Anfang eines vermutlich mehrjährigen Projektes dar, das mehrere Generationen von Studenten beschäftigen wird. In dieser Anfangsphase wurde noch kein endgültiges Ziel bzw. Anwendungsgebiet definiert, vorstellbar wären aber Einsätze in der Landvermessung oder experimentelle Flüge zur Entwicklung von Schwarmkonzepten und Erforschung der dahinter stehenden Intelligenz.

Der Plan für die Anfangsphase des Projektes war ein grundsätzliches Verständnis für die unbemannte Luftfahrt zu erlangen. Dazu sollte eine Commercial-Off-The-Shelf-Drohne so modifiziert werden, dass sie einen farbigen Ball komplett autonom verfolgen kann. Da die Ausgangsdrohne für ein solches Unterfangen nicht ausgelegt ist, mussten Änderungen an der Software, Hardware und Struktur vorgenommen werden. Professor Mannchen, der leitende Dozent des Projektes, entschied, dass diese Maßnahmen am besten von einer Kombination von Studierenden aus den Luft- und Raumfahrtssystemen (TLS), der Luft- und Raumfahrtelektronik (TLE) und der Nachrichten- und Kommunikationstechnik (TEN) durchgeführt werden sollen. Von den zehn beteiligten Studierenden gehörten zwei zu TLS, sechs zu TLE und zwei zu TEN. Das Projekt wurde in vier Untergruppen aufgeteilt: Autonomous Flight, Swarm Intelligence, Sensor Integration und Structural Integration. Ursprünglich waren die Aufgaben wie folgt definiert: Autonomous Flight sollte Missionen und Anforderungen an das Flugobjekt definieren und die Systemarchitektur für die Drohnen entwerfen. Die Aufgabe von Swarm Intelligence war es, Konzepte für das Zusammenarbeiten mehrerer Drohnen innerhalb eines Schwarms zu entwickeln. Das Team Sensor Integration befasste sich mit der Integration von den Sensoren und dem Datenlink, sowie dem Batteriemanagement und der Sensorfusion. Structural Integration, schließ-



Einleitung

lich, befasste sich mit dem mechanischen Aufbau, der Konstruktion und Integration der Drohnen. Die Grenzen zwischen den Aufgaben verschwammen jedoch – speziell am Anfang des Projektes – zwischen den einzelnen Gruppen, da einige Aufgaben mit höherer Priorität bearbeitet werden mussten, oder, da die Bearbeitung bestimmter Aufgaben nicht ohne die Resultate anderer Arbeitspakete erledigt werden konnten, sodass durch die Verlagerung von „Manpower“ bestimmte Aufgaben beschleunigt wurden.



2 Zielsetzung und Aufgabenstellung

Im Rahmen dieser Studienarbeit wird das Thema „Autonomous Flight“ betrachtet. Ziel ist es, dass das UAS ohne den Gebrauch der Fernbedienung oder anderer manueller Eingaben seinen Weg selbstbestimmt findet. Überlegungen reichen hier bis hin zu mehreren UAS, die als Schwarm in der Luft fliegen und beispielsweise mit einem Ball beworfen werden, den eines der UAS fangen soll. Dabei soll es zu keiner Kollision zwischen den UAS kommen. Die Kollisionsvermeidung und das Verhalten mehrerer UAS als Schwarm wird in der Studienarbeit „Swarm Intelligence“ näher betrachtet.

Nach einigem Überlegen und Abwägen des zeitlichen Rahmens hat man sich als Endziel dieser Studienarbeit ein Szenario überlegt, bei dem ein UAS einen über den Boden rollenden Ball selbstständig erkennt und diesem in einem definierten Abstand folgt.

Da hierbei der Aspekt Schwarmintelligenz noch nicht eingebunden werden kann, wurde die Gruppe „Swarm Intelligence“ in die Gruppe „Autonomous Flight“ eingegliedert. Die Aufgaben wurden so verteilt, dass sich Swarm Intelligence um den Entwurf und die Umsetzung der Systemarchitektur gekümmert hat und „Autonomous Flight“ hauptsächlich die Dokumente erstellt, die für die Aufstiegs Genehmigung erforderlich sind. Dies beginnt bei den Anforderungen an die UAS, deren Verifikation, Erstellen von Checklisten und Definition von Abläufen bei Flugtests.



Projektphasen

3 Projektphasen

Grundsätzlich unterteilt sich die Studienarbeit in zwei Semester und diese wiederum in unterschiedliche Phasen (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Projektphasen

Im nachfolgenden soll genauer auf die einzelnen Phasen eingegangen werden. Dabei ist zu beachten, dass allgemein mit den UAS Studienarbeiten komplett auf der „grünen Wiese“ begonnen wurde, sodass viele Erkenntnisse und Erfahrungen erst mit der Zeit eintraten und somit Strukturen und Abläufe im Nachhinein oft noch verändert haben. Begonnen wurde mit einem Kickoff und einer Bestandsaufnahme: Welche Hardware ist vorhanden? Welche Möglichkeiten bietet die bestehende Software?

3.1 Konzeptphase

Daraufhin wurden unterschiedliche Konzepte erstellt. Hierbei waren insbesondere die Gruppen Autonomous Flight, Swarm Intelligence und Sensor Integration beteiligt. Es wurden grundlegende Betrachtungen zu möglichen Kombinationen von UAS, Bodenstation und anderen Teilnehmern getätigt. Daraus resultierte ein Kommunikationskonzept. Dieses wurde anschließend um weitere Tätigkeiten zu einem Missionskonzept erweitert, welches erste Erkenntnisse über die Einsatzmöglichkeiten, von einfachen Flugmanövern bis hin zu komplexen Missionen, gibt. Mehr hierzu in Kapitel 4 dieser Studienarbeit.

3.2 Designphase

Anhand der erarbeiteten Konzepte sowie der vorhandenen Hard- und Software wurden nun verschiedene Designentwürfe diskutiert. Hierbei wurde u.a. entschieden, dass ein weiterer Mikroprozessor für die Payload und Schwarmfunktionen notwendig ist. Darüber hinaus wurden aus den Konzepten verschiedene Payload Konfigurationen sowie Kommunikationswege ermittelt. Aus den gewonnenen Informationen wurde



Projektphasen

daraufhin eine komplette System- sowie eine Softwarearchitektur erstellt, wobei Schnittstellen definiert und Verantwortungen vergeben wurden. Mehr hierzu in den Studienarbeiten zum Thema Sensor Integration und Swarm Intelligence.

3.3 Anforderungserhebung

Zu Beginn des neuen Semesters wurde schnell klar, dass ein systematischer Umgang mit sämtlichen Anforderungen und Annahmen erforderlich ist, insbesondere um Entscheidungen für nachfolgende Gruppen nachvollziehbar zu machen. Daraufhin wurde eine neue Phase, die Anforderungserhebung, begonnen. Nachdem bereits einige funktionale sowie nicht funktionale Anforderungen aufgestellt waren, zeigte sich die eigentliche Komplexität sowie der Aufwand hinter dieser Phase: Da man zum aktuellen Zeitpunkt ständig neue Erkenntnisse gewann und daraufhin das Design teilweise wieder ändern musste, wollte man sich nicht zusätzlich durch Anforderungen in der Entscheidungsfreiheit beschränken und definierte diese somit auf einer sehr hohen Ebene. Als High-Level-Requirements waren diese allerdings kaum zu verifizieren. In Anbetracht des extrem hohen Aufwandes einer vollständigen Anforderungserhebung sowie des Anforderungsmanagements wurde entschieden, sich auf Safety Requirements zu beschränken. Diese wurden vor allem auch durch die Auflagen der Aufstiegsgenehmigung vorgegeben. Entscheidend ist es zudem, sämtliche Annahmen den Anforderungen anzufügen, damit diese für folgende Gruppen nachvollziehbar sind. Mehr hierzu in Kapitel 5 dieser Studienarbeit.

3.4 Validation

Zur Validation der Anforderungen wurden diese zusammen mit Prof. Mannchen reviewed. Dabei wurde insbesondere auf die

- Übereinstimmung mit der Aufstiegserlaubnis
- Testbarkeit
- Eindeutigkeit
- Konsistenz
- Nachvollziehbarkeit

geachtet. An dieser Stelle wäre es sicherlich sinnvoll, einen Mechanismus oder Prozess zu implementieren, der die Validation formell strukturiert und für folgende Gruppen Anhaltspunkte gibt, wie diese durchzuführen ist.



Projektphasen

3.5 Verifikation

Die Verifikation stand gleichzeitig mit der Anforderungserhebung im Fokus. Hier wurde bereits über mögliche Nachweisemethoden „Means of Compliance“ (MoC) beraten. In der eigentlichen Verifikationsphase wurde nun Vorgehensweisen definiert mit denen die einzelnen Anforderungen getestet werden können. Die nachfolgende Durchführung der Tests dient vor allem zum Nachweis der Flugfähigkeit. Mehr hierzu in Kapitel 5 dieser Studienarbeit.

3.6 Flugerprobung

Nach Erhalt der Aufstiegserlaubnis wurden sich viele Gedanken über die Abläufe und Nachweisdokumente vom Nachweis der Flugfähigkeit bis hin zu Pre-Flight-Checklisten gemacht. Hier muss zwischen Entwickler- und Betreibersicht unterschieden werden. Nach dem erstellen sämtlicher Dokumente wurden nun die Verifikationstests am Boden sowie die notwendigen Reviews durchgeführt. Danach konnten die ersten Flugtests beginnen. Mehr hierzu in Kapitel 6.

3.7 Ist- Soll- Prozessvergleich

Eine wichtige Organisation zur Standardisierung ist die Society of Automotive Engineers (SAE). Diese veröffentlicht Dokumente als Aerospace Recommended Practice (ARP). Einen weit verbreiteten, standardisierten Entwicklungsprozess bietet dabei die SAE ARP 4754A [5]. Dieser beschreibt die Entwicklung in Life-Cycles (siehe Abbildung 2)



Projektphasen

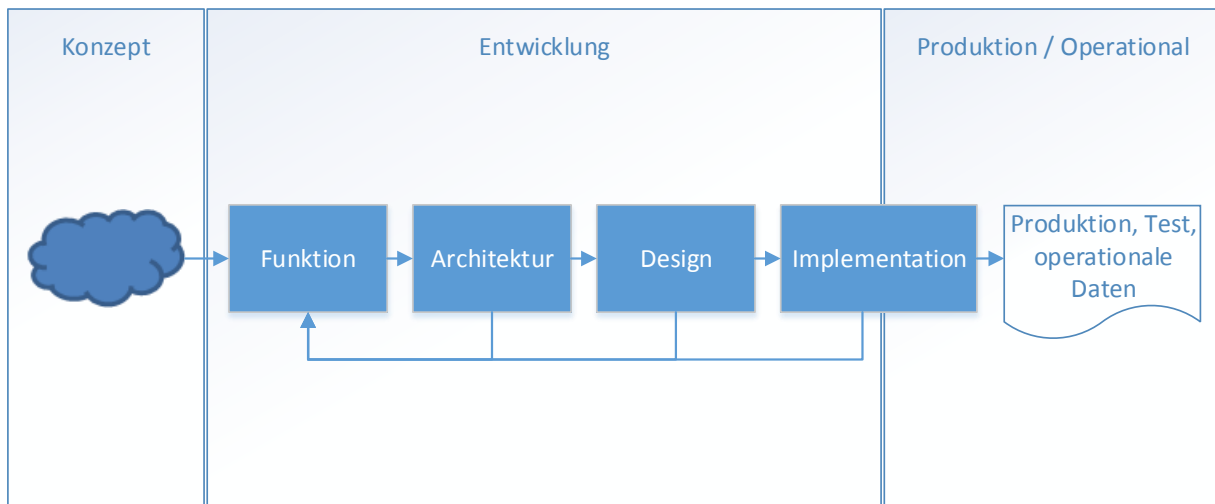


Abbildung 2: Entwicklung in Life Cycles nach ARP 4754A [5]

Vergleicht man diese Vorgehensweise nun mit der dieser Studienarbeit, lassen sich Diskrepanzen feststellen. Durch das Beginnen auf „grüner Wiese“ wurden nach den Konzeptentwürfen schon die ersten Designs entworfen. Erst danach folgte die Definition der Funktionen in Form von Anforderungen. Dies steht im Gegensatz zur ARP 4754A, welche nach der Konzepterstellung die Definition der Funktionen fordert und erst dann deren Verwirklichung in Architektur und Design. Zudem wird, wie in Abbildung 2 zu sehen, ein iteratives Vorgehen berücksichtigt. Aus diesen Diskrepanzen lässt sich nun eine verbesserte Vorgehensabweise ableiten, die zukünftig durch einen Prozess (siehe Abbildung 3) beschrieben werden sollte.



Projektphasen

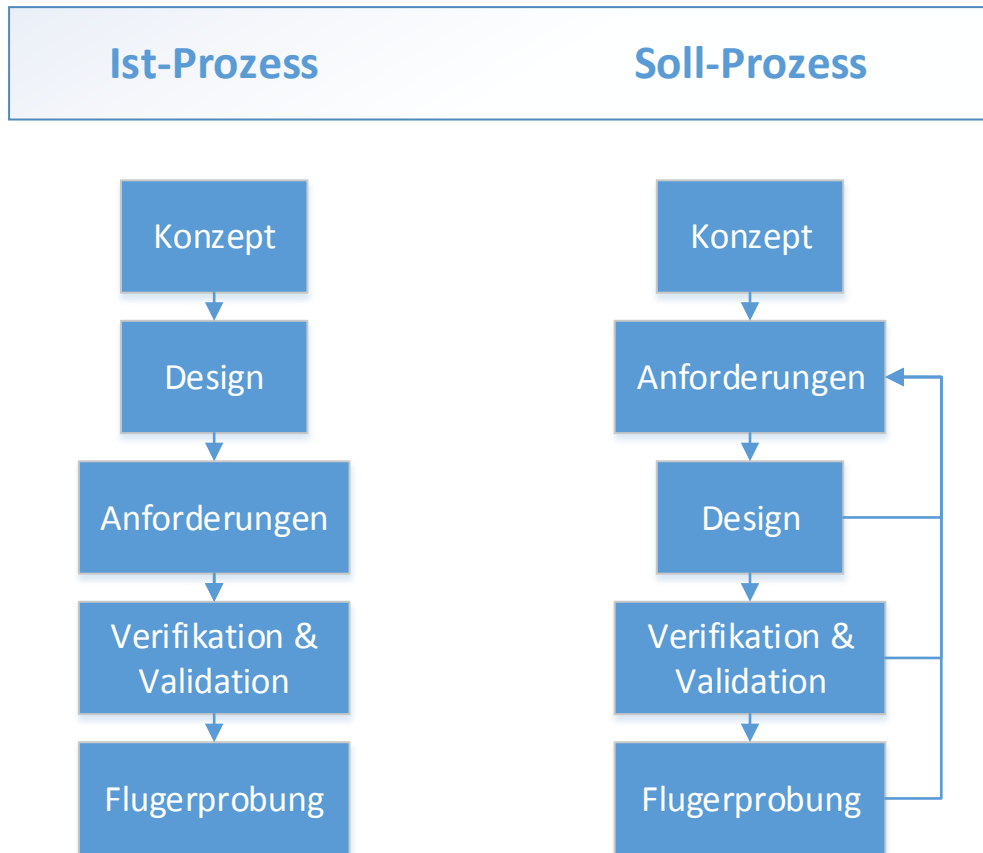


Abbildung 3: Ist- Soll- Prozessvergleich

Die linke Seite der Abbildung beschreibt dabei die vergangene Vorgehensweise. Die rechte Seite hingegen beschreibt eine Möglichkeit für weitere Vorgehensweisen. Dabei wird die ARP 4754A konforme und allgemein übliche Abfolge von Anforderungen und Design sowie eine iterative Vorgehensweise berücksichtigt.



Konzepte

4 Konzepte

4.1 Kommunikationskonzepte

Um das UAS autonom fliegen lassen zu können ist ein Kontroll- und Steuerungssegment in Form einer Bodenstation notwendig. Darüber hinaus ist es Ziel des Locator Projektes UAS in Formationen oder einem Schwarm anzuordnen. Eine weitere Möglichkeit wäre es, die DHBW Studienarbeit „Fleye“ mit einzubeziehen.

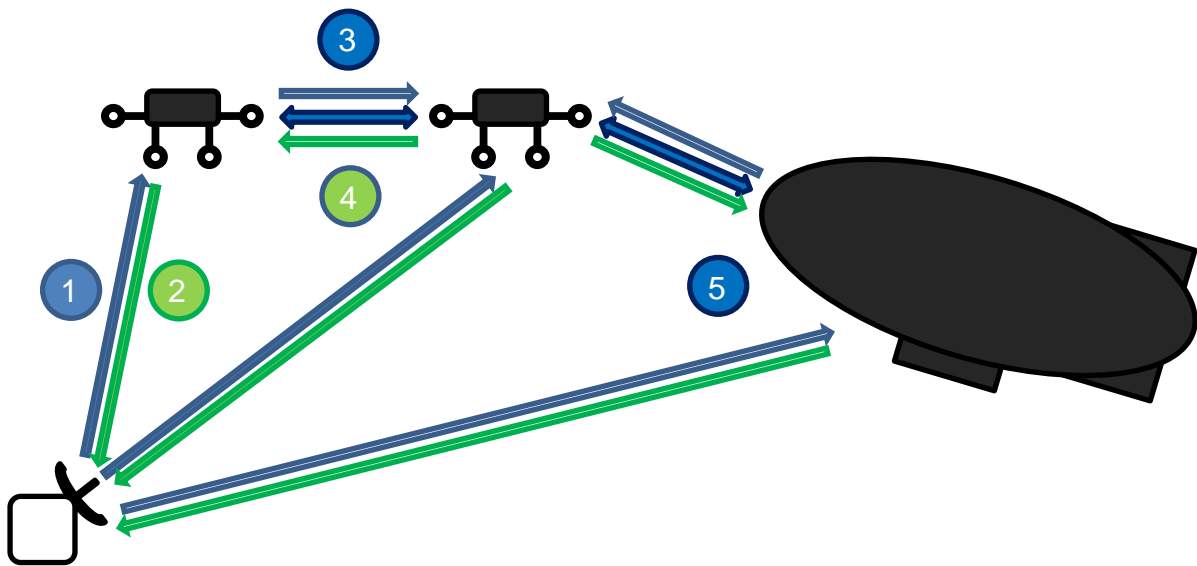


Abbildung 4: Übersicht der Links

Eine Übersicht der möglichen Links ist in Abbildung 4 dargestellt und setzt sich wie folgt zusammen:

1. Up Link Bodenstation – UAS
2. Down Link UAS – Bodenstation
3. Link UAS – UAS
4. Signalkette
5. Fleye

Diese werden in den Nachfolgenden Abschnitten genauer beschrieben.



Konzepte

4.1.1 UAS - Bodenstation

Die einfachste Kombination besteht aus einem UAS und einer Bodenstation (siehe Abbildung 5).

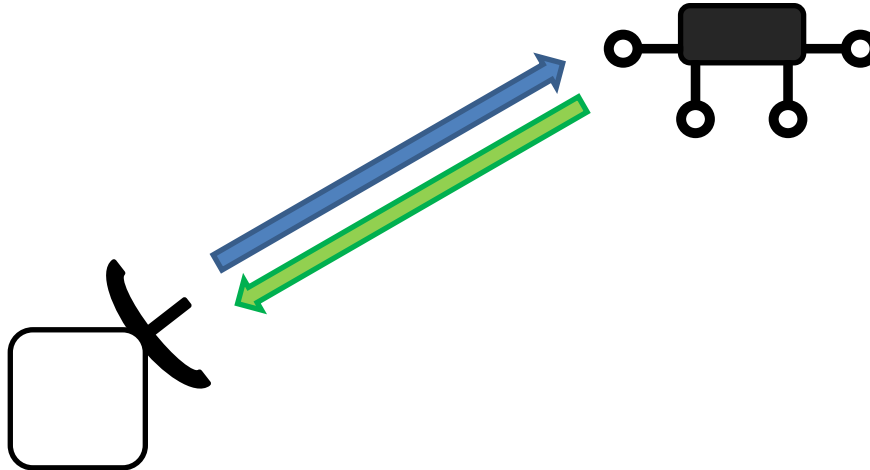


Abbildung 5: Kommunikation UAS - Bodenstation

Hierbei wird ein Up Link von der Bodenstation zum UAS verwendet, welcher u.a. einen GPS oder Payload Funktionen übertragen, bzw. verschiedenen Flugzustände sowie Ausrichtungen kommandieren kann. Im Gegenzug werden über einen Down Link sämtliche Statusinformationen wie die Sensordaten z.B. Position und Lage, der Akkustand, der Missionsstatus und Payload Daten z.B. Video Stream oder weitere Sensordaten übertragen werden.

Konzepte

4.1.2 UAS - UAS

Sollen mehrere UAS zugleich fliegen, ist es, um Kollisionen zu vermeiden oder sogar einer gemeinsamen Mission nachzugehen, erforderlich, diese mit einander kommunizieren zu lassen (siehe Abbildung 6).



Abbildung 6: Kommunikation UAS - UAS

Wichtige Inhalte wären an dieser Stelle:

- Position
- Flugrichtung
- Akkustand
- Schwarmlogik

Hierdurch soll es ermöglicht werden, durch genaue Kenntnisse der anderen Teilnehmer, Missionen möglichst effizient ausführen zu können.

4.1.3 Signalketten

In manchen Missionen könnte es vorteilhaft oder sogar notwendig sein Signalketten zu verwenden. Angenommen es wird eine Mission zur Videoüberwachung durchgeführt, bei der sich an der Spitze ein UAS mit Videokamera befindet, welches einen Livestream an die Bodenstation übertragen soll. Jedoch sind die Reichweiten der Funkverbindungen begrenzt, sodass es notwendig wird das Funksignal zu verstärken. Hierzu steigt ein weiteres UAS als Repeater auf. Dieses leitet die erforderlichen Daten von Bodenstation an das Kamera – UAS weiter. Das gleiche gilt in Gegenrichtung. Hierdurch kann auch über größere Distanzen ein stabiler Link aufrecht gehalten werden. Hierbei wäre es möglich beide UAS mit einer Kamera auszustatten, sodass das beide in der Lage sind die unterschiedlichen Aufgaben zu übernehmen oder die UAS werden unterschiedlich konfiguriert und auf die jeweilige Aufgabe optimiert

Konzepte

4.1.4 UAS - Fleye

Eine weitere Möglichkeit speziell an der DHBW wäre, die Studienarbeit „Fleye“ zu integrieren. Hierbei handelt es sich um einen selbstentwickelten Zeppelin.

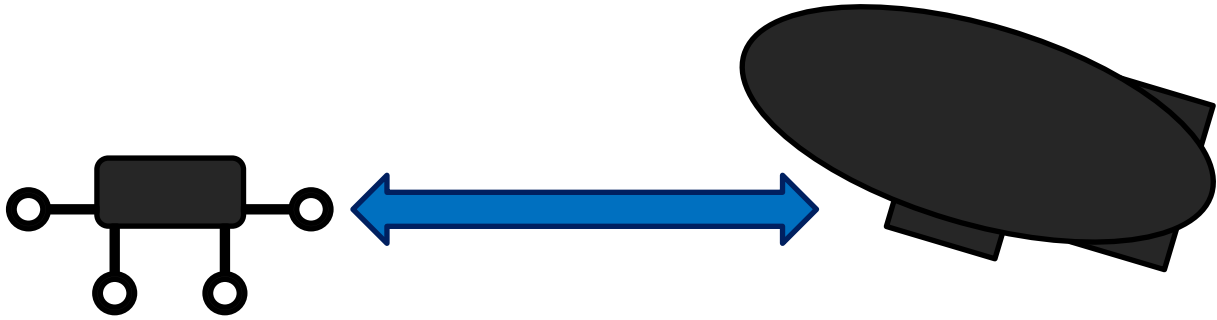


Abbildung 7: Kommunikation UAS - Fleye

Um auch hier Kollisionen zu vermeiden, müssen Positionen und Flugbahnen ausgetauscht werden. Durch die höhere Payload Kapazität sowie die Fähigkeit effizient in der Luft zu schweben bietet es sich an, das Fleye innerhalb einer Signalkette zu verwenden. So könnte ein leistungsstarker Link von Bodenstation zum Fleye implementiert werden, der dann lokal an die einzelnen UAS weitergeleitet wird. Hierüber könnten wiederum die normalen Kontrolldaten und Befehle übertragen werden oder auch die Nutzdaten der Payload, z.B. Livestream.



Konzepte

4.2 Missionskonzepte

Zu Anfang der Studienarbeit wurden Missionskonzepte erstellt, die einen Rahmen definieren, wofür die UAS ausgelegt sein sollen. Dies umfasst erste Tests, wie Aufsteigen – Schweben – Landen aber auch kompliziertere Aufgaben wie erste Schwarmüberlegungen. Die Beschreibung der Missionen gliedert sich in Aufgabe, Höhe, Strecke, Flugzeit, Anzahl der UAS, welche Payload verwendet werden soll, Konfiguration der Sensoren, Verwendung des Datenlinks, über welche Schnittstelle die Missionsplanung erfolgt und eine Beschreibung und weitere Anmerkungen (siehe Tabelle 1).

| | Mission 0 | Mission 1 | Mission 2 | Mission 3 |
|--|---|--|--|---|
| Aufgabe | Testen | Starten, Schweben, Landen | Strecke fliegen | 3D-Figur |
| Höhe | - | 20 m | 20 m | 60 m |
| Strecke | - | 0m | ~ 20 -100 m | ~ 50 -250 m |
| Flugzeit | - | ~ 10 Min. | ~ 10 Min. | ~ 10 Min. |
| Anzahl | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Payload | - | - | - | - |
| Konfiguration | - | GPS, Barometer | GPS, Barometer, Abstandssensoren | GPS, Barometer, Abstandssensoren |
| Datenlink | - | - Übermittlung von Positionsdaten und evtl. Befehle zur Positionsänderung | - Übermittlung von Positionsdaten und evtl. Befehle zur Positionsänderung | - Übermittlung von Positionsdaten und evtl. Befehle zur Positionsänderung |
| Missionsplanung | - | In- oder Pre-Flight | In- oder Pre-Flight | In- oder Pre-Flight |
| Beschreibung & Zusätzliches | - Testen aller Sensoren - Vermessung von Motoren | - Position halten (auch unter äußeren Einflüssen wie Wind oder asymmetrischer Lastverteilung) - max. Steig- & Sinkgeschw. - vert. "Bremsweg" ermitteln | - Zielkoordinate auch unter äußeren Einflüssen wie Wind oder asymmetrischer Lastverteilung erreichen - max. hor. Geschwindigkeit ermitteln - hor. "Bremsweg" ermitteln | - Kombination aus Mission 1 & 2 |

Tabelle 1: Missionskonzepte 1



Konzepte

Die ersten 4 Missionen, wie sie in Tabelle 1 zu sehen sind, sind erst einmal Tests, um die Parameter und Flugeigenschaften des UAS auszutesten. Bis auf Mission 0, welche ohne zu fliegen dem Test der Sensoren am Boden dient, sollen alle Missionen schon über einen automatischen Modus kontrolliert werden. Missionsplanung: In – oder Pre-Flight beschreibt, dass die Wegpunkte entweder am Anfang der Mission über die USB-Schnittstelle des Missionsplaners auf den Ardupilot geladen werden sollen oder während des Fluges generiert bzw. per Funkmodul empfangen werden.

| | Mission 4 | Mission 5 |
|--|---|--|
| Aufgabe | Kamerastabilisierung (gerade) | Kamerastabilisierung (gerade) |
| Höhe | ~ 20 m | ~ 20 m |
| Strecke | ~ 100 m | ~ 300 m |
| Flugzeit | ~ 10 Min. | ~ 10 Min. |
| Anzahl | 1 | 1 |
| Payload | Kamera | Kamera |
| Konfiguration | GPS, Barometer, Abstandssensoren | GPS, Barometer, Abstandssensoren |
| Datenlink | - Übermittlung von Positionsdaten und evtl. Befehle zur Positionsänderung - Kameralink (Live-Feed?) | - Übermittlung von Positionsdaten und evtl. Befehle zur Positionsänderung - Kameralink (Live-Feed?) |
| Missionsplanung | In-Flight | In-Flight |
| Beschreibung & Zusätzliches | Anvisieren eines Punktes mit einer Kamera, UAV umfliegt von Kamera anvisierten Punkt mit konstantem Radius während UAV sich horizontal oder vertikal fortbewegt | |

Tabelle 2: Missionskonzepte 2

Tabelle 2 beinhaltet die weiterführenden Missionen, die schon mit Payload ausgeführt werden sollen. Die Payload ist hier die Kamera (GoPro), die durch eine Gimballaufhängung stabilisiert werden soll.



Konzepte

Bei den ersten Testflügen hat man gemerkt, dass das, was hier als „erste Tests“ gedacht war, erst später realisiert werden kann. Mission 0 aus Tabelle 1 kann natürlich problemlos durchgeführt werden, da dafür kein Flug erforderlich ist. Da alle anderen Missionen aber Flüge sind, die schon ohne Fernbedienung durchgeführt werden sollen, macht es wenig Sinn, diese am Anfang durchzuführen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass es besser ist, zuerst die Steuerbarkeit und Flugfähigkeit des UAS mittels eines Tests durchzuführen, in dem das UAS vollständig per Fernbedienung gesteuert wird.



5 Anforderungen und Verifikation

5.1 Anforderungen

Die Requirements sind die Anforderungen an die UAS. Um ein einheitliches Muster zu haben, wurde beschlossen, die Requirements auf Englisch zu verfassen.

Zuerst muss analysiert werden, was alles von den UAS gefordert wird. Dabei werden die Missions- und Kommunikationskonzepte vom Beginn der Studienarbeit, aber auch Vorgaben, die für die Aufstiegsgenehmigung erfüllt sein müssen, zu Hilfe genommen.

Ursprünglich gliederten sich die Requirements in 7 Kategorien:

- Mission
- Flugmodi
- Manuelle Kontrolle
- Sicherheitsgrenzen
- Kommunikation
- Payload
- Entwicklung

Missionsrequirements sollen die verschiedenen Missionen definieren, wie sie zum Beispiel am Anfang in „Missionskonzepte“ überlegt wurden.

Flugmodi definiert die Modi, zwischen denen man wechseln kann, und die das UAS für die spezifischen Missionen benötigt.

Die Requirements für Manuelle Kontrolle geben an, dass immer ein Link da sein muss zwischen Fernbedienung und UAS. Dies ist im Rahmen der Aufstiegsgenehmigung wichtig, deshalb wurden diese Requirements mit in die neuen Requirements übernommen.

Auch die Sicherheitsgrenzen wurden mit übernommen in die Safety Requirements. Sie geben an, dass man bestimmte Grenzen definieren muss und was passiert, wenn das UAS – ob automatisch oder manuell – diese Grenzen überschreitet.



Anforderungen und Verifikation

Die Kommunikationsrequirements stützen sich auf die Vorüberlegungen im Bereich Kommunikationskonzepte und geben an, wozu ein UAS eine Funkverbindung unterhalten muss.

Die Payloadrequirements richten sich an die Payload und daran, dass das UAS je nach Mission und geforderter Payload konfigurierbar sein muss.

Letzendlich gibt es noch Requirements zum Thema Entwicklung, die Ansprüche an den Entwicklungsvorgang und die Dokumentation richten.

Die ursprünglichen Requirements lauteten:

Tabelle 3: Requirements alt

| Req. Nr. | Description | Topic |
|----------|--|----------------|
| 0 | The RPAS shall have the capability to fulfill all missions described during the project work (DOC ID) | Top Level |
| 1 | The RPAS shall have flightmodes available | Missioncontrol |
| 1.1 | The RPAS shall have the flightmode „Hold“ available | Missioncontrol |
| 1.2 | The RPAS shall have the flightmode „Fly to Position“ available | Missioncontrol |
| 1.3 | The RPAS shall have the flightmode „Swarm“ available | Missioncontrol |
| 1.4 | The RPAS shall have the flightmode „Follow“ available | Missioncontrol |
| 1.5 | The RPAS shall have emergencymodes available | Safety |
| 1.5.1 | In case of a collision the RPAS shall shut down the motors | Safety |
| 1.5.1.1 | An acceleration of TBD [g] in any direction shall be judged as a collision | Safety |
| 1.5.1.2 | A position in roll and pitch axis of TBD [degrees] over a time of TBD [seconds] shall be judged as a collision | Safety |
| 1.5.3 | In case the RPAS loses the signal of the remote control, it shall stay at the current position for 5 seconds and then return to the starting point | Safety |



Anforderungen und Verifikation

| | | |
|-----------|--|----------------|
| 1.5.4 | The RPAS shall dynamicly calculate the remaining flight time according to battery voltage and average energie consumption | Safety |
| 1.5.5 | At a remaining flight time of 5 minutes the RPAS shall transmit a warning to the ground station | Safety |
| 1.5.6 | At a remaining flight time of 3 minutes the RPAS shall enter a height of 5 meters and return to the starting point | Safety |
| 1.5.7 | At a remaining flight time of 1 minute the RPAS shall make an emergency landing with a sinking rate of 0,2 m/s at the current location | Safety |
| 1.5.8 | In case the RPAS loses the signal of the ground station, it shall stay at the current position for 5 seconds and then return to the starting point | Safety |
| 1.6 | The RPAS shall have an anti-collision-system available | Anti Collision |
| 1.6.1 | The RPAS shall be capable of avoiding static obstacles | Anti Collision |
| 1.6.1.1 | The RPAS shall contain a function to set no-fly zones | Anti Collision |
| 1.6.2 | The RPAS shall be capable of avoiding dynamic objects | Anti Collision |
| 1.6.2.1 | The RPAS shall be capable of avoiding other swarm members | Anti Collision |
| 1.6.2.1.1 | The RPAS shall be capable of avoiding coequal swarm members | Anti Collision |
| 1.6.2.1.2 | The RPAS shall be capable of avoiding upper level swarm members | Anti Collision |
| 1.6.2.2 | The RPAS shall be capable of avoiding unknown objects | Anti Collision |
| 2 | The responsible pilot shall have the opportunitiy to take realtime control of the RPAS manually through a remote control at any given moment | Top Level |
| 2.1 | The RPAS control architecture shall be designed such that a control path for manual remote control is available. | Saftey |
| 2.2 | The RPAS control architecture shall be designed such | Saftey |



Anforderungen und Verifikation

| | | |
|-----|---|--------|
| | that activation of manual remote control mode is possible from the remote control | |
| 2.3 | The RPAS control architecture shall be designed such that any malfunction in the autonomous flight control modes cannot prevent activation of manual remote control mode. | Safety |
| 2.4 | The RPAS control architecture shall be designed such that in the event of loss of manual remote control radio link, the RPAS enters a safe state. | Safety |
| 3 | The RPAS shall not be flown outside the safety limitations | Safety |
| 3.1 | The RPAS control architecture shall be designed to provide configurable safety limitations for maximum allowable altitude | Safety |
| 3.2 | The RPAS control architecture shall be designed to provide configurable safety limitations for maximum allowable distance to the starting point | Safety |
| 3.3 | The RPAS shall never be used outside the operating limits as specified in "DOKUMENTXY" | Safety |
| 3.4 | The RPAS control architecture shall be designed such that safety limitations for maximum allowable altitude take precedence over commands from autonomous control modes | Safety |
| 3.5 | The RPAS control architecture shall be designed such that safety limitations for maximum allowable distance to the starting point take precedence over commands from autonomous control modes | Safety |
| 3.6 | The RPAS control architecture shall be designed such that safety limitations for maximum allowable altitude take precedence over commands from manual remote control | Safety |
| 3.7 | The RPAS control architecture shall be designed such that safety limitations for maximum allowable distance to the starting point take precedence over commands from | Safety |



Anforderungen und Verifikation

| | | |
|-------|--|---------------|
| | manual remote control | |
| 4 | The RPAS shall be capable of exchanging data | Top Level |
| 4.1 | The RPAS shall be designed to load pre flight data | Communication |
| 4.2 | The RPAS shall communicate with a groundstation | Communication |
| 4.2.1 | The RPAS shall be capable changing ist flight mode based on groundstation commands | Communication |
| 4.2.2 | The RPAS shall recieve positions from the groundstation | Communication |
| 4.2.3 | The RPAS shall transmit flightstatus information to the groundstation | Communication |
| 4.3 | The RPAS shall communicate with other swarm members | Communication |
| 5 | The RPAS shall be capable of carrying a variable payload according the missions in "DOKUMENTTBD" | Top Level |
| 5.1 | The flight envelope shall be adapted to change in configuration due to the payload | Payload |
| 5.2 | The operational limitation shall be adapted to the configuration | Payload |
| 6 | The RPAS development shall be standarized | Top Level |
| 6.1 | The RPAS design shall follow the "TBD" guideline | Development |
| 6.2 | The RPAS implementation shall follow the "TBD" guideline | Development |
| 6.3 | The RPAS verification shall follow the "TBD" guideline | Development |
| 6.4 | The RPAS validation shall follow the "TBD" guideline | Development |

Da es sich hierbei um die erste Version des Requirementdokumentes handelt, kann man noch viele „TBD“ (To Be Determined) und leere Verweise finden. Die Requirements wie sie in Tabelle 3 zu finden sind, sollte man sich nicht als Richtlinie vornehmen, können aber helfen, die ersten Gedankengänge der Gruppe nachzuvollziehen. Auch wurden hier noch keine Rationals oder Anmerkungen formuliert.



Anforderungen und Verifikation

Nach einem ersten Review hat man sich darauf geeinigt, Requirements nur für das Thema „Sicherheit“ zu erstellen und zu verifizieren.

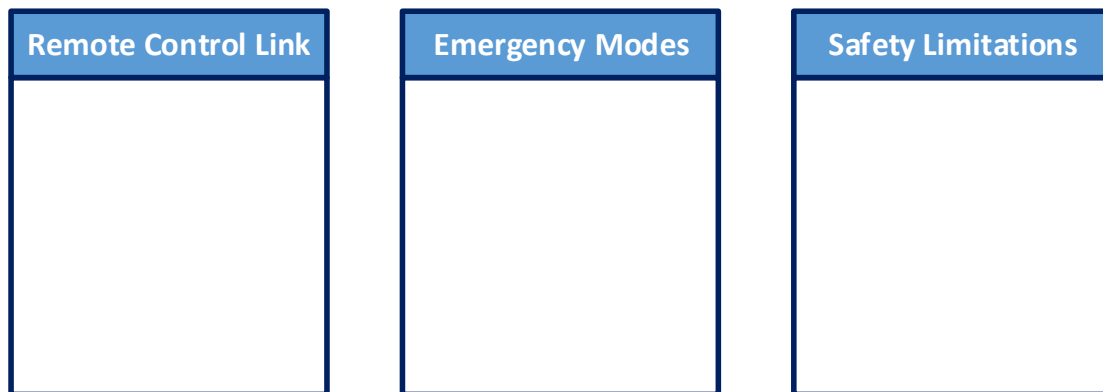


Abbildung 8: Gliederung der "Safety Requirements"

Wie in Abbildung 8: Gliederung der "Safety Requirements" zu sehen ist, gliedern sich die Safety Requirements in drei Unterpunkte:

- Remote Control Link
- Emergency Modes
- Safety Limitations

Eine Grundlage der Safety Requirements sind die für die Aufstiegsgenehmigung geforderten Vorgaben. Eine Aufstiegsgenehmigung wird benötigt, da die UAS im Betrieb der Hochschule unter die Kategorie unbemanntes Luftfahrzeug fallen: *„Ein unbemanntes Luftfahrtsystem ist ein Luftfahrzeug, welches nicht zu Zwecken des Sports oder der Freizeitgestaltung betrieben wird.“* [6]

Daraus folgen einige Vorgaben, die auch im Kapitel „Aufstiegsgenehmigung“ näher betrachtet werden.

Zum einen gibt es die Vorgabe, dass der Pilot zu jeder Zeit Kontrolle über das UAS erlangen können muss. Dies wird durch die Kategorie „Remote Control Link“ der Safety Requirements gefordert und schließlich in Verification und Test Report bestätigt (aber dazu später).



| ID | |
|--------------|--|
| Requirement | |
| Category | |
| Rational | |
| Verification | |
| Note | |

Abbildung 9: Aufbau eines Requirements

Der Aufbau eines Requirements ist in Abbildung 9 dargestellt.

Zuerst benötigt jedes Requirement eine eindeutige ID. Die ID zeigt außerdem an, auf welcher Ebene das Requirement steht, welches das darüber stehende Requirement ist und welcher Kategorie es zugehört.

Danach folgt das Requirement selbst. Bei einem Requirement ist immer genau auf die Formulierung zu achten. Laut ARP4754A ist ein Requirement *„An identifiable element of a function specification that can be validate and against which an implementation can be verified”* [5]. Es ist also darauf zu achten, dass die Formulierung des Requirements eine Validation und eine Verifikation zulässt. Die Validation der Requirements wurde in Reviews durchgeführt, auf die Verifikation wird im Kapitel „Verification“ genauer eingegangen.

Als nächstes folgt die Zuweisung zu einer Kategorie. Da man sich darauf geeinigt hat, erst einmal nur die Safety Requirements zu dokumentieren wird hier unter Kategorie überall „Safety“ stehen.



Anforderungen und Verifikation

Jedes Requirement braucht eine Begründung, warum es benötigt wird. Dies ist der Zweck der Spalte „Rational“. Die Begründung dient der Nachverfolgbarkeit und der Validierung des Requirements. Hier können auch Annahmen stehen.

Als nächstes folgt ein Verweis auf die anzuwendende Verifikation und schlussendlich eine Spalte, in der wichtige Anmerkungen notiert werden können.

Ein Beispiel eines Requirements ist das SR1.1 aus der Kategorie „Manual Remote Control“.

Es lautet: *The UAS control architecture shall be designed such that a real time control path for manual remote control is available at any given moment.*

Wie oben erwähnt ist die Kategorie „Safety“.

Das Rational zu Requirement SR1.1 lautet: *Legal permission to ascent („Aufstiegsgenehmigung“) requires remote controlled (remote piloted) operation.*

Die Verifikation findet in V1, Ground Test on A/C und V2, Flight Test statt.

Als Anmerkung dazu wurde geschrieben: *Autonomous flight modes can be provided by the UAS control architecture, but manual remote control needs to be available.*

Manuel remote control is defined as a mode of operation that can use sensor based stabilization augmentation and provides the pilot with commands to control forward/backward, left/right, yaw left/right, ascend/descend flight (APM Modes Loiter/Stabilize)

Autonomous flight modes (APM Guided Mode) are defined as modes of operation that may use additional inputs (Waypoints or Mavlink Protocol) to provide waypoint, swarm or mission specific flight path control.



Anforderungen und Verifikation

Die im Dokument „Safety Requirements“ vorhandenen Requirements werden in Tabelle 4 aufgelistet:

| ID | Requirement |
|-------|--|
| | Manual remote control |
| SR1.1 | The UAS control architecture shall be designed such that a real time control path for manual remote control is available at any given moment. |
| SR1.2 | The UAS control architecture shall be designed such that activation of manual remote control mode is possible from the remote control |
| SR1.3 | The UAS control architecture shall be designed such that any malfunction in the autonomous flight control modes cannot prevent activation of manual remote control mode. |
| SR1.4 | The UAS control architecture shall be designed such that in the event of loss of manual remote control radio link, the UAS enters a safe state as defined in SR2.2. |
| | Emergency modes |
| SR2.1 | The UAS controll architecture shall be designed such that motor kill switch through the remote control is implemented. |
| SR2.2 | In case the UAS loses the signal of the remonte control, it shall return to the starting point |
| SR2.3 | In case the UAS loses the signal of the ground station, it shall return to the starting point |
| | The UAS shall not be flown outside the saftey limitations |



Anforderungen und Verifikation

| | |
|-------|--|
| SR3.1 | The UAS control architecture shall be designed to provide configurable safety limitations for maximum allowable altitude |
| SR3.2 | The UAS control architecture shall be designed to provide configurable safety limitations for maximum allowable distance to the starting point |
| SR3.3 | The UAS control architecture shall be designed such that safety limitations for maximum allowable altitude take precedence over commands from autonomous control modes |
| SR3.4 | The UAS control architecture shall be designed such that safety limitations for maximum allowable distance to the starting point take precedence over commands from autonomous control modes |
| SR3.5 | The UAS control architecture shall be designed such that safety limitations for maximum allowable altitude take precedence over commands from manual control modes |
| SR3.6 | The UAS control architecture shall be designed such that safety limitations for maximum allowable distance to the starting point take precedence over commands from manual control modes |

Tabelle 4: Safety Requirements

5.2 Verification

Das Verification-Dokument listet alle zu erbringenden Nachweise für die Requirements auf.



| ID | |
|-------------|--|
| Name | |
| Req. ID | |
| MoC | |
| Objective | |
| Description | |
| Note | |

Abbildung 10: Aufbau Verification

Der Aufbau einer Verification ist in Abbildung 10 zu sehen. Er ähnelt dem Aufbau eines Requirements.

Zuerst benötigt jede Verification eine eindeutige Identifikation, die ID-Nummer.

Dann folgt der Name der Verification, was meist eine knappe Erläuterung des zugehörigen Requirements ist.

Um nachverfolgen zu können, welche Requirements zu dieser Verification gehören, wird in der nächsten Zeile die Requirement ID eingefügt.

MoC bedeutet „Means of Compliance“ es ist ein in der Luftfahrt verwendeter Standard, der spezifiziert welche Arten der Nachweisführung eingesetzt werden können. Üblicherweise werden numerische Codes eingesetzt, die eine Bezeichnung für das jeweilige Mittel zur Nachweisführung [7] sind. In Abbildung 11 sind diese Codes, ihre Bedeutung und eine Hilfestellung zur Zuordnung verschiedener Dokumenttypen zu den Mitteln zur Nachweisführung.

Danach folgt das Ziel der Verifikation, nämlich nachzuweisen, dass das zugehörige Requirement erfüllt wird.



Anforderungen und Verifikation

Die Beschreibung umfasst einen groben Ablauf des Tests oder der Analyse, die im Testreport ausführlicher dargestellt wird.

Letztendlich kann man auch hier Anmerkungen oder Annahmen hinzufügen.

| Type of Compliance | Means of Compliance | Associated Documents | Compliance |
|-------------------------|---|---|------------|
| Engineering evaluation | MC0 : - Compliance statement - Reference to Type Design documents - Election of methods, factors - Definitions | - Type Design documents - Recorded statements | |
| | MC1: Design review | - Descriptions - Drawings | |
| | MC2: Calculation/ Analysis | - Substantiation reports | |
| | MC3: Safety assessment | - Safety analysis | |
| Tests | MC4: Laboratory tests | - Test programmes - Test reports - Test interpretations | |
| | MC5: Ground tests on related product | | |
| | MC6: Flight tests | | |
| | MC8: Simulation | | |
| Inspection | MC7: Design inspection/ audit | - Inspection or audit reports | |
| Equipment qualification | MC9: Equipment qualification | Note : Equipment qualification is a process which may include all previous means of compliance. | |

Abbildung 11: Means of Compliance [7]

Ein Beispiel für ein Requirement ist V1, “*Verification of the path for manual control*”.

Das MoC ist “*ground test on A/C*”.

Das Objective lautet: “*The test shall confirm that a mode change of the UAS from autonomous to manual mode can be commanded via remote control.*”

Die Beschreibung ist etwas länger: “*To show that the objective is fulfilled, the UAS is mounted on the ground test station. The mode is set to autonomous and during the test it is set to manual via remote control. Successful activation of manual mode can be observed by motors following manual commands. There are two possible states of*



Anforderungen und Verifikation

control modes: autonomous and manual. Showing that manual mode can be selected during operation in autonomous mode means that manual mode is always available.”

Als Anmerkung wird angegeben: “1 sec of time between switching the modes and the actual being able to control the UAS manually is considered reasonably quick to fulfil the “real time” requirement”.

Insgesamt umfasst das Verifikationsdokument 10 Verifikationen, die da lauten:

- V1: Verification of the path for manual control (Ground Test)
- V2: Verification of the path for manual control (Flight Test)
- V3: Independence of Manual Remote Path
- V4: Loss of remote control radio link
- V5: Motor kill switch for emergency situations
- V6: Loss of ground station link
- V7: Safety limitations in software design
- V8: Reactions to safety limitations (autonomous modes)
- V9: Reactions to safety limitations (manual)
- V100: Verification of remotely controllable functions

Da für die letzte Verification kein Requirement existiert, trägt es die Identifikationsnummer V100.

5.3 Test Procedures and Report

Letzendlich benötigt jede Verification einen dazugehörigen Eintrag im Test Report.

Dieser besteht aus einem ID-Feld, in dem eingetragen wird, welches Requirement und welche Verification darin behandelt werden, dessen Name und das MoC, das schon im Verification-Dokument erwähnt wird. Außerdem wird die verwendete Software-Version angegeben und zwei Personen, die den Test oder die Analyse beaufsichtigen.



Anforderungen und Verifikation

Daraufhin folgt die Durchführung. Sie besteht aus einzeln auszuführenden Schritten, die jeweils am Ende bestätigt werden müssen.

Die Durchführung für TR1 kann man in Tabelle 5 sehen.

| Description | Passed | Failed |
|---|--------|--------|
| Set the remote control to "guided mode" | | |
| Set waypoint through ground station | | |
| Set the remote control to "stabilized mode" | | |
| The UAS should hover within one second | | |
| The rotation rate of all motors increases while the lever on the remote control is moved up | | |
| The rotation rate of all motors decreases while the lever on the remote control is moved down | | |

Tabelle 5: Durchführung von TR1

Kann ein Schritt nicht ausgeführt werden oder treten schwerwiegende Fehler auf, so muss man in "Remarks" eine ausführliche Erklärung dazu geben.

Schlussendlich wird mit Unterschrift und Datum bestätigt, dass die vorliegenden Testergebnisse wahrheitsgemäß aufgezeichnet wurden und dass das UAS den Test bestanden hat.



6 Abläufe und Checklisten

„Ein unbemanntes Luftfahrtsystem ist ein Luftfahrzeug, welches nicht zu Zwecken des Sports oder der Freizeitgestaltung betrieben wird“ [5]. Dies bedeutet, dass das Locator Projekt unter die Kategorie unbemanntes Luftfahrtsystem fällt, da es im Rahmen einer Pflichtarbeit angefertigt wird, die fester Bestandteil des Studiums ist. Somit ist der Betrieb Erlaubnispflichtig. Die Zuständigkeit liegt hierbei bei den Bundesländern, explizit für die DHBW, die Landesluftfahrtbehörde Baden-Württemberg. Da es sich bei der Studienarbeit um eine Ingenieurstätigkeit handelt und eine demensprechend professionelle Vorgehensweise fordert, ist eine präzise Regelung der Abläufe sowie der Nachweisführung erforderlich. Dies dient insbesondere auch der Beweisführung im Falle eines juristischen Prozesses bei Sachbeschädigungen oder der Verletzungen von Personen. Aus diesen Gründen heraus geben die folgenden Abschnitte eine Übersicht über das Thema Aufstiegsgenehmigung sowie die im Rahmen dieser Studienarbeit entwickelten Abläufe und Dokumente.

6.1 Aufstiegserlaubnis

Im Nachfolgenden sollen allgemeine Informationen zur Thematik Aufstiegserlaubnis vorgestellt werden. **Die Aufstiegserlaubnis der DHBW wird durch Prof. Mannchen beantragt und ist vor dem Flug einzuholen und sich mit dieser vertraut zu machen.** Hier treten zusätzliche Beschränkungen auf, die sich ändern können und daher nicht hier aufgeführt werden. Die nachfolgenden Informationen dienen daher ausschließlich als Einführung in die Thematik.

Die Nachfolgenden Informationen stammen aus der Broschüre „Kurzinformation über die Nutzung von unbemannten Luftfahrtsystemen“ vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur [5]. Bei der Aufstiegserlaubnis wird zwischen einer Allgemein- oder Einzelerlaubnis unterschieden. Bedingung für die Allgemeine Aufstiegserlaubnis ist dabei ein maximales Gewicht von 5 kg inklusive Payload und der Verzicht auf einen Verbrennungsmotor. Die Erlaubnis kann eine Gültigkeit von bis zu 2 Jahren haben.



Abläufe und Checklisten

Die Bestimmungen fordern einen Betrieb in Sichtweite des Steuerers dieser ist nach §15a der LuftVO [6] wie folgt definiert:

„Der Betrieb erfolgt außerhalb der Sichtweite des Steuerers, wenn das Luftfahrtgerät ohne besondere optische Hilfsmittel nicht mehr zu sehen oder eindeutig zu erkennen ist.“

Gleichzeitig gilt eine maximale Aufstiegshöhe von 100 Metern (**Achtung:** Wird durch die Aufstiegsgenehmigung der DHBW weiter reduziert) sowie ein Verbot des Betriebes über Menschen und Menschenansammlungen. Zudem muss der Steuerer jederzeit mit Hilfe der Funkfernsteuerung manuell und in Echtzeit eingreifen können. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der Datenschutz: Es darf nicht in den Bereich der Privaten Lebensgestaltung dritter eingedrungen werden [5].

Darüber hinaus gelten nach [5] weitere Nebenbestimmungen:

- Der Betrieb über 25 kg ist grundsätzlich verboten
- Für die Vorbereitung des Betriebes müssen alle wesentlichen Informationen eingeholt werden:
 - Örtliche Gegebenheiten
 - Meteorologischen Bedingungen
 - Luftraumverhältnisse
- Innerhalb geschlossener Ortschaften sind die zuständigen Ordnungsbehörde / Polizeidienststelle vorab zu informieren
- Innerhalb von naturschutzrechtlichen Schutzgebieten ist die zuständige Naturschutzbehörde vorab zu informieren
- Der Betrieb von UAS in einer Entfernung von weniger als 1,5 Kilometer von der Begrenzung von Flugplätzen sowie auf Flugplätzen bedarf der Zustimmung der Luftaufsicht oder der Flugleitung
- Innerhalb eines kontrollierten Luftraums ist vor dem Betrieb des UAS eine Flugverkehrskontrollfreigabe bei der zuständigen Flugverkehrskontrollstelle einzuholen



Abläufe und Checklisten

- Starts und Landungen bedürfen der Zustimmung des jeweiligen Grundstückseigentümers
- Der Start und Landeplatz ist abzusichern
- Das UAS ist so zu betreiben, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Personen und Sachen, nicht gefährdet oder gestört werden
- Es muss ein ausreichender Sicherheitsabstand zu dritten Personen sowie zu öffentlichen Verkehrswegen (darunter fallen z.B. auch Binnenwasserstraßen), Hochspannungsleitungen und anderen Hindernissen eingehalten werden
- Das UAS darf nur innerhalb der Betriebsgrenzen der Betriebsanleitung bzw. der Gebrauchsanweisung des Herstellers betrieben werden
- Ein an den Einsatz angepasstes Notfallverfahren für das Notfallszenario „Funkausfall“ ist festzulegen
- Der Steuerer muss jederzeit mit Hilfe der Funkfernsteuerung manuell und in Echtzeit eingreifen können
- Beim Betrieb von UAS ist auf weiteren Flugverkehr zu achten. Das UAS hat bemannten Luftfahrzeugen stets auszuweichen
- Im Einsatzraum von Luftfahrzeugen von Polizei und Rettungsdiensten ist der Betrieb nicht erlaubt bzw. umgehend einzustellen
- Bei Anzeichen von Funkstörungen ist der Flugbetrieb unverzüglich einzustellen und ist solange einzustellen, bis die Störquelle eindeutig ermittelt und ausgeschaltet wurde
- Der Erlaubnisinhaber hat einen Nachweis über den Einsatz des UAS zu führen (Aufzeichnungen über den jeweiligen Flugbetrieb)
- Unfälle mit Personen- oder schweren Sachschäden sowie sonstige nicht nur geringfügige Störungen im Zusammenhang mit der Ausübung einer Erlaubnis sind der Erlaubnisbehörde unverzüglich anzuzeigen



Abläufe und Checklisten

Angestrebt wird daher eine Allgemeinerlaubnis, die durch eine ortsspezifische Erlaubnis ergänzt wird. Da sich die DHBW und die umliegenden Grundstücke im kontrollierten Luftraum des Flughafens Friedrichshafen befinden, kann eine Absprache erforderlich sein. Hierzu sind beide Erlaubnisse im Detail heranzuziehen. Wenn das Grundstück Eigentum der Stadt Friedrichshafen ist, kann die Zustimmung im Rahmen der ortsspezifischen Erlaubnis erfolgen.

6.2 Abläufe und Dokumente

Um einen geregelten Vorgang zu definieren, der den Flugversuch und darüber hinaus begleitet, wurde ein Prozess aufgestellt auf den im Nachfolgenden genauer eingegangen werden soll (siehe Abbildung 12).

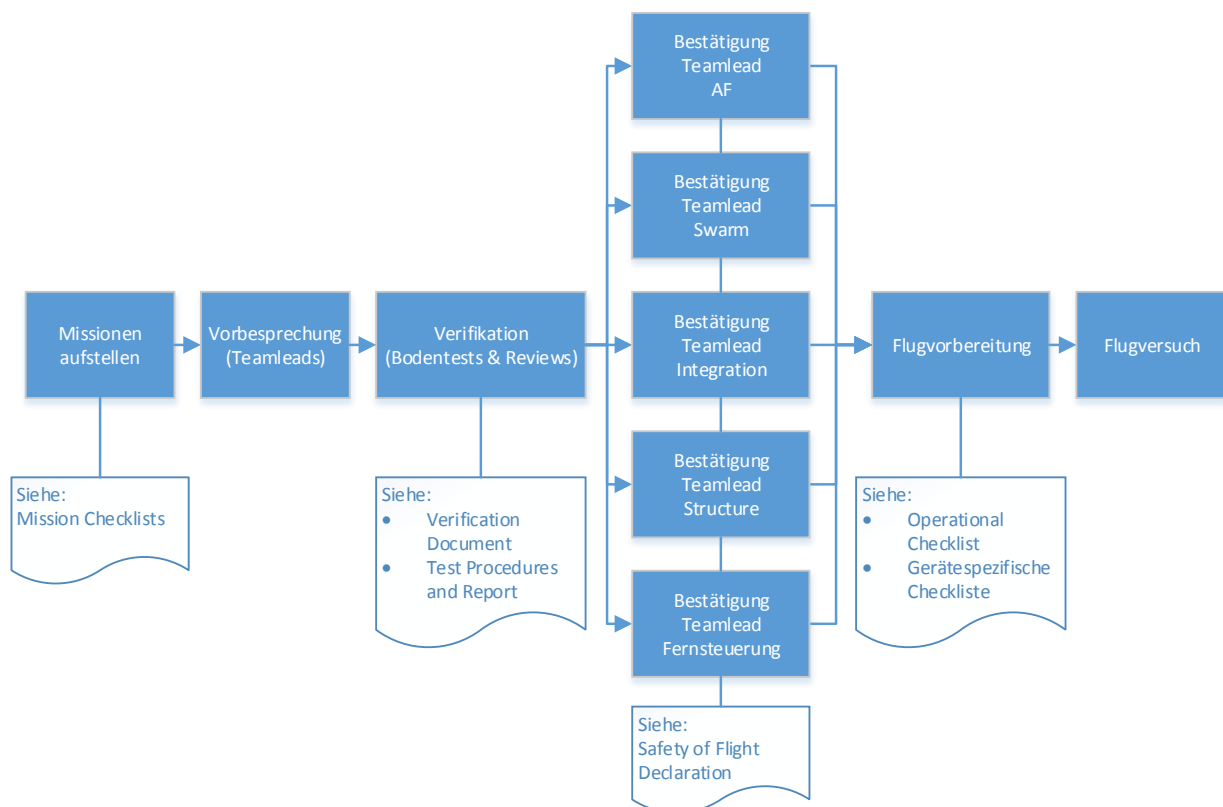


Abbildung 12: Flugversuchsprozess



Abläufe und Checklisten

Der Prozess beginnt mit dem Aufstellen der Missionen. Hierfür wurden eigens Missions-Checklisten angelegt (siehe Kapitel 6.3.7). Nachfolgend wird eine Vorbesprechung durchgeführt in der die Missionen dem Team vorgestellt werden und diskutiert werden. Ziel sollte sein, dass jedem die Inhalte der Mission klar sind und alle, insbesondere die Teamleads, sich bewusst sind, ob das UAS für die Mission geeignet ist oder weitere Schritte notwendig sind, um die Flugtauglichkeit bezogen auf die Mission zu erreichen.

Daraufhin erfolgt die Verifikation durch Reviews sowie Bodentests. Sollten zu dem aktuellen Zeitpunkt teile des aktuellen Softwarepaketes schon durch Flugtests verifiziert worden sein, sollten auch diese Ergebnisse in den Verifikationsschritt mit einfließen. Hierzu dienen die Dokumente „Verification Document“ und „Test Procedures and Report“.

Im nächsten Schritt wird die „Safety of Flight Declaration“ (siehe Kapitel 6.3.1) ausgestellt. Um sicherzustellen, dass das UAS korrekt montiert und richtig konfiguriert ist, wird an dieser Stelle die „Herstellercheckliste“ (siehe Kapitel 6.3.2) zur Überprüfung verwendet. Durch die Unterschriften der Teamleads wird hiermit die Flugtauglichkeit bezüglich der Missionen bestätigt.

Am Tag des Flugversuches muss zuerst das gesamte Equipment zum Startplatz gebracht werden. Hierzu besteht eine eigene Packliste. Daraufhin kann mit der Flugvorbereitung begonnen werden. Dies folgt mithilfe der „Operational Checklist“ (siehe Kapitel 6.3.5). Diese wiederum verwendet die „Gerätespezifische Checkliste“ (siehe Kapitel 6.3.6). Anschließend kann der Flugversuch anhand der Missionschecklisten durchgeführt werden.

6.3 Dokumente

Insbesondere bei den Dokumenten wird deutlich, dass zwischen der Rolle als Hersteller und der als Operator differenziert werden muss. Eine genaue Übersicht welches Dokument welcher Rolle zuzuordnen ist, bietet Abbildung 13.



Abläufe und Checklisten

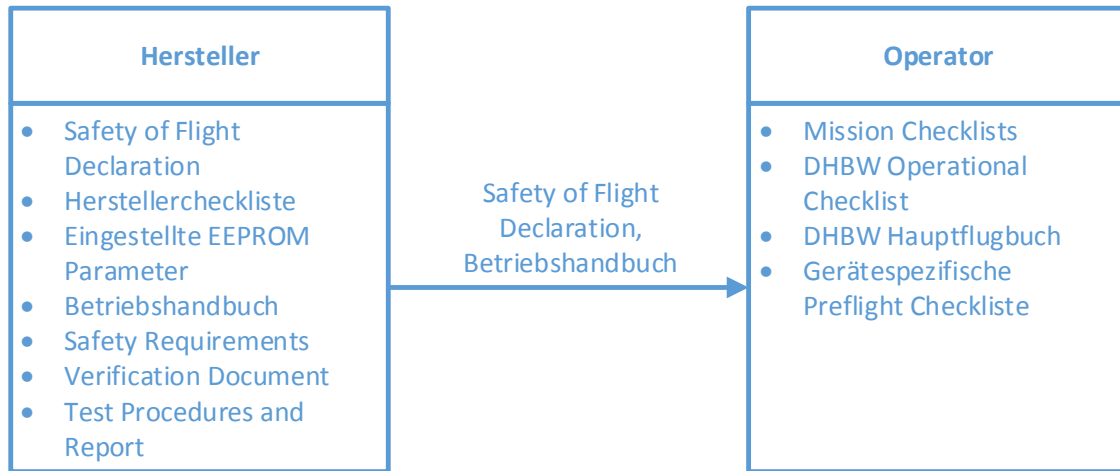


Abbildung 13: Checklisten aus Hersteller- und Operatorsicht

Entscheidend ist dabei der Wechsel von der Hersteller zur Operator Rolle. Für eine korrekte Übergabe wird hierzu, zusammen mit der unterschriebenen Safety of Flight Declaration, das Betriebshandbuch übergeben. Dies richtet sich direkt nach der Forderung zur Aufstiegserlaubnis [5], dass das UAS ausschließlich innerhalb der Betriebsgrenzen des Betriebshandbuches geflogen werden darf.



Abläufe und Checklisten

| Dokument | Wird aufgerufen durch | Verweist auf |
|-------------------------------|---|---|
| Safety Requirements | - | Verification Document |
| Verification Document | Safety Requirements | Test Procedures and Report |
| Test Procedures and Report | Verification Document | - |
| Safety of Flight Declaration | - | Herstellercheckliste |
| Herstellercheckliste | Safety of Flight Declaration | Eingestellte EEPROM Parameter |
| Eingestellte EEPROM Parameter | Herstellercheckliste | - |
| Betriebshandbuch | Mission Checklist, Gerätespezifische Checkliste | - |
| Operational Checklist | - | Gerätespezifische Checkliste, Mission Checklist |
| Gerätespezifische Checkliste | Operational Checklist | Mission Checklist, Betriebshandbuch |
| Mission Checklist | Operational Checklist, Gerätespezifische Checkliste | Betriebshandbuch |

Tabelle 6: Übersicht der Dokumente

Viele der Dokumente verweisen aufeinander. Diese Abhängigkeiten sind in Tabelle 6 aufgelistet. Hierzu ein Beispiel: Am Flugtag wird mit der operationellen Checkliste begonnen. Nach dem einige der operationen Aspekte abgearbeitet wurden, verweist diese auf die gerätespezifische Checkliste für die Pre-Flight Checks. Hier werden u.a. die Missionsabhängigen EEPROM Parameter des APMs überprüft. Welche genau das sind und wie die Default Werte sind, lässt sich dem Betriebshandbuch entnehmen. Die Missionscheckliste wiederum gibt den konkreten Parameterwert an oder verweist auf den Default Wert. Nachdem die gerätespezifische Checkliste vollständig abgearbeitet ist, wird mit der operationellen Checkliste fortgefahren. Diese wiederum verweist für den genauen Missionsablauf auf die Missionscheckliste.

Ähnliche Abhängigkeiten ergeben sich aus dem Trio von Safety Requirements, Verification Document und Test Procedures and Report. Aufgrund der Anforderung zur Nachverfolgbarkeit „Traceability“ wird jedem Requirement ein Verifikationsschritt zugeordnet. Dieser wird im Verification Document festgehalten und verweist seinerseits wieder auf das Test Procedures and Report Dokument. Hier werden die exakten



Abläufe und Checklisten

Vorgehensweisen zum Nachweis des Requirements (z.B. Test) festgehalten und dokumentiert.

Nachfolgend soll auf die Bestandteile der einzelnen Dokumente eingegangen werden. Die Dokumente Safety Requirements, Verification Document und Test Procedures and Report werden hier genauer erläutert da dies in separaten Kapiteln geschieht.

6.3.1 Safety of Flight Declaration

Die Safety of Flight Declaration wird gerätespezifisch erteilt. Hierzu wird zu allererst die UAS Kennung eingetragen (siehe Anhang 1). Gleichzeitig erfolgt die Freigabe für bestimmte Missionsnummern. Bestätigt wird hierbei:

- Bei dem UAS der DHBW Studiengruppen handelt es sich um eine Weiter-/Entwicklung und Auf-/Umbau Multikopter DJI Flamewheel DHBW gemäß Richtlinien "Laborordnung DHBW HeliFlightSim/UAS".
- Der Auf-/Umbau und die korrekte Konfiguration der Gerätekonfigurierbaren Parameter ist geeignet für die vorgesehenen Missionen gemäß Missionschecklisten.
- Das wurde das UAS entsprechend der „Hersteller Checkliste“ überprüft und konfiguriert.

Die Bestätigung erfolgt durch die Unterschrift der Teamleads.

6.3.2 Herstellercheckliste

Die Herstellercheckliste gilt als Grundlage der Safety of Flight Declaration. Sie sichert einen vollständigen und korrekten Zusammenbau des UAS sowie die richtige Konfiguration der Software. Sie definiert Verantwortlichkeiten und ist zum Abhacken konzipiert. Eine Übersicht der Bereiche und Verantwortlichkeiten bietet Tabelle 7.



Abläufe und Checklisten

| Bereich | Verantwortlicher | Beschreibung |
|----------------------------|----------------------------|--|
| Mechanische Tests | Teamlead Struktur | Überprüfen von: <ul style="list-style-type: none"> Schraubverbindungen Fester Sitz der Elektronik Installation der Propguards |
| Elektrische Hardware | Teamlead Integration | Überprüfung aller elektrischen -Verbindungen |
| Software Beagle Bone Black | Teamlead Integration | Überprüfen der installierten Software auf dem Beagle Bone Black |
| Software APM | Teamlead Integration | Überprüfen der installierten Software auf dem APM sowie EEPROM Parameter |
| Grundfunktionen testen | Teamlead Autonomous Flight | Testen der Drehrichtung der Motoren sowie Durchführung der Verifikation |

Tabelle 7: Aufgaben und Verantwortlichkeiten Herstellercheckliste

Für jedes UAS das in der Safety of Flight Declaration aufgeführt ist, wird eine separate Herstellercheckliste ausgefüllt. In dieser wird die Kennung des UAS vermerkt sowie das Datum notiert. Ab dem Zeitpunkt dürfen keine Änderungen mehr am UAS durchgeführt werden, es sei denn die Checkliste wird erneut abgearbeitet.

6.3.3 Eingestellte EEPROM Parameter

Die EEPROM Parameter Checkliste liefert den kompletten Satz an APM Parametern und listet diese tabellarisch auf. Hierzu werden folgende Informationen mitgeliefert:

- Parameter Name
- Beschreibung
- (Default-) Wert
- Einheit
- Missionsabhängigkeit

Zudem existiert im Gegensatz zur Parameterliste im Betriebshandbuch für jeden Parameter eine Checkbox zur Nachweisführung. Die eingestellte EEPROM Parameter Liste wird durch die Herstellercheckliste aufgerufen um die korrekte Konfiguration des APMs sicher zu stellen.



Abläufe und Checklisten

6.3.4 Betriebshandbuch

Ein Betriebshandbuch ist Auflage von Behörden Seite, dessen Einhaltung durch die Aufstiegserlaubnis gefordert wird. Es beinhaltet:

- Überblick der Hardware
 - Zugekaufte mitfliegende Hardware
 - Hardware der Bodenstation
 - Weiteres Zubehör
- Systemschaltbild der Funkverbindung
- Überblick der Verkabelung
- Systemschaltbild der mitfliegenden Elektronik
- Liste der APM Parameter
 - Missionsabhängige Parameter
 - Herstellerspezifizierte Parameter für Kontrollzwecke
- Sicherheitshinweise
- Vorbereitungen zum Flugbetrieb
- Hinweise zum Flugbetrieb
- Start – und Landeprozedur
- Anhänge
 - Gerätespezifische Preflight Checkliste
 - DJI Flamewheel Anleitung
 - Graupner MX-12 Bedienungsanleitung
 - Graupner MC-32 Programmierhandbuch
 - BeagleBoneBlack Datenblatt
 - APM Anleitung: Quick Start Guide for Ready-to-Fly Vehicle

6.3.5 Operational Checklist

Die Operational Checklist stellt die Grundlage für den operationellen Betrieb dar. Sie beginnt mit allgemeinen Hinweisen, z.B. die Gültigkeit der LuftVZO und LuftVO, der Umgang mit Lipo-Akkus sowie Grundlagen zum Flug selber. Dementsprechend sind auch Notfallverfahren gefordert. Danach werden die Personalien des verantwortlichen Steuerers erfasst. Anschließend folgen Pre-Flight Checks die u.a. die geräte-



Abläufe und Checklisten

spezifische Checkliste aufrufen sowie die Durchführung der Mission gemäß Missionschecklist fordern. Zusätzlich gibt die Operational Checklist Aufgaben währendes Fluges (in-flight- monitoring) vor sowie After-Flight Checks.

6.3.6 Gerätespezifische Checkliste

Die gerätespezifische Checkliste (siehe Anhang 2) beinhaltet alle Pre-Flight Checks die in direktem Zusammenhang mit dem UAS und Bodenstation stehen. Die Checkliste beginnt mit Feldern zur UAS Kennung, dem Steuerer, Datum und Uhrzeit sowie der durchzuführenden Mission. Die nachfolgenden Schritte müssen sequentiell durchgeführt werden und durch „Passed“ oder „Failed“ bestätigt werden. Die Schritte behandeln folgende Themen:

- Sichtkontrolle
- Inbetriebnahme der Fernsteuerung
- Einschalt- und Bootreihenfolge von Spannungsversorgung, Beagle Bone und APM
- Überprüfung von APM Parametern und Status- bzw. Sensorinformationen
- Überprüfung der Links zu Fernsteuerung und Bodenstation
- Überprüfung der Payload Funktion

Die gerätespezifische Checkliste wird für jede Mission und bei fehlerhaften Schritten bei ihrer Durchführung auf einer neuen Checkliste komplett neu durchgeführt.

6.3.7 Mission Checklist

Jede Mission wird in einer eigenen Mission Checklist (siehe Anhang 3) definiert. Diese wiederum bietet die Grundlage zur Safety of Flight Declaration. Jede Mission ist eindeutig über eine Missionsnummer identifiziert. Daraufhin folgt das Datum des geplanten sowie tatsächlichen Flugtermins. Das Feld „Anzahl UAS“ bietet Aufschluss über die Anzahl an Rollen innerhalb der Mission und ist somit die Mindestzahl an UAS die für die Durchführung der Mission mitgeführt werden müssen. Anschließend folgt eine Beschreibung der Mission. Unter „UAS Konfiguration“ werden sämtliche UAS gelistet die zur Mission mitgeführt werden. Jedes UAS dabei durch eine Rollennummer im Verband identifiziert, welche der Aufgabe in der Mission entspricht. Danach folgt die Kennung des UAS, die mitzuführende Payload, die Missionsspezifi-



Abläufe und Checklisten

schen APM Parameter sowie der notwendige Akkustand zur Durchführung der Mission.

Um den Zusammenhang zwischen dem Feld „Anzahl UAS“, der UAS Rollennummer im Verband und der tatsächlich mitgeführten UAS zu erläutern hier noch ein Beispiel. Es soll ein Objekt mithilfe eines UAS mit Videokamera sowie Livestream zur Bodenstation überwacht werden. Um einen stabilen Link zu erhalten soll ein zweites UAS als Repeater verwendet werden. Damit ergeben sich zwei Rollen innerhalb der Mission, was dem Feld „Anzahl UAS“ entspricht. Da die Mission sehr wichtig ist, wird für jede Rolle ein zweites Ersatz-UAS eingeplant. Alle vier UAS werden nun einzeln unter „UAS Konfiguration“ Aufgeführt. Zwei UAS sollen dabei mit einer Videokamera ausgestattet werden und bekommen daher die Rollennummer im Verband „1“. Bei den anderen beiden UAS wird aus Gewichtsgründen auf eine Kamera verzichtet. Diese UAS dienen somit als Repeater und bekommen die Rollennummer „2“.

In der Checkliste folgt nach der UAS Konfiguration der genaue Ablauf der Mission. Dieser dient dem Steuerer zur Durchführung der Mission. Die Erfahrungen aus den ersten Flugversuchen haben gezeigt, dass der Ablauf der Mission präzise und vollständig definiert sein sollte. Zudem sollten am Flugtag nur zuvor definierte Missionen geflogen werden, es sollten weder Missionen kurzfristig hinzugefügt oder geändert werden.

6.3.8 Hauptflugbuch

Das Hauptflugbuch ist ebenfalls Auflage durch die Aufstiegserlaubnis und dient im Zweifelsfall zur Vorlage vor Behörden. Hier werden alle Flüge genau Dokumentiert.



7 Organisation und Arbeitsweise

In Anbetracht des Ablaufes der Studienarbeit lässt sich sagen, dass viele gute Ergebnisse erzielt wurden. Jedoch hätte insbesondere im ersten Semester durch eine besser strukturierte und mehr zielorientierte Arbeitsweise das Ergebnis noch gesteigert werden können. Die Erfahrungen hierzu, die in enger Zusammenarbeit mit Projektleiter Michael Eberhardt entstanden sind, möchten wir nachfolgenden Gruppen mit auf den Weg geben.

7.1 Ablauf

Entscheidend ist es, direkt zu Beginn der Studienarbeit Konzepte zu erstellen, und Ziele zu vereinbaren. Alle nachfolgenden Aktivitäten sollten nun dazu dienen diese Ziele zu erfüllen. Dafür ist im nächsten Schritt die Definition der Funktionen, z.B. durch Anforderungen, notwendig. Anschließend kann ein entsprechendes Design erstellt sowie die Funktionen implementiert und getestet werden. Anhaltspunkte hierzu bietet Kapitel 3.7. Allgemein hat es sich als sehr sinnvoll und notwendig erwiesen interdisziplinär zu Arbeiten und auch die anderen Gruppen, innerhalb der UAS Studienarbeit, tatkräftig zu unterstützen.

7.2 Zeitplanung

Zeit war ein großes Thema in der Studienarbeit. Insbesondere Bestellungen müssen frühzeitig erfolgen. Allgemein sollte ein detaillierter Zeitplan erstellt werden, der allen Teammitgliedern bekannt ist. Hierbei sollten idealerweise ausreichend Puffer eingeplant werden. Insbesondere für die Projektleitung ist es wichtig, die Tätigkeiten und Fortschritte aller Teams im Blick zu halten, um Probleme und Verzögerungen frühzeitig zu bemerken. Bei allen Problemen die zu großen Verzögerungen führen oder dafür sorgen, dass wichtige Meilensteine nicht eingehalten werden können, sollte umgehend Prof. Mannchen informiert werden, damit entsprechende Maßnahmen getroffen werden können.

7.3 Meetings

Alle Meetings und Termine sollten frühzeitig terminlich festgelegt werden und bei wichtigen Events durch das Studiensekretariat geblockt werden. Obwohl ein regelmäßiges Meeting mit allen Teilnehmern erforderlich ist um z.B. Ziele, Zeitpläne und



Organisation und Arbeitsweise

Meilensteine zu kommunizieren, sollte die Teilnehmerzahl von Meetings im Allgemeinen so klein wie möglich gehalten werden. Zudem sollte jedes Meeting eine Agenda, sodass sich die Teilnehmer vorbereiten können und die Vorgehensweise während des Meetings geregelt ist. Sollte das Thema so weit von der Agenda abschweifen, dass es nur noch für kleine Teilgruppen Relevanz hat, sollte die Diskussion abgebrochen und zu einem späteren Zeitpunkt in kleinerer Runde wieder aufgenommen werden. Die Ergebnisse der Meetings sollten zu Nachvollziehbarkeit, insbesondere für nachfolgende Gruppen, in einem Protokoll festgehalten werden.



8 Zusammenfassung und Ausblick

Schlussendlich wurden im Rahmen dieser Studienarbeit bereits viele wertvolle Erfahrungen zur Entwicklung eines UAS gesammelt. Sicherlich einer der wichtigsten ist es, die Ziele frühzeitig zu definieren, da sich daraus die Aufgaben der einzelnen Teams ableiten. An dieser Stelle könnte zudem der in 3.7 angeführte Prozessvorschlag umgesetzt werden, sodass sich die Entwicklung des UAS auch in diesem Aspekt an den international gültigen Standards orientiert. Zusätzlich könnten mehr Abläufe und auch kleine Erkenntnisse, z.B. im Bereich der Softwareentwicklung, festgehalten werden. Hierzu besteht im Ordner „Allgemeines“ die Präsentation „AbläufeEntwicklungUAS“ in der kontinuierlich Erkenntnisse und Abläufe an zentraler Stelle und generationsübergreifend festgehalten werden können.

Darüber hinaus wurden unterschiedliche Konzepte zur Kommunikation und möglichen Missionen angefertigt, die erst einmal grundlegend den Spielraum mit einem oder mehreren UAS erläutern. Hierbei standen bis zum jetzigen Zeitpunkt Einzelmissionen mit einem UAS und dazugehöriger Bodenstation im Vordergrund, in Zukunft sollte der Fokus mit zunehmenden Knowhow in Richtung der Schwarmmissionen gelegt werden. Selbst eine Kooperation mit der Studienarbeit „Fleye“ ist vorstellbar. Bei dem Aufstellen von Anforderungen hingegen, ist man durch die kleine Teamgröße schnell an seine Grenzen gelangt. Daher musste sich zum jetzigen Zeitpunkt auf die „Safety Requirements“ beschränkt werden. Gleiches gilt für die Verifikation und Validation. Insbesondere für die Validation könnten weitere Mechanismen gefunden werden um diese zu strukturieren, definieren und einem geordneten Prozess zu zuführen. Trotzdem wurden bereits viele der Strukturen, z.B. die einzelnen Dokumente, aufgestellt um einen professionelles Umgang mit Anforderungen zu schaffen. Diese könnten daher im Rahmen weiterer Studienarbeiten aufgestellt und ggf. bis hin zu einer vollständigen Spezifikation des UAS geführt werden.

Darüber hinaus wurde zum ersten Mal eine Aufstiegsgenehmigung beantragt und erteilt. Der dabei notwendige Aufwand durch Dokumente und Checklisten ist erheblich, jedoch für das erste einmal bewältigt. Nichtsdestotrotz bietet sich hier ein großes Potential für kontinuierliche Verbesserungen. Dabei könnten vor allem die gerätespezifischen Prozeduren, z.B. der Einschalt- und Boot-Vorgang, weiter optimiert werden.



Zusammenfassung und Ausblick

In den bisherigen Flugversuchen sind mit der hinzugekauften Soft- und Hardware unerwartet viele Probleme aufgetreten, die eine Flugerprobung der autonomen Funktionen verhindert haben. Hierbei wäre es sinnvoll frühzeitig mit der weiteren Flugerprobung, zuerst des gekauften Systems und später der autonomen Funktionen, zu beginnen. Dabei sollte ein genauerer Überblick über die Funktionsweise der APM Software, insbesondere der Failsafe Modi, erlangt werden.

Nachdem eine solide Plattform entwickelt wurde, gibt es verschiedene Möglichkeiten, sich von anderen Produkten abzuheben. Eine wichtige Rolle spielt hierbei die Implementierung einer Schwarm Intelligenz, um zukünftig noch komplexere Missionen fliegen zu können. Zudem besteht ein großes Potential in der Bildererfassung. Neben der Bestimmung der Trajektorie von Objekten könnte auch eine deutlich präzisere Landung als mit GPS erzielt werden. Schlussendlich gibt es sicherlich eine nahezu unbegrenzte Anzahl der Anwendungsgebiete für autonome UAS. Daher geben wir gerne die durch unsere Studienarbeiten gewonnenen Erkenntnisse und Technologien an nachfolgende Gruppen weiter, sodass diese ein immer kompetenteres und vielseitigeres System entwickeln können.



Zusammenfassung und Ausblick

Literaturverzeichnis

- [1] „Finding Dulcinea - Librarian of the Internet,“ [Online]. Available: <http://www.findingdulcinea.com/news/on-this-day/July-August-08/On-this-Day--Austria-Rains-Balloon-Bombs-on-Venice.html>. [Zugriff am 28 Juni 2015].
- [2] „Vision Systems,“ [Online]. Available: <http://www.vision-systems.com/articles/2013/10/uavs-guide-students-around-mit-campus.html>. [Zugriff am 28 Juni 2015].
- [3] „Vision Systems,“ [Online]. Available: <http://www.vision-systems.com/articles/2013/07/u-s-coast-guard-makes-first-drug-bust-using-uavs.html>. [Zugriff am 28 Juni 2015].
- [4] „Amazon,“ Amazon, [Online]. Available: <http://www.amazon.com/b?ie=UTF8&node=8037720011>. [Zugriff am 29 Juni 2015].
- [5] SAE Aerospace, *SAE ARP4754: Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems*, 2010.
- [6] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, *Kurzinformation über die Nutzung von unbemannten Luftfahrtsystemen*, 2015.
- [7] European Aviation Safety Agency, „AMC and GM for Part 21,“ 30. October 2012. [Online]. Available: <https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/Annex%20I%20to%20ED%20Decision%202012-020-R.pdf>. [Zugriff am 05. July 2015].
- [8] Bundesministerium für Verkehr , *Luftverkehrs-Ordnung*, Stand: 04.07.2015.
- [9] C. Reynolds, „Boids,“ September 2001. [Online]. Available: <http://www.red3d.com/cwr/boids/>. [Zugriff am 24 03 2015].
- [10] Civil Aviation Authority, „Annex F: Standardised European Rules Of The Air] (SERA) & 'Rules Of the Air Regulation' 2014,“ 2014.
- [11] B. Alavi, F. Bachmann und F. Holfert, „Aktorik, Lernen, Motion Tracking, diverse] Roboter: Schwärme - steering behaviors,“ [Online]. Available:



Zusammenfassung und Ausblick

http://www2.informatik.hu-berlin.de/ki/lehre/ws0304/kogrob/Schwarmverhalten_ohnevideos.ppt. [Zugriff am 03 Juli 2015].



Anhang

Anhang



Safety of Flight Declaration

| | |
|------------------------|------------------|
| UAS Kennung | Boris |
| Missionsnummern | 1, 2, 3, 4, 5, 6 |

Bei dem UAS der DHBW Studiengruppen handelt es sich um eine Weiter-/Entwicklung und Auf-/Umbau Multikopter DJI Flamewheel DHBW gemäß Richtlinien "Laborordnung DHBW HeliFlightSim/UAS"

Der Auf-/Umbau und die korrekte Konfiguration der Gerätekonfigurierbaren Parameter ist geeignet für die vorgesehenen Missionen gemäß Missionschecklisten.

Das wurde das UAS entsprechend der „Hersteller Checkliste“ überprüft und konfiguriert.

Durch die Unterschrift wird bestätigt, dass die zuvor genannten Punkte vollständig erfüllt werden.

Ort, Datum

| Rolle | Name | Unterschrift |
|---------------------------------------|-------------------|--------------|
| Team Lead Struktur | Sascha Brünig | |
| Team Lead Autonomous Flight | Max Najork | |
| Team Lead Swarm Intelligence | Michael Eberhardt | |
| Team Lead Sensor Platform Integration | Malte Rahm | |
| Team Lead Fernsteuerung | Daniel Voggel | |



Anhang

Gerätespezifische Preflight Checkliste

| |
|------------------|
| UAS Kennung: |
| Steuerer: |
| Datum / Uhrzeit: |
| Mission |

| Nr. | Beschreibung | Passed | Failed |
|------|---|--------|--------|
| 1 | Umfassende Sichtkontrolle des gesamten Equipments (insbesondere UAS, Akku und Fernbedienung) | | |
| 2 | Fernsteuerung | | |
| 2.1 | Wenn Lehrer-Schüler Modus: Schülerfernsteuerung entsprechend Bedienungsanleitung einschalten und Dialoge abarbeiten | | |
| 2.2 | Hauptfernsteuerung entsprechend Bedienungsanleitung einschalten und Dialoge abarbeiten | | |
| 3 | Überprüfen, ob Sender nach Bedienungsanleitung eingeschaltet ist | | |
| 4 | Überprüfen, ob Verbindung zwischen Akku und Spannungswandler getrennt ist | | |
| 5 | Überprüfen, ob Verbindung zwischen Spannungswandler und Verteilerplatte getrennt ist | | |
| 6 | Überprüfen, ob Beagle Bone von USB Hub getrennt ist | | |
| 7 | Akku in Halterung fixieren | | |
| 8 | Überprüfen, ob Bodenstation aufgebaut ist und alle Kabel eingesteckt sind | | |
| 9 | Akku an den Spannungswandler anschließen | | |
| 10 | Überprüfen, ob Link zwischen Fernbedienung und Empfänger vorhanden ist | | |
| 11 | Ab Einstecken des Akkus 3 Minuten warten bis Beagle Bone gebootet ist | | |
| 12 | USB Hub an Beagle Bone anschließen | | |
| 13 | Über Bodenstation Missionspezifische Payloadsoftware starten | | |
| 14 | Missionplanner Software auf Bodenstation starten und verbinden | | |
| 15 | Benutzerspezifische Missionsparameter (gemäß Bedienungsanleitung) aus Missionchecklist einstellen | | |
| 16 | Statuswerte des UAS mit Missionplaner überprüfen: | | |
| 16.1 | GPS Fix | | |
| 16.2 | Akkuspannung | | |
| 16.3 | Sonarhöhe | | |
| 16.4 | Lagewinkel | | |
| 16.5 | Aktuelle Geschwindigkeit | | |
| 17 | APM Konfigurationsparameter überprüfen: | | |
| 17.1 | PreArm Checks enabled? | | |
| 17.2 | Fence und Höhenbegrenzung gemäß Missionsvorgaben aktiviert | | |
| 17.3 | Failsafeparameter gemäß Bedienungsanleitung eingestellt | | |
| 17.4 | APM Channel 5,6,7,8 gemäß Missionsdefinition eingestellt | | |
| 17.5 | Auf der Fernsteuerung die Bedienelemente den entsprechenden APM channels zuweisen (Vorgehen nach Betriebsanleitung) | | |
| 18 | Spannungswandler an Verteilerplatte anschließen | | |
| 19 | Überprüfen, dass MavProxy noch eine Verbindung zum APM hat | | |
| 20 | Überprüfen, dass Motorregler aufgehört haben zu piepsen | | |
| 21 | Payload auf Funktion überprüfen | | |

Die gerätespezifische Checkliste ist vom Steuerer des UAS auszufüllen

Anhang 2: Gerätespezifische Preflight Checkliste



Anhang

Mission Checklist

| | |
|--------------------------|--|
| Missionsnummer | 03 |
| Geplanter Flugtermin | 02.06.2015 |
| Tatsächlicher Flugtermin | |
| Fluggebiet | Flurstück – Nr. 153, Gemarkung Friedrichshafen, Flur Manzell |
| Anzahl UAS | 1 |

Missionsbeschreibung

Verifikationsdokument abarbeiten.

UAS Konfiguration

| | |
|-----------------------------------|---|
| UAS Rollennummer im Verband | 1 |
| Kennung des UAS | Anna |
| Payload | BeagleBone mit MavProxy |
| Missionsspezifische APM Parameter | Alle auf Default gemäß Betriebsanleitung setzen |
| Notwendiger Akkustand | Voll |

| | |
|-----------------------------------|---|
| UAS Rollennummer im Verband | 1 |
| Kennung des UAS | Boris |
| Payload | BeagleBone mit MavProxy |
| Missionsspezifische APM Parameter | Alle auf Default gemäß Betriebsanleitung setzen |
| Notwendiger Akkustand | Voll |

Ablauf

| Nr. | Beschreibung | Abgearbeitet |
|-----|---|--------------|
| 1 | UAS armen. | |
| 2 | Auf eine Höhe von ca. 10 m steigen. | |
| 3 | Vom Startplatz etwa 20 m entfernen dabei die Höhe halten. | |
| 4 | Begin von V2. | |
| 5 | Fernsteuerung auf „guided mode“. | |
| 6 | Wegpunkt per Mission Planner mit Höhe 10 m übergeben. | |
| 7 | Warten bis UAS den Wegpunkt anfliegt. | |
| 8 | Mit Fernsteuerung zurück auf „stabilized mode“ umschalten. | |
| 9 | In die gegengesetzte Flugrichtung fliegen. | |
| 10 | Damit ist V2 abgeschlossen. | |
| 11 | Begin V4. | |
| 12 | Mit Fernsteuerung in „guided mode“ umschalten. | |
| 13 | Wegpunkt in 10-20 m Entfernung durch Mission Planner setzen. | |
| 14 | Funkmodul der Fernsteuerung ausschalten, jederzeit einschaltbereit halten! | |



Anhang

| | | |
|----|--|--|
| 15 | Auf RTL Landung des UAS warten. | |
| 16 | Warten bis UAS disarmed ist. | |
| 17 | Ende von V4. | |
| 18 | Akkustand überprüfen: Bei weniger als 2000 mAh Akku wechseln. | |
| 19 | UAS armen. | |
| 20 | Auf eine Höhe von ca. 10 m steigen. | |
| 21 | Vom Startplatz etwa 20 m entfernen dabei die Höhe halten. | |
| 22 | Begin V6. | |
| 23 | Mit Fernsteuerung in „guided mode“ umschalten. | |
| 24 | Wegpunkt in 10-20 m Entfernung durch Mission Planner setzen. | |
| 25 | WLAN Router ausschalten | |
| 26 | Auf RTL Landung des UAS warten. | |
| 27 | Warten bis UAS disarmed ist. | |
| 28 | Ende von V6. | |
| 29 | Spannungsversorgung der Motoren trennen. | |
| 30 | After-Flight-Check aus der operationellen Checkliste überprüfen. | |

Anmerkungen

Die Verifikationstest V8 und V9 werden in einer separaten Mission behandelt, da sie eine Änderung der APM Konfigurationsparameter erfordern.

Anhang 3: Beispiel einer Mission Checklist