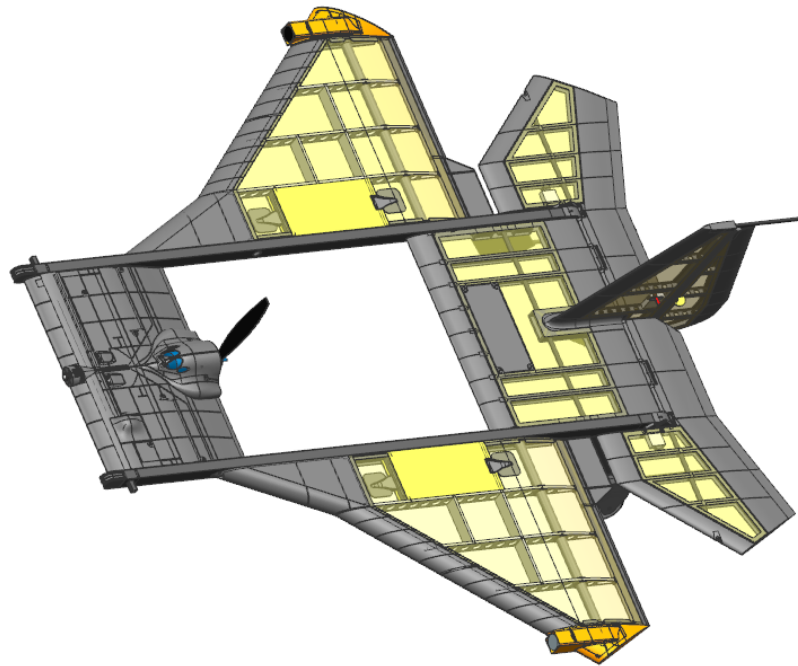


Motorenplatte & Bugfahrwerk



mobula 3.0

Studienarbeit HS 2019

Version: 1.0

Student / Autor: Chris Stolz

E-Mail: cstolz@hsr.ch

Matrikelnummer: 17-179-359

Dozent: Prof. Dr. Markus Henne

Themengebiet: Produktentwicklung

Studiengang: M | I

Erstellt am: 16. September 2019

Letzte Änderung am: 20. Dezember 2019

Abstract

Problem	Aufgrund der stetig wachsenden Nachfrage nach Drohnen für Privatzwecke und der sich immer weiterentwickelnden Technologie, kommt es immer häufiger zu gefährlichen Zwischenfällen mit Drohnen. So stellen Drohnen ein grosses Gefahrenpotential für Flugzeuge, Fahrzeuge wie auch für Personen dar. Aus diesem Grund soll eine unbemannte autonom agierende Drohne entwickelt werden, welche zur Abwehr von potentiell gefährlichen Flugobjekten genutzt werden kann. Da die Drohne in der Lage sein muss, schnell und flexibel starten zu können, wird sie als Senkrechtstarter konzipiert. Dies hat zur Folge, dass die Drohne aufgrund der limitierten Schubkraft des Motors extrem leicht aufgebaut werden muss.
Ziel	Ziel dieser Studienarbeit ist es, eine Motorenplatte zu entwickeln, welche trotz der geforderten Leichtbauweise den hohen auftretenden Beanspruchungen während Flug- und Startmanöver standhalten kann und sämtliche Komponenten, wie z.B. das Bugfahrwerk, den Antrieb und alle elektrische Komponenten aufnehmen kann. Das Gesamtgewicht der Drohne muss so geringgehalten werden, dass die Schubkraft des Motors nicht überschritten wird.
Methode / Vorgehen	Aufgrund knapper zeitlicher Ressourcen müssen bei diesem Projekt alle Projektphasen bis zur Ausarbeitungsphase schnell und effektiv durchlaufen werden. Nach der Klärung der Aufgabenstellung sollen in einem zweiten Schritt grobe Konzeptvorschläge erarbeitet werden, woraus in einer späteren Projektphase das Lösungskonzept abgeleitet werden kann. Sobald das Lösungskonzept ausgewählt ist, wird mit der Planung und Modellierung im CAD begonnen. Am Ende der Projektphase soll die neue Drohne ausgiebig mit Hilfe von Testflügen getestet und anschliessend optimiert werden.
Wesentliche Ergebnisse	Die realisierte Motorenplatte (siehe Abb. 1) ist mit rund 2800g deutlich schwerer als ursprünglich erwünscht (2400g). Das liegt vor allem daran, dass die vorgegebene Gewichtsbeschränkung nur grob abgeschätzt wurde und die Gewichtsanteile der Akkus und des Motors sehr gross sind. Wie die konzipierte Motorenplatte aber zeigt, wird das Leichtbaupotential durch eine geringe Wandstärke und einer Rippenstruktur mit Hohlräumen maximal ausgenutzt. Durch eine geschickte Anordnung aller elektrischen Komponenten ist es gelungen, das Bugfahrwerk der Drohne in den Frontteil der Motorenplatte zu integrieren, ohne dass strukturelle Schwachstellen der Konstruktion entstehen.
Empfehlungen	Um die Zuverlässigkeit des Bugfahrwerks zu optimieren, muss zwingend eine zweite Druckfeder installiert werden (siehe Kap. 8.3 auf Seite 38). Weiter soll vor dem ersten Testflug des neuen Drohrentyps überprüft werden, ob die elektrischen Komponenten trotz den vielen Kabel im Innenraum der Motorenplatte ausreichend gekühlt werden.

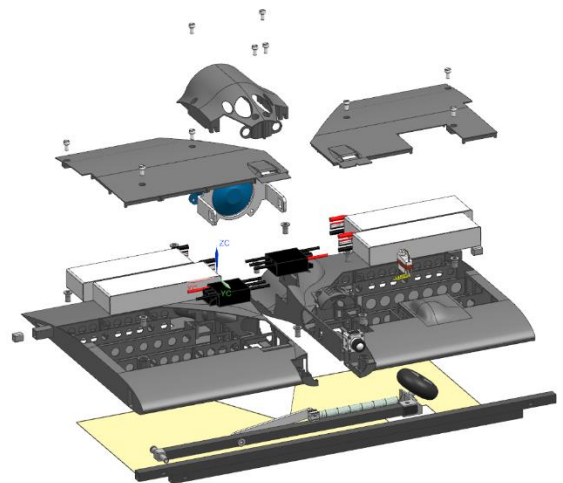


Abb. 1: Explosionsdarstellung Motorenplatte

Änderungsnachweis

Version	Änderungsgrund	Kürzel	Datum
1.0	Erstellung des Dokumentes	CS	20.12.19

Inhalt

Abstract	2
1 Einleitung	5
2 Grundlagen	6
2.1 Projektorganisation	6
2.2 Projektplan	6
3 Klärung der Aufgabenstellung	7
3.1 Aufgabenstellung	7
3.2 Auszüge aus dem Pflichtenheft	8
3.2.1 Abstraktion der Aufgabe	8
3.3 Anforderungsliste	8
3.3.1 Randbedingungen	8
3.3.2 Technische Kriterien	9
3.3.3 Allgemeine, kommerzielle und wirtschaftliche Kriterien	10
3.3.4 Nice to have Kriterien	10
4 Konzipieren	11
4.1 Antriebs- und Elektrokomponente	11
4.1.1 Li-Po Akkus	11
4.1.2 Motor inkl. Propeller	12
4.1.3 Kamera & Air Unit	13
4.1.4 ESC Modul	14
4.2 Bugfahrwerkkonzepte	14
4.2.1 Konzeptvariante 1	14
4.2.2 Konzeptvariante 2	16
4.2.3 Konzeptvariante 3	17
4.3 Motorenplatte	18
5 Lösungskonzept	20
5.1 Motorenplatte	20
5.1.1 Überblick	20
5.1.2 Aerodynamik / Kühlung	21
5.1.3 Aufbau und Funktion	22
5.1.4 Herstellverfahren / Materialwahl	25
5.2 Bugfahrwerk	26
5.2.1 Überblick	26
5.2.2 Aufbau und Funktion	27

5.3	Anbindung der Motorenplatte an die Längsträger	28
5.4	Gesamtbaugruppe / mobula 3.0	29
6	Montage	31
6.1	Sicherheit	31
6.1.1	Gefahrenhinweise.....	31
6.1.2	Persönliche Schutzausrüstung	31
6.2	Arbeitsvorbereitung	32
6.3	Montageanleitung.....	32
7	Testphase	36
8	Optimierung.....	36
8.1	Struktur der Motorenplatte inkl. Toleranzen	36
8.2	Kühlung.....	37
8.3	Bugfahrwerk.....	38
8.4	Deckel Motorenplatte	39
8.5	Aerodynamik	39
9	Fazit.....	40
10	Literatur und Quellenverzeichnis	41
11	Erklärung zur Urheberschaft	42
Anhang		43
I	Aufgabenstellung.....	43
II	Pflichtenheft	44
III	Projektplan	45
IV	Logbuch	46
V	Datenblätter.....	47
VI	Fertigungsunterlagen	48
VII	Elektroschema	49

1 Einleitung

Kontext

Immer häufiger kommt es aufgrund der fehlenden Gesetzesgrundlagen, den schwierig zu sichernden Lufträumen und der stark zunehmenden Nachfrage an Drohnen für Privatzwecke weltweit zu gefährlichen Zwischenfällen mit Drohnen. So stellen z.B. schon kleinste Drohnen ein grosses Gefahrenpotential für Flugzeuge, Fahrzeuge oder aber auch Personen dar. Ebenfalls ist nicht auszuschliessen, dass Drohnen für terroristische oder Spionagezwecke genutzt werden könnten. Aus diesem Grund soll eine unbemannt agierende Drohne (engl. Unmanned Aerial Vehicle, UAV) entwickelt werden, welche zur Bekämpfung von fremden Flugobjekten genutzt werden kann.

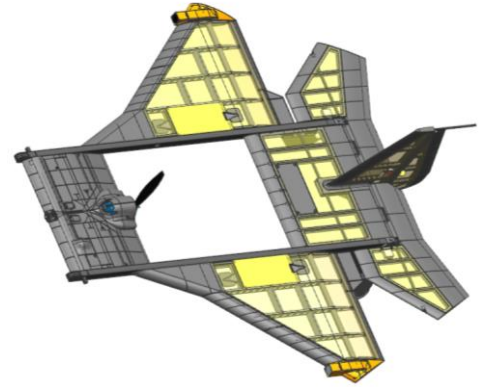


Abb. 2: mobula 3.0

Problem

Die zu konzipierende Drohne muss zur erfolgreichen Eliminierung der Flugobjekte aussergewöhnliche Flugeigenschaften aufweisen und schnell und flexibel starten können. Aus diesem Grund muss der neuen Drohnentyp, die «mobula 3.0» (siehe Abb. 2), als Senkrechtstarter und in Leichtbauweise konzipiert werden. Im Rahmen dieser Studienarbeit soll eine Motorenplatte inkl. einem Bugfahrwerk entwickelt werden. Die Motorenplatte muss in der Lage sein sämtliche Elektrokomponenten, den Motor als auch das Bugfahrwerk aufnehmen zu können. Aufgrund der hohen auftretenden Belastungen während Start- und Flugmanöver, muss die Struktur der Motorenplatte möglichst biege- und torsionssteif konzipiert werden. Zudem wird durch die reduzierte Schubkraft eine möglichst leichte Motorenplatte gefordert.

Ziel

Ziel dieser Studienarbeit ist es, eine Motorenplatte zu konzipieren, welche alle Anforderungen erfüllt und in die Gesamtstruktur der Drohne einwandfrei integriert werden kann. Um das Endprodukt zu validieren, sollen in der Endphase des Projekts Testflüge durchgeführt werden.

Methode / Vorgehen

Das Projekt wird in 6 Projektphasen unterteilt. Dabei werden grundsätzlich die erlernten Entwicklungsmethoden angewendet. Folgende Projektphasen werden Schritt weise durchlaufen:

1. Klären der Aufgabenstellung (Pflichtenheft und Organisation des Projektes)
2. Konzipieren von verschiedenen Lösungsvarianten
3. Entwurf eines Lösungskonzept mit Umsetzung als CAD-Modell
4. Fertigung und Montage der Drohne
5. Testphase
6. Optimierungsphase

Für die Modellierung des CAD-Modells wird das CAD-Programm NX12 von Siemens verwendet. Sämtliche 3D-Druckteile werden extern hergestellt. Fräs- und Drehteile werden in der internen HSR-Werkstatt angefertigt.

2 Grundlagen

2.1 Projektorganisation

Team Das Projekt wird in einem 8-köpfigen Team durchgeführt. Projektleiter und Iniziant des Projektes ist Prof. Dr. Markus Henne. Er ist zugleich der Betreuer der Studien- und Bachelor-Arbeiten im Zusammenhang mit dem Drohnenprojekt. Als Assistenten und Ansprechpartner fungieren Luca Müller und Tizian Steiger. Projektpartner ist das staatliche Bundesamt für Rüstung (Armasuisse).

Organigramm

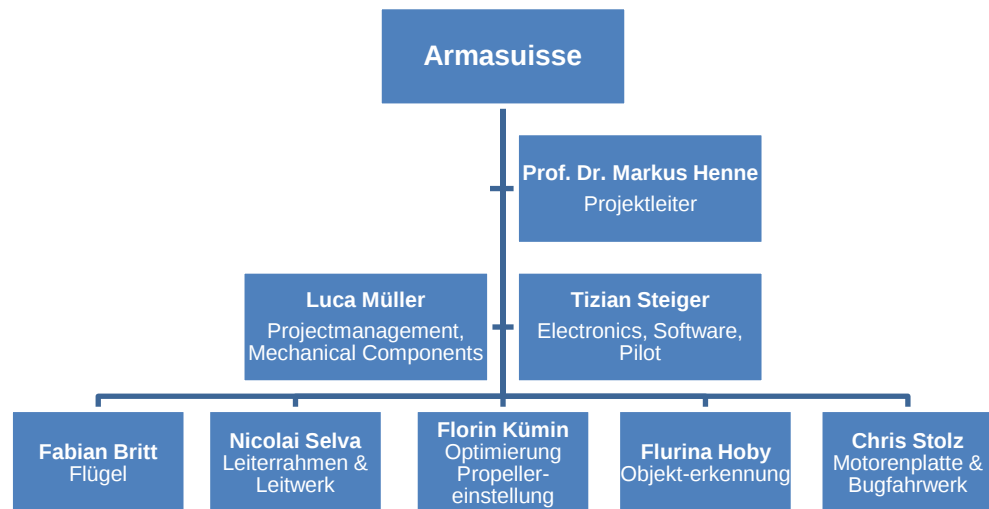


Abb. 3: Organigramm

2.2 Projektplan

Der Projektplan dient der Überwachung des ganzen Projektverlaufs. Er beinhaltet verschiedene Teilphasen und Meilensteine, damit Fortschritte besser dokumentiert werden können und Terminabweichungen frühzeitig erkannt werden können. Die Abb. 4 zeigt nur einen Ausschnitt des gesamten Projektplans. Der komplette Projektplan ist dem Anhang III «Projektplan» auf Seite 45 zu entnehmen.

Projektplan: mobula 3.0						Dozent: Prof. Dr. Markus Henne Student: Chris Stolz				
ID	SW	Vorgansname	Dauer (Soll)	Start (Soll)	Ende (Soll)	September				
						SW01	SW02	SW03	SW04	SW05
1	SW01	Organisation:								
2	SW01	Einarbeiten / Einlesen in Aufgabenstellung	2.0 h	16.09.2019	18.09.2019					
3	SW01	Erstellen eines Logbuchs	0.5 h	18.09.2019	18.09.2019					
4	SW01	Erstellen des Projektplans	2.0 h	19.09.2019	20.09.2019					
5										
6	SW02	Klären:								
7	SW02	Erstellen des Pflichtenhefts	2.0 h	21.09.2019	23.09.2019					
8	SW02	Informationsbeschaffung	2.0 h	23.09.2019	25.09.2019					
9	SW02	Aufgabenstellung Dokumentieren (Abstract)	1.0 h	25.09.2019	25.09.2019					
10	SW02	Freigabe Pflichtenheft und Projektplan	0.5 h	26.09.2019	26.09.2019					
11										

Abb. 4: Ausschnitt aus dem Projektplan

3 Klärung der Aufgabenstellung

3.1 Aufgabenstellung

Ziel	Innerhalb des Zeitraums vom 16.09.2019 bis zum 20.12.2019 soll eine Motorenplatte inkl. einem ausfahrbaren Bugfahrwerk konzipiert, realisiert und am Gesamtsystem getestet werden. Nebst einem erfolgreichen Testfluge der Drohne soll das gesamte Projekt sauber und nachvollziehbar in Form einer schriftlichen Arbeit dokumentiert werden.
Anforderungen	Die Motorenplatte soll die erforderlichen Steifigkeits- und Leichtbauanforderungen erfüllen und alle elektrischen Komponenten, den Motor und das ausfahrbare Bugfahrwerk aufnehmen können. Detailliertere Anforderungen sind dem Pflichtenheft im Anhang II auf Seite 44 zu entnehmen.
Vorgehen	Während dem ganzen Projekt sollen die in den bisherigen Modulen Innovation I, II und III sowie Entwicklungsmethodik erlernten Arbeits- und Konstruktionsgrundlagen eines Ingenieurs angewendet werden. Alle gewonnenen Erkenntnisse und durchgeführten Funktionstests sollen zudem nachvollziehbar dokumentiert werden.
Methoden	Grundsätzlich wird versucht nach den erlernten Entwicklungsmethoden vorzugehen. Das Projekt wird dementsprechend in sechs Phasen unterteilt. In der ersten Phase des Projektes soll die Aufgabenstellung und die Projektorganisation geklärt werden. Aus der ersten Projektphase resultiert das Pflichtenheft und der Projektplan. Anschliessend werden in der nächsten Phase des Projektes verschiedene Konzeptvarianten entwickelt und bewertet. Ziel der Konzeptphase ist es, ein optimales Konzept zu evaluieren, welches alle im Pflichtenheft aufgelisteten Anforderungen erfüllt und realisiert werden kann. Das so ausgewählte Konzept wird später als CAD Modell entwickelt und umgesetzt. Am Schluss der Entwurfsphase soll die Motorenplatte anhand von Fertigungsunterlagen hergestellt werden können. Sobald die Bauteile angefertigt sind, soll mit der Montage der Drohne begonnen werden. In der letzten Projektphase geht es um das ausgiebige Testen der Drohne. Während dieser Phase sollen wichtige Erkenntnisse und Optimierungsmöglichkeiten gefunden und dokumentiert werden.

Die originale Aufgabenstellung finden Sie im Anhang I «Aufgabenstellung» auf Seite 43.

3.2 Auszüge aus dem Pflichtenheft

Zweck und Ziel des Pflichtenhefts Der Zweck des Pflichtenheftes ist die detaillierte und strukturierte Analyse und Beschreibung der Anforderungen, um die Vollständigkeit des zu entwickelnden Systems sicherzustellen.

Das originale Pflichtenheft finden Sie im Anhang II «Pflichtenheft» auf Seite 44.

3.2.1 Abstraktion der Aufgabe

Aufgabe: Es soll eine Motorenplatte und ein einziehbares Bugfahrwerk für die Drohne «mobula 3.0» konzipiert und anschliessend gefertigt werden.		
1. Herausgearbeiteter Hauptaufgabensatz	2. Entnommener Forderungssatz	3. Gegebener Anweisungssatz
Konzipierung, Konstruktion und Fertigung einer Motorenplatte und einem ausfahrbaren Bugfahrwerk für den Drohnentyp «mobula 3.0».	Motorenplatte soll in Leichtbauweise konzipiert werden. Bugfahrwerk muss mit Hilfe von einem vorgespannten Federmechanismus ausgefahren werden können.	Erstellung eines funktionstüchtigen Bugfahrwerks und einer Motorenplatte gemäss HSR-Konventionen mit Abgabetermin 20. Dezember 2019.

3.3 Anforderungsliste

3.3.1 Randbedingungen

Die Drohne soll senkrecht starten können. Daher soll das Bugfahrwerk einmalig mit Hilfe einer vorgespannten Feder ausgefahren werden können. Die Auslösung des Mechanismus erfolgt dabei mit Hilfe eines Servomotors. Die gesamte Konstruktion der Motorenplatte soll möglichst leicht konzipiert werden, damit der Schwerpunkt der Drohne sich hinter dem Motor befindet und die Schubkraft des Motors nicht überschritten wird. Die Motorenplatte dient als Aufnahme für das ausfahrbare Bugfahrwerk und wird an den zwei CFK-Trägern (Längsträger) montiert.

3.3.2 Technische Kriterien

Musskriterien

Nr.	Kriterium
TM1	Befestigungsmöglichkeit für: • 1 x Motor Himax CR5025A • 1 x DJI FPV Air unit + Camera • 4 x 3700 mAh 3S Lipo Akku • 2 x ESC
TM2	Anbindung an Leiterraahmen muss gewährleistet sein
TM3	Motorenplatte & Bugfahrwerk mit Motor, Batterie und Kamera < 2400 Gramm
TM4	Drehachse für ausklappbares Bugfahrwerk muss in Motorplatte realisiert werden. Servomotor ist vorgegeben
TM5	Elektrische Komponenten müssen alle in der Motorplatte integriert werden
TM6	Batterien müssen schnell austauschbar sein
TM7	Luftkanal für Kamerakühlung & Air Unit (Kein Direkter Kontakt mit Metall-, CFK- und GFK-Strukturen)
TM8	Sämtliche Kabel müssen in Kabelkanälen untergebracht werden
TM9	Motorplatte soll in Leichtbauweise konstruiert sein
TM10	Antennenverkleidung muss radardurchlässig sein (GFK 0.3 mm)
TM11	Schutzart IP33 muss gewährleistet werden
TM12	Fahrwerksarm muss für doppelte Gewichtskraft der Drohne ausgelegt sein
TM13	Sämtliche Anschlussstecker müssen jederzeit zugänglich sein
TM14	Schwerpunkt der Motorenplatte inkl. dem ausfahrbaren Bugfahrwerk muss symmetrisch zu den beiden CFK-Längsträgern liegen
TM15	Motorenplatte muss in das aerodynamische Profil der Drohne integriert werden
TM16	Bauraum muss gemäss CAD-File eingehalten werden
TM17	Ausfahrbares Fahrwerk muss so konzipiert werden, dass genügend Bodenfreiheit besteht und Anstellwinkel gewährleistet ist

Optimierungskriterien

Nr.	Kriterium
TO1	Einfache Fertigungsprozesse
TO2	Crashschutz (Knautschzone) für Elektronikkomponenten
TO3	Möglichst leichte und schmale Räder
TO4	Dämpfung für sanfte Landung
TO5	Optimale Zugänglichkeit und Austauschbarkeit der elektrischen Komponenten
TO6	Möglichst biege- und torsionssteife Konstruktion

3.3.3 Allgemeine, kommerzielle und wirtschaftliche Kriterien

Musskriterien

Nr.	Kriterium
KM1	Fertigungsprozesse ausgelegt für 10 bis 100 Stk.
KM2	Einhaltung Budget

Optimierungskriterien

Nr.	Kriterium
KO1	Möglichst einfache und kostengünstige Fertigungsprozesse

3.3.4 Nice to have Kriterien

Nice to have

Nr.	Kriterium
N1	Statusanzeige, ob Fahrwerk vollständig ausgefahren ist

4 Konzipieren

Vorgehen

In der Konzeptionsphase werden verschiedene Konzeptvarianten evaluiert und bewertet. Ziel ist es, am Schluss der Konzeptionsphase ein Lösungskonzept zu bestimmen, welches alle im Pflichtenheft definierten Anforderungen erfüllt und realisiert werden kann. Da der Motor als auch die Akkus bereits ausgelegt sind, muss die Motorenplatte entsprechend ihren Dimensionen konzipiert werden. Aus diesem Grund werden die vordefinierten Komponenten hier nochmals mit den wichtigsten technischen Daten erläutert.

4.1 Antriebs- und Elektrokomponente

Da bereits alle Antriebs- und Elektrokomponenten ausgelegt und bestimmt sind, müssen sie nur noch optimal in die Motorenplatte integriert werden. In diesem Kapitel sind die Technischen Daten und wichtigsten Gebrauchsanweisungen zu den einzelnen Komponenten zu finden.

4.1.1 Li-Po Akkus

Beschreibung

Bei den verwendeten Akkus handelt es sich um Li-Po Akkus mit einer Nennkapazität von 3700mAh. Sie weisen eine äusserst hohe Leistungsdichte auf und sind somit perfekt für die vorliegende Drohnenapplikation geeignet.

Das Datenblatt mit allen relevanten technischen Daten finden Sie im Anhang V „Datenblätter“ auf Seite 47.



Abb. 5: Li-Po Batteriepack [1]

Technische Daten

Angabe	Wert	Einheit
Gewicht	296	[g]
Länge	134	[mm]
Breite	44	[mm]
Höhe	23	[mm]
Nennkapazität	3700	[mAh]
Steckertyp	XT60	-

Tabelle 1: Technische Daten Li-Po Akku [1]

4.1.2 Motor inkl. Propeller

Beschreibung

Als Antrieb wird ein bürstenloser Motor verwendet. Er eignet sich dank seines geringen Gewichts und dem guten Wirkungsgrad hervorragend als Antrieb für die Drohne.

Das Datenblatt mit allen relevanten technischen Daten finden Sie im Anhang V „Datenblätter“ auf Seite 47.

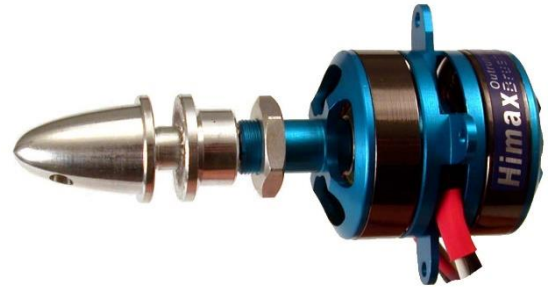


Abb. 6 : Himax Contra-Rotating Motor [2]

Technische Daten

Angabe	Wert	Einheit
Gewicht mit Propellerbefestigung	808	[g]
Länge	55.75	[mm]
Durchmesser Motor	50	[mm]
Lochkreisdurchmesser	64	[mm]
Motorbefestigung 4 Durchgangslöcher	4	[mm]
Leistung	2000	[W]
Hersteller	Maxx Products	-
Typbezeichnung	CR5025A	-

Tabelle 2: Technische Daten Motor [2]

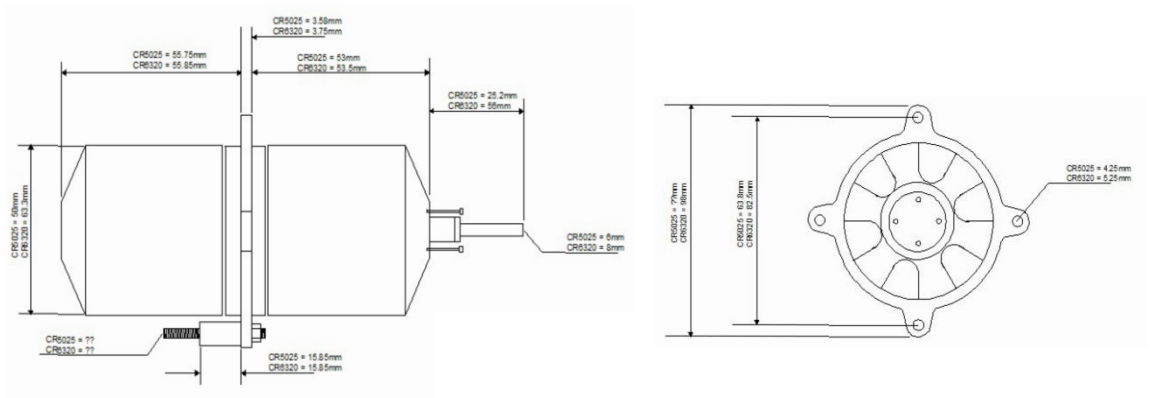


Abb. 7: Dimensionszeichnung Himax Contra-Rotating Motor [2]

4.1.3 Kamera & Air Unit

Beschreibung

Die Kamera kommt vom Hersteller DJI und besitzt eine Auflösung von 4 Megapixel mit einer Videoauflösung von 1920 x 1080 (Full HD).



Das Datenblatt mit allen relevanten technischen Daten finden Sie im Anhang V „Datenblätter“ auf Seite 47.

Abb. 8 : Kamera inkl. Air Unit [3]

Hinweise

- Die Air Unit kann während dem Betrieb heiss werden
- Berührungen mit der heissen Oberfläche der Air Unit können zu Verbrennungen führen
- Die Air Unit darf nicht über einen längeren Zeitraum ungekühlt betrieben werden.
- Die Antennen müssen minimum 40mm voneinander entfernt sein
- Die AirUnit soll nicht in der Nähe von Metallobjekten und Carbonstrukturen platziert werden. Es muss sichergestellt werden, dass die Transmission nicht blockiert wird während einem Flug.

Quelle: [3]

Technische Daten Air Unit

Angabe	Wert	Einheit
Gewicht	37.3	[g]
Länge	44	[mm]
Breite	37.8	[mm]
Höhe	14.4	[mm]

Tabelle 3: Technische Air Unit [3]

Technische Daten Kamera

Angabe	Wert	Einheit
Gewicht	8.2	[g]
Länge	22.1	[mm]
Breite	21.1	[mm]
Höhe	20.1	[mm]
Kabellänge	100	[mm]
MMCX elbow	3.9	[g]

Tabelle 4: Technische Air Unit [3]

4.1.4 ESC Modul

Beschreibung

Dieses Regelmodul ist speziell für Brushless-Motoren entwickelt worden. Zudem erwärmt sich der Regler dank hochwertigen SMD-Bauteilen nur geringfügig.

Das Datenblatt mit allen relevanten technischen Daten finden Sie im Anhang V „Datenblätter“ auf Seite 47.



Abb. 9 : ESC Modul [4]

Technische Daten

Angabe	Wert	Einheit
Gewicht	49	[g]
Länge	48	[mm]
Breite	30	[mm]
Höhe	15.5	[mm]

Tabelle 5: Technische Daten [4]

4.2 Bugfahrwerkskonzepte

In diesem Kapitel werden sämtliche Konzeptvarianten für das Bugfahrwerk der neuen mobula 3.0 Drohne beschrieben und bewertet.

4.2.1 Konzeptvariante 1

Beschreibung

Der Ausklappmechanismus basiert auf einem vorgespannten Federsystem, das durch das Ziehen eines Stiftes (siehe Abb. 10) ausgelöst werden kann. Die Gasdruckfeder dient ebenfalls auch zur Dämpfung des Stosses, der beim Landen der Drohne auftritt. Wie aus Abb. 10 hervorgeht, ist das Konzept einem Labor-Hubtisch nachempfunden.

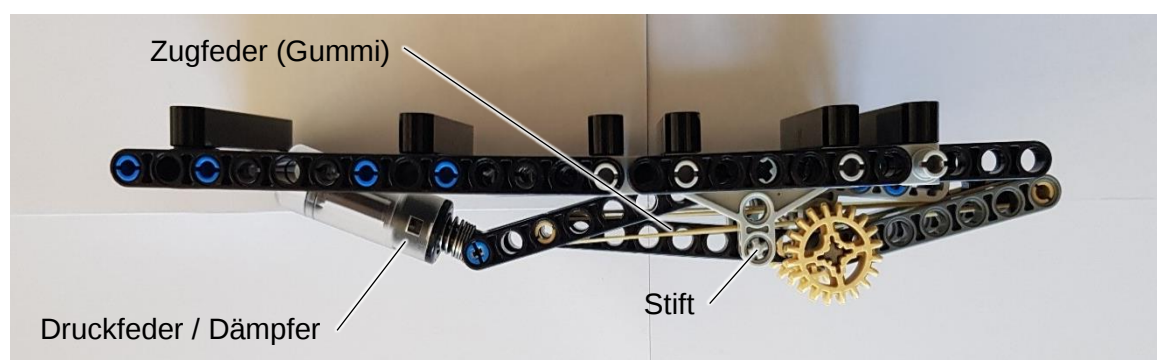


Abb. 10: Legokonzzept; Bugfahrwerk eingefahren

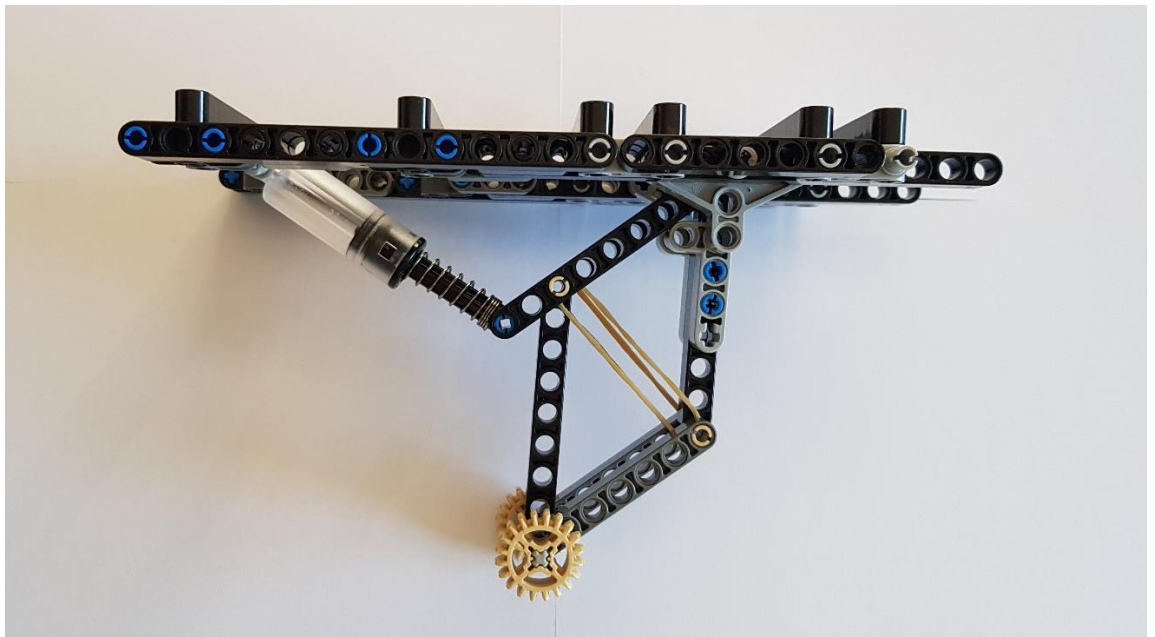


Abb. 11: Legokonzzept; Bugfahrwerk ausgefahren

Das Lösen des Stiftes soll mit einem kleinen Servomotor ermöglicht werden. Um ein stabiles Fahrverhalten des Bugfahrwerks zu gewährleisten, ist die Radachse leicht nach hinten versetzt worden. So wird das Rad gezogen, ähnlich dem Prinzip des Fahrwerks eines Einkaufswagens.

Bewertung

Dieses Konzept zeichnet sich durch eine hohe Stabilität und die integrierte Dämpfung aus. Da ausschliesslich Drehgelenke und geführte Federn verwendet werden, ist eine hohe Zuverlässigkeit des Mechanismus zu erwarten. Durch eine geschickte Anordnung der CFK-Träger kann die Lagerung des Fahrwerks direkt in die CFK-Träger integriert werden. Das Auslösen des Mechanismus erfolgt mit Hilfe eines Servomotors, der einen Stift (siehe Abb. 10 auf Seite 14) zieht.

Vorteile:

- Hohe Stabilität
- Integrierte Dämpfung
- Hohe Zuverlässigkeit
- Günstige Anordnung der Elektrischen Komponenten möglich
- Lagerung kann in CFK-Träger integriert werden
- Einfacher Mechanismus

Nachteile:

- Grosser Platzbedarf
- Viele Einzelteile
- Geringe Bodenfreiheit

4.2.2 Konzeptvariante 2

Beschreibung

Bei dieser Konzeptvariante wird das Fahrwerk in die Bugnase integriert. Dies setzt aber voraus, dass sämtliche Komponenten im hinteren Teil des Flügelprofils platziert werden können. Dabei soll der Ausklappmechanismus wiederum durch einen Servomotor ausgelöst werden. Anders als bei der ersten Variante soll die Lagerung des Fahrwerks exzentrisch erfolgen. Dadurch, dass das Bugfahrwerk das Frontteil des Flügelprofils repräsentiert, muss der Fahrwerksarm aerodynamisch gestaltet werden. Beim Ausfahren des Fahrwerks würde es folglich zu einer starken Veränderung des Flügelprofils und somit zu einem möglichen Strömungsabfall kommen. Ein weiteres Problem, das durch den so angeordneten Fahrwerksarm entsteht, ist die Platzierung der Kamera. Diese müsste exzentrisch angebracht werden, wodurch der Schwerpunkt der Motorenplatte nicht mehr in der Symmetrieebene der Drohne liegen würde.

Die Konzeptvariante 2 wurde von Herrn Henne, Tizian Steiger und Luca Müller entwickelt.



Abb. 12: Konzept 2; Bugfahrwerk eingefahren



Abb. 13: Konzept 2; Bugfahrwerk ausgefahren

Bewertung

Sowohl die Lagerung als auch ein Federmechanismus sind bei dieser Variante schwer zu realisieren. Zudem müsste die Struktur an der Lagerungsstelle massiv verstärkt werden, wodurch die Motorenplatte nicht komplett als 3D Druckteil realisiert werden könnte.

Vorteile:

- Optimale Anordnung der Elektrokomponenten möglich
- Platzsparend
- Wenige Einzelteile
- Hohe Biege- und Torsionssteifigkeit möglich

Nachteile:

- Geringe Stabilität durch exzentrische Lager
- Massive Lagerung notwendig
- Komplizierte Frästeile (kostenintensiv)
- Aerodynamisch ungünstig (beim Ausklappen des Fahrwerks)
- Schwieriger Mechanismus
- Kamera muss exzentrisch platziert werden

4.2.3 Konzeptvariante 3

Beschreibung

Bei dieser Variante soll die Lagerung des Bugfahrwerks direkt mit Hilfe eines Aluminium-Lagerbocks in den CFK-Träger (Längsträger) integriert werden (siehe Abb. 15). Durch die geschickte Anordnung kann ebenfalls der Slider (Abb. 17) und die Druckfeder einfach in die Motorenplatte integriert werden. Anzumerken ist, dass zwingend eine Verriegelung konzipiert werden muss, welche das Fahrwerk in der ausgefahrenen Lage sichert. Durch die Sicherung soll das Einklappen des Fahrwerks bei einem auftretenden Stoss beim Landen verhindert werden. Der Ausfahrmechanismus wird mit Hilfe eines Servomotors ausgelöst. Um die Lochleibung in den CFK-Teilen so gering wie möglich zu halten, werden Aluminiumbuchsen verwendet.

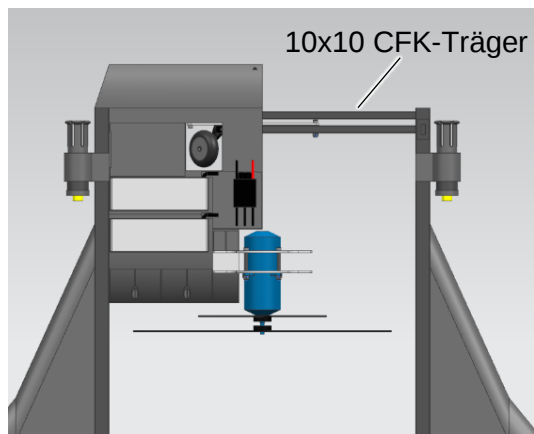


Abb. 14: Konzept 3; Bugfahrwerk eingefahren

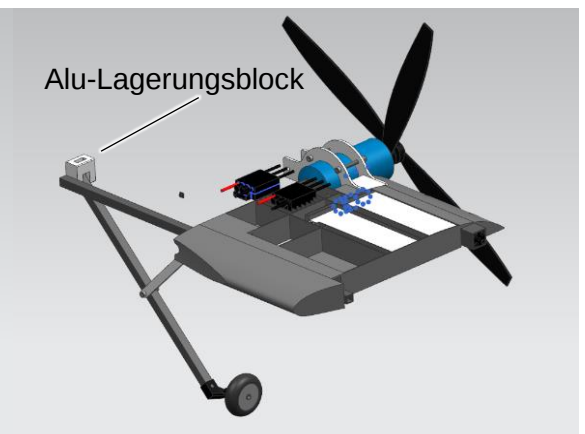


Abb. 15: Konzept 3; Bugfahrwerk ausgefahren

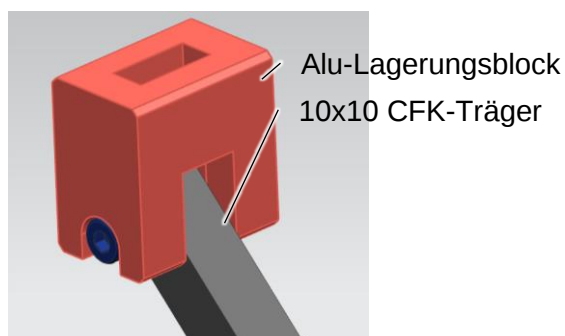


Abb. 16: Konzept 3; Lagerbock

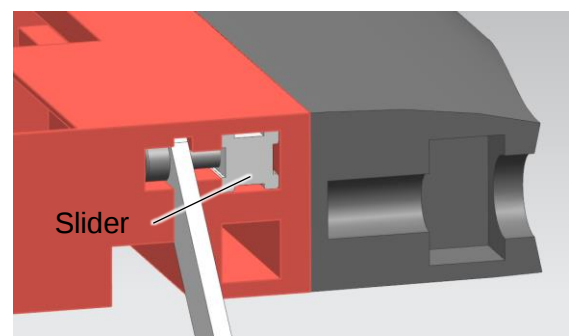


Abb. 17: Konzept 3; Slider

Bewertung

Das Konzept ist einfach zu realisieren und die Stabilität ist dank der im CFK-Träger integrierten Lagerung als stabil zu bewerten. Die einzigen Nachteile dieser Variante liegen in der Sicherung gegen das Einklappen des Fahrwerks und dem eingeschränkten Platz für die elektrischen Komponenten. Für die Sicherung müsste noch ein separater Mechanismus entwickelt werden. Zudem ist die Bodenfreiheit etwas zu gering. Indem einen grösser Winkel gewählt wird, soll dieses Problem gelöst werden. Durch das Platzieren des Bugfahrwerks im Frontteil der Motorenplatte und des bereits definierten Flügelprofils müssen die restlichen Elektrokomponenten extrem eng angeordnet werden. Platzmangel für Kabel und Stecker, schlechtere Kühlung der Elektrokomponenten und eine schlechtere Entnahme der Li-Po Akkus werden sicherlich als Nachteile resultieren.

Vorteile:

- Einfacher Mechanismus
- Linearführung kann direkt in Motorenplatte integriert werden
- Stabil
- Sicherung notwendig
- Hohe Biege- und Torsionssteifigkeit möglich
- Kamera kann mittig platziert werden

Nachteile:

- Verschleiss der Linearführung
- Zuverlässigkeit (Verkeilen des Sliders oder der Druckfeder)
- Eingeschränkte Federkraft
- Schlechte Kühlung
- Platzmangel für Kabel

4.3 Motorenplatte

Konzeptentwicklung	Aufgrund knapper zeitlicher Ressourcen und einer schwerwiegenden Änderung des Flügelprofils kann nur eine Konzeptvariante entwickelt, bzw. ausgearbeitet werden. Die Änderungen, welche durch die Anpassung des Profils entstanden sind, werden auf der Seite 19 erläutert.
Beschreibung	Bei dieser Konzeptvariante wird die Motorenplatte in 6 Teile unterteilt. Die Unterteilung muss vorgenommen werden, da der Druckbereich des «3D-Druckers» (SLS Verfahren) zu klein ist. Als Basis dient dabei das Mittelstück der Platte (siehe Abb. 19 / rot eingefärbt). Der Motor wird mittels zwei Aluminiumblechen an zwei 20x20 CFK-Träger (siehe Abb. 18) befestigt. Für eine ausreichende Biege- und Torsionssteifigkeit sollen sowohl in den Deckelementen als auch im Bodenbereich der Platte GFK-Strukturschichten angebracht werden. Die beiden 20x20 CFK-Träger (siehe Abb. 20) und der 10x10 CFK-Träger (siehe Abb. 18) im Frontbereich sorgen für eine genügend biege- und torsionssteife Konstruktion der Motorenplatte. Der für den Ausfahrmechanismus benötigte Slider fährt dabei in einer integrierten Linearführung (siehe Abb. 19). Die Anbindung der Motorenplatte an die Drohne erfolgt über eine form- und kraftschlüssige Verbindung an die Längsträger (20x30 CFK-Träger).

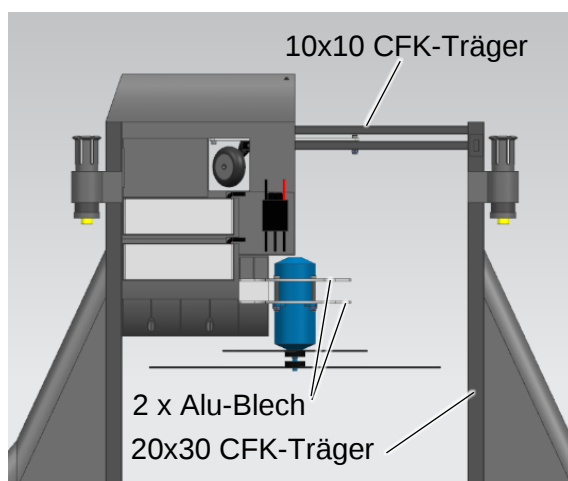


Abb. 18: Konzept 1 (altes Profil)

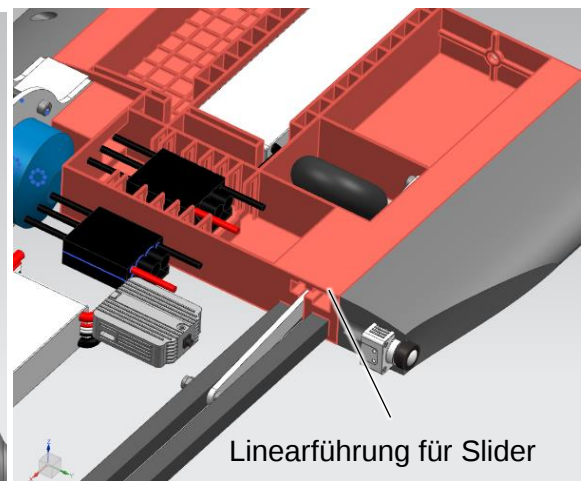


Abb. 19: Konzept 1 (altes Profil)

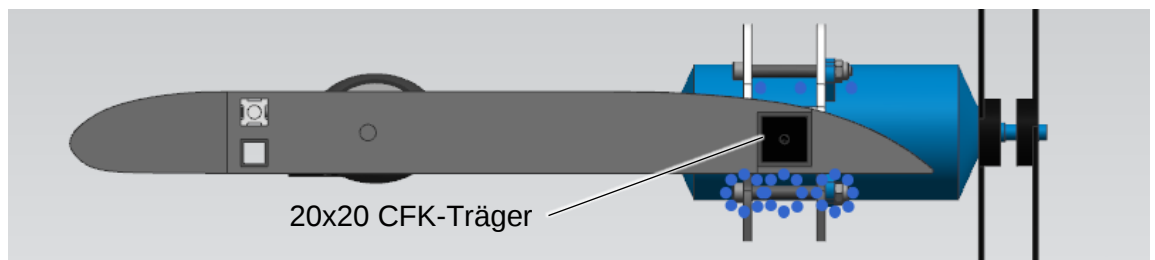


Abb. 20: Konzept 1; Seitenansicht der Motorenplatte (altes Profil)

Bewertung / Optimierung

Die Motorenplatte ist bezüglich den aerodynamischen Eigenschaften zu optimieren. Dafür soll sowohl für den Motor als auch für das Bugfahrwerk eine aerodynamische Form im CAD-Programm entwickelt werden (Freeforming). Um die Biege- und Torsionssteifigkeit zu erhöhen, muss der vordere 10x10 CFK-Träger durch einen massiveren Querträger ersetzt werden.

Änderung des Flügelprofils

Da die Motorenplatte mit dem «alten Profil» zu wenig Auftrieb generiert, muss das Flügelprofil angepasst werden. Wie aus Abb. 21 ersichtlich ist, wirkt sich die Änderung des Profils direkt auf den zu Verfügung stehenden Platz der Akkus aus. So wird der mittlere Teil der Platte, in welchem Boden- und Deckschicht parallel verlaufen, markant kürzer. Durch die Änderung des Profils muss das gesamte Konzept der Motorenplatte und des Bugfahrwerks überdacht und angepasst werden.

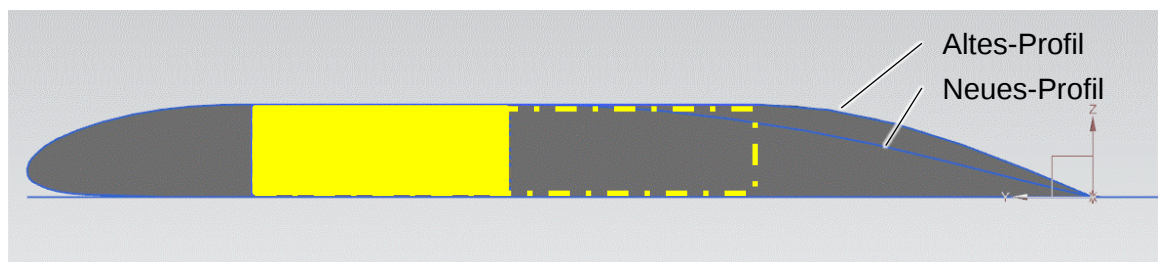


Abb. 21: Änderung des Flügelprofils

Durch die Änderung des Profils müssen folgende Änderungen vorgenommen werden:

- Platzierung der Li-Po-Akkus (siehe Abb. 32 auf Seite 24)
- Motorenplatte besteht aus nur zwei Teile und verschiedenen Deckel
- Bugfahrwerk verschiebt sich nach vorne
- Der vordere Querträger besteht aus zwei zusammengeklebten 10x10 CFK-Träger
- Beim Hinteren Querträger wird auf Grund des schmaleren Profils anstelle des 20x20 CFK-Trägers ein 10x10-CFK Träger verwendet
- Es wird nur ein Befestigungsblech für die Motorenhalterung verwendet, welches in die beiden Hälften der Motorenplatte eingeklebt werden sollen
- Die Lagerung des Bugfahrwerks wird in den Querträger integriert und nicht in den Längsträger
- Die Axialsicherung des vorderen Querträgers erfolgt mit Hilfe eines Frontteils und 6mm CFK-Rohren die für das Wurffnetz benötigt werden
- Die Deckel werden ohne GFK-Strukturschicht konzipiert

5 Lösungskonzept

Konzeptauswahl In diesem Kapitel werden die ausgewählten Lösungskonzepte für die Motorenplatte und das integrierte Bugfahrwerk detailliert beschrieben.

5.1 Motorenplatte

Das Lösungskonzept der Motorenplatte basiert auf der entwickelten Konzeptvariante 1 und den geforderten Änderungswünschen, welche durch das optimierte Flügelprofil entstanden sind.

5.1.1 Überblick

Beschreibung Die Motorenplatte muss wegen dem beschränkten Druckbereich des 3D-Druckers mehrteilig aufgebaut werden. So besteht die Grundstruktur aus 6 Einzelteilen, die mittels verklebten Blindnietmuttern von Tuftara oder CFK-Träger verbunden werden (Siehe Abb. 31 auf Seite 24). Bei der Konstruktion der Motorenplatte wurde eine Wandstärke von 1mm gewählt. Die Rippenstruktur wurde so ausgelegt, dass die Antriebs- und Elektrokomponenten optimal in die Platte integriert werden können und zusätzlich eine möglichst steife Konstruktion ermöglicht wird. Für die Kühlung des Motors, der ESC Module, der Kamera und der Air Unit sind Lüftutzen und Lüftungsschlitze vorgesehen.

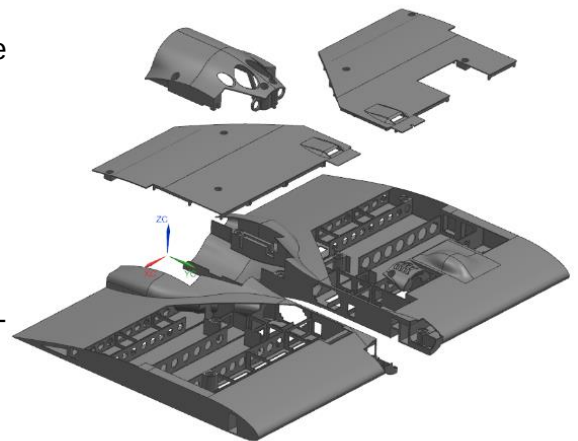


Abb. 22: Mehrteilige Motorenplatte aus PA12

Technische Daten

Angabe	Wert	Einheit
Gewicht (inkl. Motor, Akkus, etc.)	2880	[g]
Länge	320	[mm]
Breite	420	[mm]
Höhe	76	[mm]
Schwerpunktkoordinaten (x; y; z) Fahrwerk eingefahren	(2.20; 136.31; 12.97)	[mm]
Schwerpunktkoordinaten (x; y; z) Fahrwerk ausgefahren	(3.99; 136.31; 10.01)	[mm]
Flügelprofil	Y-Clark	-

Tabelle 6: Technische Daten Motorenplatte

Schwerpunkt

Der Schwerpunkt wird mit Hilfe der Massmittelpunkte der einzelnen Komponenten berechnet. Aus der Berechnung erfolgt, dass sich der Schwerpunkt bei eingefahrenem Bugfahrwerk leicht exzentrisch ($x = 2.20\text{mm}$ / $y = 136.31\text{mm}$) in der rechten Motorenplatte befindet (Siehe Abb. 23). Beim Ausfahren des Bugfahrwerks verschiebt sich der Schwerpunkt weiter nach rechts und zusätzlich in der z-Achse (siehe Tabelle 6 auf Seite 20). Der Bezugspunkt für die Schwerpunktberechnung liegt auf der Mittelebene an der hinteren Kante des Profils.

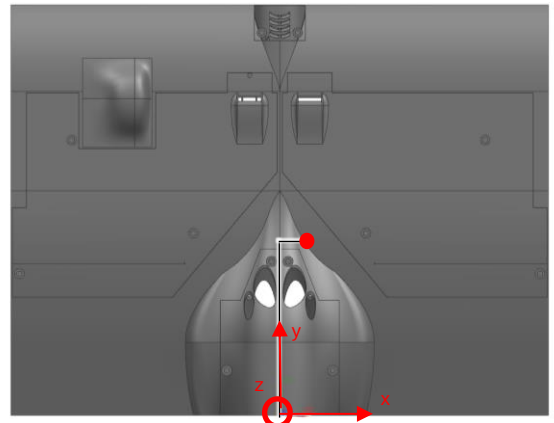


Abb. 23: Schwerpunkt Motorenplatte

5.1.2 Aerodynamik / Kühlung

Y-Clark Profil

Als Basis der Motorenplatte dient ein leicht modifiziertes Y-Clark Profil (siehe Abb. 24 / rote Fläche). Der mittlere Bereich wurde leicht verlängert, um genügend viel Platz für die Li-Po Akkus zu generieren. Um den Antrieb inkl. allen Kabel so aerodynamisch wie möglich in das Profil zu integrieren, sind Freeform-Flächen sowohl bei Motor als auch bei dem Bugfahrwerksrad eingeplant worden.

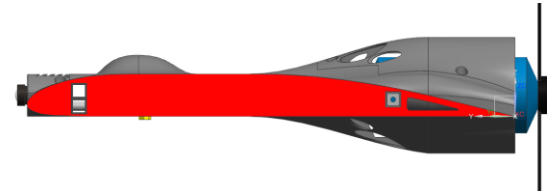


Abb. 24: Y-Clark Profil

Lufthutzen

Für die Kühlung der beiden ESC-Module und der Air Unit sind auf der Oberseite der beiden Deckel Lufthutzen angebracht. Ihr Lufteinlass beträgt $3 \times 20\text{mm}$. Die Kühlung der Kamera wurde mit einem einfachen Luftschlitz im Kameradeckel realisiert.

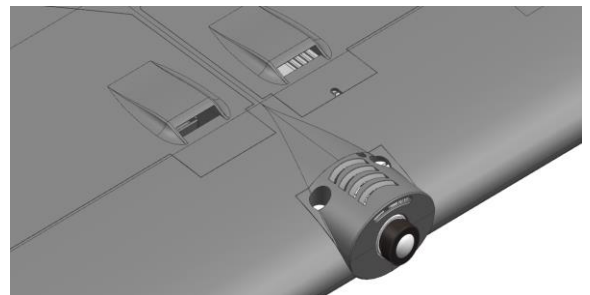


Abb. 25: Lufthutzen zur Kühlung der ESC-Moduls

Aktiv-Kühlung

Um auch im Stillstand für eine ausreichende Kühlung der elektrischen Komponenten zu sorgen, sind links und rechts des Motors Luftkanäle vorgesehen (siehe Abb. 26 / rote Markierung). Durch den Propeller soll die heisse Luft in der Motorenplatte durch die Kanäle aus der Motorenplatte gesaugt werden. Damit dieser Effekt funktioniert, muss der Querschnitt entlang des Luftkanals ca. überall gleich gross sein.

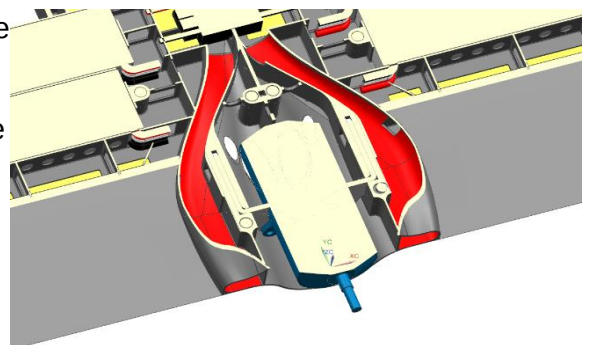


Abb. 26: Luftkanal für aktive Kühlung

5.1.3 Aufbau und Funktion

Aufbau

Die Motorenplatte dient zur Aufnahme des Antriebsmotors (Abb. 27 / Pos.3) und der elektrischen Komponenten, wie z.B. der Li-Po-Akkus (Abb. 27 / Pos.4) oder des Kame-rasystems (Abb. 27 / Pos.13). Weiter soll die Motorenplatte ein biege- und torsionssteifes Bindeglied zwischen den beiden Längsträger bilden und ist deshalb mit 3 CFK-Träger (Abb. 27 / Pos.9 & Pos.14) und einer 0.3mm GFK-Strukturschicht (Abb. 27 / Pos.11) am Boden verstärkt. Um das Auswechseln der Li-Po-Akkus möglichst schnell zu handhaben, können die Motorendeckel (Abb. 27 / Pos.2 & Pos.19) durch das Lösen von je 3 Schraubenverbindungen gelöst werden. Da die Deckel keinen strukturellen Zweck erfüllen müssen, wird bei ihnen auf eine GFK-Strukturschicht verzichtet. Dadurch kann im Vergleich zur Konzeptvariante 3 wiederum Gewicht eingespart werden.

Explosions-Darstellung

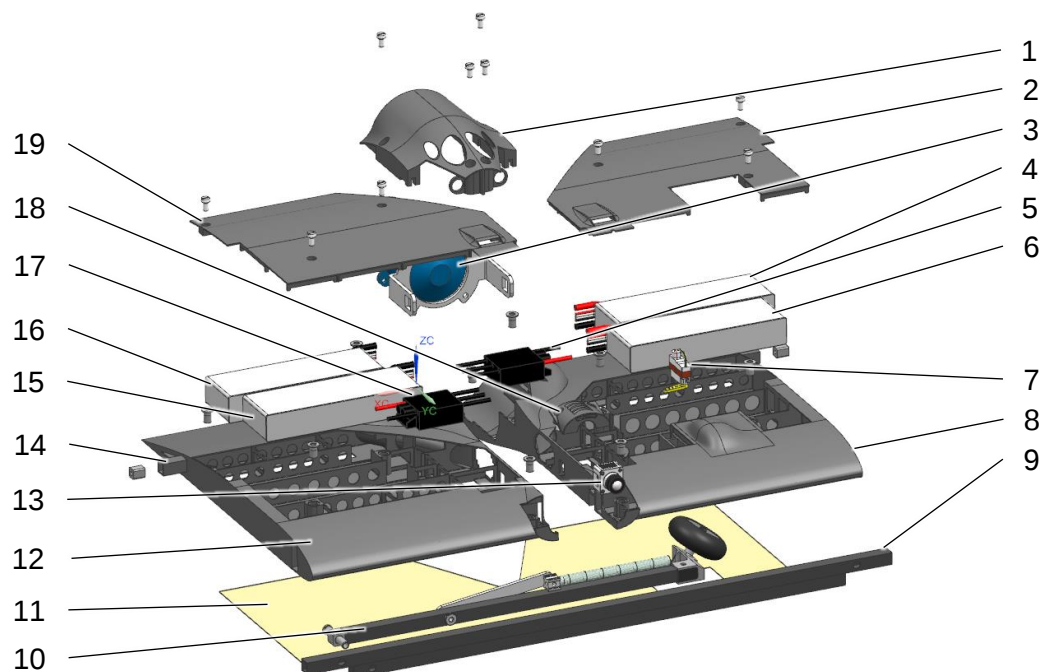


Abb. 27: Explosionsdarstellung der Motorenplatte

- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 1. Motorendeckel | 11. 0.3mm GFK Strukturschicht |
| 2. Deckel links | 12. Motorenplatte rechts |
| 3. Himax Contra-Rotating Motor | 13. Kamera & Air Unit |
| 4. Li-Po Batteriepack 1 | 14. 8x8 / 10x10mm CFK-Querträger |
| 5. ESC Modul 1 | 15. Li-Po Batteriepack 3 |
| 6. Li-Po Batteriepack 2 | 16. Li-Po Batteriepack 4 |
| 7. Servoantrieb Bugfahrwerk | 17. ESC Modul 2 |
| 8. Motorenplatte links | 18. Kameradeckel |
| 9. Verklebter CFK Querträger | 19. Deckel rechts |
| 10. CFK-Bugfahrwerksarm | |

Verstärkung mit CFK-Profilen

Zur Verstärkung der Motorenplatte werden CFK-Profile verwendet. Dabei sind die Querträger (siehe Abb. 29) so dimensioniert, dass sie durch die Längsträger verlaufen. Dadurch können Biege- und Torsionskräfte formschlüssig übertragen werden. Der Querträger im Frontbereich (Abb. 29 / Pos. 1) dient zur Lagerung des Bugfahrwerks und nimmt somit einen Grossteil der auftretenden Kräfte beim Landen der Drohne auf.

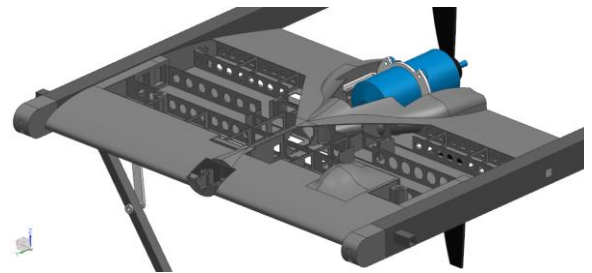


Abb. 28: Motorenplatte ohne Deckel & E-Komponenten

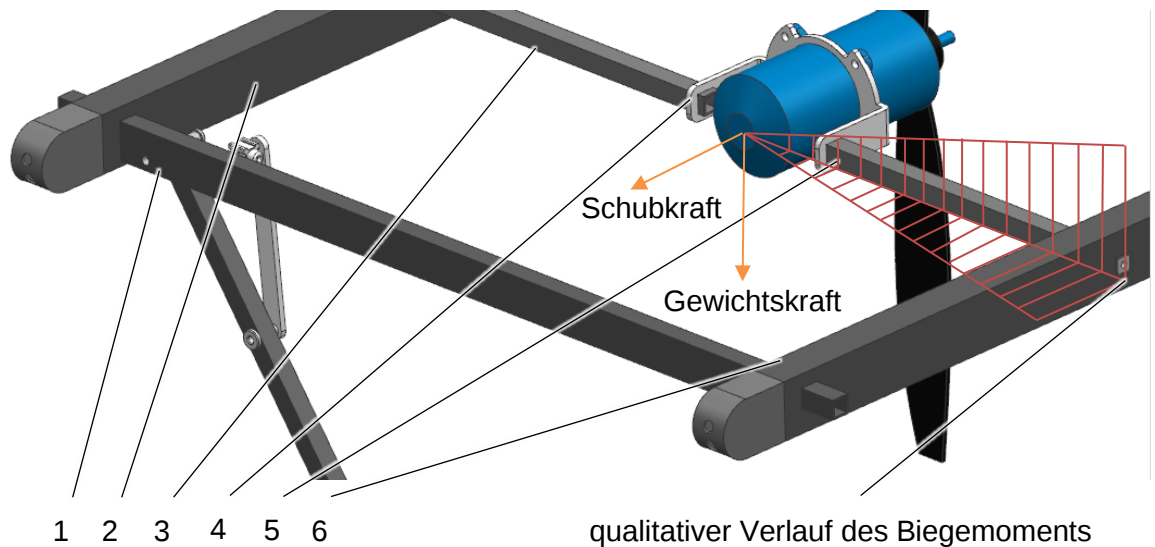


Abb. 29: Integrierte CFK-Träger zur Verstärkung der Motorenplatte

- | | | | |
|----|--------------------------------|----|-------------------------------|
| 1. | 10x20-Querträger (geklebt) | 4. | Befestigungsblech für Motor |
| 2. | 20x30-Längsträger rechts | 5. | 10x10-Querträger hinten links |
| 3. | 10x10-Querträger hinten rechts | 6. | 20x30-Längsträger links |

Motorbefestigung

Das Befestigungsblech für den Motor (siehe Abb. 29 / Pos. 4) dient nebst der Befestigung des Motors auch als Bindeglied zwischen den hinteren beiden Querträgern. Aufgrund der rechteckigen Ausschnitte im Aluminiumblech können Biege- und Torsionskräfte übertragen werden. Durch die geschickte Anordnung des Motors und der lokal vergrößerten Wandstärken (siehe Abb. 30) ist eine optimale Krafteinleitung des Motors gewährleistet. Die vom Motor verursachten Kräfte werden sowohl von den beiden Motorenplatten (PA12 Struktur) als auch von den beiden hinteren Querträgern (siehe Abb. 29 / Pos. 3 & 5) aufgenommen.

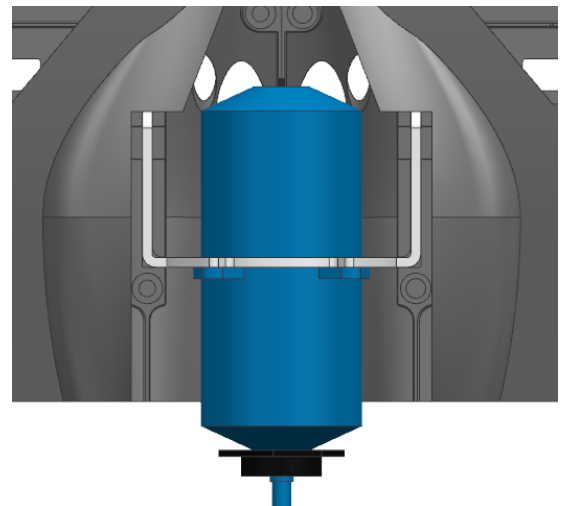


Abb. 30: Motorbefestigung

Schrauben- verbindungen

Als Verbindungselemente werden Tubtara Blindnietmuttern verwendet. Sie werden in die vorgesehenen Bohrungen (siehe Abb. 31 / weisse Kreise) mit einem 2-Komponentenkleber verklebt. Die Tubtara Blindnietmuttern sind relativ leicht und es kann zu keinem Ausreißen des Gewindes kommen. Bei den Schrauben wurden allerdings M4-Zylinderkopfschrauben aus Kunststoff ausgewählt. Diese sind deutlich leichter als die aus Stahl.

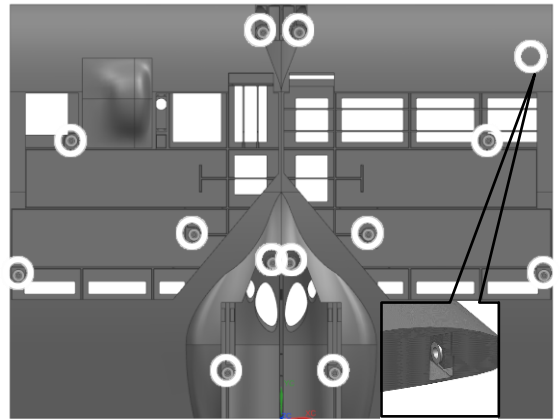


Abb. 31: Verklebte Blindnietmuttern

Befestigung der Li-Po-Akkus

Um einen sicheren Halt der Akkus zu garantieren wird die Rippenstruktur der Motorenplatte so ausgelegt, dass die Akkus mittels Formschluss in ihrer Lage festgehalten werden. Um die Akkupacks auszutauschen müssen die 3 Verschraubungen des Deckels gelöst werden. Dadurch, dass jeder Akku eine individuelle Kabellänge besitzt, macht es Sinn diese zu nummerieren und immer am gleichen Ort einzusetzen.

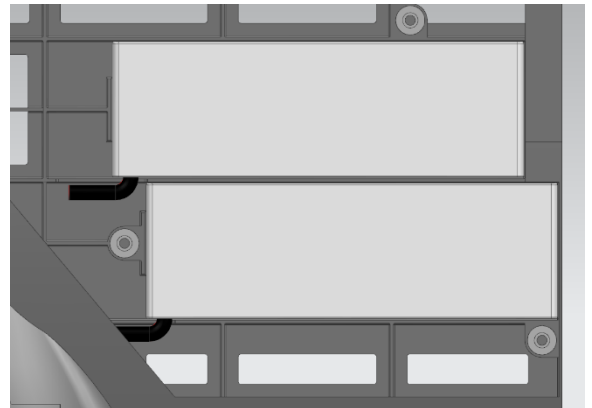


Abb. 32: Li-Po-Batteriepacks

Kamerabefestigung Die Kamera wird ähnlich wie die Akkus mittels einer formschlüssigen Verbindung in die Motorenplatte integriert. Links und rechts wird die Kamera zusätzlich mit 4 M2 Schrauben fixiert.

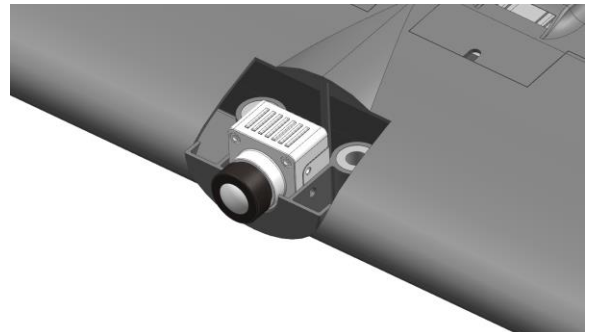


Abb. 33: Kamerabefestigung

5.1.4 Herstellverfahren / Materialwahl

Herstellverfahren (SLS) Beim ausgewählten Fertigungsverfahren, dem Selektiven Lasersintern (SLS), entstehen die 3D Modelle durch das lokale Verschmelzen einzelner Pulverschichten mittels einem Laserstrahl. Der Laserstrahl fährt dabei die vorgegebenen Umrisse ab und verschmilzt punktuell die Kunststoffkörner zu bruchfesten Volumenkörper. Die Volumenmodelle werden dabei mit Hilfe eines CAD-Programmes modelliert und später als STL-Files exportiert. Diese STL-Files stellen die geometrische Information dreidimensionaler Datenmodelle für die Fertigung mittels additiver Fertigungsverfahren bereit. [5]

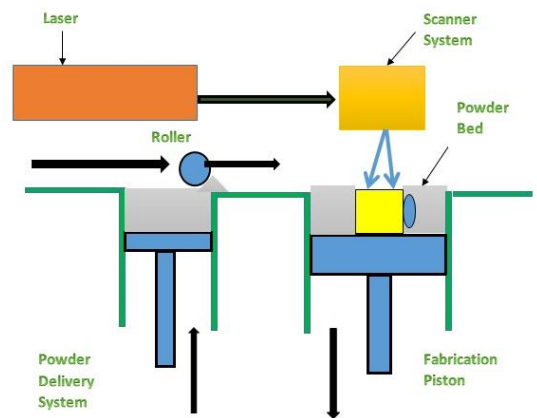


Abb. 34: SLS-Verfahrensschema
Quelle: [5]

Materialwahl Als Material dient ein feinkörniges PA12 Granulat, wodurch eine leicht raue und poröse Oberfläche entsteht. Diese kann aber mit Hilfer verschiedenster Nachbearbeitungsprozesse wie z.B. Lackieren, Galvanisieren oder Schleifen optimiert werden. [6]

Lasergesinterte Bauteile aus PA12 besitzen ausgezeichnete Materialeigenschaften:

- Relativ hohe Festigkeit
- Gute Chemikalienbeständigkeit
- Gute Trennschärfenauflösung und Detailtreue
- Vielseitige Nachbehandlungsmöglichkeiten

Materialdaten Bauteile, welche durch additive Fertigungsverfahren (Lasersinter, Stereolithographie, 3D-Drucken, etc.) hergestellt werden, weisen aufgrund der Fertigungsprozesse anisotropische Materialeigenschaften auf. Dies muss bei der Konstruktion und Orientierung der Bauteile berücksichtigt werden. [6]

Bei den untenstehenden Materialdaten handelt es sich um Angaben für ein PA12. Speziell bei Kunststoffen ist aber grosse Vorsicht bezüglich der Verlässlichkeit solcher Daten geboten. Die vorliegenden Materialkennwerte sollen nur als Referenzwerte verwendet werden. Um genaue Kennwerte des Materials zu erhalten, sollten entsprechende Versuche selbständig durchgeführt werden.

Mechanische Eigenschaft	Wert	Einheit	Test Standard
Biegemodul 23°C	1500	MPa	ISO 178
Biegefestigkeit	58	MPa	ISO 178
Shorehärte D(15s)	75	-	ISO 868
Kerbschlagzähigkeit (23°C)	4.4	kJ/m ²	ISO 180 / 1A
Zug-E-Modul (X-Richtung)	1700	MPa	ISO 527-1/-2

Zug-E-Modul (Y-Richtung)	1700	MPa	ISO 527-1/-2
Zugfestigkeit (X-Richtung)	48	MPa	ISO 527-1/-2
Zugfestigkeit (Y-Richtung)	48	MPa	ISO 527-1/-2
Bruchdehnung (X-Richtung)	15	%	ISO 527-1/-2
Dichte (lasergesintert)	1010	kg/m ³	EOS Methode

Tabelle 7: Technische Daten Motorenplatte [6]

**Lieferant /
Druckspezialist**

Sämtliche 3D-Druckteile werden bei der Firma Profidruck AG in Fideris GR gedruckt.

Kontaktdaten: 3D-Profidruck AG
 Unterwinkel 13
 7235 Fideris
 Tel. +41 (0) 76 701 41 38
 E-Mail: n.jaegli@3d-profidruck.ch

5.2 Bugfahrwerk

Konzeptauswahl Das Lösungskonzept des Bugfahrwerks basiert auf der entwickelten Konzeptvariante 3 und den geforderten Änderungswünschen, welche durch das optimierte Flügelprofil entstanden sind.

5.2.1 Überblick

Beschreibung Im Unterschied zur Konzeptvariante 3 (siehe Kapitel 4.2.3 auf Seite 17) beträgt bei dieser Variante der Ausklappwinkel 55° wodurch eine grössere Bodenfreiheit erreicht wird. Zudem ist das Verstreblech (Abb. 37 / Pos. 9) deutlich kürzer. Durch die Verkürzung des Verstreblechs kann auf eine separate Sicherung für das Einklappen des Fahrwerks verzichtet werden. Grund dafür ist, dass der Hebelmechanismus durch die Druckfeder um 5° (siehe Abb. 32) über den kritischen Punkt gedrückt wird. Bei einer Belastung des Fahrwerksarms durch ein Lademanöver kann der Slider nur an den Anschlag der Linearführung gedrückt werden und nicht zurückgestossen werden.

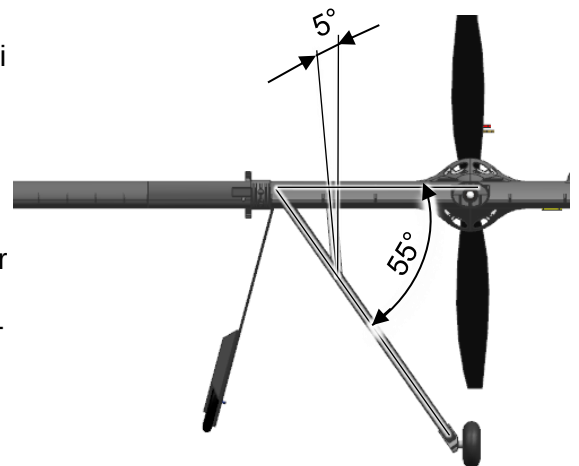


Abb. 35: Ausgefahrenes Bugfahrwerk

5.2.2 Aufbau und Funktion

Beschreibung

Das Bugfahrwerk befindet sich im Frontbereich der Motorenplatte und wird nur für das Landen der Drohne ausgefahren. Mittels eines Servomotors (Abb. 37/ Pos.11) wird der Ausklappmechanismus ausgelöst. Dabei drückt die vorgespannte Druckfeder (Abb. 37/ Pos.3) mit einer maximalen Federkraft von 6 N den Slider (Abb. 37/ Pos.10), welcher durch einen Hebelmechanismus mit dem Bugfahrwerksarm (Abb. 37/ Pos.4) verbunden ist nach rechts, wodurch das Bugfahrwerk ausgefahren wird.

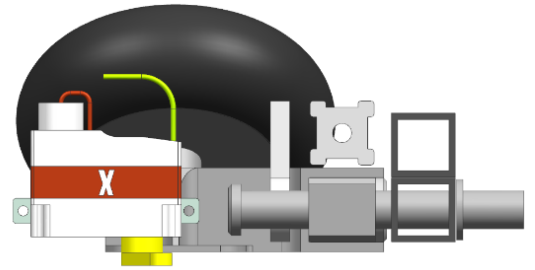


Abb. 36: Lagerung des Bugfahrwerksarm

Lagerung

Gelagert wird der Bugfahrwerksarm mit Hilfe eines Gelenkbolzens (Abb. 37 / Pos.7) und einer Aluminiumbuchse (Abb. 37 / Pos.6), welche durch den anliegenden 10x20-CFK-Querträger verläuft (siehe Abb. 29 auf Seite 23). Ebenfalls ist in der Nähe der Lagerung die Wandstärke der Motorenplatte (PA 12 Bauteil) deutlich massiver, um eine stabile Lagerung zu ermöglichen. Um die Aluminiumbuchse (Abb. 37 / Pos.6) axial zu sichern, wird eine M4 Zylinderschraube durch sie hindurch geführt und in die Blindnietmutter (Abb. 37 / Pos.8) verschraubt. Die Aluminiumbuchse (Abb. 37 / Pos.5) dient einerseits zur Reduzierung der Lochleibung und andererseits zur Befestigung des Verstrebungsblechs (Abb. 37 / Pos.9).

Linearführung

Um Reibungskräfte und die Gefahr des Verkeilens des Slider so gut wie möglich zu minimieren, werden dessen Kante durch Radien ersetzt. Der Slider bewegt sich der integrierten Linearführung und ist durch eine Schraubenverbindung mit dem Verstrebungsblech verbunden.

Aufbau

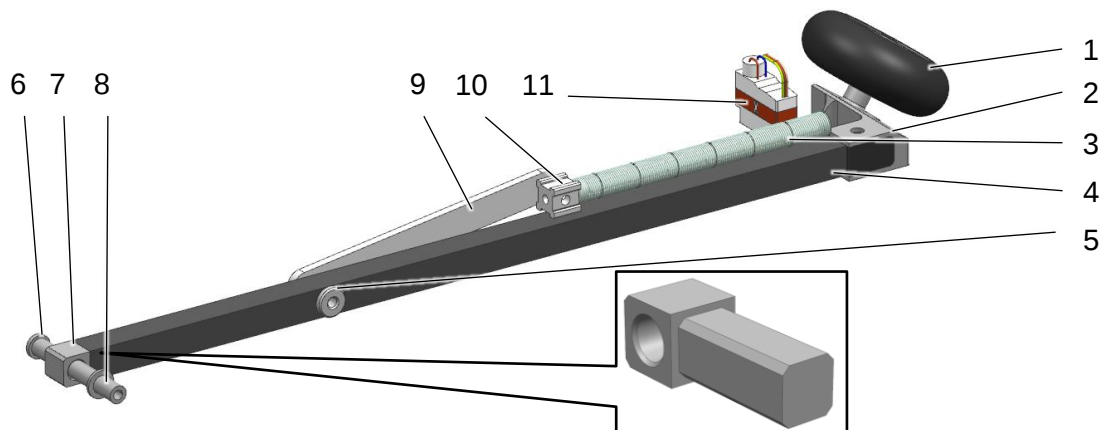


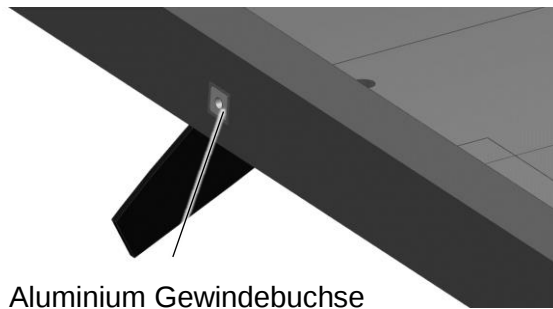
Abb. 37: Bugfahrwerk

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Rad | 7. Lagerungsbolzen |
| 2. Radaufnahme | 8. Tubtara M4 Blindnietmutter |
| 3. Druckfeder | 9. Verstrebungsblech |
| 4. 10x10 CFK-Bugfahrwerksarm | 10. Slider |
| 5. Aluminiumbuchse | 11. Servomotor |
| 6. Aluminiumbuchse (Lagerungsbock) | |

5.3 Anbindung der Motorenplatte an die Längsträger

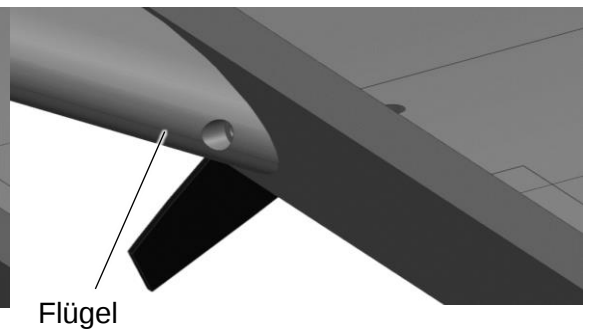
Beschreibung

Die Anbindung der Motorenplatte wird im hinteren Teil der Platte so realisiert, dass in die 10x10-CFK Querträger je eine Aluminiumbuchse mit einem M4 Gewinde eingeklebt wird (siehe Abb. 38). Der Querträger wird dabei formschlüssig und bis auf den Anschlag durch den 20x30 CFK Längsträger geführt. Durch eine Zylinderkopfschraube wird anschliessend der Flügel an dem Längsträger befestigt (siehe Abb. 39).



Aluminium Gewindebuchse

Abb. 38: Anbindung der Motorenplatte



Flügel

Abb. 39: Anbindung der Motorenplatte

Im Frontbereich wird die Anbindung an die beiden Längsträger anders gelöst. Hier wird ein zusammengeklebter 10x20-CFK Querträger verwendet, welcher unterschiedlich lang ist. Der Obere Teil des Trägers verläuft durch das im Längsträger verklebten Frontteil. Dabei ragt das Profil 20mm aus dem Längsträger und sorgt dabei für eine genügend hohe Biege- und Torsionssteifigkeit und kann zusätzlich zur Befestigung der Netzkanonen verwendet werden. Durch die CFK-Röhrchen ($\varnothing = 6\text{mm}$), welche durch die Bohrungen im Frontteil (siehe Abb. 42) eingeschoben werden, wird die Platte beidseitig gesichert.

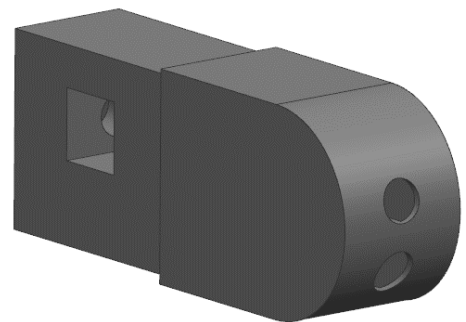
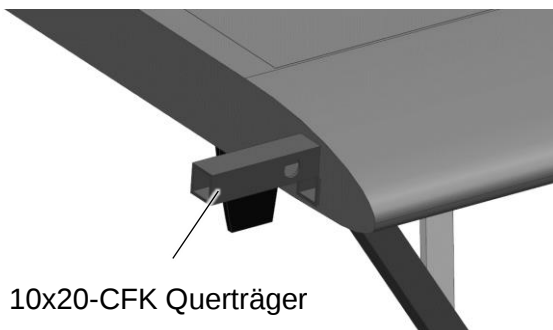
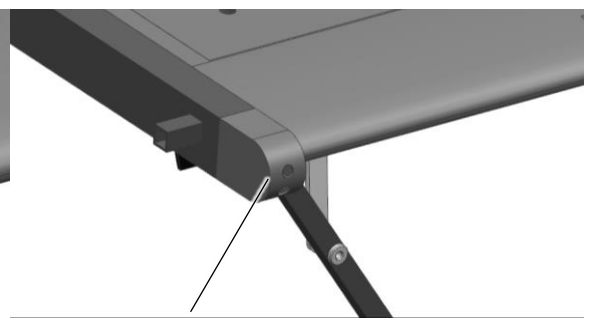


Abb. 40: Frontteil



10x20-CFK Querträger

Abb. 41: Anbindung der Motorenplatte (ohne Frontteil)



Frontteil mit Bohrungen für Netzrohr

Abb. 42: Anbindung der Motorenplatte

5.4 Gesamtbaugruppe / mobula 3.0

Bauweise

Bei der konzipierten Drohne handelt es sich um ein Canard ähnliches Flugzeug, da sich der Druckpunkt (Auftriebsmittelpunkt) vor dem Schwerpunkt der Drohne befindet. Bei konventionellen Flugzeugen liegt der Schwerpunkt vor dem Auftriebspunkt wodurch das Flugzeug ohne Trimmung durch das Höhenruder nach vorne absinken würde. Als Canard oder Entenflügler werden Flugzeuge bezeichnet, bei denen sich das Höhenruder vor den Tragflächen befindet. Bei der konzipierten Drohne stellt die Motorenplatte den Canardflügel (Höhenruder) dar und ist im Unterschied zu einem echten Canard-Flugzeug nicht einstellbar. Um einen konstanten Auftrieb zu generieren besitzt sie einen fixen Anstellwinkel von 2° . [7]

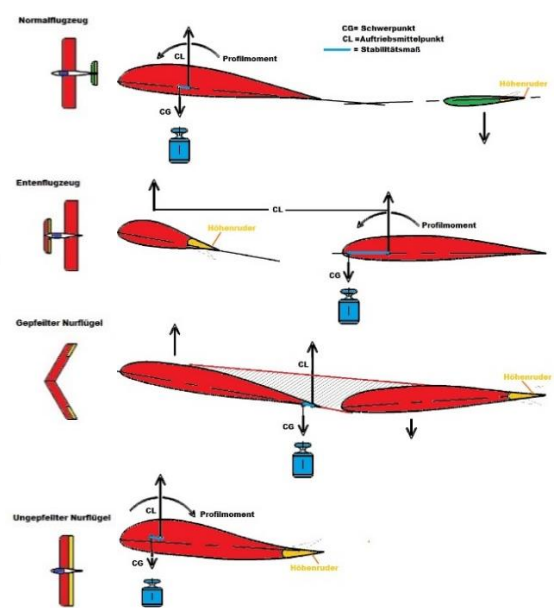


Abb. 43: Weight Balance [7]

Vorteile der Canard-Bauweise:

- In bestimmten Flugzuständen kann ein günstiges Verhältnis zwischen Auftrieb und Widerstand resultieren
 - Ein Canard-Flügel kann die Anströmung des Hauptflügels und des Seitenleitwerks bei hohem Anstellwinkel positiv beeinflussen
 - Erhöhte Wendigkeit um die Nickachse
- Quelle: [7]

Nachteile der Canard-Bauweise:

- Beeinflussung der Tragflügelumströmung durch die Canardflügel
 - Schwierige Reglerauslegung
 - In der Regel sind wegen des kurzen Hebelarms zum Schwerpunkt grössere Seitenleitwerke notwendig
 - Selbstständiges Abnicken der Flugzeugnase bei niedrigen Geschwindigkeiten
- Quelle: [7]

Beschreibung

Durch die gewählte Bauweise, soll die Drohne aussergewöhnlich manövrierfähig werden und so perfekt zur Drohneneliminierung geeignet sein. Ebenfalls kann durch die Canard-Bauweise die Effizienz durch weniger starkes Trimmen gesteigert werden wodurch eine längere Flugzeit resultiert. Die Drohne ist dank ihrem sehr geringen Eigengewicht von rund 6.6kg in der Lage senkrecht zu starten. Dies hat zur Folge, dass die Drohne nicht auf eine Startbahn angewiesen ist und somit schnell und flexibel auf ein feindliches Flugobjekt reagieren kann. Mit einer Spannweite von 141cm und einer Länge von 155cm kann die Drohne ohne grosse Probleme transportiert werden.

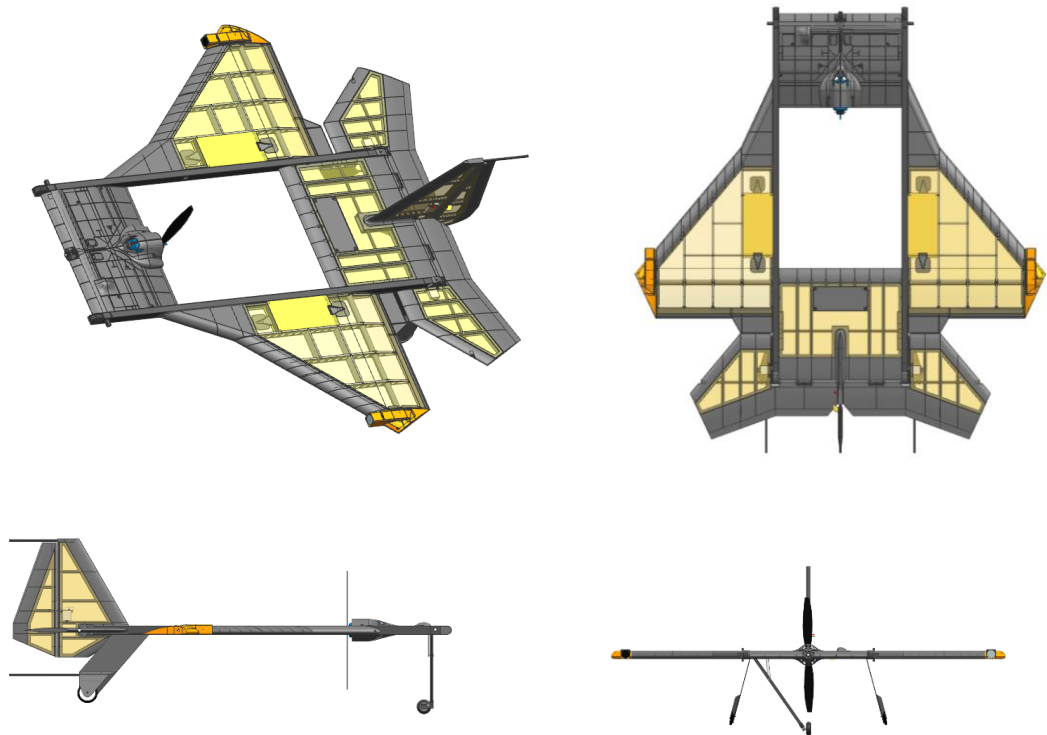


Abb. 44: mobula 3.0

Technische Daten

Angabe	Wert	Einheit
Gewicht	6'605	[g]
Länge	155	[cm]
Flügelspannweite	141	[cm]
Höhe	56	[cm]
Leistung Motor	2'000	[W]
Kapazität Li-Po-Akkus	4 x 3'700	[mAh]
Schubkraft Motor	7.7	[kg]

Tabelle 8: Technische mobula 3.0

Stabilitätsproblem

Zurzeit befindet sich der Schwerpunkt aufgrund eines zu schweren Leitwerks hinter dem Auftriebsmittelpunkt. Dadurch resultiert ein instabiles Flugverhalten. Bevor erste Testflüge durchgeführt werden können, muss dieses Stabilitätsproblem gelöst werden.

6 Montage

6.1 Sicherheit

Zu Beginn der Arbeit sollen die Sicherheitsanweisungen der verwendeten Klebstoffe beachtet werden. Um ein sicheres Arbeiten zu garantieren, sind Schutzhandschuhe und eine Schutzbrille zu tragen.

6.1.1 Gefahrenhinweise



Achtung!

Klebstoff verursacht Hautreizungen und schwere Augenreizungen!

Kann allergische Hautreaktionen verursachen!

- Schutzhandschuhe / Schutzkleidung / Augenschutz / Gesichtsschutz tragen
- Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.
- Bei Berührung mit der Haut: Mit viel Wasser waschen.
- Entsorgung des Inhalts / des Behälters gemäss den örtlichen / regionalen / nationalen/ internationalen Vorschriften

6.1.2 Persönliche Schutzausrüstung



Schutzbrille

Die Schutzbrille dient zum Schutz der Augen, vor umherfliegenden Teilen und Flüssigkeitsspritzern.



Schutzhandschuhe

Schutzhandschuhe dienen zum Schutz der Hände vor Reibung, Abschürfungen, Einstichen, Chemikalien oder tieferen Verletzungen sowie vor Berührung mit heißen oder sehr kalten Oberflächen.

6.2 Arbeitsvorbereitung

Harz & Härter

Zu Beginn der Arbeit, muss der Härter und der Harz im richtigen Verhältnis gemischt werden. Für das Mischen soll ein Kunststoffbecher und ein zugehöriger Holzrührstock verwendet werden (siehe Abb. 45.) Das Mischverhältnis kann mit einer Waage ermittelt werden. Es wird ein Harz (UN 3082) und einer Härter (UN3334) verwendet, die mit einem Mischverhältnis von 1:1 gemischt werden müssen. Die Bearbeitungszeit, bis der Kleber aushärtet, beträgt 30 Minuten. Nach ca. 4-6 Stunden sind die verklebte Bauteile belastbar.



Abb. 45: Verwendete Materialien, Hilfsmittel und Sicherheitsausrüstungen

6.3 Montageanleitung

Schritt 1

13 x Tubtara Blindnietmuttern verkleben:

- 1.1 Sicherstellen, dass Tubtara Blindnietmutter in die vorgesehenen Bohrungen passen (Siehe Abb. 31 auf Seite 24).
- 1.2 Blindnietmuttern mit dem 2-Komponentenklebstoff bestreichen.
- 1.3 Blindnietmuttern in Bohrungen platzieren und mindesten 4 Stunden aushärten lassen.

Hinweis: M4 Schraube für das Kleben und Platzieren der Blindnietmuttern verwenden!



Abb. 46: Einkleben der Tubtara Blindmuttern

Schritt 2

CFK Träger mit Aluminiumbuchsen verkleben:

- 2.1 Sicherstellen, dass die Aluminiumbuchsen in die CFK Träger passen. Falls nicht, müssen sie nachbearbeitet werden.
- 2.2 Aluminiumbuchsen mit dem 2-Komponentenklebstoff in den CFK-Träger kleben.

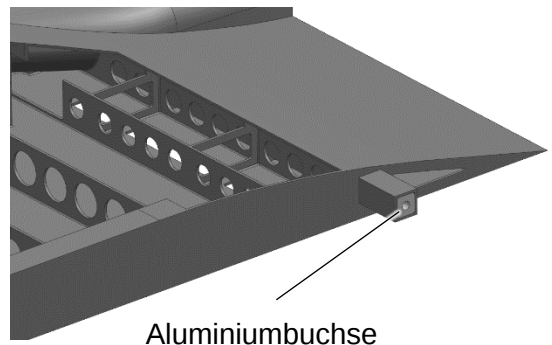


Abb. 47: Verklebte Aluminiumbuchse

- 2.3 Buchsen platzieren und mindestens 4 Stunden aushärten lassen.
- 2.4 Anschliessend beide hinteren Querträger in Motorenplatten stossen (siehe Abb. 47).
- Hinweis: M4 Schraube für das Kleben und Platzieren der Aluminiumbuchsen verwenden!

Schritt 3

Fahrwerksarm zusammenbauen:

- 3.1 Sicherstellen, dass der Lagerbolzen und die Aluminiumbuchse in den CFK Träger passen. Falls nicht, müssen sie nachbearbeitet werden.
- 3.2 Aluminiumbuchse und Lagerbolzen mit dem 2-Komponentenklebstoff verkleben.
- 3.3 Buchse und Lagerbolzen einkleben und mindestens 4 Stunden aushärten lassen.
- 3.4 Nun kann das Rad mit einer M4x16 Zylinderschraube montiert werden. Die Schraubensicherung soll mit einem Tropfen Loctite erfolgen.

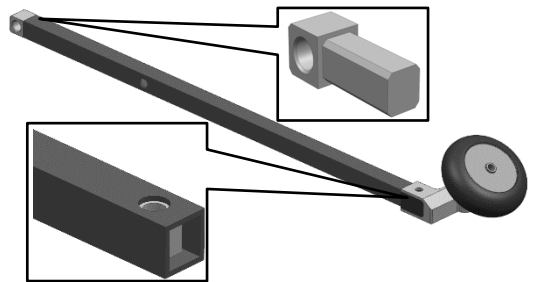


Abb. 48: Zusammengebauter Fahrwerksarm

Schritt 4

10x20 CFK-Träger in Rechte Motorenplatte integrieren:

- 4.1 Sicherstellen, dass der CFK-Träger in die vorgesehene Öffnung passt. Falls nicht, muss diese vorsichtig mit einer Feile ausgestossen werden.
- 4.2 CFK Träger gemäss Abb. 49 in die rechte Motorenplatte stossen.

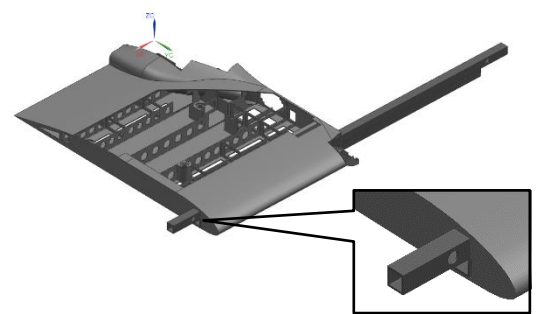


Abb. 49: 20x10 CFK-Träger in rechter Motorenplatte

Schritt 5

Fahrwerksarm mit Motorenplatte verbinden:

- 5.1 Fahrwerksarm positionieren.
- 5.2 Lagerbuchse in vorgesehene Bohrung stossen.
- 5.3 M4x40 Zylinderschraube durch die Lagerbuchse stossen bis sie mit der Blindmutter verschraubt werden kann.

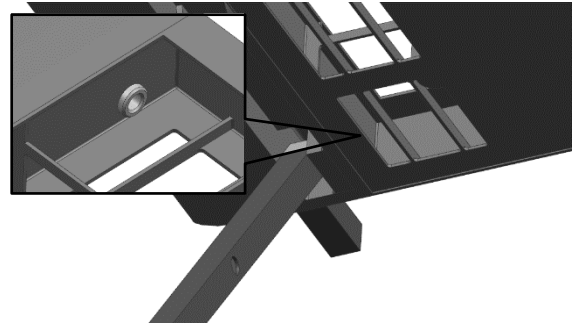


Abb. 50: Montage des Bugfahrwerksarm

Schritt 6

Fahrwerksarm mit Slider und Verstrebungsblech verbinden:

- 6.1 Slider mit Verstrebungsblech mit Hilfe einer M4x12 Zylinderschraube lose gemäss Abb. 51 verschrauben und in die rechte Motorenplatte einfügen.
- 6.2 Die Schraube soll so weit in den Slider eingeschraubt werden, dass der Slider inkl. dem Verstrebungsblech gut in der rechten Motorenplatte gleiten kann.
- 6.3 Schraubenposition mit Loctite fixieren und mindestens 40 Minuten aushärten lassen.
- 6.4 Slider in Motorenplatte einführen und mit Fahrwerksarm verbinden.

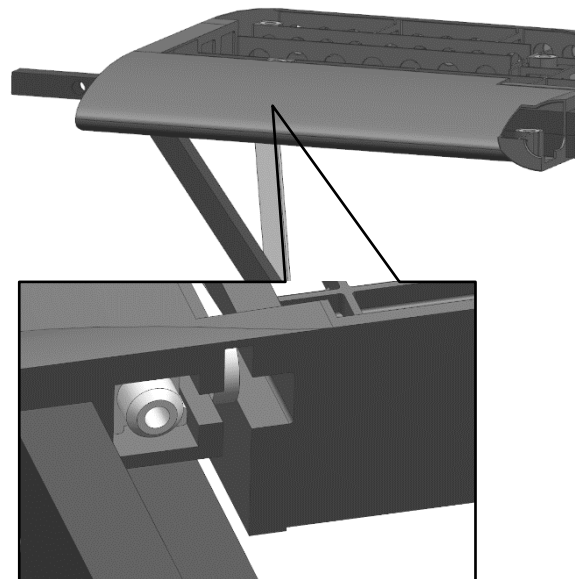


Abb. 51: Montage des Ausfahrmechanismus

Schritt 7

Montage der Druckfeder:

- 7.1 Sicherstellen, dass die linke Motorenplatte auf den 10x20 CFK-Träger gestossen werden kann
- 7.2 Von der Druckfeder (Meterware) ein 300mm langes Stück abschneiden und entgraten
- 7.3 Linke Motorenplatte bis ca. 100mm auf den CFK-Träger stossen
- 7.4 Druckfeder gemäss Abb. 52 platzieren und anschliessend beide Platten bis zum Anschlag vorsichtig zusammenstossen

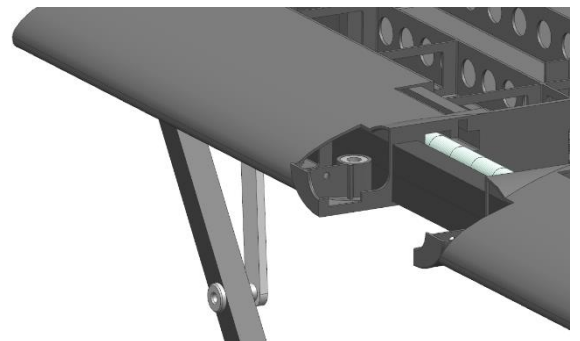


Abb. 52: Montage der Druckfeder

Schritt 8

Fixierung der Motorenplatten:

- 8.1 Befestigungsblech des Motors vorsichtig vertikal in beide Motorenplatten einfügen und anschliessend beide hinteren Querträger weiter einstossen.
- 8.2 Anschliessend kann auf der Unterseite der Motorenplatte die GFK-Strukturschicht aufgeklebt werden.

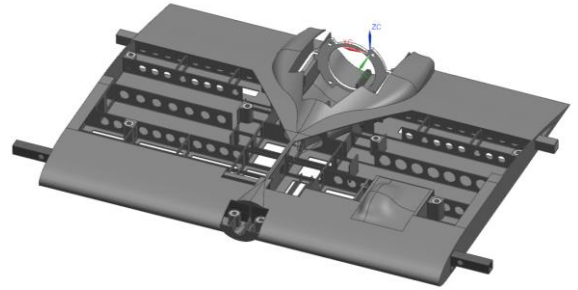


Abb. 53: Montage des Befestigungsblechs

Schritt 9

Lackierung der Motorenplatte inkl. aller Deckel:

- 9.1 Sämtliche 3D-Druckteile müssen aus optischen Gründen lackiert werden. Damit der Lack optimal auf der GFK-Strukturschicht haftet, muss diese mit Schleifpapier zuvor aufgeraut werden.

Schritt 10

Montage aller restlichen Komponenten und deren Verkabelung:

- 10.1 Die Motorenplatte muss gemäss dem in Abb. 54 ersichtlichen Elektroschema verkabelt werden. Beim Ersteller des Elektroschemas handelt sich um Tizian Steiger. Das originale Elektroschema finden Sie im Anhang VII «Elektroschema» auf Seite 49.

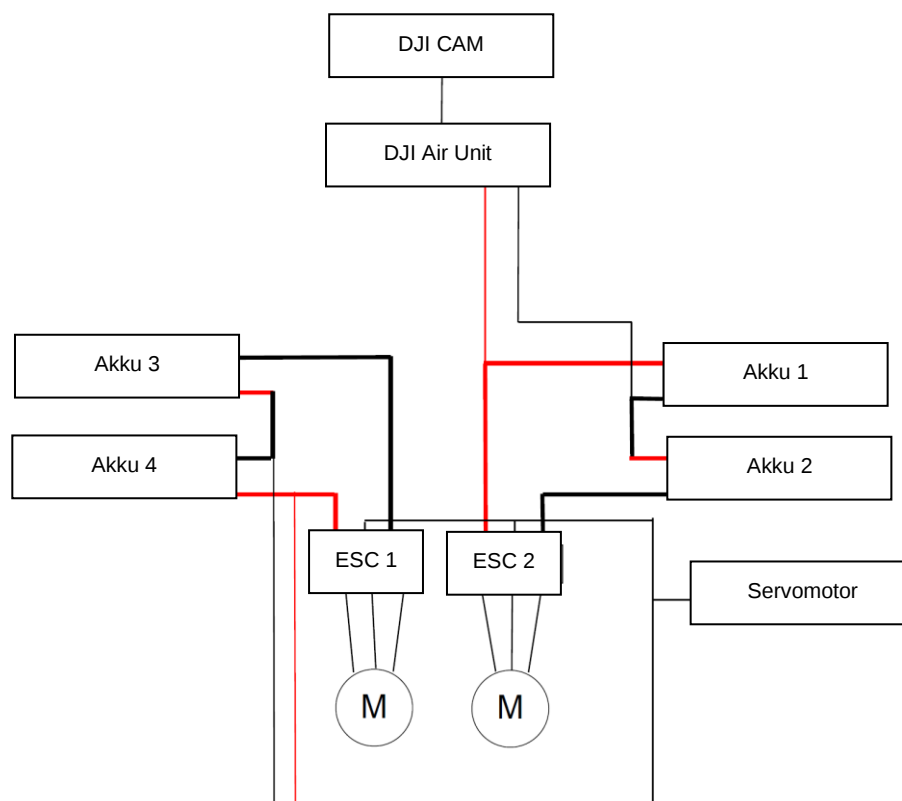


Abb. 54: Elektroschema der Motorenplatte

7 Testphase

Aufgrund von Verzögerungen in der Konzeptions- und Entwurfsphase und einem Misserfolg bei dem Test des Fluglagenreglers (05.12.2019) können im Rahmen dieser Studienarbeit keine Testflüge durchgeführt werden. Beim Test des Fluglagenreglers ist es zu einem Brand des Leistungsreglers gekommen, wodurch die Versuchsdrohne abgestürzt ist. Aus diesem Grund, und aufgrund von noch ausstehenden Stabilitätsuntersuchen, wird der Jungfernflug der neuen mobula 3.0 erst Anfangs 2020 stattfinden.

8 Optimierung

Die nachfolgenden Optimierungsvorschläge sind aufgrund der gesammelten Erkenntnisse während des gesamten Projekts entstanden. Da keine Testflüge durchgeführt werden können, beschränken sich die Optimierungsvorschläge hauptsächlich auf die gesammelten Erkenntnisse während der Montage der Motorenplatte.

8.1 Struktur der Motorenplatte inkl. Toleranzen

Platzbedarf Kabel Das grösste Problem stellt sicherlich der Platzbedarf der Kabel und deren Stecker dar. Um diese besser einzuplanen, sollten die Kabel und Steckverbindungen bereits vor der Konstruktionsphase ausgelegt sein, damit man sie entsprechend ohne grossen Aufwand in die Motorenplatte integrieren kann.

Rippenstruktur Die Rippenstruktur ist ebenfalls im Sinne der Verkabelung zu optimieren. An vielen Stellen musste aufgrund des fehlenden Platzes für Kabel und Stecker eine Anpassung der Rippenstruktur vorgenommen werden (siehe Abb. 55). Ebenfalls sollte die Rippenstruktur der Deckel optimiert werden, um Verzugerscheinungen entgegenwirken zu können. Es wäre von Vorteil, wenn am Rand des Deckels eine durchgehende Rippe verlaufen würde. Diese müsste aber in der Motorenplatte berücksichtigt werden und die Li-Po-Akkus müssten zentraler platziert werden.

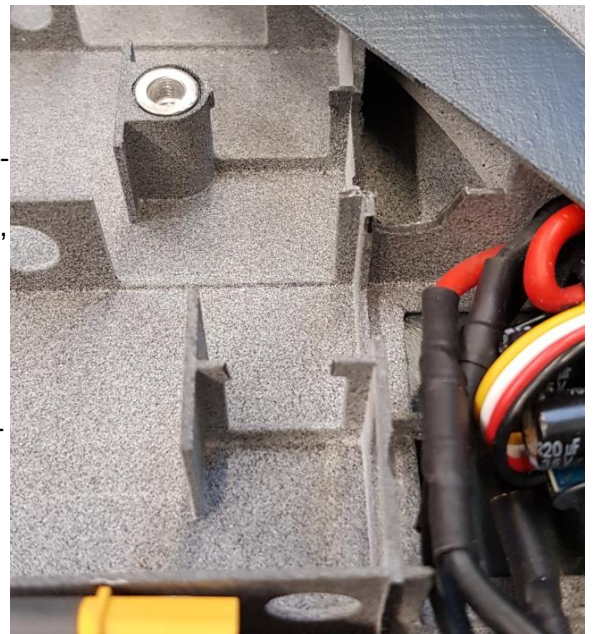


Abb. 55: Anpassung der Rippenstruktur

GFK-Strukturschicht

Wie sich herausgestellt hat, kann mit einer 1mm Wandstärke (lasergesintertes PA12) eine genügend starke Bodenstruktur der Motorenplatte erzielt werden. Es wäre möglich, auf die relativ schwere GFK-Strukturschicht (43g) zu verzichten.

Verzug

Im Grossen und Ganzen ist es dank beachteten Konstruktionsrichtlinien für 3D-Druckteile zu keinen grossen Verzugserscheinungen gekommen. Nur der rechte Deckel weist einen erheblichen Verzug auf. Generell könnte der Verzug durch zusätzliche Rippen in den Deckelelementen minimiert werden. Speziell am Rand des Deckels sollte bei der nächsten Variante eine umlaufende Rippe vorgesehen werden. Der Verzug ist aber stark von Prozessparameter und der Richtung der «Schichtauflage» abhängig. Deshalb sollte vor der Bestellung der Teile eine Rücksprache mit dem Druckspezialisten stattfinden.

Toleranzen

Die Toleranz von 0.2mm hat sich bewährt. Durch die Schwindung der Kunststoffteile konnten die meisten CFK-Profile mühelos in die Platte integriert werden. Nur die Tolerierung der Bohrung für die Tubtara-Blindnietmuttern muss grösser gewählt werden. Optimal wäre ein Durchmesser von 6.2mm. Zudem sollte die Öffnung für den Bugfahrwerksarm vergrössert werden, damit dort nicht unnötige Reibungswiderstände beim Ausfahren des Fahrwerks entstehen.

Kabelführung

Aus ästhetischen und aerodynamischen Gründen sollte das Kabel zwischen der Kamera und der Air Unit in die Motorenplatte integriert werden. Das Kabel kann dann integriert werden, wenn das Flügelprofil lokal angepasst (Höheres Profil) wird, die Kamera exzentrisch angebracht wird oder der Mechanismus für das Ausklappen des Bugfahrwerks modifiziert wird.



Abb. 56: Kamerakabel

8.2 Kühlung

Kühlkanal

Auf Grund der dicken Kabel, ist der vorgesehene Kühlkanal zum grössten Teil mit Kabel gefüllt. Dadurch hat sich die Kühlung der elektrischen Komponenten stark minimiert. Um dieses Problem zu beheben, sollten sämtliche Kabel mit ihren Dimensionen bei der Konzeptentwicklung berücksichtigt werden.

Lufthutzen

Aufgrund der nicht durchgeführten Testflüge kann nicht beurteilt werden, ob die Lüftungshutzen genügen gross dimensioniert sind. Erste Aussagen und allfällige Optimierungen können erst nach erfolgreich durchgeführten Testflügen gemacht werden. Zudem müssen die Lüftungshutzen so konstruiert werden, dass sie der IP-33 Schutzart entsprechen.

8.3 Bugfahrwerk

Radaufnahme

Um den Fräsprozess und die Stabilität des Bugfahrwerks zu optimieren sollte die Radaufnahme wie auf Abb. 57 angepasst werden. Durch die Optimierung kann auf das zusätzliche Einklebbeil (siehe Abb. 48) verzichtet werden. Ebenfalls empfiehlt es sich ein hochwertigeres Rad zu verwenden.

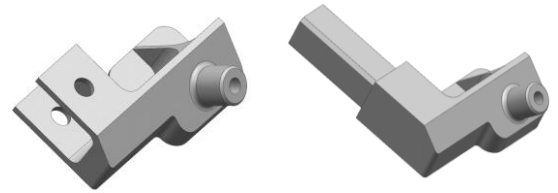


Abb. 57: Radaufnahme original (links) / Radaufnahme optimiert (rechts)

Linearführung des Sliders

Um Verschleisserscheinungen und somit die Zuverlässigkeit des Bugfahrwerks zu erhöhen, sollte anstelle der Integralbauweise der Linearführung auf eine Differenzialbauweise gewechselt werden. So könnte z.B. ein Vierkantprofil (modifiziert) aus PTFE in die Motorenplatte integriert werden. Dadurch würden auch mögliche Toleranzprobleme entfallen.

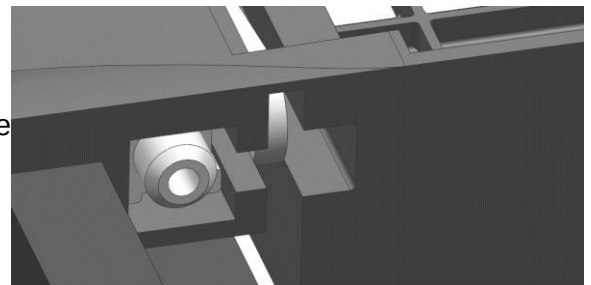


Abb. 58: Slider in integrierter Linearführung

Druckfeder

Um sicherzustellen, dass der Bugfahrwerksarm immer zuverlässig ausfährt, muss zwingend eine zusätzliche Druckfeder eingeplant werden. Die zusätzliche Druckfeder kann problemlos im Fahrwerkskasten (siehe Abb. 59/ roter Pfeil) integriert werden. Sie unterstützt die bereits vorhandene Druckfeder und sorgt dafür, dass die Reibungskräfte überwunden werden können. Für die Montage müsste allerdings eine neue Motorenplatte mit einem passenden Zapfen zur Befestigung der Feder gedruckt werden.

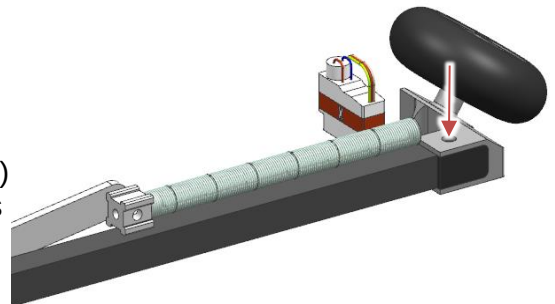


Abb. 59: Zusätzliche Druckfeder

Servomotor

Der Ausklappmechanismus des Bugfahrwerks wird durch einen Servomotor ausgelöst. Dabei wirkt auf den aufgesteckten Kunststoffarm (siehe Abb. 60) des Servomotors eine grosse Kraft. Aus diesem Grund sollte der Kunststoffarm durch ein Metallarm ersetzt werden, oder ein separater Mechanismus entwickelt werden, bei dem es zu keiner direkten Krafteinwirkung auf den Servomotor kommt. Das könnte z.B. durch das Ziehen eines Stiftes erfolgen.

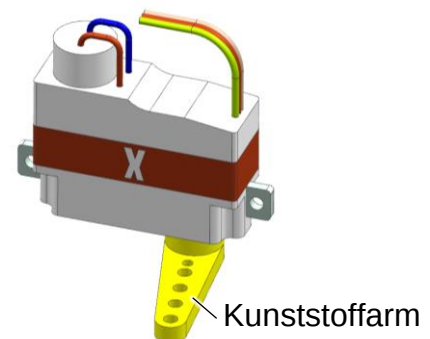


Abb. 60: Servomotor

Mechanismus

Gegebenfalls könnte die Linearführung (Druckfeder mit Slider) durch eine Gasdruckfeder ersetzt werden. Dadurch könnte man das Verschleissproblem und die Gefahr des Verkeilens des Sliders beseitigen. Zudem wäre sowohl die Ausfahrgeschwindigkeit, als auch die Kraft besser einstellbar. Durch den Einsatz einer Gasdruckfeder würde es aber zu einem markanten Gewichtsanstieg kommen. Daher müsste zuerst abgeklärt werden, ob dies überhaupt möglich wäre.

8.4 Deckel Motorenplatte

Anbindung

Um den Übergang zwischen Motorenplatte und Deckel möglichst optimal zu gestalten, müssen «Zungen» an beiden Deckel angebracht werden (siehe Abb. 62). Dadurch kann auch bei einem geringen Verzug der Deckel ein kontinuierlicher Übergang zwischen Motorenplatte und Deckel gewährleistet werden. Bei dem Zusammenbau des ersten mobula 3.0 Prototypens wurden nachträglich GFK-Zungen angebracht. Bei der Optimierung der Drohne sollten diese direkt eingeplant werden und Teil des Deckels sein.

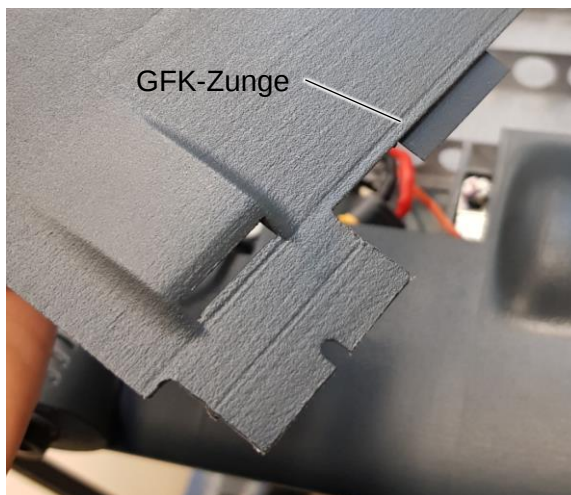


Abb. 61: Lackierter Deckel mit GFK-Zunge

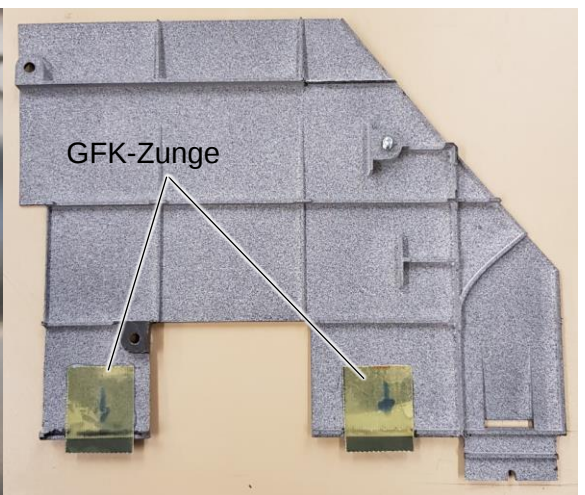


Abb. 62: Deckel Motorenplatte mit GFK-Zungen

Verzug

Im Grossen und Ganzen ist es dank beachteten Konstruktionsrichtlinien für 3D-Druckteile zu keinen grossen Verzugserscheinungen gekommen. Einzig der rechte Deckel weist einen erheblichen Verzug auf. Generell könnte der Verzug durch zusätzliche Rippen in den Deckelelementen minimiert werden. Speziell am Rand des Deckels sollte bei der nächsten Variante eine umlaufende Rippe vorgesehen werden. Der Verzug ist aber stark von Prozessparameter und der Richtung der «Schichtauflage» abhängig. Deshalb sollte vor der Bestellung der Teile eine Rücksprache mit dem Druckspezialisten stattfinden.

8.5 Aerodynamik

Um mögliche Verbesserungen bezüglich der Aerodynamik der Motorenplatte vorzunehmen, empfiehlt es sich eine CFD-Analyse durchzuführen. So könnte z.B. der Einfluss der Lüftungshutzen genauer analysiert und allenfalls optimiert werden.

9 Fazit

Ergebnisse

Es konnte eine Motorenplatte konzipiert und mit Hilfe des Selektiven-Lasersinterverfahrens hergestellt werden, welche alle elektronischen Komponenten als auch das Bugfahrwerk aufnehmen kann. Dank einer geringen Wandstärke von 1mm und einer aufwendig modellierten Rippenstruktur mit vielen Hohlräumen ist es gelungen, eine steife, aber trotzdem leichte Konstruktion zu realisieren. Durch die Integration der Linearführung für das Bugfahrwerk ist dieses extrem leicht ausgefallen und ist somit optimal für eine senkrechtstartende Drohne wie die mobula 3.0 geeignet. Durch minimale Optimierungen (Ausschleifen der Öffnung des Bugfahrwerksarm und einer zusätzlichen Druckfeder) kann das Bugfahrwerk zuverlässig realisiert werden.

Bewertung

Wie der Zusammenbau und das Verkabeln der Motorenplatte aufgezeigt haben, gibt es bezüglich der Anordnung der Komponenten und dem für die Kabel zu Verfügung stehenden Platz noch Verbesserungspotential. Durch die engen Platzverhältnisse wird die Kühlung sowie auch das Auswechseln der Akkus beeinträchtigt. Da die Kamera, die Air Unit, die beiden ESC Module und der Motor eine Luftkühlung benötigen, konnte die IP-Schutzart 33 nicht eingehalten werden. Ansonsten überzeugt die Konstruktion durch ihr geringes Gewicht und der hohen Steifigkeit. Grössere Modifikationen auf Grund von Fehlplanungen oder falsch gewählten Toleranzen mussten nicht vorgenommen werden.

Probleme / Offene Punkte

Mit Testfügen soll abgeklärt werden, inwiefern sich die Kabel auf die Kühlung der elektrischen Bauteile auswirken. Um einen Absturz der Drohne zu verhindern, sollte zuerst ein Flug mit Hilfe eines Teststandes mit Gebläsen zur Luftkühlung simuliert werden. Weiter muss vor dem Erstflug der Ausklappmechanismus des Bugfahrwerks getestet werden. Wie sich bei der Endmontage gezeigt hat, muss die Öffnung für den Bugfahrwerksarm erweitert werden, damit es dort sicherlich zu keinem Verklemmen des Bugfahrwerksarm kommt. Diese Öffnung ist zurzeit ziemlich knapp toleriert, wodurch das Ausfahren des Bugfahrwerks nicht immer 100% zuverlässig funktioniert. Durch eine Anpassung (Ausschleifen mit Dremel) der Öffnung für den Bugfahrwerksarm kann dieses Problem aber beseitigt werden. Weiter empfiehlt es sich, eine zusätzliche Druckfeder im Fahrwerkskasten anzubringen (siehe Kapitel 8.3 auf Seite 38). Eine weitere Anforderung, die nicht erfüllt werden konnte, ist die Einhaltung der IP-33 Schutzklasse. Sämtliche Lüftungshutzen müssen bei der nächsten Drohne so konstruiert werden, damit die Schutzklasse IP-33 eingehalten werden kann.

Empfehlungen

Um die Zuverlässigkeit des Bugfahrwerks zu erhöhen, empfiehlt es sich, die Linearführung durch eine Gasdruckfeder zu ersetzen. Zudem muss zur Optimierung der Motorenplatte genügend Raum für die Kabel und Stecker der elektrischen Bauteile eingeplant werden, um deren Kühlung sicherzustellen. Beim Umsetzen der Optimierungen müssen die Gewichtsvorgaben eingehalten werden, damit es zu keinen schwerwiegenden Verschiebungen des Schwerpunktes kommt.

Ausblicke

Die Drohne soll Anfangs 2020 ihren ersten Jungfernflug absolvieren und später eine Vielzahl an Tests durchlaufen. Mit den so gewonnenen Erkenntnisse soll der neue Drohrentyp optimiert und anschliessend durch neue Features ergänzt werden.

10 Literatur und Quellenverzeichnis

Herkunft der Vorlage Das Dokument wurde auf der Basis einer Vorlage für Technische Berichte erstellt. Die Vorlage ist ein Element des „Werkzeugkastens Technische Berichte“ der Hochschule für Technik Rapperswil. Sie orientiert sich an Prinzipien des Strukturierten Schreibens.

Herkunft der CAD Modelle Die CAD-Modelle für die Kamera, die Air Unit und den Servomotor wurden von der folgenden Website als STEP-Dateien bezogen.

Link: <https://grabcad.com/library/tag/download>

Herkunft der Bilder in der Kopfzeile Das mobula Logo stammt von der folgenden Homepage:

Link: <https://www.mobula.ch/>

Das HSR Logo stammt von der folgenden Homepage:

Link: <https://www.hsr.ch/de/>

- [1] «www.hebu-shop.ch,» [Online]. Available: https://www.hebu-shop.ch/product_info.php?info=p22697_HEAT-RC--LiPo-Akku-3S-11-1V-3700mAh-40C-80C---XT60.html. [Zugriff am 20 September 2019].
- [2] «www.maxxprod.com,» [Online]. Available: <https://www.maxxprod.com/mp/mpi-266.html>. [Zugriff am 20 September 2019].
- [3] «store.dji.com,» [Online]. Available: <https://store.dji.com/product/dji-fpv-air-unit?vid=82731>. [Zugriff am 20 September 2019].
- [4] «de.aliexpress.com,» [Online]. Available: <https://de.aliexpress.com/i/32605705939.html>. [Zugriff am 23 September 2019].
- [5] manufactur3dmag, «<https://manufactur3dmag.com>,» manufactur3dmag, [Online]. Available: <https://manufactur3dmag.com/all-about-sls-technology/selective-laser-sintering-diagram/>. [Zugriff am 11 Dezember 2019].
- [6] LMD-Innovation, «www.lmd-innovation.de,» [Online]. Available: https://lmd-innovation.de/media/downloads/LMD_Materialdatenblatt_PA12.pdf. [Zugriff am 30 November 2019].
- [7] «wikipedia,» 15 November 2019. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Canard>. [Zugriff am 11 Dezember 2019].
- [8] «store.arduino.cc,» [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/arduino-nano>. [Zugriff am 20 September 2019].
- [9] «www.play-zone.ch,» [Online]. Available: <https://www.play-zone.ch/de/tinkerforge-gps-bricklet-2-0.html>. [Zugriff am 20 September 2019].

11 Erklärung zur Urheberschaft

Erklärung Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne Hilfe Dritter angefertigt habe. Ich habe nur die Hilfsmittel benutzt, die ich angegeben habe. Gedanken, die ich aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommen habe, sind kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Ort/Datum Rapperswil, 20. Dezember 2019

Unterschrift


Chris Stolz

Anhang

I Aufgabenstellung

II **Pflichtenheft**

III Projektplan

IV Logbuch

V Datenblätter

VI Fertigungsunterlagen

VII Elektroschema