



Technische Hochschule Ingolstadt

Projektdokumentation Flugdrohnenprojekt Team Blau

Projektteam: Alissa Kosin, Christian Schmidt, Daniel Schien, Daniel Stotz, Jan Fischer, Johannes Walz, Kai Wilkowski, Pascal Bornkessel, Tim Gumbold

Projektdokumentation Flugdrohnenprojekt
Studiengang LT & FFI

Dozent Prof. Dr. A. Soika

Dozent Prof. Dr. L. Knig

Dozent Prof. Dr. U. Burger

Dozent Prof. Dr. G. Elsbacher

Dozent E. Obermeier

Dozent Prof. Dr. H. Gllinger

Abgabedatum 25.06.2023

Contents

1	Einführung	4
1.1	Hintergrund des Themas	5
1.2	Zusammenfassung	5
2	Studiengruppe	6
2.1	Einteilung der mter und Arbeitsgruppen	6
2.2	Organisatorisches	6
2.2.1	Digital Working Environment	6
3	Projektorganisation	7
3.1	Projektstrukturplan	7
3.1.1	Zeitplanung	7
3.1.2	Meilensteintrendanalyse	7
3.2	Anforderungsliste	7
4	Morphologischer Kasten (Ali)	8
4.1	Drohne	8
4.1.1	Technische Bewertung	9
4.1.2	Strkendiagramm	10
4.2	Lastaufhngung	10
4.2.1	Technische Bewertung	11
4.2.2	Strkendiagramm	11
4.3	Konzeptauswahl	11
5	Entwurf	12
5.1	Drohne	12
5.1.1	Werkstoffwahl	12
5.1.2	Forged Carbon	12
5.1.3	Skizzen	12
5.1.4	Sicherheitsanforderungen	12
5.2	Lastaufhngung	12
5.2.1	Werkstoffwahl	12
5.2.2	Skizzen	12
5.2.3	Sicherheitsanforderungen	12
5.3	Integration	12
6	Berechnung	13
6.1	Drohne	13
6.1.1	Ansysberechnung der Ausleger	13
6.1.2	Flugleistungsberechnung	13
6.1.3	Schwerpunktanalyse	13
6.2	Lastaufhngung	13

7	Softwareentwicklung	14
7.1	Drohne	14
7.1.1	MVP	14
7.1.2	Funktionsentwicklung	14
7.1.3	Ansteuerung der Motoren	14
7.1.4	Q-Ground Control	14
7.2	Lastaufhngung	14
7.2.1	Ansteuerung des Servomotors	14
8	Kostenplanung	15
8.1	Drohne	15
8.1.1	Chopped Carbon Tow	15
8.2	Lastaufhngung	15
8.2.1	Axiallager	15
8.3	Gesamtsystem	15
9	Ausarbeitung	16
9.1	Erzeugnisgliederung	16
9.1.1	Fertigungszeichnungen	16
9.1.2	Stekliste	16
9.2	Herstellung	16
9.2.1	Materialbeschaffung	16
9.2.2	Forged Carbon Ausleger	16
9.2.3	Erstellung Ersatzausleger	16
9.2.4	Montageanleitung	16
9.2.5	Montage	16
10	Test Bench	17
10.1	Drohne	17
10.2	Lastaufhngung	17
10.2.1	Prototyp Herstellung	17
10.2.2	Testdurchfhrung	17
10.2.3	Testergebnisse	17
10.2.4	Optimierungen	17
10.3	1.Freiflugtag	17
10.4	2.Freiflugtag	17
11	Abschluss	18
11.1	Konzeptfreigabe	18
11.2	Baufreigabe	18
11.3	Flugfreigabe	18
	List of Figures	19
	List of Tables	20

1 Einführung

In den Studiengängen Flug- und Fahrzeuginformatik (FFI) und Luftfahrttechnik (LT) gibt es im 6ten Studiensemester ein verpflichtendes Projekt. Dieses wird von Projektteams, die aus FFI und LT Studenten besteht, absolviert. Die Inhalte des Projektes werden generisch in den Modulhandbüchern beider Studiengänge beschrieben. Im Modulhandbuch des Studiengangs FFI wird der Inhalt im Entwicklungszyklus des V-Modells beschrieben. Die genannten Schritte sind:

1. Analyse
2. Recherche zur Lösungsvorbereitung
3. Beschreibung der Lösung
4. Auswahl von Methoden und Tools
5. Implementierung
6. Verifikation
7. Erstellung eines Abschlussberichts
8. Projektbegleitendes Projekt- und Konfigurationsmanagement

Im Modulhandbuch des Studiengangs LT wird der Inhalt konkreter beschrieben. Das Projekt ist auf dem Gebiet der Luftfahrttechnik und wird als Teamarbeit gelöst. Die wechselnden Randbedingungen der Flugmissionen werden bereits erwähnt. In der verpflichtenden Literatur ist das ausgegebene Lastenheft aufgeführt, welches den zu erbringenden Leistungsumfang definiert. Das ausgegebene Projekthandbuch konkretisiert das Projektziel mit den Worten: Das Projektziel ist die Erstellung einer senkrecht startenden und landenden Flugdrohne aus verfügbaren und selbst gefertigten Bauelementen sowie der Entwicklung, Fertigung und Integration einer Vorrichtung zur Aufnahme, Beförderung und Absetzen von Lasten. Die Funktion des Systems ist im Rahmen einer vorgegebenen Flugmission nachzuweisen.

1.1 Hintergrund des Themas

Das Ziel der Vorlesung wird ebenfalls in den Modulhandbüchern erläutert. Beide Modulhandbücher legen Wert auf eine selbstständige Teamarbeit um eine Gesamtlösung zu erarbeiten. Es geht um das vollumfängliche Arbeiten in einer Projektumgebung, inklusive des Projektmanagements, der Organisation und der Dokumentation. Die angestrebten Lernergebnisse des Studiengangs LT erwähnen die ingenieurwissenschaftlichen Methoden im besonderen.

Das Projekthandbuch ist im Stile eines Lastenheftes geschrieben. In Kapitel 2 werden allgemeine Definitionen und Rahmenbedingungen beschrieben. Das Projekt wird innerhalb eines Produktentstehungsprozesses (PEP) bearbeitet. Der PEP richtet sich nach dem NASA Systems Engineering Handbook (SP-2016-610S Rev. 2). In diesem Enthalten sind mehrere vorzubereitende Technische Reviews (PDR, CDR, FRR). Im Überblick bleibt zu sagen das in diesem Projekt der Entwicklungszyklus eines Fluggerätes im kleinen Simuliert wird. Das Ziel ist es den Studenten einen Einblick in die Entwicklungsprozesse von luftfahrttechnischen Geräten zu geben. Dazu gehört die abschließende Ausgabe einer THI-Registriernummer und die Erteilung der Permit-to-fly (PTF).

1.2 Zusammenfassung

Die Aufgabenstellung des Flugprojektes im Sommersemester 2023 (SS23) beinhaltet drei Flugaufgaben (Challenges). Für Challenge #1 ist eine flugfähige Drohne zu erstellen, die eine definierte Mission autonom abfliegt. Für Challenge #2 ist eine angebrachte Last mithilfe einer konstruierten Lastaufhängung autonom an einen definierten Ort zu bringen und abzusetzen. Für Challenge #3 ist die Last maximal oft zu transportieren. Die Einzelnen Challenges werden in späteren Kapiteln weiter beschrieben. Das Team Blau hat hierfür eine Drohne und Lastaufhängung entwickelt. Die Drohne wurde als Quadrocopter ausgelegt und besitzt vier Arme aus Forged Carbon. Die Lastaufhängung ist mithilfe eines Riegels mit Formschluss realisiert, der über einen Servomotor angesteuert wird.

2 Studiengruppe

Das Projektteam besteht aus neun Personen aus den Studiengngen LT und FFI. Einige Teammitglieder bringen durch eine vorherige Ausbildung Fhigkeiten in den Bereichen Herstellung und (Hier weiteres Beispiel einfgn falls mglich) mit. Durch eine abgeschlossene Berufsausbildung zum Mechatroniker (!?) ist Daniel Schien fr die Herstellung verantwortlich.

Table 2.1: Studiengruppe

Name	Position
Pascal Bornkessel	Teammitglied
Jan Fischer	Teamleiter
Tim Gumbold	Konstruktion
Alissa Kosin	Dokumentation
Daniel Schien	Herstellung
Christian Schmidt	Sicherheit
Daniel Stotz	Teammitglied
Johannes Walz	Teammitglied
Kai Wilkowski	Zeitplanung

2.1 Einteilung der mter und Arbeitsgruppen

2.2 Organisatorisches

2.2.1 Digital Working Environment

3 Projektorganisation

Am ersten Termin des Projektes wurde die Projektaufbauorganisation erstellt und die Verantwortlichkeiten und Befugnisse der Aufgabenträger definiert. Die Organisation folgt dabei der Reinen Projektorganisation, da die Teammitglieder Studenten sind. Eine Linien- oder Matrixorganisation durch die fehlende Unternehmensorganisation nicht gegeben. Durch die Organisation sind die Vorteile der reinen Projektorganisation im Team spürbar gewesen. Die Motivation war hoch, es konnte schnell auf Änderungswünsche reagiert werden und es kam zu keinen nennenswerten Konflikten. In Unternehmen müsste das Projektteam aufgelöst werden. Dieser Nachteil entfällt.

Die Einteilung der Mitglieder innerhalb der Studiengruppe ist in chapter 2 beschrieben. Die Projektablauforganisation folgt dem V-Modell. Die einzelnen Projektabschnitte wurden dabei, wie bereits erwähnt, vom Auftraggeber vorgegeben und die Feinplanung mithilfe eines Projektstrukturplans durchgeführt. In diesem sind die einzelnen Arbeitspakete genannt und zeitlich abgeschätzt worden. Auf dieser Grundlage wurde die Zeitplanung erarbeitet. Anschließend folgte die Beschreibung der Arbeitspakete mit Inputs und Outputs, sowie einer verbesserten zeitlichen Abschätzung. Im folgenden sind die Ergebnisse dieser Planungen beschrieben.

3.1 Projektstrukturplan

3.1.1 Zeitplanung

3.1.2 Meilensteintrendanalyse

3.2 Anforderungsliste

4 Morphologischer Kasten (Ali)

Als Hilfsmittel zur Konzeptfindung, haben wir uns dazu entschieden einen Morphologischen Kasten für die Drohne und für die Lastaufhängung zu erstellen. Die Funktion unserer Drohne und der Lastaufhängung werden in Anlehnung an die Anforderungsliste in Teilfunktionen aufgespalten. Zu diesen Teilfunktionen werden dann physikalische Wirkprinzipien gefunden und in einer Matrix notiert, dem sogenannten Morphologischen Kasten. Aus diesen Wirkprinzipien entstehen dann Wirkstrukturen, welche dann anhand von technischen und wirtschaftlichen Kriterien bewertet werden. Hier weicht unsere Konzeptionsmethode vom klassischen Morphologischen Kasten ab, da wir auf eine ausführliche wirtschaftliche Bewertung verzichten. Das Wirkprinzip mit der höchsten relativen Wertung wird dann eventuell mit anderen hochbewerteten Wirkprinzipien ergänzt und bildet dann die Grundlage für unser Gesamtkonzept.

4.1 Drohne

Wie in Abb 4.1 gezeigt haben wir unsere Drohne anhand der Anforderungsliste in Teilaufgaben unterteilt und diese verallgemeinert. Für die Aufgaben suchen wir im Team nach Lösungsansätzen und Wirkprinzipien. Es werden sämtliche Ideen festgehalten ohne vorzeitige Bewertungen. So wird auch der Vorschlag Holz als mögliches Material aus dem Teile der Drohne hergestellt werden können, wahrgenommen.

Anschließend suchen wir nach Wirkstrukturen. Dabei beachten wir, dass sich die unterschiedlichen Wirkprinzipien einer Wirkstruktur auch vertragen. Holz zum Beispiel können wir nicht 3D-Drucken. In der Abbildung sind unsere drei Wirkstrukturen zu sehen.

	Teilaufgabe	Wirkprinzipien									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Konfiguration	Plus	X	H	Stretched X	Elongated X	Y	Two rotors	"Fachwerk" Bauweise		
2	Material/Werkstoff	CF	Alu	Holz	EPP	Kunststoff	Stahl	Kombinationen			
3	Armform	Vierkant	Halbkreis nach oben offen	Halbkreis nach unten offen		T-Profil flache Seite oben	T-Profil flache Seite unten	Doppel T	Doppel T quer	Rund	Komplex
4	Fußposition	Am Arm	Am Körper	An Lastaufhängung							
5	Grundkörper	Viereckig	viereckig "schlank"?	Rund	eine Ebene	zwei Ebenen	Arm an unterer Ebene	Arm zwischen Ebenen	Arm an oberer Ebene		
6	Fußform	Zylinder/Stäbchen	Fuß								
7	Herstellung	Guss	Spritzguss	3D-Druck	Forged carbon	Schichten	Zerspanen	Friemeln	Kaufen		
8	Montage	Klebeverbindung	Schraubverbindung	Niete	Schweißverbindung	Klettverschluss	Klemmverschluss				

Figure 4.1: Morphologischer-Kasten-Drohne

4.1.1 Technische Bewertung

Bei der technischen Bewertung wird den drei Wirkstrukturen eine relative Wertigkeit zugeordnet. Eine wirtschaftliche Bewertung wird hier nicht durchgeführt. Einige wirtschaftliche Aspekte werden trotzdem berücksichtigt. So zum Beispiel das die Materialien weitestgehend an der Thi schon verfügbar sein sollten und nicht nachbestellt werden müssen. Ein weiteres wirtschaftliches Kriterium ist, dass wir unsere Fertigungsteile nach Möglichkeit entweder selbst oder in einer der Werkstätten an der THI fertigen können und dementsprechend keine außerhochschulischen Dienste in Anspruch nehmen müssen. Weitere Kriterien orientieren sich eher an den Vorstellungen die wir an das Projekt haben. So ist eines unserer Ziele eine möglichst leichte und kompakte Drohne zu entwickeln und trotzdem soll sie robust sein. Ebenfalls ist es uns wichtig möglichst viel selbst herstellen zu können und unsere Arbeit innovativ zu gestalten. Dementsprechend sind die Gewichtungen der Kriterien recht subjektiv. Die Kriterien werden mit eins (unwichtig bzw. vorgegeben) bis vier(sehr wichtig) gewichtet. Jede Wirkstruktur wird unabhängig von den anderen Wirkstrukturen bewertet. Schließlich werden die Bewertungen aufsummiert und durch die maximal erreichbare Bewertung geteilt sodass sich eine relative Bewertung ergibt. Wie in Abbildung zu sehen hat die 1. Wirkstruktur "Alpha" die höchste relative Wertigkeit und ist somit Grundlage für unser endgültiges Konzept.

Teilaufgabe	Bezeichnung	Gewichtung	1. Wirkstruktur		2. Wirkstruktur		3. Wirkstruktur	
			Bewertung	gewichtete Bewertung	Bewertung	gewichtete Bewertung	Bewertung	gewichtete Bewertung
0								
1	geringes Leergewicht	4	3	12	2	8	2	8
2	hohe Festigkeit	4	3	12	3	12	1	4
3	geringer Herstellungsaufwand	2	1	2	2	4	3	6
4	geringer Wartungsaufwand	1	3	3	3	3	2	2
5	geringe Komplexität	3	2	6	2	6	0	0
6	geringe Windanfälligkeit	2	2	4	2	4	1	2
7	extravagantes Aussehen	1	3	3	1	1	3	3
8	geringe Fehleranfälligkeit	3	2	6	3	9	0	0
9	inovativ	3	3	9	0	0	2	6
10	an der THI fertigbar	2	3	6	3	6	2	4
11	Material bereits vorhanden	2	2	4	3	6	0	0
maximale technische Wertung			technische Wertigkeit 27		technische Wertigkeit 67		technische Wertigkeit 59	
			relative technische Wertigkeit	2,48	relative technische Wertigkeit	2,19	relative technische Wertigkeit	1,3

Figure 4.2: Technische-Bewertung-Drohne

4.1.2 Strkendiagramm

4.2 Lastaufhngung

Fr den Morphologischen Kasten der Lastaufhngung wird der gleiche Prozess wie bereits in den Punkten weiter oben beschrieben, angewendet. Die berfunktion Lastaufhngung wird in Teilfunktionen aufgeteilt. In Abbildung ist zu erkennen wie fr jede Teilaufgabe mindestens drei Lsungselemente gefunden wurden. Im darauffolgenden Schritt werden diese Wirkprinzipien zu Wirkstrukturen verheiratet.

Teilaufgabe		Wirkprinzipien						
		A	B	C	D	E	F	G
1	Material	Holz	CF	Alu	Plastik	Magnesium	Titan	
2	Kraftübertragung	Kraftschluss	Formschluss	Stoffschluss				
3	Box	Löcher	Zapfen	Seile	Laschen	Öse	unbearbeitet	
4	Verbindung Motor zu Schließmechanismus	direkt	Zahnriemen	Seilzug	Zahnräder	Zahnstange	Pneumatik	
5	Halteform	Pin durch Loch	Klemmen	Haken	Klettverschluss	Magnet	Saugnapf	
6	Fixierungsart	Lose	Pinne	durch Halterung	Magnet	Netz	Begrenzungen	
7	Herstellung	3D-Druck	Spanen	Harzen	Kleben	Schraubverbindung	Stecken	Schweißverbindung

Figure 4.3: Morphologischer-Kasten-Lastaufhaengung

Teilaufgabe	Bezeichnung	Gewichtung	1. Wirkstruktur		2. Wirstruktur		3. Wirkstruktur	
			Bewertung	gewichtete Bewertung	Bewertung	gewichtete Bewertung	Bewertung	gewichtete Bewertung
0								
1	geringes Gewicht	2	3	6	3	6	3	6
2	hohe Festigkeit	3	3	9	3	9	2	6
3	geringer Herstellungsaufwand	1	1	1	3	3	3	3
4	geringer Wartungsaufwand	2	2	4	3	6	3	6
5	geringe Komplexität	3	2	6	2	6	3	9
6	leichte Ansteuerbarkeit durch Software	1	3	3	3	3	2	2
7	sicheres Deployment	4	2	8	1	4	1	4
8	sichere Fixierung	4	2	8	3	12	1	4
9	niedrige Motorbelastung	2	3	6	3	6	3	6
10	geringer Platzverbrauch an Grundplatte	1	2	2	3	3	3	3
11	geringe Fehleranfälligkeit	2	1	2	2	4	1	2
12	an der THI fertigbar	4	3	12	3	12	2	8
13	Material bereits vorhanden	4	3	12	3	12	2	8
maximale technische Wertung		33	technische Wertigkeit	79	technische Wertigkeit	86	technische Wertigkeit	67
			relative technische Wertigkeit	2,39	relative technische Wertigkeit	2,61	relative technische Wertigkeit	2,03

Figure 4.4: Technische-Bewertung-Lastaufhaengung

4.2.1 Technische Bewertung

4.2.2 Strkendiagramm

4.3 Konzeptauswahl

5 Entwurf

5.1 Drohne

5.1.1 Werkstoffwahl

5.1.2 Forged Carbon

5.1.3 Skizzen

5.1.4 Sicherheitsanforderungen

5.2 Lastaufhngung

5.2.1 Werkstoffwahl

5.2.2 Skizzen

5.2.3 Sicherheitsanforderungen

5.3 Integration

6 Berechnung

6.1 Drohne

6.1.1 Ansysberechnung der Ausleger

6.1.2 Flugleistungsberechnung

6.1.3 Schwerpunktanalyse

6.2 Lastaufhngung

7 Softwareentwicklung

7.1 Drohne

7.1.1 MVP

7.1.2 Funktionsentwicklung

7.1.3 Ansteuerung der Motoren

7.1.4 Q-Ground Control

7.2 Lastaufhngung

7.2.1 Ansteuerung des Servomotors

8 Kostenplanung

Eine Anforderung an das Projekt ist die kostengünstige Durchführung. Vom Auftraggeber wurde eine Grundausstattung zur Verfügung gestellt. Das Team Blau hat sich dazu entschieden, dass nach Möglichkeit alle bereitgestellten Bauteile verwendet werden.

8.1 Drohne

8.1.1 Chopped Carbon Tow

8.2 Lastaufhngung

8.2.1 Axiallager

8.3 Gesamtsystem

9 Ausarbeitung

9.1 Erzeugnisgliederung

9.1.1 Fertigungszeichnungen

9.1.2 Stckliste

9.2 Herstellung

9.2.1 Materialbeschaffung

9.2.2 Forged Carbon Ausleger

9.2.3 Erstellung Ersatzausleger

9.2.4 Montageanleitung

9.2.5 Montage

10 Test Bench

10.1 Drohne

10.2 Lastaufhngung

10.2.1 Prototyp Herstellung

10.2.2 Testdurchfhrung

10.2.3 Testergebnisse

10.2.4 Optimierungen

10.3 1.Freiflugtag

10.4 2.Freiflugtag

11 Abschluss

11.1 Konzeptfreigabe

11.2 Baufreigabe

11.3 Flugfreigabe

List of Figures

4.1	Morphologischer-Kasten-Drohne	9
4.2	Technische-Bewertung-Drohne	10
4.3	Morphologischer-Kasten-Lastaufhaengung	10
4.4	Technische-Bewertung-Lastaufhaengung	11

List of Tables

2.1 Studiengruppe	6
-----------------------------	---