Mémoire 2024/25

Ist es möglich eine Drohne mithilfe eines 3D-Druckers zu bauen?

Wald Nic, Pechon Damien & Syoen Yoris

Classe: 3CB, 3CC

Directeur de Mémoire: Grana Andrea

Inhaltsverzeichnis:

Einleitung **4**
Die Physik hinter einer Drohne **5**
1. Grundprinzipien der Physik bei Quadrokoptern **5**
1.1 Auftrieb und Schwerkraft 5
1.2 Das dritte Newtonsche Gesetz und Reaktionsprinzip 6
1.3 Kräfteverteilung und Steuerung 6
2. Aerodynamik und Effizienz **10**
2.1 Luft- und Strömungswiderstand 10
2.2 Propellerneigung und Design 11
3. Komponenten eines Quadrokopters **11**
3.1 Rahmen und Struktur 11
3.2 Akku und Energieversorgung 11
3.3 Sensorik und Steuerungselektronik 11
4. Detaillierte Kräfteanalyse und Berechnungen **12**
4.1 Beispielrechnung: Schwebe- und Auftriebskraft 12
4.2 Einfluss des Luftwiderstands 12
5. Erweiterte Überlegungen und Anwendungsszenarien **14**
5.1 Umwelteinflüsse und Wetterbedingungen 14
5.2 Anwendungen in der Praxis 14
5.3 Zusammenfassung und Ausblick 15
6. Gesetzeslage in Luxemburg **15**
6.1 Gesetzliche Grundlagen in Luxemburg und der EU 16
6.2 Regelungen für den Drohnenflug in Luxemburg 16
6.3 Registrierung und Kennzeichnungspflicht 16
6.4 Flugverbotszonen und Regeln im Luftraum 16
6.5 Der Drohnenführerschein 17
6.6 Versicherungspflicht für Drohnen in Luxemburg 18
7. Arten von Drohnen **18**
7.1 Landwirtschaft 18
7.2 Rettungsdienste & Katastrophenschutz 20
7.3 Lieferungen & Transport 21
7.4 Militär 22

8. Aufbau einer Drohne 24
8.1 Konfigurationen 24
8.2 Rahmen 24
8.3 Propeller 26
8.4 Motoren 26
8.5 Akku 26
9. Kostenanalyse und Komponentenwahl für unsere FPV-Drohne: 28
10. Schwierigkeiten bei der Wahl der Komponenten: 31
11. Warum wir unsere Drohne mit 3D-Druck statt Holz oder Carbonfolie bauen: 31
11.1 Designfreiheit und Komplexität 32
11.2 Optimales Verhältnis von Gewicht und Stabilität 32
11.3 Materialvielfalt für spezifische Anforderungen 32
11.4 Kosteneffizienz und schnelle Herstellung 32
11.5 Einfache Reparatur und Weiterentwicklung 32
11.6 Fazit 33
12. Design der Drohne 33
13. Fazit 36

Einleitung

Drohnen sind mittlerweile unverzichtbar für unseren Alltag – ihre Anwendungen reichen von Filmaufnahmen, über die Landwirtschaft, den Rettungsdienst bis hin zu militärischen Einsätzen. Auch im Freizeitbereich sind Drohnen sehr populär. Aber wie genau funktionieren diese Geräte? Auf welchen physikalischen Prinzipien beruht das Flugverhalten? Dabei war die Hauptfrage, ob es möglich ist, eine Drohne mithilfe eines 3D-Druckers zu bauen.

Mit diesen Fragen haben wir uns im Rahmen unseres Mémoire beschäftigt. Unser Ziel war es, eine funktionierende Drohne zu entwerfen, deren Rahmen wir selbst im 3D-Druck herstellen. Dafür mussten wir zunächst verstehen, wie eine Drohne aufgebaut ist, welche Kräfte auf sie wirken und welche Komponenten nötig sind. Zudem stellte sich die Frage, ob wir alle benötigten Bauteile finden können, wie teuer das Projekt insgesamt wird und ob der 3D-Druck gegenüber anderen Materialien wie Holz oder Carbonfaser überhaupt Vorteile bietet.

Die Arbeit teilt sich in mehrere Abschnitte: Wir analysieren die physikalischen Grundlagen, untersuchen den Aufbau einer Drohne, vergleichen Materialien, betrachten die gesetzlichen Vorschriften in Luxemburg und gehen schließlich auf unseren eigenen Konstruktionsprozess ein – einschließlich aller Schwierigkeiten und offenen Punkte im praktischen Teil. Unser Ziel ist es, die Durchführbarkeit des Vorhabens zu testen und darzustellen, wie sich Theorie und Praxis im Drohnenbau verknüpfen.

Die Physik hinter einer Drohne

Drohnen, insbesondere Quadrokopter, haben in den letzten Jahren sowohl im Hobbybereich als auch in der Industrie stark an Bedeutung gewonnen. Drohnen sind so nützlich, weil sie komplexe Flugmanöver ausführen können. Diese basieren jedoch nicht nur auf moderner Elektronik und Software, sondern auch auf grundlegenden physikalischen Prinzipien. Wir werden die Mechanik, Aerodynamik und andere relevante physikalische Aspekte untersuchen, die für den Bau und Betrieb einer Drohne entscheidend sind. Dadurch können wir sie besser nachvollziehen und unser Wissen in den Bau unserer eigenen Drohne einfließen lassen.

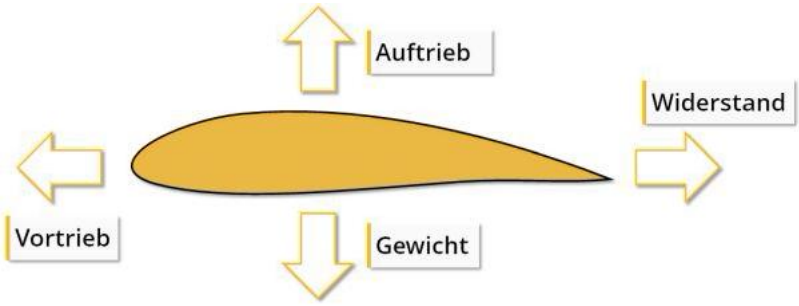
1. Grundprinzipien der Physik bei Quadrokoptern

1.1 Auftrieb und Schwerkraft

Jeder Flugkörper ist mit den grundlegenden Kräften der Physik konfrontiert. Bei einem Quadrokopter stehen vor allem zwei Kräfte im Mittelpunkt:

• Schwerkraft: Diese universelle Anziehungskraft zieht alle Massen zur Erde hin. Für einen Quadrokopter entspricht sie dem Gewicht der gesamten Drohne.

• Auftrieb: Durch die schnelle Drehbewegung der Propeller wird Luft nach unten beschleunigt. Nach dem dritten Newtonschen Gesetz („Aktion = Reaktion“) entsteht eine entgegengesetzte Kraft, die als Auftrieb bezeichnet wird. Diese Kraft hebt die Drohne in der Luft.



Damit ein Quadrokopter in der Schwebe bleibt, muss der von den Propellern erzeugte Auftrieb exakt der Gewichtskraft (Schwerkraft) entgegenwirken. Steigt die Drehzahl der Propeller, steigt auch der Auftrieb, und die Drohne kann in die Höhe steigen. Umgekehrt sinkt sie, wenn der Auftrieb durch eine Verringerung der Propellerdrehzahl nicht mehr ausreicht, das Eigengewicht zu tragen.[1]

[1] Grundlagen des Fliegens https://online-kurs.dronespace.at/online-kurs/lehrmaterial/allgemeine-uas-kunde/grundlagen-des-fliegens/

1.2 Das dritte Newtonsche Gesetz und Reaktionsprinzip

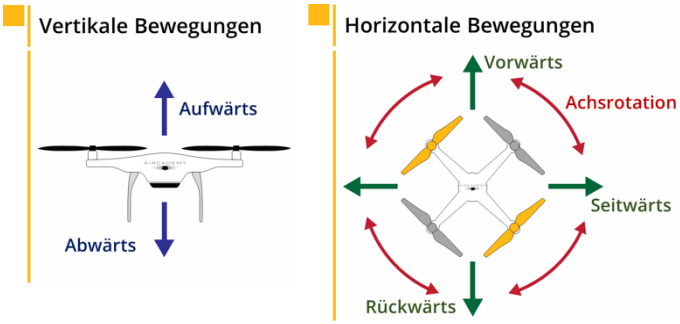
Das dritte Newtonsche Gesetz, auch als Wechselwirkungsprinzip bekannt, besagt, dass jede Aktion eine gleich große, entgegengesetzt gerichtete Reaktion hervorruft. Beim Quadrokopter heißt das:Wenn die Propeller Luft mit hoher Geschwindigkeit nach unten drücken, erfährt die Drohne eine gleich große Aufwärtskraft. Dieses Prinzip ist essenziell für das Schweben und die Steuerung der Drohne

1.3 Kräfteverteilung und Steuerung

Ein Quadrokopter verfügt, wie es der Name bereits sagt, über vier Propeller, die nicht nur den nötigen Auftrieb erzeugen, sondern auch individuell geregelt werden können, um gezielte Bewegungen zu ermöglichen. Die Steuerung erfolgt durch variable Drehzahlen der Propeller, was zu folgenden Flugmanövern führt:

• **Steigen**: Alle vier Propeller erhöhen gleichzeitig ihre Drehzahl, wodurch der Gesamtschub steigt.

• **Sinken**: Eine Verringerung der Drehzahl aller Propeller führt zu einem geringeren Auftrieb, sodass die Drohne absinkt.

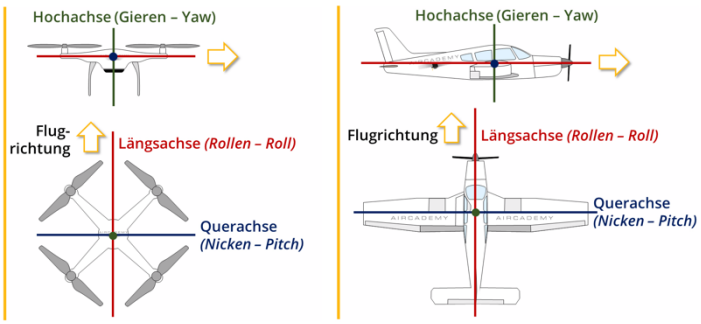


Vertikale und Horizentale Bewegungen

• **Vorwärts- und Rückwärtsbewegung**: Durch differenzierte Steuerung – beispielsweise drehen die hinteren Propeller schneller als die vorderen, wenn die Drohne vorwärts fliegen soll – entsteht ein Neigungswinkel, der die Flugrichtung ändert.

• **Seitwärtsbewegungen**: Ähnlich wie bei Vorwärts- und Rückwärtsbewegungen wird hier die Drehzahl der seitlichen Propeller angepasst.

• **Rotation (Yaw)**: Um eine Drehung um die eigene Achse zu bewirken, erhöhen zwei diagonal gegenüberliegende Propeller ihre Drehzahl, während die anderen beiden verringert werden. Diese asymmetrische Schubkraft führt zu einer gezielten Rotation.[2]



Rotation (Yaw)

[2] Grundlagen des Fliegens https://online-kurs.dronespace.at/online-kurs/lehrmaterial/allgemeine-uas-kunde/grundlagen-des-fliegens/

Bewegung	Propellersteuerung
Aufstieg	Alle vier Propeller erhöhen gleichzeitig ihre Drehzahl, wodurch der Gesamtschub steigt.
Sinkflug	Eine Verringerung der Drehzahl aller Propeller führt zu einem geringeren Auftrieb, sodass die Drohne absinkt.
Vorwärtsflug	Die hinteren Propeller drehen sich schneller als die vorderen, wodurch ein Neigungswinkel entsteht, der die Drohne nach vorne drückt.
Rückwärtsflug	Die vorderen Propeller drehen sich schneller als die hinteren, wodurch ein Neigungswinkel entsteht, der die Drohne nach hinten drückt.
Seitwärtsflug (links)	Die Propeller auf der linken Seite drehen sich schneller als die auf der rechten Seite, wodurch die Drohne nach links gedrückt wird.
Seitwärtsflug (rechts)	Die Propeller auf der rechten Seite drehen sich schneller als die auf der linken Seite, wodurch die Drohne nach rechts gedrückt wird.
Drehung (Yaw)	Zwei diagonal gegenüberliegende Propeller erhöhen ihre Drehzahl, während die anderen beiden verringert werden. Diese asymmetrische Schubkraft führt zu einer gezielten Drehung.

Das Drehmoment, das durch die Rotation der Propeller entsteht, kann zu einer unkontrollierten Rotation des gesamten Flugkörpers führen. Um dies zu verhindern, drehen sich zwei der Propeller im Uhrzeigersinn und zwei gegen den Uhrzeigersinn. Dadurch kompensieren sich die Drehmomente. Doch dies stellt eine neue technische Herausforderung dar: Wenn zwei Propeller die Luft nach oben drücken und zwei nach unten, heben sich die Auftriebskräfte gegenseitig auf.
Ingenieure lösen dieses Problem durch unterschiedliche Geometrien der Propellerblätter. Die sogenannten "clockwise" und "counterclockwise" Blades sind so konstruiert, dass sie – obwohl sie sich in entgegengesetzten Richtungen drehen – gemeinsam Luft nach unten drücken und damit effektiv Auftrieb erzeugen.
Auch die Propellersteigung (pitch) und Form spielen eine wichtige Rolle. Höher angestellte Blätter erzeugen mehr Auftrieb, erfordern aber mehr Energie. Hier müssen Aerodynamik und Energieeffizienz gegeneinander abgewogen werden.[3]

Dieses Drehmoment kann auch genutzt werden, um eine Drehbewegung für den Quadcopter zu erzeugen. Wenn sich diese Propeller schneller drehen als als die Propeller 2 und 4, ist das auf den Quadcopter wirkende Drehmoment im Gegenuhrzeigersinn stärker als das auf ihn wirkende Drehmoment im Uhrzeigersinn. Dies führt dazu, dass der Quadcopter gegen den Uhrzeigersinn dreht. Wenn sich die Propeller 2 und 4 schneller drehen als Bei Propellerpaaren, die in entgegengesetzte Richtungen drehen das auf den Quadcopter wirkende Drehmoment das auf den Quadcopter wirkt, stellt es stellt dies ein neues Problem für Ingenieure. Wenn sich die Propeller in gegenläufig drehen, drücken zwei der Propeller die Luft nach oben und zwei die Luft nach unten drücken. Wenn Sie diese Kräfte kombinieren, ist der

[3] The science behind Quadcopters (NASA)

Gesamtauftrieb gleich Null und der Quadcopter kann nicht abheben. Zur Überwindung haben, verwenden die Ingenieure zwei verschiedene Winkeln. ist zu sehen, dass bei dem linken Propeller die linke Kante vorne höher liegt, während bei dem während beim anderen die rechte Kante höher liegt. Diese Konstruktion ändert die Richtung, in die die Luft der beiden Propeller, d. h. wenn sie sich in entgegengesetzte Richtungen drehen wenn sie sich in entgegengesetzte Richtungen drehen, schieben sie die Luft in die gleiche Richtung.

Drehrichtungen angegeben. Dieser Quadcopter wiegt 4 Newton (N), was bedeutet, dass die Schwerkraft ihn mit einer Kraft von 4 N nach unten zieht.

Regeln für die Bestimmung der vertikalen Bewegung: Um den Gesamtauftrieb zu berechnen, addiert man den Auftrieb, der von jedem der vier Propeller.Ist der Gesamtauftrieb größer als die Erdanziehungskraft, bewegt sich der Quadcopter nach oben. Wenn der Gesamtauftrieb gleich der Erdanziehungskraft ist, bewegt sich der Quadcopter nicht vertikal. Wenn der Gesamtauftrieb geringer ist als die Schwerkraft (4 N), bewegt sich der Quadcopter nach unten.

Wenn der Auftrieb der Propeller 1 und 4 größer ist als der Auftrieb der Propeller 2 und 3 zusammen, bewegt er sich nach rechts.

Wenn die Summe der Auftriebe der Propeller 2 und 3 größer ist als die Summe der Auftriebe der Propeller 1 und 4, bewegt er sich nach links.

Ist die Summe der Auftriebe von Propeller 1 und 2 größer als die Summe der Auftriebe von Propeller 3 und 4, so bewegt er sich rückwärts.

Wenn die Auftriebe der Propeller 3 und 4 zusammen mehr ergeben als die Auftriebe der Propeller 1 und 2 zusammen, bewegt er sich vorwärts.[4]

[4] The Science behind Quadcopters https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2020/05/aam-science-behind-quadcopters-reader-student-guide_0.pdf

Tabelle mit den von den vier Propellern erzeugten Auftriebswerten und den resultierenden Bewegungen:

Propeller 1	Propeller 2	Propeller 3	Propeller 4	Vertikale Bewegung (Keine, Auf, Ab)	Laterale Bewegung (Keine, Rechts, Links, Vorwärts, Rückwärts)	Rotationsbewegung (Keine, Im Uhrzeigersinn, Gegen den Uhrzeigersinn)
1.25	1.25	1.25	1.25	Auf	Keine	Keine
1.2	1.2	0.8	0.8	Keine	Rückwärts	Keine
0.25	0.25	0.5	0.5	Ab	Vorwärts	Keine
1.0	1.5	1.0	1.5	Auf	Keine	Im Uhrzeigersinn
1.5	0.5	1.25	0.75	Keine	Rückwärts	Keine
0.5		0.5		Keine	Rechts	Keine
2.0	1.0	1.0	1.0	Auf	Rechts und Rückwärts	Gegen den Uhrzeigersinn
0.25	1.0	1.0	0.25	Ab	Links	Keine

2. Aerodynamik und Effizienz

2.1 Luft- und Strömungswiderstand

Im Flug ist die Drohne permanent dem Luftwiderstand ausgesetzt. Er entsteht, wenn die Drohne mit hoher Geschwindigkeit fliegt und von der Luft gebremst wird. Hierbei sind zwei wesentliche Aspekte zu nennen:

• Luftwiderstand: Je nach Form der Drohne und ihrer Geschwindigkeit wird Energie investiert, um diesen Widerstand zu bezwingen. Ein Rahmen, der optimiert ist in Bezug auf die Aerodynamik, trägt zur Minimierung des Luftwiderstands bei. Durch strategisch platzierte Löcher kann der Druck verhindert werden, der sich vor der Oberfläche bilden würde, da die Luft einfach hindurch strömt.

• Strömungswiderstand und Wirbelbildung: Wenn die Propeller Luft nach unten drücken, können turbulente Strömungen und Wirbel entstehen. Weil sie einen gleichmäßigen Luftstrom stören, können diese turbulenten Luftbewegungen die Effizienz der Propeller beeinträchtigen. Daher ist es entscheidend, den angemessenen Abstand zwischen den Propellern

• Strömungswiderstand und Wirbelbildung: Wenn die Propeller Luft nach unten drücken, können dabei turbulente Strömungen und Wirbel entstehen. Diese turbulenten Luftbewegungen können die Effizienz der Propeller beeinträchtigen, da sie einen gleichmäßigen Luftstrom stören. Deshalb ist es wichtig den richtigen Abstand der Propeller zu wählen, sodass diese sich nicht gegenseitig beeinflussen.

2.2 Propellerneigung und Design

Die Form und Neigung der Propellerblätter sind wichtig für die Effizienz unserer Drohne. Eine zu steile Neigung kann zwar mehr Schub erzeugen, führt aber auch zu einem höheren Luftwiderstand, wofür man dann leistungsstärkere Motoren benötigen um diesen zu überwinden, was schlussendlich auch zu einem gesteigerten Energieverbrauch führt. Umgekehrt kann eine flachere Neigung den Widerstand reduzieren, aber auch den maximal erzeugbaren Schub limitieren. Daher ist es wichtig Propeller mit der optimalen Neigung und Größe zu wählen. Wir benutzen Propeller mit 5 Zoll (12,7cm) im Durchmesser und einer Neigung von 4,3 Grad, da diese sich optimal für die Größe unserer Drohne.

3. Komponenten eines Quadrokopters

3.1 Rahmen und Struktur

Der Rahmen einer Drohne muss stabil und gleichzeitig leicht sein. Ein stabiler Rahmen ist wichtig, um unerwünschte Schwingungen und Vibrationen zu minimieren, die sonst die Stabilität der Drohne im Flug beeinflussen könnten. Ausserdem könnten kontinuierliche Vibrationen das Material der Drohne langsam schwächen. Normalerweise wird hier Karbon verwendet, wir hingegen nutzen Plastik, der Grund wofür werden wir im Laufe der Arbeit noch erklären.

3.2 Akku und Energieversorgung

Der Akku ist eine weitere zentrale Komponente der Drohne, da dieser alle Systeme mit Strom versorgt. Der Akku ist mit circa 200 Gramm auch die schwerste Komponente der Drohne. Wir nutzen einen Lithium-Polymer akku (LiPo) mit sechs Zellen, welche zusammen eine Kapazität von 1300 mAh haben. Die Flugzeit der Drohne können wir jedoch erst bei den Finalen Flügen ermitteln.

3.3 Sensorik und Steuerungselektronik

Drohnen verfügen heutzutage über integrierte Sensoren wie Gyroskope, Beschleunigungsmesser und manchmal auch GPS-Module. Diese Sensoren können in Echtzeit Informationen über die Position, Geschwindigkeit und Orientierung der Drohne liefern. Die Steuerungselektronik, oft in Form eines Flugcomputers, wertet diese Daten aus und passt die Drehzahlen der einzelnen Propeller dynamisch an, um eine stabile Fluglage zu ermöglichen. Eine gut kalibrierte Sensorik ist also sehr wichtig, um auch zum Beispiel bei Windböen gerade in der Luft zu bleiben.

4. Detaillierte Kräfteanalyse und Berechnungen

Um die Stabilität und den Energieverbrauch unserer Drohe zu optimieren, ist es hilfreich, die physikalischen Kräfte und Parameter mathematisch zu analysieren, wie man anhand eines Beispiels erkennen kann.

4.1 Beispielrechnung: Schwebe- und Auftriebskraft

Angenommen, die Drohne wiegt 0,35 kg. Die auf sie wirkende Schwerkraft berechnet sich mit der Formel wobei g etwa 9,81 m/s^2 beträgt. Daraus folgt:

Da die Drohne durch vier Propeller in der Schwebe gehalten wird, muss jeder Propeller (in einem normalen Schwebeflug) etwa ein Viertel dieser Kraft, also ca. 0,858 N, aufbringen.

$$F = \frac{m \cdot g}{4}$$

$$F = \frac{0{,}35\ kg \cdot 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}}{4}$$

$$F = 0{,}858\ N$$

4.2 Einfluss des Luftwiderstands

Der Luftwiderstand steigt proportional zur Fluggeschwindigkeit. Das bedeutet, dass bei höheren Geschwindigkeiten deutlich mehr Energie aufgewendet werden muss, um den Widerstand zu überwinden. Deshalb ist es aus energetischer Sicht vorteilhaft, möglichst einen konstanten und moderaten Flugmodus zu wählen, wenn nicht gerade dynamische Manöver gefragt sind.

$$F = \frac{1}{2} \bullet C \bullet p \bullet A \bullet v^2$$

$C = 1.0$ Koeffizient für eine Kiste

$p = 1{,}225\ kg/m^2$

$A = 0{,}05\ m^2$

$v = 10\ m/s^2$

$$F = \frac{1}{2} \bullet 1{,}0 \bullet 1{,}225 \frac{kg}{m^2} \bullet 0{,}3m^2 \bullet (10\ m/s^2)^2$$

$$F = 18{,}4\ N$$

Der Luftwiderstand steigt quadratisch mit der Geschwindigkeit, und die dafür notwendige Antriebsleistung kubisch. Verdoppelt sich die Fluggeschwindigkeit, verachtfacht sich der Energieaufwand zur Überwindung des Luftwiderstands. Besonders bei elektrisch betriebenen Fluggeräten wie Drohnen oder kleinen Flugzeugen ist dieser Zusammenhang entscheidend für die Effizienz und Reichweite. Aus energetischer Sicht ist es deshalb vorteilhaft, möglichst konstant und mit moderater Geschwindigkeit zu fliegen – sofern keine dynamischen Manöver erforderlich sind. Ein ruhiger, gleichmäßiger Flug spart nicht nur Energie, sondern verlängert auch die Flugzeit erheblich. Die richtige Geschwindigkeitswahl ist damit ein zentrales Element sparsamen Fliegens.

Berechnungen wenn die Drohne mit 10 m/s	Berechnungen wenn die Drohne mit 20 m/s
Energieverlust durch Luftreibung $F = \frac{1}{2} \bullet 1{,}0 \bullet\ 1{,}225 \frac{kg}{m^2} \bullet\ 0{,}3m^2 \bullet (10\ m/s)^2$ $F = 18{,}4\ N$	Energieverlust durch Luftreibung $F = \frac{1}{2} \bullet 1{,}0 \bullet\ 1{,}225 \frac{kg}{m^2} \bullet\ 0{,}3m^2 \bullet (20\ m/s)^2$ $F = 73{,}5\ N$

Mechanische Leistung	Mechanische Leistung
$P = F \bullet v$ $P = 18{,}4\ N \bullet 10 \frac{m}{s}$ $P = 143\ W$	$P = F \bullet v$ $P = 73{,}5\ N \bullet 20 \frac{m}{s}$ $P = 1470\ W$

5. **Erweiterte Überlegungen und Anwendungsszenarien**

5.1 Umwelteinflüsse und Wetterbedingungen

Nicht nur die Auswahl der elektrischen Komponenten, sondern auch äußere Einflüsse wie Wind, Temperatur und Luftdichte wirken sich auf die Flugleistung einer Drohne aus. Dabei ist für uns jedoch lediglich die Stärke des Windes von Bedeutung.

• Wind: Heftige Windböen können die Luftlage destabilisieren oder dazu führen, dass die Drohne von der geplanten Route abkommt.

• Luftdichte: Bei hohen Temperaturen oder in großen Höhen nimmt die Luftdichte ab, was zu einer Verringerung des Auftriebs führt. Für das Fliegen unter derartigen Bedingungen sind größere Propeller und eine höhere Drehzahl der Propeller erforderlich. Ein Beispiel für ein Fluggerät, das bei extrem niedriger Luftdichte fliegen kann, ist der NASA-Helikopter Ingenuity, der durch sehr hohe Drehzahlen sogar auf dem Mars fliegen kann.

• Temperatur: Extremwerte bei der Temperatur können die Funktionstüchtigkeit von Batterien und elektronischen Bauteilen beeinträchtigen, was sich wiederum auf die Flugzeit und -stabilität auswirkt

5.2 Anwendungen in der Praxis

Quadrokopter finden in vielen Bereichen Anwendung. Einige Beispiele:

• Luftbildfotografie und -videografie: Dank stabiler Flugfähigkeit und präziser Steuerung können beeindruckende Aufnahmen aus der Luft gemacht werden.

• Inspektion und Überwachung: Drohnen werden in der Industrie zur Inspektion von schwer zugänglichen Strukturen, wie Windkraftanlagen oder Brücken, eingesetzt.

• Rettungsdienste: In Notfällen können Drohnen zur schnellen Erkundung von Katastrophengebieten eingesetzt werden, um beispielsweise vermisste Personen zu lokalisieren oder Schäden zu bewerten.

• Freizeit und Hobby: Viele Hobbyisten bauen und modifizieren ihre eigenen Drohnen, um an Wettkämpfen teilzunehmen oder einfach das Fliegen zu genießen.

5.3 Zusammenfassung und Ausblick

Die Funktionsweise eines Quadrokopters ist ein faszinierendes Zusammenspiel von Physik, Technik und moderner Elektronik. Die Erzeugung von Auftrieb durch die Propeller, das gezielte Steuern über variable Drehzahlen und der Einfluss von Luftwiderstand und aerodynamischen Effekten sind fundamentale Konzepte, die den Flug einer Drohne bestimmen.

Beim Bau einer Drohne müssen alle Aspekte – von der Wahl der Materialien über die Kalibrierung der Sensoren bis hin zur optimalen Energieverwaltung – genau aufeinander abgestimmt sein. Nur so lässt sich ein Gerät entwickeln, das nicht nur stabil und effizient fliegt, sondern auch flexibel genug ist, um unterschiedlichen Einsatzszenarien gerecht zu werden.

Gleichzeitig bleibt das grundlegende physikalische Prinzip – das Wechselspiel zwischen Auftrieb und Schwerkraft – unverändert und bildet das Fundament, auf dem alle weiteren Innovationen aufbauen.

Der Bau und die Optimierung eines Quadrokopters bietet ein spannendes Praxisfeld, in dem theoretischen Wissen aus der Physik direkt in die Praxis umgesetzt werden kann. Die Analyse der wirkenden Kräfte, die Berechnung des notwendigen Schubs und der Energieverbrauch einzelner Komponenten geben nicht nur Einblick in die komplexen Abläufe, sondern bieten auch zahlreiche Ansatzpunkte zur Optimierung und individuellen Gestaltung.

Ob im Bereich der Luftbildfotografie, bei industriellen Anwendungen oder als spannendes Hobby – das Verständnis der physikalischen Grundlagen ermöglicht es, Drohnen zu entwickeln, die nicht nur technisch ausgereift, sondern auch an die jeweiligen Einsatzbedingungen optimal angepasst sind. Dies führt letztlich zu einer höheren Effizienz, längeren Flugzeiten und einer insgesamt sichereren Handhabung.

6. Gesetzeslage in Luxemburg

Eine der Herausforderungen beim Planen der Drohne ist die genaue Gesetzeslage in Luxemburg. Im Vorfeld wussten wir aus eigener Erfahrung schon, dass unser Quadkopter maximal 249g wiegen durfte, da man ansonsten verpflichtet wäre, einen Drohen-Schein zu haben. Allerdings fanden wir daraufhin schnell heraus, dass bei all den nötigen Komponenten, das Gewicht bei über 300g liegen würde. Wir haben uns dementsprechend nicht nur gefragt, wie diese Prüfung zum Erhalten des Scheins aussehe, sondern auch wie man die Drohne registrieren muss, wie hoch man fliegen darf und wie weit, aber auch wie es in punkto Datenschutzes aussieht, wenn die Drohne über Aufnahmegeräte verfügt.

6.1 Gesetzliche Grundlagen in Luxemburg und der EU

Wer in Luxemburg eine Drohne fliegen lassen möchte, muss sich an verschiedene nationale und europäische Vorschriften halten. Die Direction de l'aviation civile (DAC) ist die zuständige Behörde für die Luftfahrt und damit auch für Drohnen. Auf europäischer Ebene legt die Europäische Agentur für Flugsicherheit (EASA) die Regeln fest, die in allen EU-Ländern gelten. Besonders wichtig sind die EU-Drohnenverordnungen, die Drohnen nach Risiko in drei Kategorien einteilen. Kleinere Freizeitdrohnen dürfen meist ohne Genehmigung geflogen werden, während für gewerbliche oder risikoreiche Flüge oft eine behördliche Erlaubnis nötig ist.

6.2 Regelungen für den Drohnenflug in Luxemburg

In Luxemburg dürfen Drohnen unter bestimmten Bedingungen frei geflogen werden: Sie müssen unter 25 kg wiegen, dürfen nicht höher als 120 Meter steigen und müssen außerhalb von Flugverbotszonen betrieben werden. Wenn die Drohne gewerblich genutzt wird – z. B. für Filmaufnahmen – braucht man eine Genehmigung und eine gültige Versicherung. Auch staatlich eingesetzte Drohnen, etwa von Polizei oder Rettung, haben Sonderregelungen. Ein besonders sensibles Thema ist der Datenschutz – wer über Häuser oder Menschen fliegt und filmt, muss aufpassen, nicht dagegen zu verstoßen.

6.3 Registrierung und Kennzeichnungspflicht

Drohnen mit einem Gewicht über 250 g oder mit einer Kamera müssen bei der DAC registriert werden. Die Registrierung erfolgt online und man erhält eine Kennnummer, die sichtbar an der Drohne angebracht werden muss. Wir haben sogar den Luxus, sie direkt ins 3D-Modell einzuarbeiten. Zusätzlich kann eine elektronische Identifikation (Remote ID) notwendig sein, damit Behörden die Drohne bei Bedarf während des Fluges identifizieren können. Nur kleine Drohnen unter 250 g ohne Kamera oder reine Indoor-Flüge sind von dieser Pflicht ausgenommen.

6.4 Flugverbotszonen und Regeln im Luftraum

In Luxemburg gibt es bestimmte Gebiete, in denen nicht geflogen werden darf, z. B. rund um Flughäfen, bei Regierungsgebäuden oder in Naturschutzgebieten. Außerdem darf man Drohnen nur bei Sichtkontakt fliegen lassen – man muss sie also immer direkt sehen können. Wer in dicht besiedelten Gebieten oder über Menschenmengen fliegen will, braucht eine Sondergenehmigung. Solche Verbote gelten auch oft bei großen Events. Es gibt spezielle Apps, die anzeigen, wo man gerade fliegen darf und wo nicht – sehr praktisch, um auf Nummer sicher zu gehen. Wir benutzen sowohl privat als auch für dieses Projekt die App „DroneForecast“, die uns neben allen möglichen

Restriktionszonen auch Berichte über Wetter, also möglichen Regen oder starke Luftstößen liefert.

6.5 Der Drohnenführerschein

Je nach Drohne und Einsatzzweck braucht man auch einen sogenannten Drohnenführerschein. Für Drohnen ab 250 g in der offenen Kategorie ist ein einfacher EU-Kompetenznachweis (A1/A3) notwendig. Den kann man online machen: Man schaut sich Lernmaterial an und macht danach einen Test. Wer in schwierigeren Umgebungen fliegen will (z. B. näher an Menschen), braucht das A2-Zeugnis, das eine zusätzliche Prüfung erfordert. In der speziellen Kategorie sind sogar ein Betriebskonzept und eine Genehmigung der DAC notwendig.
Wir haben insgesamt um die 6 Stunden benötigt um das Verifizierungszertifikat zu erhalten. Dabei gab es mehrere PDF-Dateien mit Informationen zu Regelungen und Sicherheitsnotizen, und anschließend ein Online-Examen.

EASA
European Union Aviation Safety Agency

DAC
Direction de l'Aviation Civile
Grand-Duché de Luxembourg

A1 A3
OPEN SUB CATEGORY

Preuve de réussite de la formation en ligne
Proof of completion of the online training
Nachweis des Bestehens des Online-Trainings

Prénom | First Name | Name
Yoris

Nom de famille | Last name| Nachname
Syoen

Numéro d'enregistrement
Identification number
Registrierungsnummer
LUX-RP-20081124nuuj

Valide jusqu'au| Valid until | Gültig bis
(Inclus | Included | Einschließlich)
16/10/2029

Das Zertifikat unseres Führerschein

6.6 Versicherungspflicht für Drohnen in Luxemburg

Sobald eine Drohne mehr als 250 g wiegt oder gewerblich genutzt wird, ist eine Haftpflichtversicherung gesetzlich vorgeschrieben. Diese Versicherung schützt, wenn durch die Drohne Schäden entstehen – z. B. wenn sie auf ein Auto fällt oder jemanden verletzt. Private Nutzer kommen oft mit einer einfachen Versicherung aus, während gewerbliche Flüge eine umfangreichere Absicherung brauchen. Dabei sollte man auf die Deckungssumme achten – meist sind mindestens 1 Million Euro vorgeschrieben. Es gibt auch Zusatzversicherungen, die Dinge wie Datenschutzverstöße oder technische Fehler mit abdecken. Da wir unsere Drohne hauptsächlich auf Feldern und Wiesen fliegen werden, reicht die standartmäßige Haftpflichtversicherung.[5]

7. Arten von Drohnen

Drohnen werden schon längst nicht mehr nur als Hobby gebaut und zum Spaß benutzt. Gerade in der Landwirtschaft, als Hilfe für Rettungsdienste, bei Militäroperationen, und sogar zum Transportieren von Paketen wird die Nutzung von Drohnen gefördert und konstant erweitert. Vorteile sind beispielsweise die fehlerfreie Technik oder auch das Kostensparen, da es weniger Arbeitskräfte braucht. Dazu sind sie schneller und können vollkommen automatisiert werden, um dadurch wichtige Zeit zu sparen. Sie ermöglichen es, Aufgaben effizienter zu erledigen und bieten eine präzise Ausführung, die mit herkömmlichen Mitteln oft nicht in gleicher Weise erreicht werden kann.

7.1 Landwirtschaft

Drohnen bringen in der Landwirtschaft zahlreiche Vorteile mit sich, die zu einer deutlichen Effizienzsteigerung und Modernisierung des Betriebs beitragen. Ihr Einsatz dient der Überwachung von Feldern, der Kontrolle des Pflanzenzustands und einer besseren Einschätzung der Erntebedingungen. Mit Sensoren und Kameras ausgerüstet, erfassen sie wesentliche Informationen über Feuchtigkeit, Boden oder Wachstum. Dies ermöglicht es Landwirten, zielgerichtet zu arbeiten, ohne dass sie jedes einzelne Feldstück prüfen müssen. Insbesondere bei großen Flächen spart das viel Zeit und Arbeit. Heute ist es oft ausreichend, die Drohne kurz fliegen zu lassen, um den Überblick zu behalten, anstatt wie früher mit viel Aufwand durch das Feld zu gehen. Die Anwendung steigt global an und wird von zahlreichen Personen als richtungsweisender Fortschritt für eine moderne Agrarwirtschaft betrachtet.

---

[5] http://drohnen-camp.de/drohnen-gesetze-in-luxemburg/?srsltid=AfmBOorjUIvb_ec_RZGxGg79KBwKYb9pPf2OI-rKiSbEsy-JIz6Ho_eg
https://drohneversicherungsvergleich.de/blog/drohnen-gesetze-luxemburg/
https://dac.gouvernement.lu/en.html

Ein besonders bedeutendes Bereich ist die Präzisionslandwirtschaft. Drohnen helfen dabei, nur an den Stellen zu düngen oder zu spritzen, wo es tatsächlich notwendig ist. Dadurch spart man Geld und schützt zugleich die Umwelt, da weniger Chemikalien eingesetzt werden. Die Technik unterstützt den effizienten Einsatz von Ressourcen und die Verbesserung des Ertrags. Landwirte können mithilfe präziser Luftbilder frühzeitig erkennen, wo Pflanzen schlechter gedeihen oder wo Trockenheit herrscht. Dann können Sie zielgerichtet handeln, statt aus einer Vermutung heraus zu reagieren. Diese Methode bietet nicht nur mehr Präzision, sondern auch Nachhaltigkeit. Gerade in Zeiten des Klimawandels und der steigenden Kosten wird für viele Unternehmen der gezielte Einsatz von Materialien immer wichtiger.

Selbst die Kontrolle der Erträge wird durch Drohnen erheblich erleichtert. Mit speziellen Kameras, die auch Infrarotbilder erzeugen können, lassen sich Probleme frühzeitig identifizieren – wie Krankheiten oder Schädlingsbefall. Auf diese Weise können Bauern schneller eingreifen und Schäden vermeiden. Die dabei gesammelten Daten können direkt am Computer ausgewertet werden. In einigen Fällen kann die Übertragung sogar in Echtzeit erfolgen. Dadurch wird die Planung der Ernte einfacher und zuverlässiger. Darüber hinaus kann die Drohne aufzeigen, welche Bereiche eines Feldes einen hohen Ertrag abwerfen und welche weniger. Diese Informationen tragen dazu bei, langfristig bessere Entscheidungen zu treffen und die Felder optimal zu bewirtschaften.

Auch beim Wassermanagement bieten Drohnen in der Landwirtschaft Vorteile. Der Feuchtigkeitsgrad des Bodens kann mit speziellen Sensoren oder Infrarotkameras genau bestimmt werden. So wird nur an den Stellen bewässert, wo es tatsächlich erforderlich ist – dies führt zu Wassersparung und Kostenreduktion. Das kann besonders von Bedeutung sein, wenn es wenig Niederschlag gibt oder während Dürreperioden. Auch hier kommen Drohnen zum Einsatz, um Aufgaben zu übernehmen, die früher entweder mit hohem Aufwand verbunden waren oder gar nicht machbar waren. Die Automatisierung spart Arbeitszeit und macht es möglich, große Flächen mit nur wenigen Einsätzen effizient zu überwachen. In der Summe sorgen Drohnen dafür, dass viele Abläufe beschleunigt werden und dabei eine höhere Genauigkeit und Umweltfreundlichkeit gegeben sind.[6]

[6] https://www.landwirtschaft.de/wirtschaft/beruf-und-betrieb/trends-und-innovationen/wofuer-braucht-man-drohnen-in-der-landwirtschaft
https://droneline.shop/blogs/landwirtschaft/smart-farming-effizienz-und-nachhaltigkeit-mit-drohneneinsatz?srsltid=AfmBOoqmDweEEuvk273QDhW5xubYJxi5t1YwZvEZDRZVUPksOZqU3V_w

7.2 Rettungsdienste & Katastrophenschutz

Auch im Bereich des Katastrophenschutzes und der Rettungsdienste nimmt die Bedeutung von Drohnen ständig zu. In kürzester Zeit können Sie große Gebiete überfliegen und dabei helfen, sich schnell einen Überblick über die Situation zu verschaffen. Bei Naturkatastrophen wie Überschwemmungen, Erdbeben oder Waldbränden bieten sie aus der Luft wichtige Informationen. Dadurch können Einsatzkräfte zielgenauer und schneller handeln. Da sie unabhängig vom Boden operieren, sind Drohnen besonders gut geeignet, um Situationen zu bewältigen, in denen Straßen blockiert oder das Gelände schwer zugänglich ist. Selbst in unübersichtlichen Gebieten oder unter Trümmern vermisste Personen können mit Hilfe von Wärmebildkameras lokalisiert werden. Es ermöglicht die Rettung von Leben und eine verbesserte Beurteilung gefährlicher Situationen.

Drohen stellen einen echten Fortschritt dar, insbesondere bei der Suche nach vermissten Personen. Sie können mit Wärmebild- oder Nachtsichtkameras auch in der Dunkelheit oder in dichtem Wald dabei helfen, Personen zu finden. Rettungsteams können dadurch wichtige Zeit sparen, was im Ernstfall über Leben und Tod entscheiden kann. Drohnen ersetzen in schwer zugänglichen Gebieten wie Bergen, Wäldern oder Flusslandschaften oft den Hubschrauber oder ergänzen dessen Einsatz. Sie haben dabei deutlich geringere Betriebskosten, sind schneller einsatzbereit und bieten mehr Flexibilität in der Steuerung.

In der Katastrophenhilfe werden Drohnen neben Aufklärungs- und Beobachtungszwecken auch für die Zustellung von Hilfsgütern verwendet. In Gebieten, die schwer zu erreichen sind, können sie Medikamente, Wasser oder Funkgeräte befördern – insbesondere dann, wenn Straßen beschädigt oder abgeschnitten sind. Drohnen gelangen an Orte, die für Fahrzeuge unerreichbar sind. Das hat sich vor allem in Entwicklungsländern oder in entlegenen Regionen schon als effektiv erwiesen. Sie sind ebenfalls in Krisengebieten oder nach Erdbeben von Nutzen, um erste Hilfe sofort dorthin zu bringen, wo sie dringend benötigt wird. Drohnen sind aufgrund ihrer schnellen, unabhängigen und genaue Arbeitsweise zu einem bedeutenden Bestandteil moderner Rettungssysteme geworden. Ihre Bedeutung wird wahrscheinlich noch weiter zunehmen.[7]

[7] https://www.drk-westfalen.de/fileadmin/Eigene_Bilder_und_Videos/Downloads/Fernmeldedienst/DRK_DV_Drohnen_051219.pdf

7.3 Lieferungen & Transport

Drohnen für Lieferungen zu verwenden, wird immer beliebter. Drohnen bieten eine schnelle und flexible Alternative, besonders in Städten, wo der Straßenverkehr oft überlastet ist. Kleine Pakete können direkt zum Empfänger fliegen und so Staus und lange Wege vermeiden. Drohnen leisten auch in abgelegenen Gebieten, die für Lieferfahrzeuge schwer zugänglich sind, wertvolle Unterstützung. Firmen wie Amazon, DHL oder UPS haben schon angefangen, Lieferdrohnen zu testen oder sie sogar regelmäßig zu verwenden. Die Vorteile sind offensichtlich: Drohnen weisen eine hohe Geschwindigkeit auf, erzeugen nur geringen Lärm, benötigen keine Verkehrswege und können zu jeder Tages- und Nachtzeit genutzt werden. Es ergibt sich dadurch eine innovative Option für den Warentransport in der Zukunft.

Die Firma Zipline ist ein besonders bekanntes Beispiel für erfolgreiche Lieferdrohnen. Obwohl sie in den USA gegründet wurde, ist sie hauptsächlich in afrikanischen Ländern wie Ruanda und Ghana tätig. Dort transportiert Zipline mit Hilfe von Drohnen Medikamente, Impfstoffe oder Blutkonserven in abgelegene Ortschaften – dies geschieht meistens in nur 30 Minuten. Früher mussten Menschen oft viele Stunden laufen oder warten, bis ein Fahrzeug eintraf. Ein kurzer Drohnenflug genügt jetzt. Die Drohnen fliegen autonom, navigieren durch GPS und geben die Lieferung mit einem kleinen Fallschirm in einer sicheren Box ab. Auf diese Weise kann medizinische Versorgung auch in Gebieten ohne nennenswerte Infrastruktur bereitgestellt werden.

[8]

Eine Zipline-Drohne beim Abwurf.

Heute ist Zipline eines der führenden Unternehmen im Bereich der Lieferdrohnen. Die Firma hat schon mehr als eine Million medizinische Sendungen durchgeführt und gilt weltweit als Vorbild. Zipline ist mittlerweile auch in den USA und Japan aktiv und erweitert kontinuierlich sein Angebot. Besonders wichtig ist, dass die Drohnen auch bei Wind oder Regen verlässlich arbeiten. Zipline entwickelt dafür eigene Modelle, die

[8] https://media.wired.com/photos/625c96105267e2760229c8a8/16:9/w_2400,h_1350,c_limit/Zip-package-drop-science_3.jpg

speziell für den Einsatz unter schwierigen Bedingungen ausgelegt sind. Auch die Organisation ist von großer Wichtigkeit. Die Flüge werden zetral überwacht und koordiniert. Zipline zeigt, wie Drohnen nicht nur theoretisch, sondern auch praktisch und sinnvoll verwendet werden können.[9]

7.4 Militär

Drohnen gehören im Militär mittlerweile zu vielen Einsätzen dazu. Sie dienen dem Ziel, Informationen zu sammeln, Zielobjekte im Auge zu behalten oder sogar Attacken auszuführen. Im Vergleich zu zivilen Modellen sind militärische Drohnen häufig größer und leistungsfähiger. Sie sind in der Lage, für lange Zeit in der Luft zu bleiben und dabei weite Strecken zurückzulegen. Sie sind besonders bei gefährlichen Einsätzen vorteilhaft, da kein Mensch an Bord ist. Dies ermöglicht es, Risiken zu minimieren, wie beispielsweise bei Aufklärungsflügen über feindlichem Gebiet. Drohnen werden in Konflikten weltweit mittlerweile regelmäßig verwendet, sowohl zur Überwachung als auch für gezielte Waffeneinsätze.

Militärdrohnen werden vor allem für Aufklärungszwecke eingesetzt. Sie können große Flächen aus der Luft beobachten und Live-Informationen an die Kommandozentralen übermitteln. Ausgerüstet mit Kameras, Infrarot- oder Wärmesensoren, liefern sie Bilder rund um die Uhr. So lassen sich Truppenbewegungen erkennen oder versteckte Lager finden. Insbesondere in schwierig zu durchschauendem Gelände haben sie Vorteile gegenüber dem Menschen. Drohnen bieten die Möglichkeit, Einsätze besser zu planen und Überraschungen zu verhindern. Heutzutage bilden sich zahlreiche militärische Entscheidungen auf den von Drohnen gelieferten Daten, ohne dass Soldaten vor Ort sein müssen.

[9] https://www.drohnen.de/12706/zipline-drohne-rettet-leben-durch-blutspenden/
https://www.flyzipline.com/

[10]

Eine „Raven"-Aufklärungdsdrohne, die auch die luxemburgische Armee besitzt.

Manche Militärdrohnen dienen neben der Überwachung auch als Waffen. Sie können Raketen oder andere Waffen transportieren und präzise Angriffe auf Ziele durchführen. Solche Einsätze werden in der Regel aus großer Distanz gesteuert, beispielsweise von Piloten in einem Kontrollraum. Diese Form der Kriegsführung ist umstritten, da sie zwar die Risiken für die eigene Seite verringert, aber oft auch zivile Opfer mit sich bringt. Besonders bekannt sind die Einsätze bewaffneter US-Drohnen in Ländern wie Afghanistan oder dem Jemen. Kritiker weisen darauf hin, dass Kriege durch Drohnen „entmenschlicht" werden könnten, da Entscheidungen über Leben und Tod mit einem Mausklick getroffen werden.

Drohnen im militärischen Einsatz bieten zahlreiche Möglichkeiten, stellen jedoch auch enorme Risiken. Einerseits können sie dazu beitragen, Menschenleben zu schützen, da riskante Einsätze nicht mehr direkt von Soldaten durchgeführt werden müssen. Auf der anderen Seite erhöht sich durch Drohnen die Gefahr von Attacken, ohne dass eine offizielle Kriegserklärung vorliegt. Drohnen werden mittlerweile auch von kleineren Ländern oder nichtstaatlichen Gruppen verwendet, teilweise mit einfachen Mitteln. Dadurch wird die weltweite Sicherheitslage komplexer. Die Technik schreitet mit großer Schnelligkeit voran, häufig schneller als die politischen Regeln. Um Missbrauch zu verhindern und Konflikte nicht weiter zu verschärfen, wird auch darüber diskutiert, wie eine internationale Kontrolle von Drohnen aussehen könnte.[11]

---

[10] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4b/RQ-11B_Raven_Blackfoot_Company%2C_1st_Battalion%2C_501st_Parachute_Infantry_Regiment%2C_4th_Infantry_Brigade_Combat_Team_%28Airborne%29%2C_25th_Infantry_Division_Base_Elmendorf-Richardson%2C_Alaska_%28cropped%29.jpg

[11] https://de.wikipedia.org/wiki/Drohnen_der_Bundeswehr

8. Aufbau einer Drohne

8.1 Konfigurationen

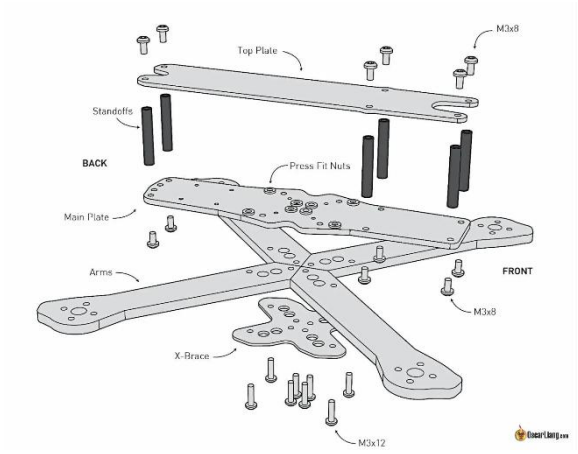
Drohnen werden generell nach der Anzahl an Motoren klassifiziert, von Quadkopter, mit Vier Rotoren, über Hexacopter, mit sechs Rotoren, bis hin zu Octocopter mit Acht Rotoren. Quadkopter sind hierbei die am weitverbreitesten, da sie am billigsten sind und ihr Flugverhalten eher sportlich und agil ist, was schöne Kamerafahrten ermöglicht. Hexacopter und Octocopter hingegen sind teurer, verfügen aber auch über längere Flugzeiten und größere Tragekapazität. Solche Drohnen verfügen über ein ruhigeres Flugverhalten, wodurch sie sich ideal für professionelle Kameradrohnen, Agrikultur-Drohnen oder Transportdrohnen eignen. Die Größe des Rahmens gibt die Größe der gesamten Drohne vor, sie bestimmt die Stärke der Motoren und somit auch die Größe des Akkus sowie auch der Durchmesser der Propeller. Die Größe des Rahmens wird immer als den diagonalen Abstand zwischen den Motoren angegeben, diese Maße nennt man Radstand. Der Radstand unserer Drohne soll übrigens um die 230mm groß sein, was im Bereich der Hobbydrohnen liegt.

8.2 Rahmen

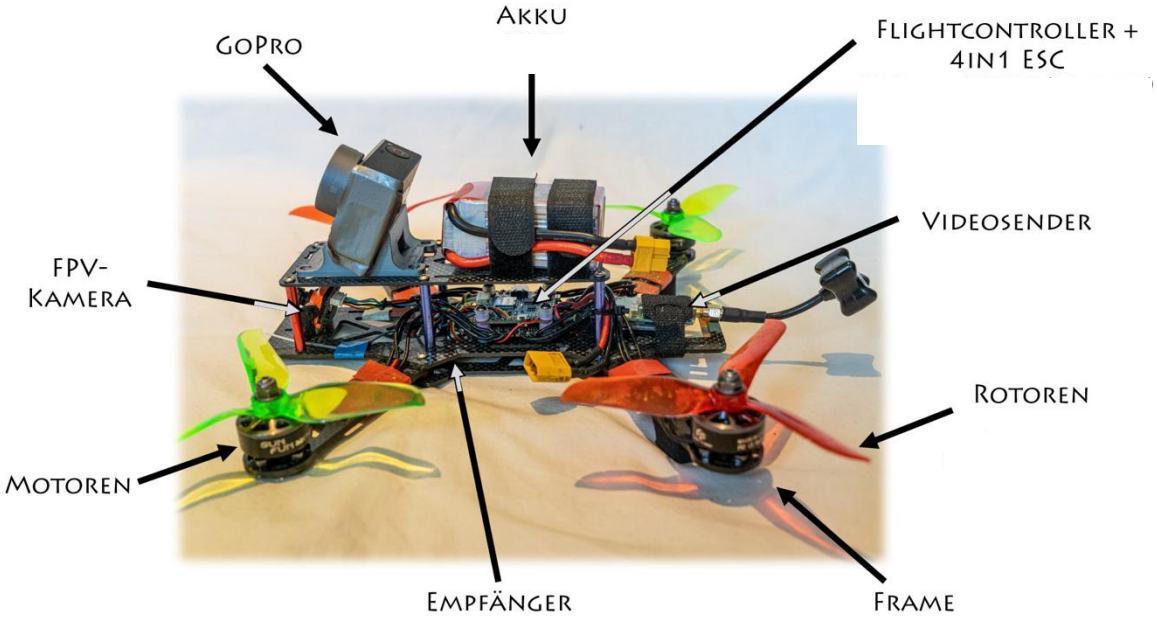
Der Rahmen ist die tragende Struktur der Drohne, auf welcher die Elektronik aufgebaut ist. Sie ist sozusagen das Skelett der Drohne. In den meisten Fällen besteht dieser aus Karbon oder aus Kunststoff, wobei Karbon, das am häufigst genutzte Material ist, da es extrem leicht und robust ist. Außerdem sind Karbonkader steif, was Vibrationen reduziert, welche mit der Zeit zu einer Materialermüdung führen kann. Der Nachteil hiervon ist jedoch das sie im Falle eines Absturzes oft brechen, da sie Stöße nicht abfedern können. Des Weiteren sind sie mit einem Preis um die 100 Euro teurer als andere Materialien. Karbon Kader sind auch in ihrer Form limitiert, da diese aus einer Karbonfolie ausgefräst werden, sodass keine komplexeren 3D-Formen aus Karbon möglich sind, da man auf Karbonplatten limitiert ist, welche miteinander verschraubt sind.
Plastik kommt bei kleineren oder günstigeren Drohnen zum Einsatz. Diese bestehen meistens aus PVC oder PLA was kostengünstig ist. Plastik ist im Gegensatz zu Karbon auch flexibler, und bricht dadurch nicht so schnell, was sie geeignet für Spielzeugdrohnen macht. Plastik kommt jedoch nicht nur bei billigen Drohnen zum Einsatz. So sind DJI Drohnen z.B. auch aus Plastik, das liegt hauptsächlich daran, dass diese Drohnen viel kleineren Kräften ausgesetzt sind und trotz großem Akku und hochauflösendem Kamerasystem unter 250 Gramm wiegen müssen.

Der Rahmen ist mit Bohrungen versehen, an denen die Elektronik befestigt wird. Eine Drohne benötigt zum Fliegen 6 Komponenten; Motoren mit Propeller, um Auftrieb zu erzeugen, eine Motorsteuerung, um die Geschwindigkeit der Motoren zu regulieren, einen Flugcomputer, um all diese Informationen zu verarbeiten, eine Funkantenne, um mit der Fernsteuerung zu kommunizieren und schlussendlich einen Akku, um alle Komponenten mit Strom zu versorgen. Optional ist dann noch ein Kamerasystem, um in FPV, also first person view, fliegen zu können und um Videoaufnahmen zu machen.

12) Radstand einer Drohne



13) Aufbau eines Karbon Kaders



14) Aufbau einer Drohne

[12] https://oscarliang.com/fpv-drone-frames/
[13] https://oscarliang.com/fpv-drone-frames/
[14] https://neveroff.de/2021/05/fpv-drohne-2/

8.3 Propeller

Die Größe der Propeller wird mit dem Durchmesser in Zoll angegeben, wobei der Hobby-Bereich zwischen 3 und 10 Zoll liegt. Die Propeller bestehen aus einem leichten und kostengünstigem Kunststoff, wodurch diese leichte Stöße absorbieren können und im Fall eines Schadens leicht ausgetauscht werden können. Wie gerade schon erwähnt, ist die Größe der Propeller von dem Rahmen abhängig. Unsere Drohne hat 5 Zoll große Propeller.

8.4 Motoren

Die Leistung der Motoren ist von der Größe der Propeller abhängig. Für unsere Drohne mit 5 Zoll Propeller benutzen wir bürstenlose Motoren welche eine Leistung von 1800kv haben. Der Kv Wert gibt an, wie schnell sich der Motor pro angeschlossenem Volt dreht.(Drehzahl (RPM) = kV × Spannung (V)), dass heißt, dass die Propeller unserer Drohne bei einer angenommenen Spannung von 23,52 V mit 32119 Umdrehungen pro Minute drehen. Je größer die Propeller sind, desto kleiner ist der kv Wert, da ein hoher kv Wert zwar eine hohe Drehzahl bedeutet, jedoch auch ein kleineres Drehmoment.

8.5 Akku

Die Wahl des Akkus ist hauptsächlich durch sein Gewicht limitiert, da Hobby-Drohnen, welche im freien Verkauf erhältlich sind, unter 250 Gramm wiegen müssen. Große Firmen wie DJI entwerfen daher extra spezielle Leichtbau-Akkus, welche hohe Leistung bei geringem Gewicht leisten. So wiegt z.B. der Akku der DJI Mini 4 Pro gerade einmal 78 Gramm bei einer Kapazität von 2590 mAh, während der Akku in unserer Drohne lediglich 1300 mAh bei einem Gewicht von 200 Gramm leistet. Die kleinere Kapazität bei höherem Gewicht müssen wir jedoch in Kauf nehmen, da der Akku von DJI mit einem Preis von 70 Euro fast doppelt so teuer wie unserer Akku, welcher 37 Euro kostet. Außerdem sind die DJI Akkus ausschließlich mit DJI Produkten kompatibel, sodass wir diese sowieso nicht nutzen können. Deshalb wird unsere Drohne durch einem einfachen Lithium-Polymer Akku mit 6 Zellen angetrieben. [15]

[15] https://store.dji.com/lu/product/dji-mini-4-pro-intelligent-flight-battery?from=site-nav&_gl=1%2Ahmxsxf%2A_up%2AMQ..%2A_ga%2ANjM0ODk0NDM5LjE3NDYxMzExMzg.%2A_ga_HXRDE344GS%2AMTc0NjEzMTEzOC4xLjEuMTc0NjEzMTE5MC4wLjAuMA..&vid=148701

Radstand	Propellergröße ⌀	Verwendung	Lipo-Akku
65mm – 75mm	<2 Zoll	Innenbereich / Begrenzter Außenbereich	200–450mAh 1S/2S
90mm – 120mm	2 Zoll	Freestyle / Racing	450–850mAh 3S/4S
120mm – 150mm	3 Zoll	Freestyle / Racing	850–1300mAh 3S/4S
160mm – 200mm	4 Zoll	Freestyle / Racing	1300–1800mAh 4S/6S
210mm – 250mm	5 Zoll	Freestyle / Racing	1300–1800mAh 4S/6S
250mm – 330mm	6 Zoll	Langstrecke / Freestyle / Racing	1300–2200mAh 4S/6S
280mm – 330mm	7 Zoll	Langstrecke	3000–6000mAh 6S
330mm – 380mm	8 Zoll	Langstrecke / Schwerlast	4500–6000mAh 6S
355mm – 405mm	9 Zoll	Langstrecke / Schwerlast	6500–8000mAh 6S
405mm – 455mm	10 Zoll	Langstrecke / Schwerlast	7500–8000mAh 6S

[16]

In dieser Tabelle sind nochmal die optimalen Verhältnisse zwischen Radstand, Propellergröße, Verwendungsbereich und Akku-Größe aufgelistet. Wir haben bei unserer Wahl der Dimensionen hauptsächlich Wert auf den Preis und die Windresistenz gelegt. Außerdem darf der Radstand natürlich nicht zu groß sein, da wir in der Größe unseres 3D-Druckers limitiert sind (250 x 210 x 210 mm)[17]. Drohnen mit einem Radstand von 65mm bis 200mm, waren somit ausgeschlossen, da sie Schwierigkeiten haben, bei Wind zu fliegen. Drohnen mit einem Radstand über 300mm mussten wir aufgrund des Preises und Gewichtes auch anschließen. Am Ende lag die Entscheidung also bei einem Radstand zwischen 200mm und 300mm respektive zwischen 5 Zoll oder 6 Zoll Propeller. Unsere Entscheidung ist schließlich auf eine Drohne mir einem Radstand von 230mm und Propeller mit einem Durchmesser von 5 Zoll gefallen, da es für diese Größe ein großes Angebot an elektronischen Komponenten zu billigen Preisen gibt.

[16] Basierend auf: https://www.grepow.com/blog/what-size-fpv-drone-should-i-get.html
[17] https://www.treatstock.co.uk/machines/item/427-original-prusa-i3-mk3

9. Kostenanalyse und Komponentenwahl für unsere FPV-Drohne:

Mithilfe von Internet-Artikeln und YouTube-Videos haben wir fünf verschiedene Kits zusammengestellt, die zwischen 130 € und 200 € kosten. Diese Kits enthalten die grundlegenden Komponenten, die die Drohne zum Fliegen benötigt; Motoren, Propeller, Akkus, eine ELRS-Antenne sowie einen Flugcomputer.

Zusätzlich zu diesen Basisbauteilen werden weitere Komponenten benötigt, wie eine Fernsteuerung, ein Akkuladegerät und ein Kamerasystem inklusive VR-Brille, welche wir in einer separaten Tabelle zusammengefasst haben.

Video	Troncat fpv 6s 200$	2 MICHAEL	3 TRONCAT FPV(2022)	Troncat FPV (2021) 150$	TRONCAT FPV FREESTYLE 200$
Motor	T-Motor Velox V2207 V3.0 2207 1750Kv Motor	isflying 2207 1960KV 6S 5&6inC	Stealth 1800KV/2450KV	Racestar Racing 2300kv 2-4s	EMAX ECO II Series 2306 2400Kv
Preis	69.69	60	60	43.48	74.48
Propeller	ver Johnny Freestyle 4.8x3.8x3 POPO Compatible Tri-Blade 5" Pr	HQProp Ethix S5 5inch	HQ Prop ETHIX P3	HQ freestyle 5 inch	HQ Prop ETHIX P3
Preis	3.85	3.49	4.08	2,85	16.32
Stack	SpeedyBee F405 V3 BLS 50A 30x30 FC&ESC Stack	SpeedyBee F405 V3	Diatone Mamba F405 Stac	MAMBASYS F405 MK2	SpeedyBee F405 V3
Preis	67.43 €	72.99	99	88.73	84.23
Batterie	Tattu R-Line 6S 1050mAh	4S Lipo Battery 1300mAh 14.8V	Tattu 1050mAh 6S	RDQ Series 4S 1500mAh	OVONIC 4S Lipo Battery 50C 1550mAh 14.8V
Preis	39.77	39.74	33.99	28,07	28.81
Motoren	180.74 €	176.22 €	197.07 €	132.21 €	203.84 €

Letztendlich haben wir uns auf die folgende Liste an Komponenten geeinigt, hierbei handelt es sich um den “SpeedyBee Mario 5“ Bausatz der Firma N-Factory. Die Entscheidung für diesen Bausatz fiel dabei aufgrund der Verfügbarkeit sowie des Preises, da diese aus Deutschland versendet wurden. Die Kosten für die Drohne selbst belaufen sich auf circa 200 €. Hinzu kommen jedoch weitere Ausgaben, darunter die Fernsteuerung sowie das Ladegerät für die Akkus. [18]

[18] https://n-factory.de/SpeedyBee-Mario-5-DC-FPV-5-FPV-Drohnen-Bausatz

Preisliste der Drohne:

Komponente	Model	Preis
Motoren	SpeedyBee 2306.5 1800KV	61 €
Flugcomputer	SpeedyBee F405 V3	60 €
Propeller	HQProp Durable 5X4.3X3 V2S	4 €
Akku	Tattu R-Line 4.0 6s 1300mAh 130C Lipo	37 €
Nano Empfänger	RadioMaster RP3 V2 ELRS LBT 2,4 Ghz	27 €
		189 €

Preisliste des Zubehörs:

Komponente	Model	Preis
Fernsteuerung	RadioMaster Pocket ELRS	78 €
*Nano Empfänger**	RadioMaster RP3 V2 ELRS LBT 2,4 Ghz	27 € *
Akkuladegerät	SkyRC B6neo	45 €
Kamera	Foxeer Micro Razer FPV Camera 1200TVL	18 €
FPV-Brille	BetaFPV VR03 FPV	70 €
VTX Antenne	HappyModel OVX303 25-300mW 5.8GHz	23 €
		234 €

**Die Kosten des Nano Empfängers wurden nur in der oberen Tabelle mit einberechnet*

Neben den 200 € für die Drohne an sich kommen also nochmal 234 € für das Zubehör hinzu, die finalen Kosten des ganzen Systems belaufen sich also auf 434 €. Da wir jedoch anfangs ohne Kamerasystem fliegen wollen, hat uns die Drohne bisher 323 € gekostet.
Unser System besteht hauptsächlich aus SpeedyBee Komponenten. Wir nutzen einen SpeedyBee F405 Flugcomputer in Kombination mit vier 1800kv starken bürstenlosen Motoren von der gleichen Marke, sowie 5 Zoll große Propeller aus Polycarbonat. Dazu kommt noch ein 1300mAh großer Akku mit 6 Zellen, sowie ein 2,4 Ghz Empfänger für die Kommunikation zwischen der Drohne und der Fernsteuerung.

Als letzte Komponenten benötigen wir noch eine Kamera sowie eine FPV-Brille. Nach Abwägung verschiedener Optionen haben wir uns schließlich dafür entschieden, vorerst keine Kamera zu kaufen, um Kosten und Zeit zu sparen. Für die Zukunft haben wir uns jedoch für ein analoges Kamerasystem entschieden, vor allem, weil es deutlich günstiger ist als ein digitales System. Die analoge Kamera, einschließlich der VTX (Video-Transmitter) Antenne, kostet etwa 38 €, während ein digitales System, wie beispielsweise die DJI Air Unit, rund 200 € kostet.[19] [20]

Die größten Kosten entstehen jedoch bei der FPV-Brille: Während ein analoges Modell etwa 100 € kostet, müsste man für ein digitales System auf die DJI Goggles 3 zurückgreifen, die 600 bis 700 € kosten. Das bedeutet, dass wir selbst bei einer Investition von 200 € in ein hochwertiges Kamerasystem zusätzlich 600 € für die Brille ausgeben müssten, was unser Budget sprengen würde. Hinzu kommt, dass das Fliegen mit einem derart teuren digitalen System auf einer experimentellen Drohne ein Risiko darstellen würde.[21]

[19] https://oscarliang.com/fpv-system/
[20] https://www.dji.com/lu/o3-air-unit
[21] https://store.dji.com/lu/product/dji-goggles-3?_gl=1%2Au8suus%2A_up%2AMQ..%2A_ga%2AODY5NTU2OTguMTc0NjEwNTQ4NQ..%2A_ga_HXRDE344GS%2AMTc0NjEwNTQ4NC4xLjAuMTc0NjEwNTQ4NC4wLjAuMA..&vid=164811

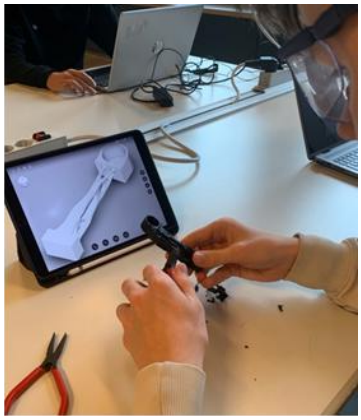
10. Schwierigkeiten bei der Wahl der Komponenten:

Während der Planung der Drohne sind wir auf einige Herausforderungen gestoßen, die wir bewältigen mussten. Besonders die Auswahl der elektronischen Komponenten erwies sich als schwierig. Unsere Excel-Tabelle war hierbei äußerst hilfreich, da sie uns ermöglicht hat, alle Komponenten inklusive der Preise und Verfügbarkeiten auf einen Blick zu erfassen.

Bei der Recherche nach geeigneten Drohnen-Bausätzen sind wir auf zahlreiche Videos und Artikel gestoßen, bei welchen wir uns informieren konnten. Allerdings waren viele davon bereits einige Jahre alt, sodass die empfohlenen Bauteile oft nicht mehr verfügbar waren. Dies stellte ein großes Problem dar, da alle Komponenten miteinander kompatibel sein müssen und es häufig keine Alternativen für fehlende Bauteile gibt.

In den wenigen Fällen, in denen wir einen vollständigen Bausatz gefunden haben, bestand die Herausforderung darin, dass diese meist ausschließlich aus China oder den USA geliefert werden, sodass diese mit monatelangen Lieferzeiten und hohen Versandkosten verbunden sind, was für uns ungeeignet ist.

11. Warum wir unsere Drohne mit 3D-Druck statt Holz oder Carbonfolie bauen:



Beim Bau unserer Drohne haben wir verschiedene Materialien verglichen und uns schließlich für den 3D-Druck entschieden. In diesem Bericht erklären wir, warum diese Methode für uns die beste Wahl ist und welche Vorteile sie gegenüber Holz oder Carbonfolie bietet.

Die Wahl des richtigen Materials ist sehr wichtig für die Konstruktion unserer Drohne, da dies die Performance beeinflusst. Nach einigen Recherchen haben wir uns jedoch für den 3D-Druck entschieden, da er einige Vorteile gegenüber den anderen Materialien wie Holz oder Carbonfolie (die von einigen Schüler der Entreprise sciences empfohlen wurde) bietet.

11.1 Designfreiheit und Komplexität

Der 3D-Druck ermöglicht es uns, komplexere Strukturen zu modellieren, die mit Holz oder Carbonfolie nur schwer oder gar nicht umsetzbar wären, da diese aus dünnen Platten ausgefräst werde, während bei dem 3D-Druck Plastik aufeinander geschichtet werden, was uns erlaubt 3d Formen mit nur wenigen Imitationen herzustellen. So können wir aerodynamischere Komponenten modellieren und passgenaue Halterungen für die Elektronik direkt in unser Design integrieren.

11.2 Optimales Verhältnis von Gewicht und Stabilität

Gewicht ist ein entscheidender Faktor für die Flugeffizienz einer Drohne. Holz ist zwar sehr kostengünstig und kann mit hoher Präzision gefräst werden, jedoch ist Holz, wie Carbonfolie, nur schwierig anpassbar und eignet sich somit nicht für komplexere Strukturen. Mit dem 3D-Druck hingegen können wir leichte, aber dennoch stabile Bauteile herstellen. Durch den gezielten Einsatz von Füllmustern und Verstärkungsstrukturen können wir das Gewicht weiter optimieren, ohne die Stabilität zu beeinträchtigen.

11.3 Materialvielfalt für spezifische Anforderungen

Mit 3D-Druck stehen uns verschiedene Filamente zur Verfügung, darunter robuste Materialien wie PETG, ABS oder sogar carbonfaserverstärkte Kunststoffe, welche sich jedoch nur schwer drucken lassen. Diese Materialien sind widerstandsfähiger gegenüber Stößen, Temperaturveränderungen und Feuchtigkeit als Holz oder Carbonfolie, die unter bestimmten Bedingungen spröde oder empfindlich sein können.

11.4 Kosteneffizienz und schnelle Herstellung

Der 3D-Druck erlaubt uns, Bauteile direkt aus digitalen Modellen herzustellen, ohne aufwendige Werkzeuge zu benötigen. Im Vergleich zur Bearbeitung von Holz oder der Laminierung von Carbonfolie sparen wir Zeit und Materialkosten. Zudem können wir Prototypen schnell anpassen und neue Teile kostengünstig nachproduzieren, falls Änderungen erforderlich sind.

11.5 Einfache Reparatur und Weiterentwicklung

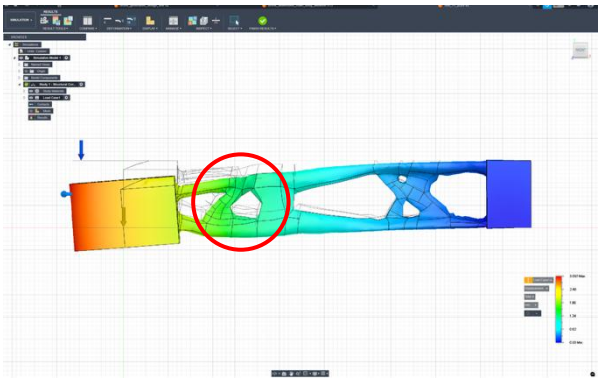
Ein weiterer Vorteil des 3D-Drucks ist die Möglichkeit, beschädigte oder optimierungsbedürftige Teile schnell und einfach nachzudrucken. Während Holz- oder Carbonfolienkonstruktionen oft komplizierter sind um zu reparieren, können wir defekte Bauteile unkompliziert durch einfache Steckverbindungen ersetzen. Dies macht unsere Drohne nicht nur langlebiger, sondern erleichtert auch zukünftige Weiterentwicklungen.

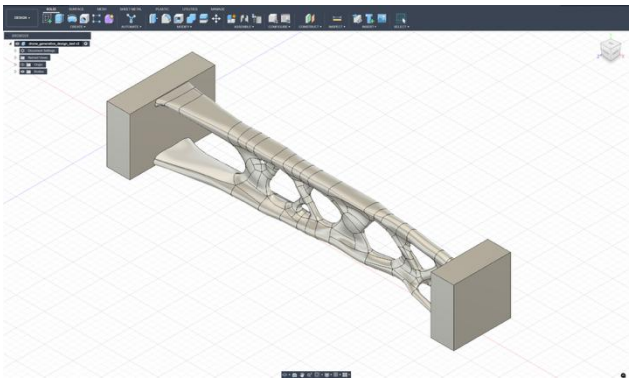
11.6 Fazit

Der 3D-Druck bietet uns die ideale Kombination aus Designfreiheit, Stabilität, Leichtigkeit und Effizienz. Im Vergleich zu Holz oder Carbonfolie ermöglicht er uns, eine präzise, aerodynamische und anpassungsfähige Drohne zu entwickeln, die sowohl kosteneffizient als auch leicht reparierbar ist. Durch die Möglichkeit, verschiedene Materialien einzusetzen, können wir verschiedene Optionen testen, um optimale Flugperformance zu erhalten. Diese Vorteile machen den 3D-Druck zur besten Wahl für unser Projekt

12. Design der Drohne

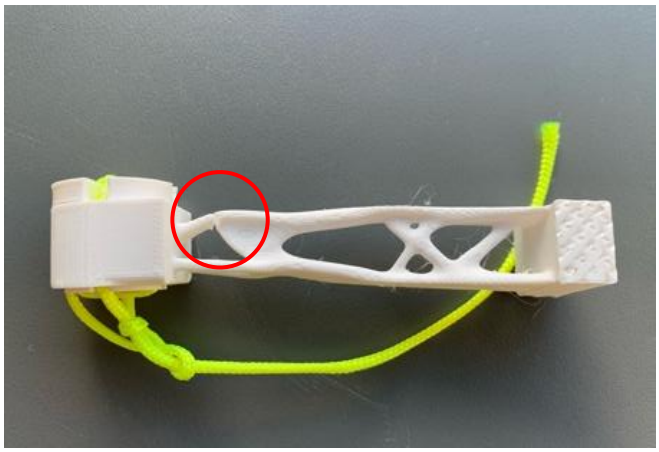
Nachdem wir die Elektronik einer Drohne recherchiert und uns auf unsere Komponente geeinigt haben, haben wir angefangen den Rahmen der Drohne zu designen. Hierzu nutzen wir das CAD Programm Fusion 360. Dieses Programm funktioniert in dem man eine 2D Skizze anfertigt, welche man dann “extrudiert“, also in die dritte Dimension bringt. In dieser Art und Weise, haben wir alle Bauteile der Drohne einmal in dem Programm einzeln und größengetreu modelliert. Diese 3D Modelle haben wir dann in einer Datei zusammengefügt, sodass wir mit den Passmaßen experimentieren konnten, um die optimale Position der Bauteile zu ermitteln. Dies hat uns auch geholfen, um eine räumliche Vorstellung der Drohne zu bekommen, ohne die Bauteile bestellen zu müssen. In dem CAD Programm haben wir außerdem Simulationen zur Stärke der Drohne durchgeführt.

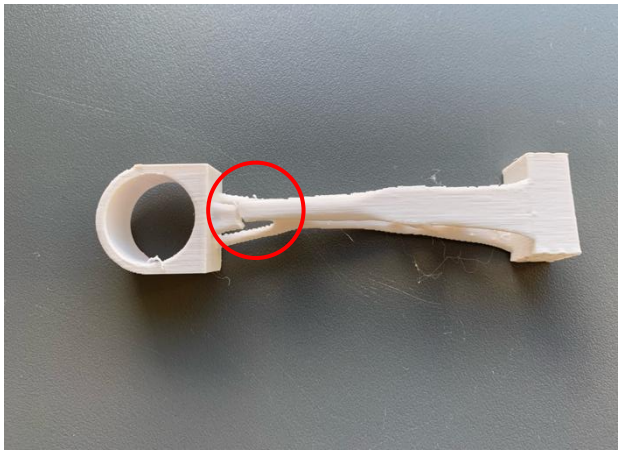




In dieser Simulation sieht man wie sich der Arm der Drohne bei einer Belastung von 10 Newton verhält. Neben der linearen Kraft haben wir auch eine Rotationskraft mit einberechnet. Man kann gut erkennen, dass auf dem Punkt, der am weitesten von der Drohne entfernt ist, die höchste Kraft wirkt, da hier die Motoren befestigt sind. Man kann außerdem sehen, dass sich der Arm verbiegt, dies liegt aber noch in einem tolerablen Bereich, da dieser Flex nicht zu einem Bruch führt. Die Kraft wird gleichmäßig verteilt. Falls es zu einem Bruch kommen würde, wäre der umkreiste Teil wahrscheinlich die Bruchstelle. Wir wollten überprüfen, wie realistisch diese Simulation ist, deshalb haben wir ein praktisches Experiment durchgeführt. Hierfür

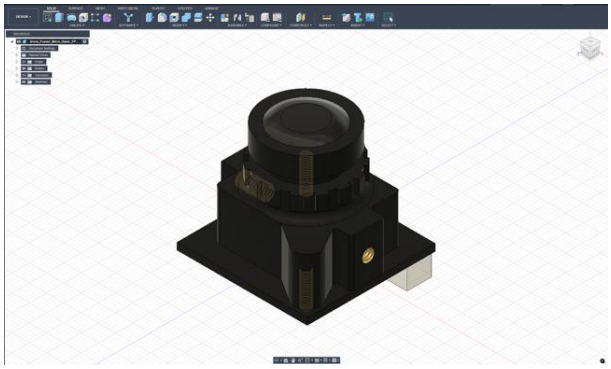
haben wir ein Prototyp des Arms 3D-gedruckt und diesen anschließen in einen Schraubstock eingespannt. Anschließend haben wir Gewichte mit einem Seil an den Arm gehängt. Wir haben das Gewicht langsam erhöht, bis der Arm gebrochen ist.

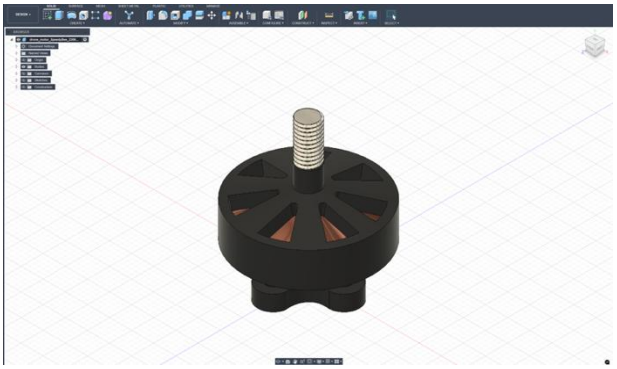




Nach dem Experiment haben wir uns die Bruchstelle genauer angeschaut, wobei uns aufgefallen ist, dass wir mit unserer Annahme korrekt waren. Wir haben auch gemerkt, dass sich der Arm mehr verdreht hat als erwartet. Bei der überprüfung unserer Simulation ist unsaufgefallen, dass wir vergessen hatten die Kraft auf der X Achse anzugeben, sodass diese zu schwach gedruckt wurde.

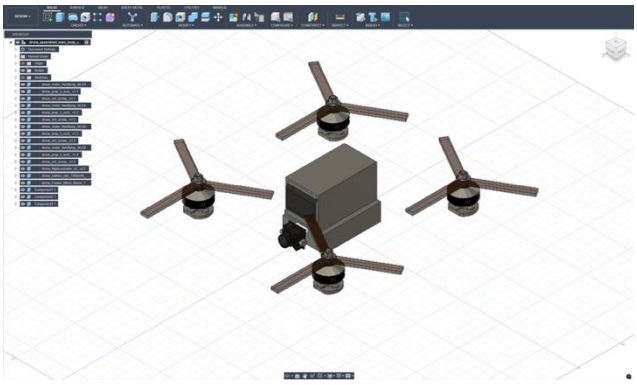
Dieses Experiment hat gezeigt, dass Simulationen zwar eine gute Vorstellung von den wirkenden Kräften vermitteln können, jedoch nicht immer realitätsgetreu sind. Daher ist eine ausgewogene Kombination aus Simulationen und praktischen Tests wichtig.

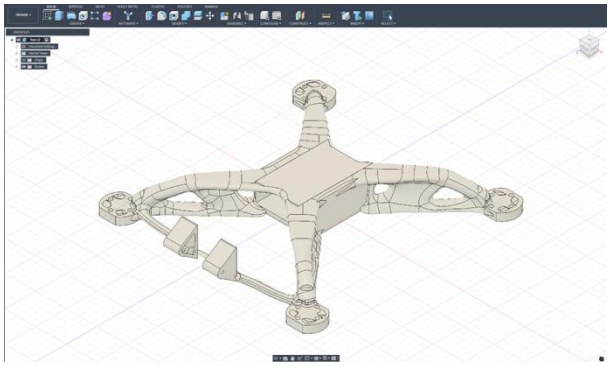




Hier ist sind als Beispiel zwei Komponenten der Drohne. Auf dem ersten Bild ist die FPV Kamera zu sehen, auf dem zweiten der Motor.

In diesem Modell sind alle Komponenten der Drohne aufgebaut, wie sie in wirklichkeit auch wären. Hier fehlt allerdings der Rahmen, da wir dieses Modell auschließlich zur Ermittlung der Pasmaße der Komponenten benutzt haben.





Auf diesem Bild ist ein Prototyp des Ramens zu sehen. So in etwa wird der Rahmen auch bei der finalen Drohne aussehen. Man kann auch gut die organische Struktur erkennen, welche uns erlaubt, einiges an Gewicht zu sparen.

13. Fazit

Leider haben wir es nicht geschafft, die Drohne rechtzeitig fertigzustellen. Das lag vor allem an einem unzureichenden Zeitmanagement unsererseits sowie an Versandproblemen bei den bestellten Komponenten. Wir wollten den Kauf der Bauteile jedoch nicht überstürzen, um Fehler zu vermeiden und unnötige Ausgaben zu verhindern.

Diese Faktoren führten letztlich dazu, dass wir keine abschließende Antwort auf unsere anfängliche Antwort geben können, jedoch lehnen wir laut unserem aktuellen Wissensstand bei Ja. Auch unsere bisherigen Berechnungen und Teste zeigen, dass dies möglich ist. Auch wenn wir nicht fertig geworden sind, haben wir dennoch im Laufe des Projekts viel gelernt. Mittlerweile sind auch alle Komponenten angekommen, sodass wir nun die Arbeit an unserem Prototypen fortsetzen können.

Da wir unsere Arbeit nicht unvollständig abgeben wollten, haben wir uns entschieden, das Drohnenprojekt in einem größerem Kontext zu behandeln – nicht nur als praktisches, sondern auch als theoretisches Vorhaben.

Zudem war die Kommunikation im Team nicht immer einfach, was gelegentlich zu Missverständnissen geführt hat. Wir sind jedoch motiviert, weiterhin am Projekt zu arbeiten, um die Drohne in den kommenden Monaten fertigzustellen.