

# Drohnen

Paolo Tonino

4C6 Haus Larochette

Lycée Ermesinde Mersch

Tuteur

M. Vallender

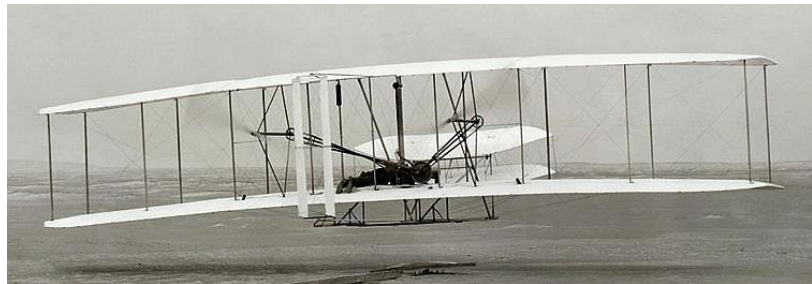
## Inhaltsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| <b>Drohnen</b> .....                                       | 1  |
| <b>1. Geschichte</b> .....                                 | 3  |
| <b>2. Klassifizierung</b> .....                            | 6  |
| UAS.....   | 6  |
| URAV .....   | 7  |
| MALE .....   | 7  |
| HALE .....   | 7  |
| UCAV / UCAS.....   | 7  |
| MAV .....  | 8  |
| • Ready-to-fly (RTF)/Commercial-off-the-shelf (COTS) ..... | 8  |
| • Almost-ready-to-fly (ARF/ARTF) .....                     | 8  |
| • From plans or scratch.....                               | 9  |
| <b>Einsatzgebiete</b> .....                                | 9  |
| 1. Film- und Fernsehproduktionen .....                     | 9  |
| 2. Forschung.....  | 10 |
| 3. Militär.....  | 11 |
| 4. Katastrophen- und Rettungshilfe.....                    | 11 |
| 5. Agrikultur .....  | 12 |
| 6. Bauwesen.....   | 13 |
| 7. Logistik .....  | 13 |
| <b>8. Drohnen Typen</b> .....                              | 14 |
| <b>9. Bau meiner eigenen Drohne</b> .....                  | 16 |
| Flight Controller .....                                    | 16 |
| Motorsteuerung.....  | 16 |
| Motoren .....  | 17 |
| Kamera .....   | 17 |
| VTX .....  | 17 |
| Fernsteuerung.....   | 17 |
| FPV-Brille.....  | 18 |
| Akku .....   | 18 |
| Zubehör.....   | 18 |
| Frame .....  | 18 |
| <b>10. Fazit</b> .....                                     | 22 |
| <b>11. Quellen</b> .....                                   | 23 |

## 1. Geschichte

Im Frühjahr 1891 begann Otto Lilienthal mit seinen ersten Flugversuchen. Diese erfolgreichen Flüge zählen heute zu den ersten wiederholbaren Gleitflügen. Sie wurden als systematische Flugversuche ausgeführt mit dem sogenannten Derwitzer Apparat und erreichten eine maximale Flugweite von 25 Metern.

Den ersten motorisierten Flug gelang den Gebrüder Wright am 17. Dezember 1903. An jenem Tag fand der Erstflug des *Flyers* statt. Die beiden Brüder flogen jeweils zwei Mal an diesem Tag, wobei ihnen einen 59 Sekunden andauernde Flug gelang,



bei welchem sie 260 Meter zurücklegten. Das benutzte Fluggerät bestand aus Holz und wurde mit Stoff bespannt. Die Flugmaschine besaß eine Spannweite von 12,3 m, war 6,4 m lang und 2,8 m hoch. Als Antrieb diente ein Vierzylinder-Viertakt-Benzinmotor, welcher zwei Luftschrauben antrieb, die in entgegengesetzte Richtungen drehten, um das Drehmoment auszugleichen. Der Pilot lag während dem Flug auf der unteren Tragfläche.

1915 konstruierte der Ingenieur Hugo Junkers das erste Ganzmetallflugzeug der Welt, die Junkers J1. Dieser Maschinentyp wird als Ganzmetallflugzeug klassifiziert und war das erste flugfähige Flugzeug in seiner Kategorie. Junkers verwirklichte zum ersten Male das Konzept eines idealen Flugzeugtragwerks: ein unverspannter, freitragender, dicker Flügel, in welchem Teile verbaut werden konnten, die keinen Auftrieb erzeugten. Das Flugzeug wurde mit einem 0,1-0,2 mm dünnen Stahlblech beplankt und wog daher 937 kg. Der Antrieb bestand aus einem 120 PS starken sechs-Zylinder welcher Wassergekühlt wurde. Hierbei verwirklichte Junker ein weiteres Konzept, der sogenannte Junkers-Düsenkühler, welcher die thermische Energie des Kühlwassers in zusätzlichen Schub umwandelte. Testflüge zeigten, dass das Konzept der Junkers J1 zwar flugfähig war, aber trotzdem verbesserungsfähig war. Das Flugzeug erreichte während einem 7 km langem Testflug eine Höchstgeschwindigkeit von 170km/h. Da die Steigzeit auf 2000 m 32 Minuten betrug musste die J1 weiterentwickelt werden. Eines der größten Probleme der J1 war der schwache Motor, weshalb die Aufstiegszeit inakzeptabel lang war.

Die deutsche Luftfahrtindustrie erlebte von 1914 bis 1918 einen erheblichen wirtschaftlichen und technologischen Aufschwung, welcher teilweise durch den 1. Weltkrieg bedingt war. Daraus folgend wuchs die Zahl der Flugzeugfabriken während des Weltkrieges von 14 auf ganze 60 Werke. Dabei wurde die Lieferkapazität von 60 Flugzeugen pro Monat auf ganze 2500 Flugzeuge pro Monat gesteigert. In Deutschland

wurden in der Kriegszeit rund 47.000 Flugzeuge und 40.449 Flugzeugmotoren produziert. Im ersten Weltkrieg gab es zwei große Flugzeugkategorien: die Jäger und die Aufklärer. Letztere waren, wie ihre Bezeichnung es sagt, in erster Linie gedacht um gegnerische Truppenstandorte, Flottenverbände oder Militärbasen ausfindig zu machen. Die Jäger waren die Gegenmaßnahme gegen feindliche Aufklärer, die als Schutz der Bodentruppen und Aufklärer eingesetzt wurden, wobei sie eigentlich dazu dienten gegnerische Aufklärer abzuschießen. Außerdem versuchte die Luftwaffe gegnerische Transportwege, wie z.B. Bahnhöfe oder Eisenbahnstrecken zu zerstören. Dazu wurden die Flugzeuge mit Waffen ausgestattet und es kam zu den ersten Luftschlachten der Geschichte.

In den Jahren nach dem 1. Weltkrieg beginnt die deutsche Luft-Reederei (DLR) wird als weltweit erste Fluggesellschaft für den zivilen Luftverkehr vom Reichsluftamt zugelassen. Ab diesem Zeitpunkt begann ein regelmäßiger Post- und Passagierverkehr zwischen Berlin und Weimar. Fünf Jahre danach wurde die erste Flugschule Deutschlands in Fulda eröffnet. 1926 konnte die erste Flugverbindung nach Südostasien durch die Lufthansa hergestellt werden. Diese flog mit zwei Junkers G24 in zehn Flugetappen nach Peking.

Im Jahre 1939 endete die Ära der Propellerflugzeuge mit dem HE 178, das erste Düsenflugzeug der Welt ist. Die HE 178 war ein Versuchsflugzeug der Ernst Heinkel Flugzeugwerke und wurde von dem Physiker Hans Ohain gemeinsam mit dem Ingenieur Ernst Heinkel entwickelt und gebaut. Der Erstflug wurde wenige Tage vor dem 2. Weltkrieg, am 27. August 1939 in Rostock-Marienehe durchgeführt und dauerte rund 8 Minuten.

Als der zweite Weltkrieg kam, waren die Flugzeuge viel weiterentwickelt als noch im ersten Weltkrieg. Dadurch spielten sie eine sehr wichtige Rolle im Krieg. Die Blitzkriege der Deutschen waren nur erfolgreich durch die Unterstützung aus der Luft. Durch den zweiten Weltkrieg wurden enorme Fortschritte in der Luftfahrt erzielt, wie z.B. die Messerschmitt ME 163 „Komet“ welche als erstes Flugzeug die 1000 km/h Marke erreichte.

Der erste praktisch einsetzbare Hubschrauber der Welt bauten die beiden Franzosen Louis Breguet und Rene Dorand. Dieser Versuchshubschrauber bestand aus einem offenen Stahlrohrrahmen, in welchem der Motor, Tank und Pilot untergebracht waren. Dieser Rahmen wurde ergänzt durch einen Heckausleger auf welchem ein Sperrholz-Leitwerk angebracht war. Das Landegestell war an breiten Auslegern montiert, neben dem Heckrad gab es zusätzlich vorne ein kleines Rad, um ein Aufsetzen bei der Landung zu vermeiden. Ein 240 PS starken Sternmotor trieb über ein Getriebe zwei gegenläufige Rotoren an. Der Erstflug fand, durch einen Unfall um zwei Jahre verspätet, am 26. Juni 1935 erfolgreich statt. Innerhalb kurzer Zeit erreichte der Pilot Maurice Claisse eine Reihe von Rekorden, wie z.B. einen Dauerflug, welcher über eine Stunde dauerte, und einen Geschwindigkeitsrekord, während welchem der Hubschrauber eine Höchstgeschwindigkeit von 120km/h erreichte.

Die Focke-Wulf FW 61 war ein Versuchshubschrauber, welcher von Henrich Focke entworfen wurde. Das von ihm und Georg Wulf gegründete Unternehmen *Focke-Wulf*

*Flugzeugbau AG* baute in den Jahren 1935 und 1936 zwei Exemplare der Fw 61. Die beiden Versuchshubschrauber erwiesen sich schnell als die ersten gebrauchsfähigen Hubschrauber der Welt. Der Hubschrauber wurde wegen der Einfachheit basierend auf den Rumpf einer Fw 44 Stieglitz, ein zweisitziger Doppeldecker von Focke-Wulf, gebaut.

Ursprünglich benutzte man unbemannte Fluggeräte um ihre Flugtauglichkeit zu testen, z.B. in den ersten Heißluftballons (Montgolfière) oder in den Gleitapparaten der Gebrüder Wright. Aber bereits im 19. Jahrhundert setzte man nur noch unbemannte Wetterballons zur Atmosphären- und Klimaforschung ein. Ab 1914 begann die Entwicklung von Autopilotensystemen, welche die Konstruktion von unbemannt einsetzbaren Fluggeräten insbesondere Flugzeuge ermöglicht hat. Die ersten Systeme, welche als "Autopilot" bezeichnet wurden, waren für die Schifffahrt konzipiert. Sie benutzten einen sogenannten Kreiselkompass, um eine verlässliche Referenz des Kurses zu erhalten. Da Schiffe aus Stahl gebaut wurden, konnte man normale Ferrit-basierte Kompassse nicht als Referenz benutzen. Der Amerikaner Elmer Ambrose Sperry entwickelte das erste kreiselkompassgesteuerte automatische Steuerungssystem, welches sich schnell in der Schifffahrtsbranche durchsetzte. Dieses System war allerdings sehr groß und schwer, wodurch es sich nur in der Schifffahrt durchsetzte und für Fluggeräte untauglich war. Sperrys Sohn brachte die Erfindung seines Vaters schließlich ins Flugzeug. Am 18. Juni 1914 demonstrierte er in Frankreich das erste System, welches ein Flugboot ohne Einwirken eines Piloten im Horizontalflug stabil halten und stabilisieren konnte. Dieser Autopilot bestand aus vier getrennten Kreiseln, welche jeweils mit 7.000 Umdrehungen pro Minute rotierten. Die Kreisel waren auf die Nulllage aller Steuerflächen eingestellt und wurden mechanisch mit diesen verbunden. Dieser frühe Autopilot war schon damals in der Lage, Start und Landung ohne Einwirkung des Piloten durchzuführen.

Die britische Royal Air Force rüstete 1931 drei Flugzeuge mit Funksteuerung aus, um sie als Zieldrohnen (in der Luftfahrt bezeichnet der Begriff *Drohne* ursprünglich ein unbewaffnetes Übungsziel) für Jagdpiloten einzusetzen. Diese Übungsziele wurden immer beliebter, sodass die US-Army bis zum Ende des 2. Weltkrieges insgesamt rund 15.000 funkferngesteuerte Drohnen herstellte, als preiswertes Zielobjekt zur Ausbildung von Flugabwehr-Kanonieren. Deutschland benutzte über 100 ferngesteuerte Flugzeuge während dem 2. Weltkrieg als Zieldrohne und Aufklärer, letztere waren mit 1-2 Filmkameras ausgestattet.

In den Jahren 1973 bis 1975, nach schweren Verlusten der israelischen Luftwaffe durch Flugabwehrraketen im sogenannten Jom-Kippur-Krieg, entwickelte ein israelischer Konzern das erste sogenannte *Battlefield-UAV-System*, welches zur Kampfzonenüberwachung diente. Diese neuen unbemannten Flugzeuge sollen solche Verluste verhindern, indem sie in Echtzeit Bilder übertragen, auf denen man sieht, wo man gerade fliegt.



## 2. Klassifizierung

Der Begriff *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) kommt aus dem Englischen und bedeutet übersetzt unbemanntes Luftfahrzeug. Die neuere und kürzere Abkürzung UA steht für *Unmanned Aircraft*, oder zu Deutsch unbemanntes Flugzeug. Beide Begriffe bezeichnen jedoch die gleiche Kategorie an Flugapparaten.

### UAS

Die Abkürzung UAS bedeutet *Unmanned Aircraft System*. Übersetzt bezeichnet diese Abkürzung ein unbemanntes Luftfahrzeugsystem. Diese Klassifikation beinhaltet das unbemannte Flugzeug und alle dazugehörigen Systeme, wie z.B. Steuerelemente des Luftfahrzeugs oder Bodenstationen, welche das Flugzeug leiten und überwachen. Diese Klasse soll auf die Wichtigkeit aller, zu einem UAV dazugehörigen Systeme hinweisen.

## URAV



Als *Unmanned Reconnaissance Aerial Vehicle* werden Aufklärungsdrohnen beziehungsweise aufklärende UAVs bezeichnet. Die Reichweite dieser Drohnen kann mit derer von Verkehrsflugzeugen verglichen werden. Für Aufklärungsdrohnen, die über 10 km Höhe fliegen, gibt es zwei Kategorien, basierend auf der Einsatzhöhe.

### MALE

Ein UAV, welches als MALE (*Medium altitude long endurance*) bezeichnet wird, ist ein unbemanntes Flugzeug, welches in einer mittleren Höhe, von etwa 10 bis 15 km fliegt. Außerdem besitzt es eine lange Ausdauer, denn ein solches Flugzeug kann ein bis zwei Tage in der Luft bleiben.

### HALE

UAVs die in die *High altitude long endurance* Kategorie fallen, besitzen eine lange Ausdauer, genauso wie ein UAV der Klasse MALE. Beide Kategorien unterscheiden sich jedoch in der Flughöhe der UAVs. Ein HALE UAV kann noch in einer Höhe von über 20 km fliegen.

## UCAV / UCAS

Die Bezeichnungen *Unmanned Combat Aerial Vehicle* (UCAV) oder *Unmanned Combat Aerial System* (UCAS) beschreiben unbemannte Flugzeuge, welche bewaffnet sind. Diese Flugzeuge werden allgemein auch als Kampfdrohnen bezeichnet. In militärischen Konflikten kommen diese Waffensysteme immer öfter zum Einsatz, als Mittel zur Bekämpfung von Zielen.

## MAV

*Micro Aerial Vehicles* sind Kleindrohnen, welche sich durch ihre geringe Größe, geringe Fluggeschwindigkeit und geringes Gewicht auszeichnen. Sie besitzen genügend Tragkraft, um Bildaufzeichnungsgeräte oder diverse Sensoren zu transportieren. Diese Kleindrohnen verfügen über einen Aktionsradius von einigen Kilometern und werden vor allem für die nachrichtendienstliche und militärische Aufklärungszwecke benutzt, da sie durch ihre kleine Größe schwer zu entdecken sind. Zivile Anwendungen von MAVs werden aufgrund ihrer Größe, ihres Anschaffungspreises und der Verfügbarkeit von Akkus mit einer hohen Energiedichte immer attraktiver. Sie werden vermehrt zur zivilen Sicherheit eingesetzt, wie z.B. im Polizeibereich und bei Feuerwehreinsätzen. Drohnen, die für den Hobbybedarf bestimmt sind, fallen auch unter diese Kategorie. Hierbei kann man zusätzlich folgende Kategorien unterscheiden:



- **Ready-to-fly (RTF)/Commercial-off-the-shelf (COTS)**  
Diese Drohnen sind sofort nach dem Erwerb flugbereit. Bei diesen Produkten werden alle benötigten Teile mitgeliefert und größtenteils fertig verbaut. Oftmals muss man nur noch vereinzelt Teile befestigen, wie z.B. eine Antenne an der Funkfernbedienung. Diese Schritte erfordern keine Erfahrung und sind in wenigen Minuten erledigt. Ein Nachteil dieser Produkte ist der Mangel an Konfigurationsoptionen.

### *Bind-and-fly (BNF)*

BNF-Drohnen werden wie die RTF-Drohnen komplett oder fast flugbereit angeliefert. Der einzige Unterschied besteht darin, dass bei diesen Produkten kein Funksender mitgeliefert wird. Dadurch muss man schon im Voraus im Besitz einer Funkfernsteuerung sein. Dies erleichtert das Wechseln zwischen Flugzeugen, da man nur das Fluggerät wechselt und sich nicht an eine andere Bedienung umgewöhnen muss.

- **Almost-ready-to-fly (ARF/ARTF)**  
Als Almost ready to fly werden Drohnen bezeichnet, bei welchen noch die Endmontage verschiedener Teile erforderlich ist, wie zum Beispiel Motoren, Geschwindigkeitsregler, Akkus, usw. Verschiedene Produkte sind als kompletter Bausatz zu erhalten, bei welchem man alle Teile auf den Rahmen montieren muss und zudem selbst alle Verbindungen löten muss. Diese Kits sind speziell geeignet für Personen, die lieber selbst die Drohne zusammenbauen möchten, aber nicht stundenlang jede einzelne Komponente aussuchen möchten. Der Vorteil bei diesen ARF-Produkten liegt darin, dass der Hersteller schon alle Bauteile



ausgewählt hat, sodass man sofort mit dem Bau der Drohne beginnen kann. In den meisten Fällen werden diese Drohnen ohne Funkfernsteuerung geliefert.

- **From plans or scratch**

Erfahrene Drohnenkonstrukteure bevorzugen meistens diese Drohnenklasse, da man hierbei alles selbst auswählen kann. Anders als die anderen Gattungen bezeichnet diese Kategorie nicht ein fertiges Produkt, sondern eine Bauweise. Bei diesen Drohnen wählt der Benutzer alle Bauteile entsprechend seiner eigenen Bedürfnisse selbst aus und muss auch selbst Sorge tragen für die Kompatibilität der verschiedenen Bauteile. Der Nutzer muss für den Bau der Drohne alle benötigten Teile selbst kaufen, oder diese schon im Voraus besitzen. Der klare Vorteil dieser Drohnen ist die genau Anpassung an die benutzerspezifischen Anforderungen, welche nicht annähernd erreicht werden können mit einem vorgefertigten Set in dem alle benötigten Teile enthalten sind. In den meisten Fällen werden diese Drohnen ohne Pläne oder Bauanleitungen konstruiert, da es zu viele Kombinationen aus Bauteilen gibt. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass man die Drohne einfacher reparieren kann, einerseits da man sie selbst konstruiert hat und dadurch bestens über alles Bescheid weiß. Andererseits sind fertige Drohnen oft sehr schwer reparierbar, da man oft nicht weiß wie sie gebaut wurden und oft wurden Elektronikbauteile verbaut, die als normaler Kunde nur schwer erhältlich sind.

## Einsatzgebiete

Unbemannte Luftfahrzeuge eröffnen dem Benutzer viele neue Möglichkeiten, da sie in vielen Bereichen eingesetzt werden können. Hauptsächlich in der gewerblichen und wissenschaftlichen Branche kommen die Fluggeräte immer öfter zum Einsatz. Hier besteht die momentane Hauptaufgabe der Drohnen ganz klar in der Bildübertragung, sei es zur Inspektion von Baustellen oder der Dokumentation für Film- und Fernsehproduktionen. Drohnen können in zahlreichen Gebieten eingesetzt werden, da es sie in allen Größen und Bauformen gibt und daher äußerst gut an die jeweilige Verwendung angepasst werden können. Des Weiteren sind diese Fluggeräte oft sehr klein und leicht im Vergleich zu konventionellen Flugzeugen und Hubschraubern, dies ermöglicht ihnen, in dicht bebauten Gebieten zu fliegen und auch sehr nahe an Objekte heranzufiegen, da sie viel präziser fliegen können und auch wendiger sind.

### 1. Film- und Fernsehproduktionen

Durch den technologischen Fortschritt kommen Drohnen in der Film- und Fernsehproduktion vermehrt zum Einsatz, da sie atemberaubende Luftaufnahmen liefern können. Hier lösen sie immer öfter Flugzeuge und Helikopter ab, welche bisher benutzt wurden, um an Aufnahmen aus der Luft zu gelangen. Der Durchbruch der Drohnen in der

Filmindustrie kam dadurch, dass die Technik immer billiger wurde und die Filmkameras so klein und leicht wurden, dass sie sich dazu eigneten an Drohnen angebracht zu werden. Die ersten Drohnen waren noch zu klein und zu schwach, um normale Filmkameras in die Höhe zu heben. Darum dauerte es bis 2012 bis die erste professionelle Drohne auf dem Markt erschien. Bis dahin gab es keinen Bedarf an professionellen Drohnen, da die Bildqualität kleiner Kameras noch zu schlecht war. Erst mit der Erscheinung von Action-Camcordern welche über eine hohe Videoqualität verfügten, kamen auch vermehrt Drohnen auf den Markt, welche an professionelle Benutzer gerichtet sind. Dies waren meist Quadrocopter an welche man ein Action-Camcorder mittels einer Halterung anbringen kann. Diese Halterung wird an vorgesehenen Stellen an der Drohne fixiert. Mit der Einführung von sogenannten Gimbals (zu Deutsch: kardanische Aufhängung), die gleichzeitig als Stabilisator und zur Steuerung der Position der Kamera dienen, wurden Filmdrohnen sehr beliebt



in der Film- und Fernsehproduktion. Die unbemannte Luftfahrssysteme unterstützen mittlerweile Echtzeit Videoübertragungen mit einer Auflösung von bis zu 4K (4096 x 2160P). Dies erleichtert dem Piloten das Fliegen, da er direkt sehen kann, was er filmt. Es ermöglicht auch der Film-Crew die Drohne aus einer weiten Entfernung zu steuern, was vorher nicht möglich war, da man immer Augenkontakt zu der Drohne behalten musste. Ein weiterer Vorteil von Drohnen ist die Agilität und die Gesetze. Da Drohnen so klein sind, können sie von fast überall abheben und an Orte fliegen, an welche man mit konventionellen Mitteln nicht käme. Des Weiteren gibt es für Drohnen keine so starken Begrenzungen wie für Flugzeuge und Hubschrauber. In den USA dürfen Flugzeuge z.B. über bewohnten Gebieten nicht unter einer Höhe von 1000 Fuß ( $\approx 304$  m) fliegen.

## 2. Forschung

Drohnen bilden auch in der Forschung ein sehr nützliches Hilfsmittel für Forscher. Einer der Hauptvorteile von unbemannten Luftfahrzeugen sind die geringen Risiken für den Piloten und die Wissenschaftler. Denn Drohnen können an Orte fliegen, die zu gefährlich für den Mensch wären, wie z.B. verseuchte Orte, Stürme und Orkane oder extreme Kälte oder Hitze. In den meisten Fällen werden Drohnen benutzt, um Messungen in der Atmosphäre durchzuführen, wie z.B. Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder Luftverschmutzung. Drohnen ersetzen bei diesen Messungen immer öfter teure Forschungsballons, welche jeweils nur einmal benutzt werden können.

Des Weiteren werden Drohnen in Naturreservaten eingesetzt zur Überwachung von Wildtieren. In Kombination mit Satellitenbildern, werden mithilfe von Drohnen die Wildtiere observiert und verfolgt. Zudem werden mit unbemannten Luftgeräten die Tiere

markiert und Proben gesammelt. Diese Aufgaben werden durch den Klimawandel immer relevanter, da dieser einen sehr großen Impact auf die Gesundheit der gesamten Tierwelt ausübt. Die Standortverfolgung von Tieren erlaubt es Forschern auch Krankheiten nachzuverfolgen. Hierfür werden oft Wärmebildkameras an Drohnen montiert, mit welchen man die Tiere aufspüren kann.

Ein weiterer Bereich in welchem sich der Einsatz von Drohnen lohnt ist die Wettervorhersage. Momentan werden Daten über das Wetter nur über stationäre Vorrichtungen und durch Satelliten gesammelt. Drohnen hingegen können z.B. Wetterformationen konstant folgen, was die Genauigkeit und die Zuverlässigkeit von Wettervorhersagen um einiges verbessert.

### 3. Militär

Schon seit Jahrzehnten werden unbemannte Luftfahrzeuge für militärische Zwecke



verwendet, jedoch kommen in den letzten Jahren immer mehr kleine Drohnen zum Einsatz. Durch ihre hohe Tragbarkeit werden diese Drohnen hauptsächlich von Bodentruppen benutzt für Überwachungs- und Aufklärungszwecke. Diese Drohnen kommen mittlerweile auf regulärer Basis zum Einsatz, was unter anderem durch die Erhöhung des Budgets für solche Fluggeräte ermöglicht wird.

Unbemannte Luftfahrzeuge werden auch für Minenräumungen eingesetzt. Wie bei vielen anderen Applikationen ist es von Vorteil, dass man die Drohnen aus der Distanz steuern kann, sodass sich kein Mensch in die Gefahrenzone begeben muss. Für die Räumung der Minen erschafft die Drohne als erstes eine drei dimensionale Karte durch 3D Kameras und GPS. Anschließend wird ein, an einem ausfahrbaren Arm montierten, Metalldetektor benutzt um die genaue Position der Landminen zu erkunden. Nachdem die Position der Mine erfasst wurde, wird mithilfe eines Roboterarmes ein Detonator auf die Landmine platziert, um so die Mine aus einer sicheren Distanz detonieren zu können.

### 4. Katastrophen- und Rettungshilfe

Drohnen, ausgestattet mit Wärmebildkameras, haben in den letzten Jahren immer öfter ihre Nützlichkeit bewiesen. Am Häufigsten werden diese unbemannten Drohnen bei Waldbränden eingesetzt, bei welchen sie mit Hilfe der Wärmebildkameras den Hotspot des Feuers finden können und somit die Löscharbeiten effizienter und schneller voranschreiten können. Die Wärmebildkameras können aber auch für erst kürzlich

entflammte Waldbrände eingesetzt werden, welche sich erst über den Boden verbreiten und so nicht mit einer normalen Kamera aus der Luft erfasst werden können. Hierbei kann die Drohne schon nach 3 Minuten einen neuen Brand erfassen, was sehr viel bei der Bekämpfung von Bränden hilft.

Des Weiteren können Drohnen, welche mit Wärmebildkameras ausgestattet sind, das Suchen von vermissten Personen erleichtern. Denn Wärmebildkameras können sehr leicht Spuren von Menschen und Tieren erfassen, welche für das Auge nur schwer erkennbar sind. Anschließend können die Drohnen erste Hilfe leisten, indem sie z.B. Nahrung oder Wasser zum Opfer bringen, oder andere Utensilien wie Seile oder Verbände.

An einer niederländischen Universität wird momentan eine sogenannte Krankenwagen-Drohne entwickelt, welche Defibrillatoren in Notfällen in nur kürzester Zeit sofort zum Patienten fliegen und so viel schneller reagieren können wie normale Krankenwagen. Diese Drohne besitzt auch eine Funksprechanlage, um die Anleitungen von medizinischem Personal weiterzuleiten.

## 5. Agrikultur

In der Agrikultur werden unbemannte Fluggeräte sehr viel für die Überwachung eingesetzt, denn durch die Vogelperspektive kann man jegliche Dinge observieren. Hierzu zählt das Viehzählen, das Kontrollieren des Wasserstands und der Bewässerungsanlagen, den Fortschritt der Pflanzen sowie ihre Qualität, sämtliche Messungen wie Stickstoffgehalt und die Gesundheit der Pflanzen und vieles mehr. Der Einsatz von Drohnen für diese Aufgaben birgt den Vorteil, dass der Bauer nicht an Ort und Stelle vorhanden sein muss, um diese Arbeiten zu erledigen. Dies ermöglicht es auch die Inspektionen schneller durchzuführen, da Drohnen viel schneller Orte wechseln können als es z.B. in einem PKW möglich ist.

Abgesehen von Überwachungsdrohnen werden unbemannte Fluggeräte auch für die



Verteilung von Pestiziden eingesetzt. Drohnen sind für diese Aufgabe konventionellen Methoden überlegen, da sie schneller und effizienter die Pestiziden verteilen können. Dies erspart viel Zeit und erniedrigt die verwendete Menge an Pestiziden.

## 6. Bauwesen

Ähnlich wie in den meisten anderen Anwendungsbereichen werden Drohnen, welche mit Kameras ausgestattet sind, vermehrt eingesetzt, wenn es ums Bauen geht. Drohnen werden beim Bau von Infrastrukturen hauptsächlich zur Begutachtung und zur Überwachung des Baufortschrittes benutzt. Des Weiteren können Problemstellen durch Kamerainspektionen frühzeitig erkannt werden, dabei werden späte Nachbesserungen vermieden. Auch für die Baustellensicherheit können Drohnen als effektives und schnelles Mittel eingesetzt werden, um z.B. zu überprüfen ob überall Schutzgeländer errichtet worden sind.

An Baustellen mit größeren Ausmaßen wie z.B. eine Autobahn kommen Drohnen immer häufiger zum Einsatz, um die Baustelle zu vermessen. Ausgestattet mit modernen Kamera- und Lasersystemen können Drohnen so komplexe 3D Karten und Satellitenbilder in nur wenigen Minuten erzeugen. Da die Drohnen autonom vorher angegebene Routen abfliegen können, kann der Prozess das Kartografieren und Aufmessen von Baustellen noch effektiver und einfacher gestaltet werden. Die von der Drohne erstellte 3D-Punktewolke kann dann am PC in 3D-Geländemodelle umgewandelt werden, an denen man zu jeder Zeit jeden Punkt vermessen kann. Dies steigert die Effektivität der Bauplanung erheblich, da man z.B. das exakte Volumen des zu befördernden Erdreichs berechnen kann und dementsprechend der Transport besser geleitet werden kann.

Durch Multicopter können auch Wartungsinspektionen durchgeführt werden. Besonders an hohen oder nur schwer zugänglichen Infrastrukturen können Drohnen einen einfacheren und schnelleren Dienst leisten als konventionelle Methoden. Dies ist dadurch bedingt, dass für solche Arbeiten üblicherweise Hebebühnen oder Baugerüste zum Einsatz kommen. Des Weiteren besitzen Multicopter den Vorteil, dass man keine Menschen in Gefahr bringen muss, um die Inspektion durchzuführen.

Auch in der Archäologie finden Drohnen immer mehr Nutzen. Die kleinen Fluggeräte können hierbei Bestandsaufnahmen deutlich beschleunigen. Die Drohnen liefern bei diesen Arbeiten 3D Modelle der ausgegrabenen Stätten und können Fotos aus nur ein paar Metern Höhe anfertigen um so einzelne Räume zu fotografieren. Aus einer Höhe von hundert Metern ergeben sich Bilder über ganze Häuser und aus ein paar Kilometern Höhe ermöglicht die Drohne es ein Panoramabilder eines ganzen Tales zu produzieren.

## 7. Logistik

Im Bereich der Nahbereich-Logistik wird die Idee, Drohnen als Transportmittel für Güter vermehrt getestet. Die von den Multicoptern transportierten Gütern reichen von Lebensmittel über Post bis hin zu Medikamenten. Diese Art von Versand eignet sich jedoch nur für kleine Distanzen, wie z.B. innerhalb von Großstädten und ihren Vororten.

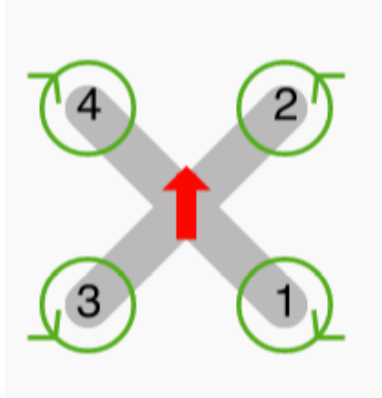
Die Drohnen leisten hierbei eine effektivere Weise, um die Pakete auszuliefern, da sie erstens hohe Geschwindigkeiten aufrechterhalten können, und zweitens der Luftlinie folgen können und nicht durch den Straßenverkehr ausgebremst werden.

Fakt ist, dass Drohnen in vielen unterschiedlichen Bereichen zum Einsatz kommen, wie zum Beispiel der zivile, kommerzielle oder militärische Einsatz. Heutzutage ist der Einsatz von Drohnen dennoch sehr limitiert, da diese Technologie noch recht unbekannt und unverbreitet ist. In den kommenden Jahren werden sicherlich auf verschiedenen Ebenen Möglichkeiten gefunden, um Drohnen hilfreich einsetzen zu können.

## 8. Drohnen Typen

Im Bereich der Drohnen, die für Konsumenten bestimmt sind, gibt es starke Variationen zwischen den verschiedenen Modellen. Diese Vielfältigkeit entsteht durch die Diversität der Verwendungen von Drohnen im privaten Bereich: manche benutzen sie als für Luftaufnahmen und andere in Sportarten wie z.B. Drohnenrennen. Auch wenn die Mehrheit der Drohnen sich vom Aufbau her ähneln, unterscheiden sie sich jedoch deutlich von der Auswahl der Komponenten.

Die Mehrheit der Drohnen, die an Konsumenten gerichtet sind, sind Quadrocopter und wiegen weniger als ein Kilogramm. Der Begriff Quadrocopter bezeichnet ein Luftfahrzeug, welches vier in einer Ebene angeordnete, senkrecht nach unten wirkende Rotoren benutzt. Die Rotoren, welche für den Auftrieb sorgen können durch Neigung der Rotorebene Vortrieb erzeugen. Bei modernen Drohnen werden die Propeller direkt über einen bürstenlosen Elektromotor angetrieben. Da diese Motoren keine Gleichstrommotoren sind, benötigt es eine Motorsteuerung, die den Gleichstrom der Batterie in 3-Phasen Wechselstrom umwandelt. Da die Bewegungen der Drohne komplette auf der Geschwindigkeit der Motoren angewiesen sind, regelt diese Steuerung regelt auch die Drehzahl des Motors. Angesteuert werden die Motoren von dem sogenannten Flight Controller (Flugregelung), dessen Hauptaufgabe darin besteht alle Motoren zu steuern, basierend auf einem Eingang. Diese Eingänge können z.B. Bewegungsbefehle des Piloten sein, oder Neigungskorrekturen, basierend auf den Neigungswerten, die durch ein Gyrometer ermittelt werden.

| Typische X-Konfiguration der Arme   | steigen                                 | sinken                                   | Hochachse Uhrzeigersinn drehen          | Hochachse gegen Uhrzeigersinn drehen             |
|---|---|--|---|--|
|  | Drehzahl 1;2;3;4 proportional erhöhen   | Drehzahl 1;2;3;4 proportional verringern | Drehzahl 2;3 erhöhen und 1;4 verringern | Drehzahl 1;4 erhöhen und Drehzahl 2;3 verringern |
|   | <b>Querachse vorne neigen</b>           | <b>Querachse hinten neigen</b>           | <b>Längsachse rechts rollen</b>         | <b>Querachse links rollen</b>                    |
|   | Drehzahl 1;3 erhöhen und 2;4 verringern | Drehzahl 2;4 erhöhen und 1;3 verringern  | Drehzahl 3;4 erhöhen und 1;2 verringern | Drehzahl 1;2 erhöhen und 3;4 verringern          |

Der Flight Controller verbindet anbei jedes elektronisches Bauteil einer Drohne miteinander, hierzu zählen: Radiosender, Kamera, Videosender, u.v.m.. Diese Bauteile variieren jedoch stark mit dem Anwendungsgebiet. Drohnen, die für die Luftfotografie konzipiert sind, besitzen abgesehen von guten Kameras z.B. oftmals ein GPS -Modul, um den Standort zu halten. Die Kameras werden meistens an einem Gymbal montiert, welcher es ermöglicht die Kamera unabhängig von der Ausrichtung der Drohne auszurichten und Vibrationen ausglättet. Das Videosignal wird oft bei solchen Drohnen digital über WLAN übertragen, um die hohe Qualität des Kamerabilds zu erhalten.

FPV-Drohnen (First-Person-View) hingegen besitzen im Vergleich zu Luftfotografie-Drohnen eine schlechte Kamera, da das Bild nur für den Piloten gedacht ist und diesem bei der Orientierung helfen soll. Diese Kameras werden nur mit einem Vibrationsdämpfer montiert, da ein Gymbal unnötig ist und nur überflüssiges Gewicht für eine FPV-Drohne darstellt.



## 9. Bau meiner eignen Drohne

Nach intensiven Recherchen, welche Komponenten ich kaufen soll, habe ich mich auf folgende entschieden:

### Flight Controller

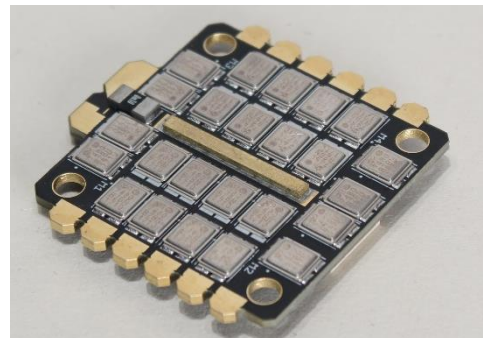
Als Flight Controller wählte ich einen Holybro Kakute F7, welcher den neuesten und stärksten Prozessor für Drohnen verbaut hat. Ausschlaggebend war nicht nur die hohe Rechenkapazität, welche für die komplexe Motorregelung und Nivellierfunktion benötigt

wird, sondern auch die Anschlüsse und Erweiterungsmöglichkeiten. Dieser besitzt 7 sogenannte UARTs, welche benötigt werden für die digitale Kommunikation zwischen den Bauteilen, wie z.B. Kamera, Motorsteuerungseinheit, Videosender, etc.. Außerdem unterstützt dieses Board die Ereignisprotokollierung auf eine SD-Karte, was die Fehlersuche deutlich erleichtert.



### Motorsteuerung

Für die Motorsteuerung, auch ESC genannt (electronic speed controller), habe ich mich für einen Holybro Tekko32 4in1 entschieden. Da diese Motorensteuerung ebenfalls von Holybro produziert wird, erleichtert es die Verkabelung der Drohne, da beide Komponenten mit nur einem Anschluss miteinander verbunden werden können. Wie der Name es beschreibt, besteht diese Einheit aus vier Motorsteuerungseinheiten, welche alle auf einer Platine montiert sind. Im Gegensatz zu vier separaten Motorsteuerungen erleichtert diese zentral in der Drohne verbaute Platine ebenfalls die Verkabelung. Außerdem ist die Steuerung im Hauptteil des Rahmens besser geschützt als vier einzeln



an den Armen montierten Steuerungen. Dieser ESC ist für einen Dauerstrom von 65A pro Motor ausgelegt und kann Stöße von bis zu 80A für 10 Sekunden aushalten. Diese hohe Belastbarkeit wird beim Fliegen zwar nicht vollständig ausgenutzt, aber sie bietet mir die Möglichkeit die Motoren später für Stärkere auszutauschen.



### Motoren

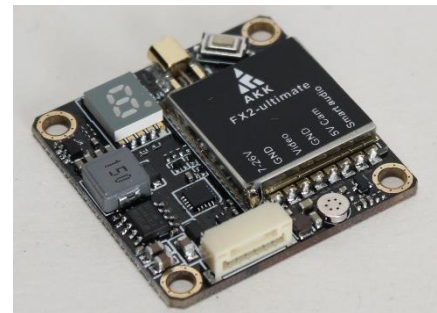
Ich habe für die vier Rotoren mir DYS Samguk Wei 2207 bürstenlose Motoren gekauft, mit einem KV-Wert von 2600. Diese Motoren haben einen Stator-Durchmesser von 22mm und eine Stator-Höhe von 7mm und eignen sich dafür sehr gut für 5 Zoll Propeller. Der KV-Wert beschreibt die Geschwindigkeit, mit der der Motor dreht für jeden angelegten Volt.

### Kamera

Für die Kamera entschied ich mich für eine RunCam Split 2S. Diese Kamera kann in Full-HD (1920\*1080P) Videos aufzeichnen, mit einer weitaus besseren Qualität als die meisten Kameras, die für FPV-Drohnen eingesetzt werden. Zusätzlich besitzt die Kamera ein WLAN-Modul, was es ermöglicht die Kamera mit einem Smartphone oder Tablet fernzusteuern.

### VTX

Der VTX (Videotransmitter), auch Videosender genannt, für diese Drohne ist der AKK FX2 Ultimate. Dieser Videosender verfügt über die typischen 40 Kanäle, was jedoch besonders an diesem Modell ist, ist die sehr hohe Funkleistung, welche von Vorteil ist, denn in verschiedenen Situationen kann die Videoqualität stark abnehmen, durch Hindernisse wie z.B. Bäume. Da das Signal analog übertragen wird, um die Latenz zu verringern, treten sofort Störungen im übertragenen Bild auf, sobald es eine schlechte Funkverbindung zur Drohne gibt.



### Fernsteuerung

Als Funkfernsteuerung benutze ich die Turnigy Evolution, welche über 8 Kanäle verfügt. Abgesehen von der Preis-Leistung sticht diese Fernsteuerung hervor durch ihren großen Touchscreen und ihre ergonomische Form. Zusätzlich zu den zwei Steuerungsknüppel besitzt die Fernsteuerung einen zwei-Positionsschalter, zwei drei-Positionsschalter und



ein Potentiometer, welche benutzt werden können, um zusätzliche Funktionen der Drohne zu steuern, wie z.B. Motoren-Entsperrung, Notaus, LED-Beleuchtung u.v.m.. Außerdem besitzt die Turnigy Evolution Fernsteuerung einen USB-Anschluss, womit man diese an einen PC anschließen kann und dadurch in Simulatoren benutzt werden kann.

### FPV-Brille

Für die FPV-Brille entschied ich mich für die Eachine EV800D, eine FPV-Brille in boxed-goggles Format. Diese Brille besteht aus einem LCD-Bildschirm mit integriertem Akku und Video-Empfänger. Eine Konstruktion aus Kunststoff ermöglicht es, diesen Bildschirm auf dem Kopf zu tragen. Diese Brille gibt dem Piloten das Gefühl im Cockpit der Drohne zu sitzen und macht dadurch das Fliegen viel immersiver.



### Akku

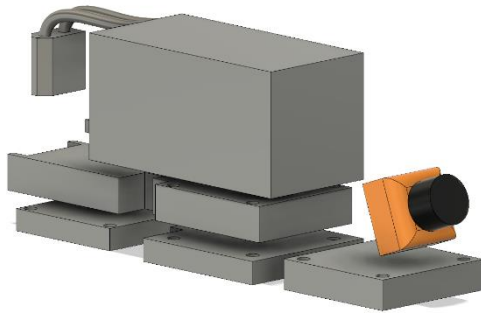
Ich wählte einen LiPo-Akkumulator mit einer Kapazität von 1800mAh und einer 4S1P Struktur. Lithium-Polymer-Akkumulatoren werden oft für Drohnen bevorzugt, da sie enorm hohe Leistungen aufbringen können, trotz ihres niedrigen Gewichts und ihrer kleinen Größe. 4S1P bedeutet, dass vier Zellen in Serie geschlossen sind und es keine parallel angeschlossenen Zellen gibt.

### Zubehör

Zusätzlich zu den oben genannten obligatorischen Komponenten, kaufte ich mir noch Zubehör wie z.B. LED-Streifen. Diese besitzen jeweils 6 individuell adressierbare RGB-LEDs welche zur Beleuchtung und Orientierung der Drohne benutzt werden. Zusätzlich beschaffte ich mir eine Fullspeed Luckybox. Dies ist ein gewöhnlicher Warnsummer, welcher jedoch einen eignen Akku besitzt. Der Zweck dieses Akkumulators besteht darin, dass im Fall eines Unfalls, bei welchem sich der Hauptakku abklemmen könnte, dieser noch immer mit Strom versorgt wäre. Nach 30 Sekunden nach einem Stromausfall fängt dieser Summer an laute Töne zu produzieren, durch welche man die Drohne leichter orten kann.

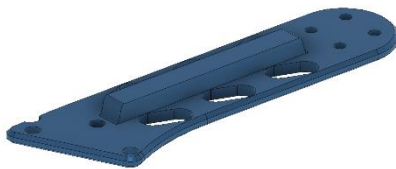
### Frame

Als Rahmen für die Drohne entschied ich mich dafür, ein eignes Gestell zu modellieren und anschließend mit meinem 3D Drucker herzustellen. Ich entschied mich dafür eine True-X-Frame zu modellieren, da diese die kleinste Form ist und somit das Gewicht der Drohne erniedrigt. Zum modellieren benutzte ich das parametrische CAD Programm Fusion 360 von Autodesk.



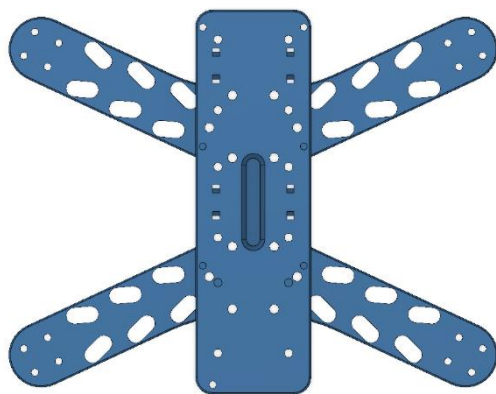
zentralen Rahmen zu finden.

Ich begann damit, alle wichtigen Komponenten ungefähr abzumessen und in Fusion 360 zu modellieren. Dies hilft nachher beim Modellieren sehr viel, da man Größen, Abstände, etc. nicht jedes Mal neu messen muss, sondern einfach die Körper referenzieren kann. Außerdem hilft es dabei, die Komponenten alle auszulegen und eine passende Position in dem



Stabilität des Arms erhöht. Gleichzeitig bietet dieser eine Möglichkeit die LED-Streifen zu befestigen.

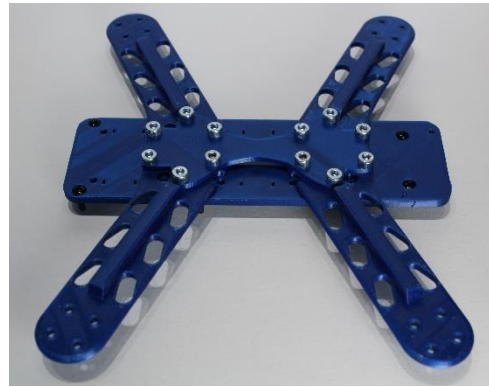
Die Arme der Drohne besitzen abgesehen von den Löchern für den Motor und das Montieren an dem Hauptgerüst, große Ausschnitte unter dem Propeller, um so das Gewicht zu reduzieren und die Turbulenzen zu verringern. Durch die Mitte der Unterseite der Arme läuft ein Unterzug, welcher die



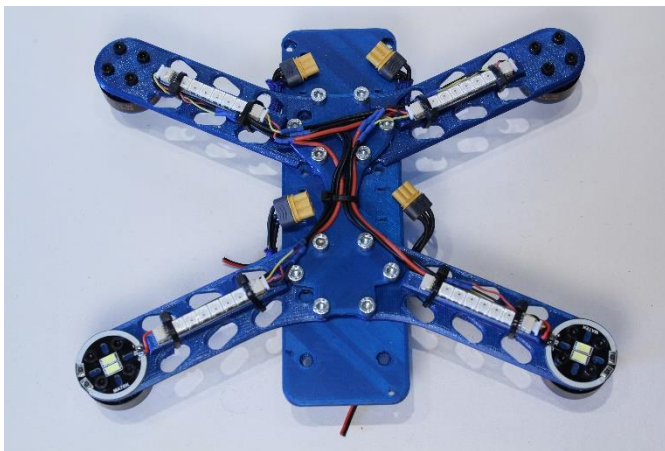
Die Grundplatte verbindet alle vier Arme miteinander, an ihr werden alle elektronischen Komponenten montiert. Der Mittelpunkt dieser Plattform ist mit einem abgerundeten Schlitz versehen, durch welchen alle Kabel der Motoren und LEDs durchgeführt werden. Die Gestellplatte ist mit allen nötigen Löchern versehen, um die verschiedenen Platinen und Stacks zu befestigen. Zusätzlich sind Löcher vorhanden für Kabelbinder und weitere Teile der Frame.

Der erste Schritt der Konstruktion der Drohne war das Zusammenbauen der unteren Hälfte der Frame.

Hierfür befestigte ich die vier Arme an der Grundplatte, gefolgt von einer Strebe, die es verhindert, dass sich die Grundplatte, und die daran montierten Platinen, unter Last durchbiegen.

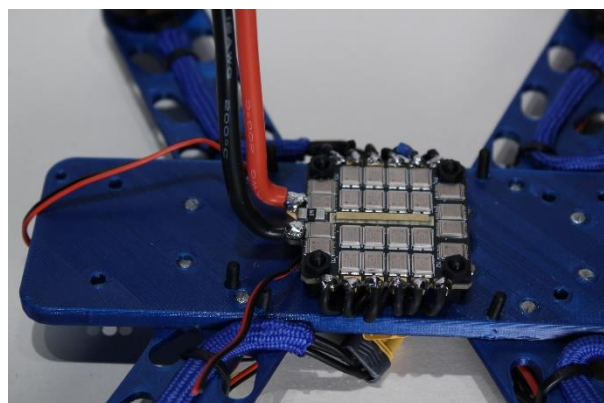


Anschließend begann ich mit der Verkabelung der Motoren und LEDs. Die drei Kabel der Motoren schützte ich vor Schlägen durch die Propeller mit Paracord, aus der ich

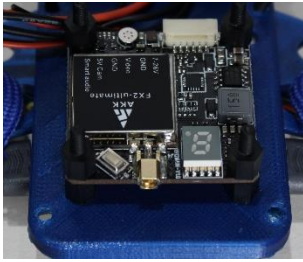


die mittleren Stränge entfernt habe. Das Ende der Kabel habe ich mit Steckverbindungen ausgestattet, sodass ich einen Arm leichter ersetzen kann. Die jeweils drei Kabel der LED-Streifen (5V; Minus und Datenleitung) habe ich mit Steckverbindungen versehen, um das Auswechseln eines Armes zu erleichtern.

Der nächste Schritt bestand darin, den ESC an der Grundplatte zu befestigen. Hierfür benutzte ich eine Kombination aus Schrauben und Abstandhaltern aus Nylon. Danach verlötete ich alle Kontakte der vier Motoren mit der Steuerung und lötete den XT60 Stromanschluss für den Akku an den ESC, welcher gleichzeitig als Stromverteilung dient.

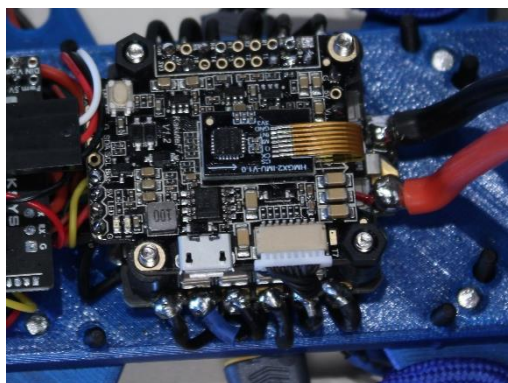
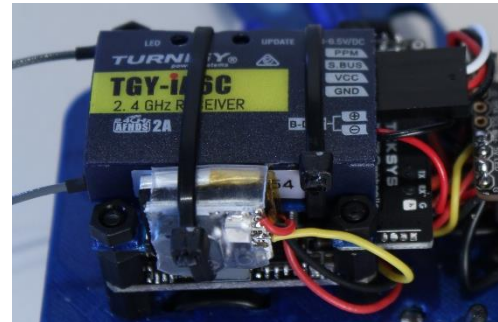






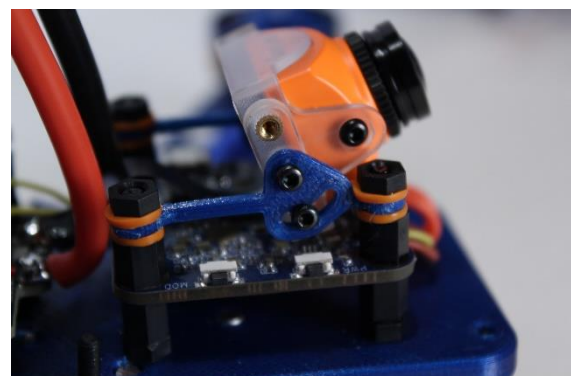
Das nächste Bauteil, welches ich montierte, war der VTX. Dieser benötigt 5 Verbindungen: zwei Kabel für die Stromversorgung, zwei für den Videoeingang und einen für die digitale Steuerung durch den Flight Controller.

Ich erweiterte diesen Stack mit der Stromversorgung für die LEDs, dem Empfänger der Funkfernsteuerung und dem Fullspeed Luckybox. Jeder dieser Komponenten benötigte eine Spannungsquelle und der Empfänger sowie der Summer eine weitere Verbindung, zur Kommunikation mit dem Flight Controller.



Anschließend verbaute ich den Flight Controller, welchen ich auf Gummiabstandhaltern befestigte, um Vibrationen zu dämpfen. Daraufhin verband ich den Flight Controller mit einer 8-Pin Steckverbindung mit dem ESC und verlötete alle Kabel der diversen Komponenten mit dem Flight Controller.

Das letzte elektronische Modul, was ich installierte war die Kamera mit der dazugehörigen Platine. Die Kamera wird zwischen zwei Platten befestigt, die es ermöglichen die Kamera an den gleichen Löchern zu monieren als die Platine. Außerdem kann man durch die Platten frei einen Winkel zwischen 0° und 60° einstellen. Dieser Winkel stellt man proportional zu der Geschwindigkeit ein, mit der man fliegen möchte. Da beim vorwärtsfliegen die Drohne sich nach vorne neigt, neigt man die Kamera etwas nach oben, sodass man später beim Vorwärtsfliegen gerade nach vorne sieht. Die Kameraplatten werden mit vibrationsdämpfenden Ringen an Abstandshaltern



befestigt, welche an der Kameraplatine befestigt sind. Letztere wird wiederum mit einer Kombination aus Abstandshaltern und Schrauben aus Nylon an der Grundplatte befestigt.

Der finale Schritt des Zusammenbaus besteht darin, die letzten 3D gedruckten Teile an der Drohne zu montieren. Hierzu gehört der Kamerakäfig, welcher die Kamera bei einem Sturz schützt und die Deckplatte, an welcher die



Antennen montiert werden und der Akku montiert wird.

Anschließend muss man die Firmware für die Drohne konfigurieren, hierfür benutzte ich die Betaflight-Firmware da diese zuverlässig, bekannt und kompatibel mit meinem Flight Controller ist. Im Betaflight-Konfigurator spezifiziert man Aufbau-spezifische Einstellungen wie z.B. an welchem UART-Port welches Modul angeschlossen ist, wie die Kanäle der Fernbedienung belegt sind, etc.. Außerdem kann man durch den Konfigurator für den ESC weitere, motorsteuerungsspezifische Werte ändern. Nachdem man die Drohne fertig konfiguriert hat, kann man die Propeller montieren und erste Testflüge unternehmen.

## 10. Fazit

Mir hat die Konstruktion meiner eignen Drohne sehr gefallen, auch wenn das Recherchieren nach geeigneten Komponenten und das Bauen ohne Anleitung mühsam war. Durch die 3D gedruckte Frame konnte ich noch viele Erfahrungen machen und ich kenne nun noch besser mit dem Programm Fusion 360 aus. Ich bin sehr zufrieden mit meinem Quadcopter, denn er lässt sich gut fliegen und besitzt viel Leistung, was viel Spaß beim Fliegen bringt.

## 11. Quellen

<https://de.wikipedia.org/wiki/Drohne>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Unbemanntes\\_Luftfahrzeug](https://de.wikipedia.org/wiki/Unbemanntes_Luftfahrzeug)

[https://de.wikipedia.org/wiki/Unbemannte\\_Luftfahrt](https://de.wikipedia.org/wiki/Unbemannte_Luftfahrt)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Quadrocopter>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Luftfahrt>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Luft-\\_und\\_Raumfahrttechnik](https://de.wikipedia.org/wiki/Luft-_und_Raumfahrttechnik)

[https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte\\_der\\_Luftfahrt](https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_der_Luftfahrt)

<https://www.bdl.aero/de/welt-der-luftfahrt/zeitstrahl-der-deutschen-luftfahrt/>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Chronologie\\_der\\_Luftfahrt](https://de.wikipedia.org/wiki/Chronologie_der_Luftfahrt)

[https://de.wikipedia.org/wiki/Br%C3%BCder\\_Wright](https://de.wikipedia.org/wiki/Br%C3%BCder_Wright)

[https://de.wikipedia.org/wiki/Junkers\\_J\\_1](https://de.wikipedia.org/wiki/Junkers_J_1)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Junkers\\_J\\_1](https://en.wikipedia.org/wiki/Junkers_J_1)

<https://www.junkers.de/kalenderblatt/3-dezember-1909-die-idee-des-dicken-fl%C3%BCgels-wird-geboren>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Dynamischer\\_Auftrieb](https://de.wikipedia.org/wiki/Dynamischer_Auftrieb)

[https://de.wikipedia.org/wiki/Deutsche\\_Flugzeugindustrie\\_im\\_Ersten\\_Weltkrieg](https://de.wikipedia.org/wiki/Deutsche_Flugzeugindustrie_im_Ersten_Weltkrieg)

<http://ww1.habsburger.net/de/kapitel/motorisierte-luftfahrt-als-junge-technologie>

<https://100jahre-ersterweltkrieg.jimdo.com/luftwaffe/>

[https://www.welt.de/print/welt\\_kompakt/print\\_lifestyle/article135929763/Kleine-Geschichte-der-Drohnen.html](https://www.welt.de/print/welt_kompakt/print_lifestyle/article135929763/Kleine-Geschichte-der-Drohnen.html)

[https://de.wikipedia.org/wiki/Heinkel\\_He\\_178](https://de.wikipedia.org/wiki/Heinkel_He_178)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Hubschrauber>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Gyroplane-Laboratoire>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Focke-Wulf\\_Fw\\_61#Beschreibung](https://de.wikipedia.org/wiki/Focke-Wulf_Fw_61#Beschreibung)

[http://www.hubschrauber.li/geschichte/sowars/mai\\_ges\\_beg.htm](http://www.hubschrauber.li/geschichte/sowars/mai_ges_beg.htm)

[http://www.hubschrauber.li/geschichte/sowars/mai\\_ges\\_50er.htm](http://www.hubschrauber.li/geschichte/sowars/mai_ges_50er.htm)

<http://www.heliflight.ch/geschichte/der-beginn.html>

<http://www.heliport.de/lexika/geschichte-des-hubschraubers/>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Argus\\_As\\_292](https://de.wikipedia.org/wiki/Argus_As_292)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Kreiselinstrument>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Autopilot#Geschichtliche\\_Entwicklung](https://de.wikipedia.org/wiki/Autopilot#Geschichtliche_Entwicklung)

<http://www.informatik.uni-oldenburg.de/~iug08/snd/geschichte1.html>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Micro\\_Air\\_Vehicle](https://de.wikipedia.org/wiki/Micro_Air_Vehicle)

<https://fas.org/irp/program/collect/mav.htm>

<https://www.theengineer.co.uk/issues/aerospace-and-defence-2013/the-rise-of-the-micro-air-vehicle/>

[https://www.researchgate.net/publication/304490025\\_Introduction\\_to\\_micro\\_air\\_vehicles\\_concepts\\_design\\_and\\_applications](https://www.researchgate.net/publication/304490025_Introduction_to_micro_air_vehicles_concepts_design_and_applications)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-controlled\\_aircraft](https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-controlled_aircraft)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Miniature\\_UAV](https://en.wikipedia.org/wiki/Miniature_UAV)

<http://www.rcdronearena.com/2015/02/23/what-is-rtf-bnf-arf-drone-kit/>

<https://www.tuv.com/landingpage/de/c2f/main-navigation/smart-factory/drones.html>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Aerial\\_photography](https://en.wikipedia.org/wiki/Aerial_photography)

[https://papa.clubexpress.com/content.aspx?page\\_id=22&club\\_id=808138&module\\_id=158](https://papa.clubexpress.com/content.aspx?page_id=22&club_id=808138&module_id=158)

[950](#)

[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_unmanned\\_aerial\\_vehicle\\_applications](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_unmanned_aerial_vehicle_applications)

<https://www.cbinsights.com/research/drone-impact-society-uav/>

<https://pevly.com/action-camera-history/>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Forschungsballon>

[https://en.wikipedia.org/wiki/UAVs\\_in\\_the\\_U.S.\\_military#Classifications\\_by\\_the\\_United\\_States\\_military](https://en.wikipedia.org/wiki/UAVs_in_the_U.S._military#Classifications_by_the_United_States_military)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Mine\\_Kafon\\_Drone](https://en.wikipedia.org/wiki/Mine_Kafon_Drone)

<https://www.tudelft.nl/en/ide/research/research-labs/applied-labs/ambulance-drone/>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Agricultural\\_drone](https://en.wikipedia.org/wiki/Agricultural_drone)

<http://www.fao.org/3/i8494en/i8494en.pdf>

<https://www.youtube.com/watch?v=sFFKWSuONv4>

<https://www.youtube.com/watch?v=0nP53WRryXg>

<https://constructionreviewonline.com/2018/03/drones-in-construction/>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Quadrocopter>

[https://de.wikipedia.org/wiki/B%C3%BCrstenloser\\_Gleichstrommotor](https://de.wikipedia.org/wiki/B%C3%BCrstenloser_Gleichstrommotor)

<http://dronenodes.com/drone-motors-brushless-guide/>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic\\_speed\\_control](https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_speed_control)



<https://www.tomshardware.com/reviews/multi-rotor-quadcopter-fpv,3828-2.html>

<https://hackaday.com/2014/06/06/droning-on-flight-controller-round-up/>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Sendeanlage>