



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



MODUL 03

AUSBILDUNGSPROGRAMM

DROHNENDYNAMIK UND WARTUNG





Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



DRONES4VET PROJECT



Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Inhaltsverzeichnis

1. Ziele des moduls	6
2. Flugmechanik.....	7
2.1 Aerodynamischer Auftrieb.....	7
2.2 Aerodynamischer Widerstand	8
2.3 Der Propeller macht die Bewegung und den Auftrieb.....	9
2.4 Steuerung einer Multirotor-Drohne durch unausgewogene Propellerkräfte.....	11
2.5 Bewegungsachsen eines Flugzeugs.....	12
2.6 Gleichgewicht der Kräfte - Luftmassenbewegung	13
3. Wesentliche teile einer multirotor-drohne	14
3.1 Empfänger.....	15
3.2 Flugsteuerung.....	16
3.3 IMU - Trägheitsmessgerät.....	17
Barometrischer Höhenmesser; relativ zum Abflugpunkt.....	17
Magnetometer: Richtung und Lage (Kompass)	17
Gyroskop : Einstellung	18
Beschleunigungsmesser : Geschwindigkeitsänderung in alle Richtungen.....	19
Thermometer.....	19
3.4 Ultraschall-Näherungssensoren.....	20
Senkrecht unter der Drohne: geringe Höhe zum Boden.....	20
Horizontal an den Seiten der Drohne	20
3.5 Sensoren Hinderniserkennung.....	21
3.6 GNSS Globales Satellitennavigationssystem ("GPS")	22
GNSS-Positionierung der Drohne: relativ zum Startpunkt.....	22
3.7 Elektromotoren und ihre ESC.....	23
3.8 Propeller	24
3.9 Netzgerät (Stromverteiler).....	25
3.10 Batterien.....	26
4. Fernbedienung	29
4.1 Übertragung.....	29
4.2 Controller	30

Kontrollmodi.....	30
Parameter in der Anzeige.....	33
5. Wartung	35
5.1 Wartungsaufzeichnungen.....	35
5.2 Inhalt des Wartungsprogramms.....	36
5.3 Erste Kontrolle nach der Montage	37
Überprüfung aller Elemente.....	37
Funktionsprüfung am Boden.....	37
Funktioneller Flugtest.....	38
Batterie.....	38
5.4 Regelmäßige Überprüfungen.....	40
5.5 Andere reviews.....	42
6. Beispiel für einen uas-wartungsbericht.....	43

DRONES4VET Erasmus+ Projektteilnehmer und Autoren

CMQE HEREC Occitanie France Team:

Régis Lequeux – Dozent, Bauingenieur, Lycée Dhuoda, Nîmes – Koordinator der 10
Module
Nicolas Privat – Dozent, Bauingenieur, Lycée Dhuoda, Nîmes
Eric Remola – Dozent, Lycée Dhuoda, Nîmes
Nicolas Vassart – Dozent, Ph.D., Lycée Dhuoda, Nîmes
Valerie Poplin – CMQE HEREC Geschäftsführer

MTU Irland Team:

Sean Carroll CEng MEng BEng (Hons) MIEI Dozent und Forscher
Michal Otreba Inz, MScEng, PhD, Dozent und Forscher, beide Koordinatoren des
Einstufungs- und Nachbereitungssitzungen für Pädagogen

FH Kufstein Tirol. Österreich

Emanuel Stocker, Hochschullehrer für Facility- und Immobilienmanagement
Sarah Plank, F&E Controllerin

CRN Paracuellos-Team (Dirección General de Formación. Comunidad de Madrid). Spanien

José Manuel García del Cid Summers, Direktor
Daniel Sanz, Direktor der Dron-Arena
Santos Vera, Techniker
Jorge Gómez Sal, Leiter der Technischen Einheit
Fernando Gutierrez Justo, Erasmus-Koordinator – Projektantragsteller

BZB Düsseldorf. Deutschland:

Frank Bertelmann-Angenendt, Projektleiter
Markus Schilaski, Projektleiter

DEX. Spanien

Ainhoa Perez
Ignacio Gomez Arguelles
Diego Diaz Mori
Yvan Corbat
Erasmus-Management

1. Ziele des moduls

Dieses Modul ist in zwei Hauptteile gegliedert:

Kapitel 1, 2 und 3: Grundlegendes Wissen darüber, wie die Drohne aerodynamische Kräfte zum Fliegen nutzt, mit einfachen Informationen zur Flugmechanik. Danach folgt eine Beschreibung der Rolle und Funktion der verschiedenen Flugkomponenten einer Drohne. Schließlich die allgemeine Bedienung des Joysticks.

Kapitel 5 und 6: Wie man die Drohne in einem guten Zustand für den Flug hält und die Wartungsarbeiten nach einem professionellen Plan aufzeichnet.

Das Modul konzentriert sich auf die Multirotor-Drohne und richtet sich an Piloten der Grundstufe.

Physik wird nicht behandelt, nur praktische Fragen.

2. Flugmechanik

2.1 Aerodynamischer Auftrieb

Bei einem Flügel oder Propeller, der sich in der Luft bewegt, kommt es zu einer Verdichtung der Luft unter dem Profil (Intrados, die Unterseite) und zu einem Unterdruck auf der Oberseite des Profils (Extrados, die Oberseite).

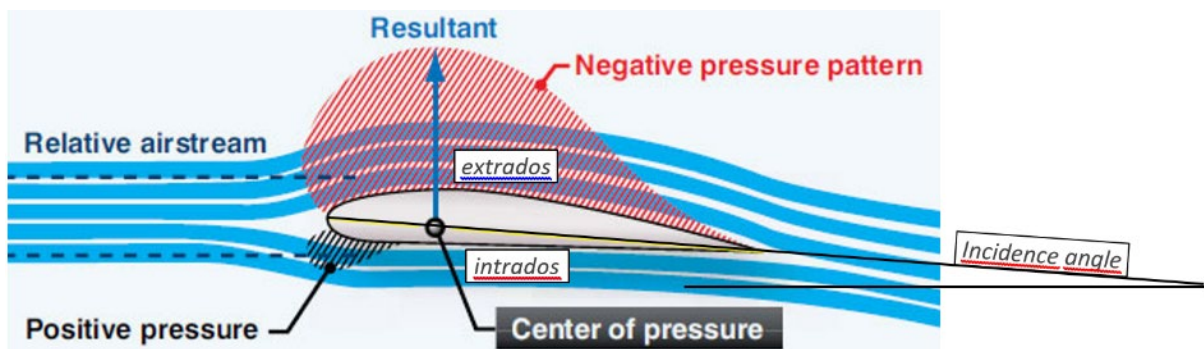


Abbildung 1 Flügelauftrieb - (flight-mechanic.com-modifiziert)

Dank dieses Auftriebs wird das Gewicht des Flugzeugs kompensiert.

Beachten Sie die Bedeutung des "Anstellwinkels": Bei einem zu niedrigen Winkel ist der Auftrieb gering, bei einem zu hohen Winkel wird der Flügel "abgewürgt", d. h. der Auftrieb nimmt drastisch ab, das Flugzeug kann abstürzen.

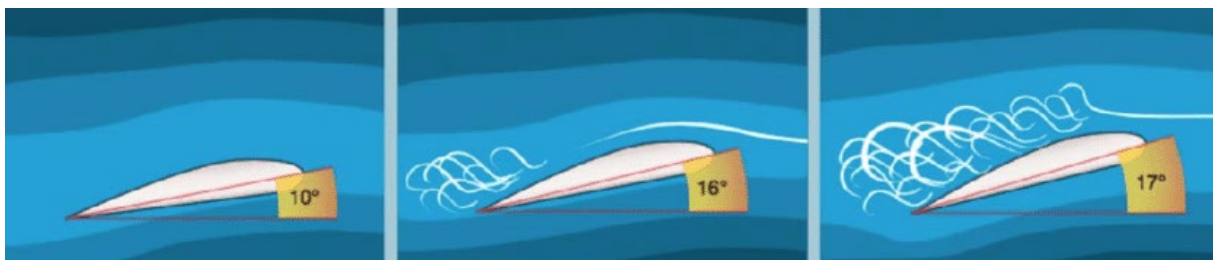


Abbildung 2 Stall (researchgate.net/profile/Mariateresa-Sestit)

Oben ist der Anströmwinkel auf den 16°- und 17°-Zeichnungen zu groß: Die Luftströmung haftet nicht mehr am Flügel, der Unterdruck ist nicht mehr vorhanden (an seine Stelle tritt ein Luftwiderstand) und die Auftriebskraft wird zunichte gemacht.

2.2 Aerodynamischer Widerstand

Wenn die Form eines Körpers, der sich durch die Luft bewegt, nicht verjüngt ist, kann der Luftstrom einen Wirbel verursachen, der das Element daran hindert, sich vorwärts zu bewegen: aerodynamischer Widerstand.

Der Luftwiderstand, der Wirbel, die Turbulenzen und die Nachlaufströmung, die entstehen, hängen von der Form ab.

Diese Turbulenzen erzeugen eine Kraft, die das Flugzeug in die entgegengesetzte Richtung der Bewegung zurückhält und außerdem steigt der Luftwiderstand mit dem Quadrat der Geschwindigkeit!

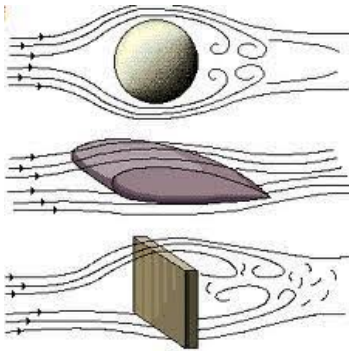


Abbildung 3 Luftwiderstand - (cyclingdynamics.com)

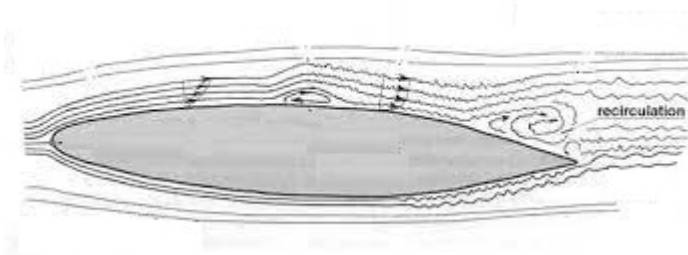


Abbildung 4 Ziehen an einem Profil

Auch ein aerodynamisches Profil kann Turbulenzen aufweisen: Achten Sie auf den guten Zustand der Drohnenpropeller. Ihre Effizienz hängt davon ab.

2.3 Der Propeller macht die Bewegung und den Auftrieb

Bei geflügelten Drohnen sind, wie bei Flugzeugen, vier Kräfte am Werk:

- Der Auftrieb der Tragflächen
- Das Gewicht des Flugzeugs
- Der Antrieb des Propellers, der nur die Verdrängung gewährleistet
- Der Widerstand, der die Bewegung behindert

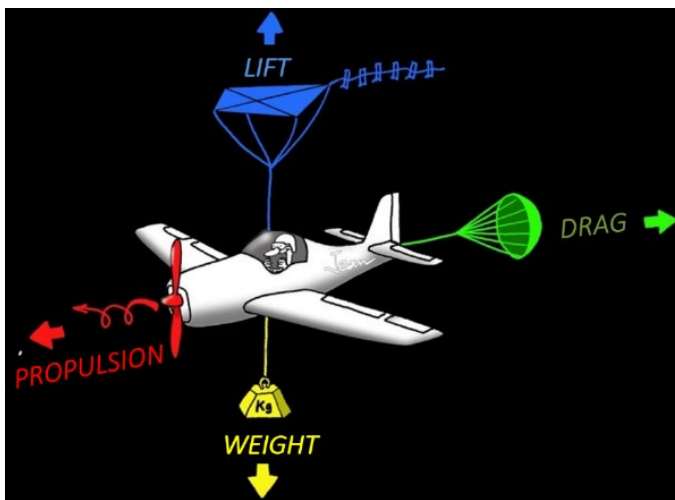


Abbildung 5 die 4 am Flug beteiligten Kräfte



Abbildung 6 Starrflügler-Drohne 'Disco'
(technik-ingenieur.fr)

Bei Multirotor-Drohnen ist es die Neigung der Propeller, die das Fluggerät in Bewegung setzt

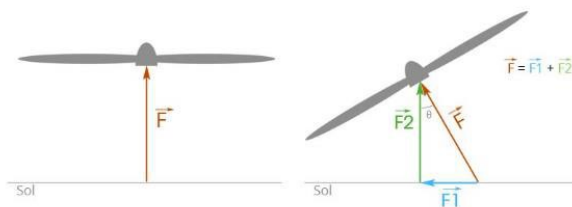


Abbildung 7 Propelleraufzug und Antrieb-(firediy.fr)

Wenn der Propeller gekippt wird, sorgt ein Teil seiner aerodynamischen Kraft für die Bewegung der Drohne. Wie bei einem Hubschrauber

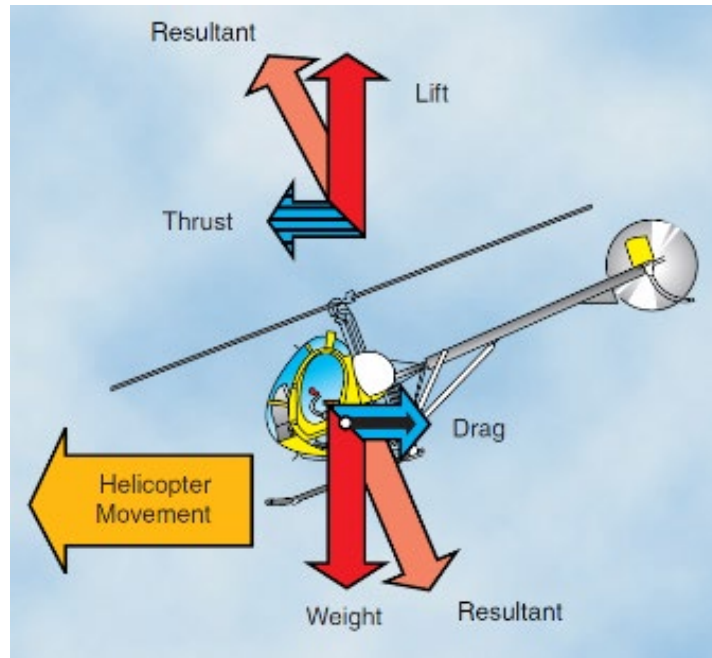


Abbildung 8 Ein Hubschrauber neigt sich zum Fliegen nach vorne - (aircraftsystemstech.com)

2.4 Steuerung einer Multirotor-Drohne durch unausgewogene Propellerkräfte

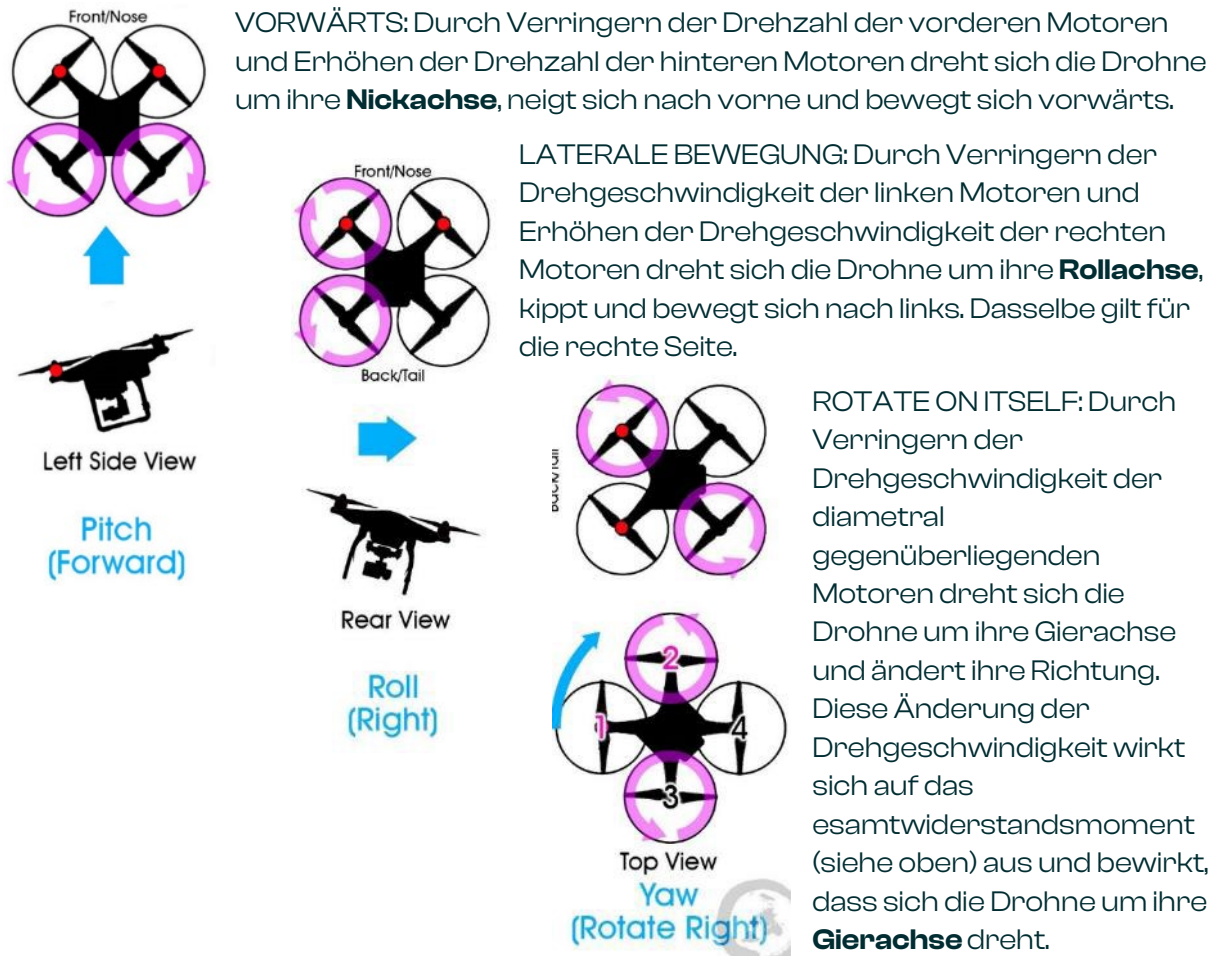


Abbildung 9 Propelleraktionen zur Steuerung einer Multirotor-Drohne (ipining.com)

Die Wetterbedingungen oder die Eigenschaften der Luft (Temperatur, Dichte) können diese Kräfte und damit die Leistung der Drohne beeinflussen. Wir können uns daran erinnern, dass ein Temperaturanstieg oder ein Druckabfall (z. B. in der Höhe) den Auftrieb beeinträchtigt.

2.5 Bewegungsachsen eines Flugzeugs

- Roll: Längsachse, um die sich die Drohne dreht, um sich nach links oder rechts zu bewegen
- Pitch: Querachse, um die sich die Drohne dreht, um vorwärts oder rückwärts zu fliegen
- Gieren: vertikale Achse, um die sich die Drohne dreht, um die Ausrichtung (Kurs) zu ändern.

Die aTTitude (mit zwei "T") ist die Position der Drohne in Bezug auf die Horizontale.

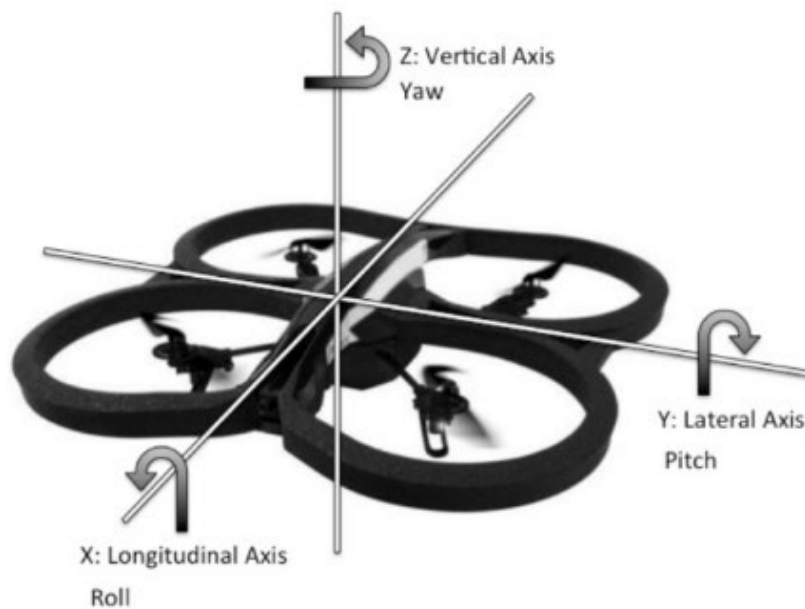


Abbildung 10 Achsenamen von Drohnen (und Flugzeugen) (parrot.fr)

2.6 Gleichgewicht der Kräfte - Luftmassenbewegung

Der LIFT, die Kraft, die von den Propellern (Hubschrauber) oder von den Flügeln (Flugzeug) ausgeht) ← balanciert → das GEWICHT

die TRACTION, die von den Propellern ausgeht ← balanciert → der DRAG, der Wirbel, der die Drohne abbremst.

Aber jedes Luftfahrzeug wird von der Luftmasse getragen und bewegt sich mit ihr. Um sich also relativ zum Boden zu bewegen, muss sich die Drohne innerhalb der Luftmasse bewegen.

- Eine Drohne, die an einem windigen Tag still über dem Boden schwebt, bewegt sich in der Tat in der Luftmasse!
- Eine Drohne, die sich entgegen der Windrichtung bewegt, bewegt sich in der Luftmasse viel schneller, als wenn sie sich in Windrichtung bewegen würde.

Folglich muss die Drohne mit einer Vielzahl von Sensoren ausgestattet sein, um ihre Handhabung zu gewährleisten.

Der GNSS-Sensor (GPS in der Alltagssprache) und die nach unten gerichtete Kamera ermöglichen es der Drohne, im Schwebeflug eine stabile Position in Bezug auf den Boden zu halten, während das GNSS die Bodengeschwindigkeit und den Kurs anpasst, um zu versuchen, dem Wind entgegenzuwirken.

Der Kompass, das Magnetometer und das Gyroskop geben den Kurs an, der von der Vorderseite der Drohne vorgegeben wird.

Der Beschleunigungsmesser und das Gyroskop liefern Informationen über Lage und Bewegung.

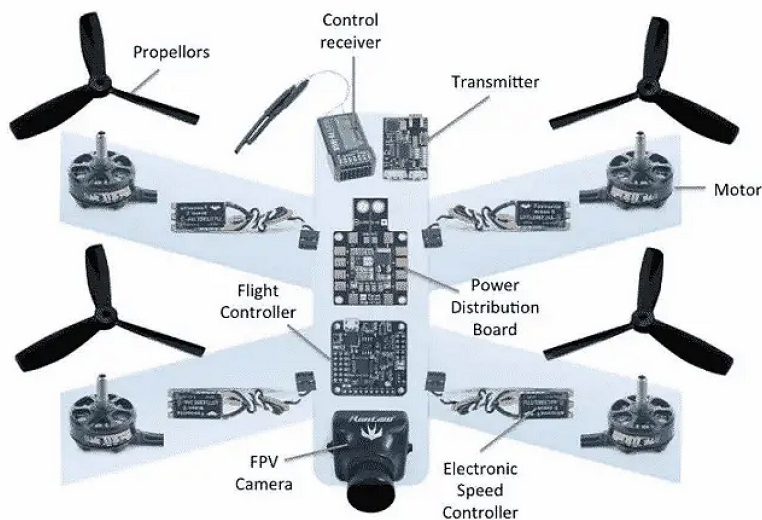
Das Barometer liefert Informationen über die Höhenveränderung.

Die Näherungssensoren zeigen an, wenn sich die Drohne einem Hindernis oder dem Boden nähert.

3. Wesentliche teile einer multirotor-drohne

Hier sind die grundlegenden Komponenten: - Steuerempfänger - Flugregler - Sensoren - Sender - Akku - Leistungsplatine - Regler - Motoren.

Wie funktioniert das? Der Steuerempfänger empfängt die Befehle von der Fernsteuerung und leitet sie an den Flugregler weiter. Dieses Modul nutzt die Informationen aller Sensoren, um die Fluglage, die Geschwindigkeit, die Neigung, die Position, die Erkennung von Hindernissen usw. zu ermitteln, und gibt dem Regler Befehle, die Motoren einzeln zu beschleunigen oder zu verlangsamen. Der Sender sendet die Fluginformationen an die Fernsteuerung und auch den Videostream. Die Batterieeinheit verteilt die Energie an jede Funktion, den größten Teil davon an den ESC und damit an die Motoren.



Nicht dargestellt sind hier alle Sensoren, die Informationen an den Flugcontroller liefern.

Abbildung 11 Elektronische Komponenten einer Drohne (I.O.wp.com)

In der IMU (Inertial Measurement Unit) inkludiert folgende Elemente:

- Höhenmesser
- Magnetometer
- Gyroskop
- Beschleunigungsmesser
- Thermometer

Unabhängige Elemente:

- GNSS
- Sonic-Näherungssensoren
- Video-Näherungssensoren

3.1 Empfänger

Dieses Gerät ist mit der Fernbedienung über elektromagnetische Wellen mit einer bestimmten Frequenz verbunden. Die am häufigsten verwendeten Frequenzen und elektromagnetischen Wellen sind 2,4 GHz und 5,8 GHz: das WIFI mit einer 802.11 xxx-Kodierung zur Unterscheidung von Befehlen und Drohnen. 2,4 GHz reicht bis zu 10 km weit (je nach Hindernissen, Leistung und Empfindlichkeit). 5 GHz ist bei gleicher Leistung kürzer, aber störungsärmer und schneller, besser für die Videoübertragung ohne Verzögerung. Der Empfänger benötigt eine kleine Antenne, um sicherzustellen, dass er die Informationen über potenziell große Entfernungen empfangen kann. Ein einfaches Smartphone kann die Übertragung für geringe Entfernungen übernehmen.

Ab 2022 (Europäische Verordnung 2022/179) können Frequenzen von 5,17 bis 5,25 GHz mit einer Sendeleistung von 200 mW genutzt werden. Derzeit werden diese Frequenzen von den Herstellern eingesetzt.

Für alle Frequenzen gilt, dass der leistungsstärkste RC aufgrund der atmosphärischen Verluste weiter sendet, aber die Reichweite hängt stark von der Empfindlichkeit des Empfängers ab: Ein Empfänger mit 95dB Empfindlichkeit und 200mW Sendeleistung ist der gleiche wie einer mit 90dB Empfindlichkeit und 800mW Sendeleistung. Um eine gute Reichweite zu erzielen, müssen Sie nur einen Empfänger mit hoher Empfindlichkeit (> 95 dB) wählen.

Andere Frequenzen wie 1,3 GHz, 900 MHz oder 433 MHz sind für große Entfernungen und die Überwindung von Hindernissen interessant, je niedriger die Frequenz, desto größer die Reichweite, aber mit der größten Verzögerung bei der Videoübertragung oder der niedrigsten Auflösung. Die historischen 27 MHz oder 72 MHz, die für Modellflugzeuge verwendet wurden, werden wegen der Störungen und der langen Antenne nicht mehr für Drohnen verwendet. Je niedriger die Frequenz, desto länger ist in der Regel die erforderliche Antenne.

Parrot Anafi: Wifi 2.4 und 5.8 GHz und 4 km Reichweite, MAVIC 3E Frequenzen idem und 8 km Reichweite, Autel EVO II 2.4GHz und 5 Km Reichweite.

Einige Drohnen beginnen, die 4G-Antennen zu verwenden, um die Drohne zu verbinden, kann die Frequenz von 700MHz bis 2,6MHz (je nach Land) und natürlich variieren, ist die Reichweite extrem groß..

Der Empfänger überträgt alle Befehle an den Fluglotsen.

3.2 Flugsteuerung

Das **Gehirn** der Drohne.

Elektronischer Teil, der dem ESC befiehlt, sich entsprechend den Befehlen des Piloten und den aerodynamischen Bedingungen zu drehen. Er steht in Verbindung mit den Sensoren (Gyroskop, Kompass, Höhenmesser, Näherungsmesser, eventuell GPS) und ermöglicht die Stabilität des Fluges und die gute Reaktion auf die Befehle.



Abbildung 12 Flugsteuerungsanlage - dronenodes.com

Die Erfindung, Miniaturisierung und anschließende Preissenkung dieser Schlüsselkomponente hat zur eigentlichen Entwicklung von Drohnen geführt.

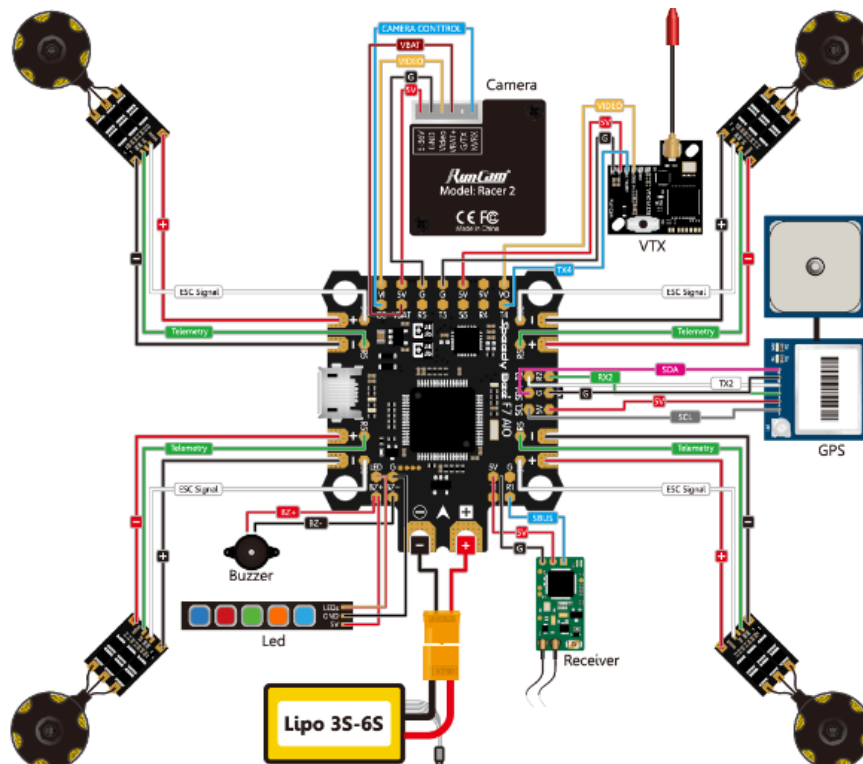


Abbildung 13 Links zur Flugsteuerung - phaserfpv.com.au

3.3 IMU - Trägheitsmessgerät

Die meisten Sensoren, die den Flugregler und den Piloten unterstützen, sind in der IMU konzentriert.

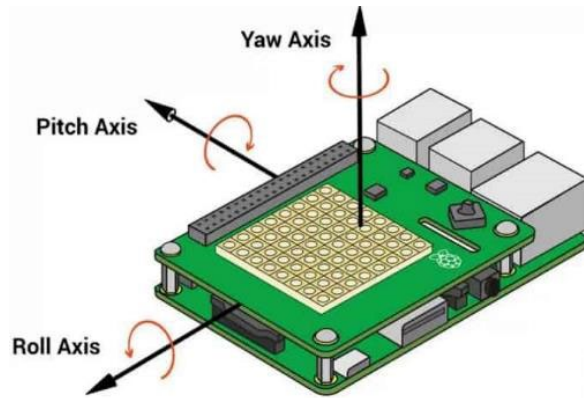


Abbildung 14 Arduino IMU (ddcountermeasures)



Abbildung 15 DJI Mavic 2 pro IMU (drone-parts-center.com)

Barometrischer Höhenmesser: relativ zum Abflugpunkt

Durch die Messung der Luftdruckschwankungen zwischen dem Startpunkt und dem Flugpunkt erhält die Drohne mit der Präzision ihres Instruments eine Schätzung ihrer Höhe mit einer Genauigkeit von 25 cm. Man spricht von QFE-Höhe (Query Field Elevation, bei Flugzeugen zur Kalibrierung des "Nullmeters" auf einer bestimmten Höhe des Flugplatzes) und manchmal auch von AGL (above ground level, offizieller Luftfahrtbegriff), wobei sich letzterer Begriff auf den Boden direkt unter der Drohne und nicht auf den Startpunkt bezieht.

Es ist nicht in der Lage, seine Höhe über dem Meeresspiegel (AMSL über dem mittleren Meeresspiegel) zu kennen, es sei denn, es wird beim Start für die QNH (Query Nautical Height, die sich im Laufe des Tages ändert) kalibriert.

Magnetometer: Richtung und Lage (Kompass)

Das Magnetometer reagiert auf das Magnetfeld der Erde, um die Ausrichtung der Drohne in Bezug auf den magnetischen Norden und auch ihre "Lage" zu bestimmen: ihre Neigung im Verhältnis zur Horizontalen.

Da dies nicht sehr genau ist, hilft ein weiteres Instrument (das Gyroskop) bei der Klärung dieser Informationen.

Kalibrierung: Das Magnetometer muss von Zeit zu Zeit kalibriert werden, indem das Gerät nach Aufforderung durch die Fernbedienung entlang seiner 3 Achsen bewegt wird.

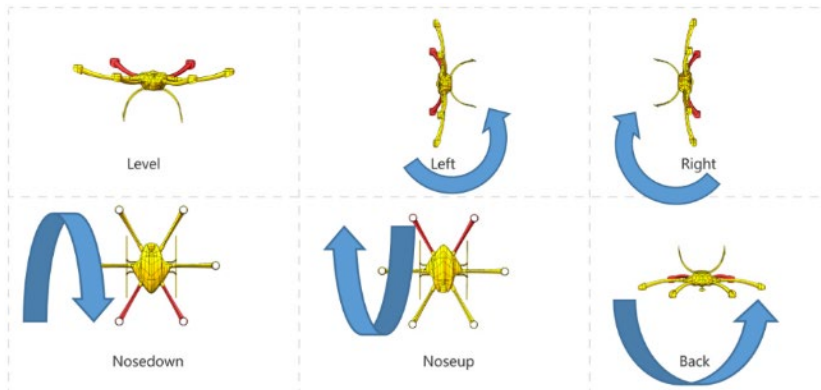


Abbildung 16 Kalibrierungsbewegungen um jede Achse - yangdaonline.com

Gyroskop: Einstellung

Früher rotierende Massekreisel, heute Miniaturschaltkreise. Das Gyroskop ermöglicht die Bestimmung der Orientierungsschwankungen einer Drohne um ihren Schwerpunkt.

Für jede Achse gibt es einen Kreisel: Gieren, Nicken, Rollen; so weiß das Gerät immer, "wie viel" es sich dreht und in welcher Achse.

Kalibrierung: Das Gyroskop muss von Zeit zu Zeit kalibriert werden, indem das Gerät nach Aufforderung durch die Fernbedienung entlang seiner 3 Achsen bewegt wird.

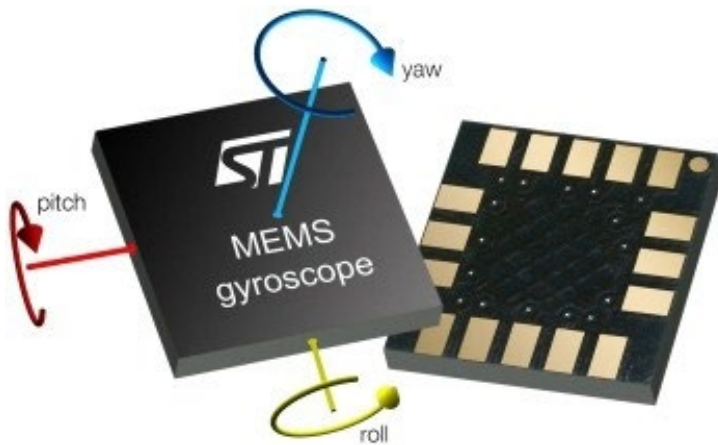


Abbildung 17 MEMS-Gyroskop (STmicroelectronics)

Beschleunigungsmesser : Geschwindigkeitsänderung in alle Richtungen

Misst den Zustand der Beschleunigung der Drohne um ihre 3 Achsen und informiert den Flugregler.

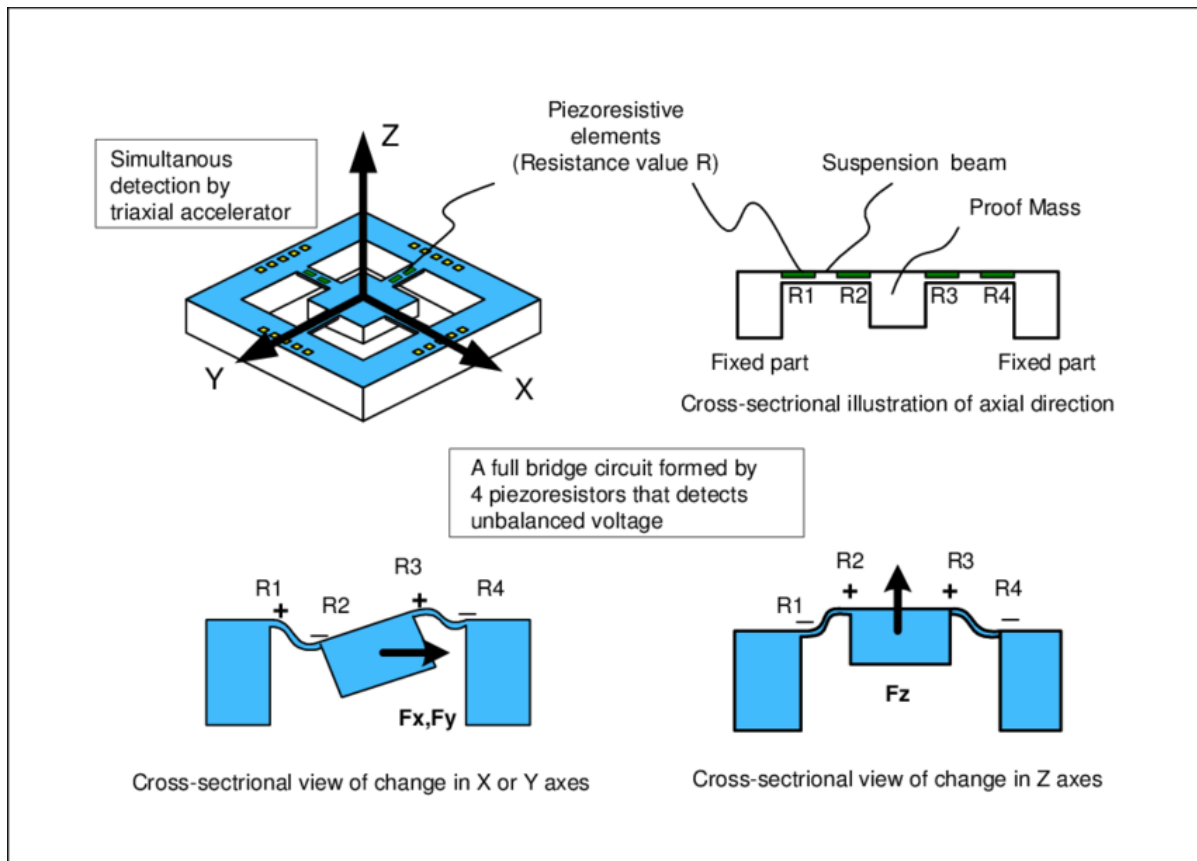


Abbildung 18 Prinzip eines Mikrobeschleunigungsmessers (researchgate.net, Veröffentlichung von Xuemin-chen)

Thermometer

Zur Einstellung der Empfindlichkeit der Sensoren, der Motorgeschwindigkeit (kühle Luft ist dichter), der Batterieleistung und der Höhe.

3.4 Ultraschall-Näherungssensoren

Senkrecht unter der Drohne: geringe Höhe zum Boden

Unter dem Gerät befindet sich ein Ultraschall-Sender/Empfänger, der der Drohne die Entfernung zum Boden (oder einem Hindernis) anzeigt. Er wird nur auf kurze Distanz verwendet, höchstens 3 bis 4 Meter.



Abbildung 19 Ultraschall-Sender und -Empfänger - eye4i.ch

Horizontal an den Seiten der Drohne

Dieselben Vorrichtungen, aber zur Erkennung der Seiten der Drohne und zur Vermeidung von Kollisionen beim Vorwärts- und Rückwärtsfliegen.

Nicht alle Drohnen sind mit Seitensensoren ausgestattet, aber alle "professionellen" Modelle schon.



Abbildung 20 Vertikale und horizontale Ultraschallabtastung - microcontrolertips.com

3.5 Sensoren Hinderniserkennung

Rund um die Drohne sind Kameras angebracht, um sich nähernde Objekte zu erkennen. Dieses Gerät ersetzt die Ultraschallsensoren, da es differenzierter und damit effektiver ist. Es kann im sichtbaren oder infraroten Bereich arbeiten.

Diese Drohne verfügt über verschiedene Arten von Näherungssensoren, die um den Körper herum angebracht sind.



Abbildung 21 Sensoren Hinderniserkennung (drone-festival.com)

3.6 GNSS Globales Satellitennavigationssystem ("GPS")

Durch den Empfang von Satellitensignalen (im Abstand von 20.000 km) erhält ein Rechner die Position der Drohne in Bezug auf das Ellipsoid WGS84 in Längen- und Breitengrad sowie in Ellipsoidhöhe (siehe Modul 6 Geolokalisierung).

Leider ist das System selbst nicht genauer als ein paar Meter... in der Größenordnung einer Drohne könnte es nicht sehr nützlich sein, aber...

GNSS-Positionierung der Drohne: relativ zum Startpunkt

Dieses Modul ermöglicht es der Drohne, ihre räumliche Position auf der Erde zu bestimmen: Breitengrad, Längengrad und ellipsoidische Höhe.

Zunächst muss die Drohne einige Minuten lang auf dem Startplatz stillstehen, um eine korrekte Position durch das GNSS, gewöhnlich "GPS" genannt, zu erhalten. Die Genauigkeit ist hier metrisch (ca. 3 Meter), aber wenn die Drohne fliegt, dann ist die Position **relativ zu diesem Startpunkt** dezimetrisch, also 10 bis 30 cm, was besser ist. Dies ermöglicht der Drohne, zur gleichen genauen Position zurückzukehren, wenn die Taste "Zurück zum Start" gedrückt wird.

Verbesserte Präzision: RTK, zentimetrische Positionierung

Um die Position einer Drohne zentimetergenau bestimmen zu können, muss sie mit einem Real Time Kinematic (RTK)-System ausgestattet sein, das den Datenempfang per Telefon (SIM-Karte oder WIFI) und ein Abonnement für einen RTK-Dienst (Datenbank zur Positionskorrektur in Echtzeit) erfordert. Diese Konfiguration ermöglicht ein besseres photogrammetrisches Verfahren, da die Positionen der Fotos leichter zu ermitteln sind. Wir erhalten auch direkt und präzise geolokalisierte Fotos für GIS-Anwendungen.



Abbildung 22 GPS-Empfänger - Beitian corp.

3.7 Elektromotoren und ihre ESC

Die Motoren sind bürstenlos (ohne rotierende Kontakte): Ihre Drehung wird durch die sequentielle Speisung von feststehenden Elektromagneten verursacht, die ihrerseits die zentralen rotierenden Permanentmagneten anziehen. Der Motor dreht sich mit einer Geschwindigkeit, die von der Leistung der Magnete und der Geschwindigkeit der Sequenz abhängt. Die Steuerung der Stromzufuhr zu den Magneten ist eine wichtige Funktion, um sicherzustellen, dass die Motoren ordnungsgemäß funktionieren. Diese Funktion übernimmt der ESC (Electronic Speed Controller), von dem es pro Motor einen gibt.

- ➔ Da sie zur Kühlung offen sind, sollten die Motoren vor Wasser geschützt werden (die meisten Drohnen vertragen jedoch auch einen leichten Regen), damit kein Staub und vor allem kein Sand eindringen kann.

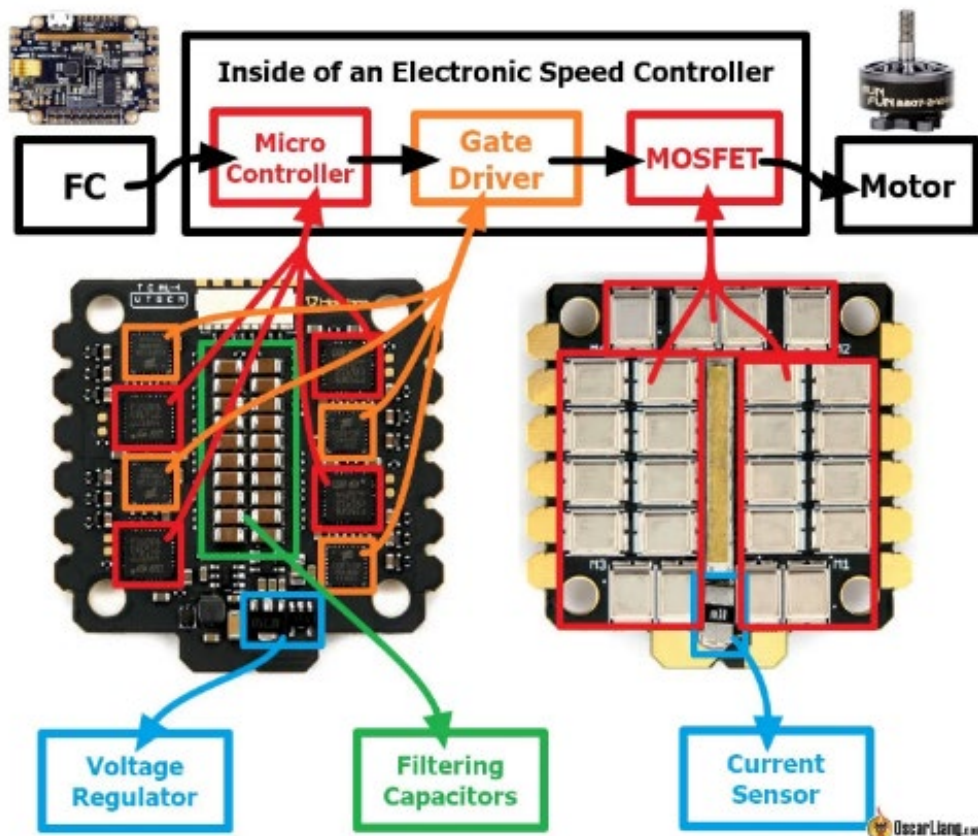


Abbildung 23 ESC - oscarliang.com

3.8 Propeller

Sie werden vom Motor angetrieben und sorgen für den Auftrieb und die Bewegungen der Drohne. Ihre Merkmale sind ihr Durchmesser und ihre Steigung, zwei Zahlen, die auf dem Propeller mit ihrer Drehrichtung angegeben sind.

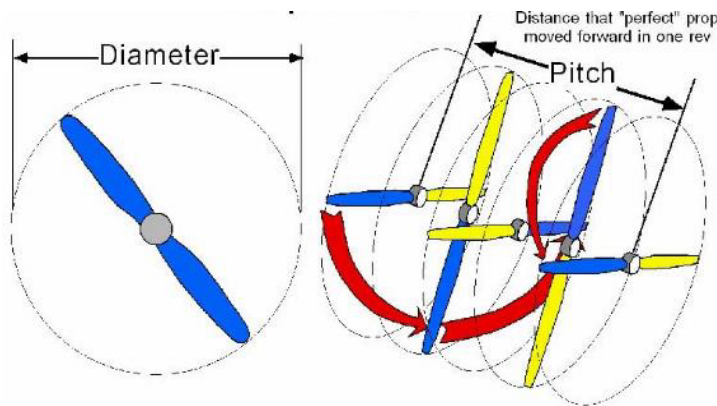


Abbildung 24 Definition des Propellers (bowersflybaby.com)

- ➔ Überprüfen Sie ihren guten Zustand: Jede Beschädigung führt zu Luftwiderstand und erfordert mehr Kraft zum Fliegen (daher kürzere Flugzeit) oder Instabilität.
- ➔ Überprüfen Sie die korrekte Montage: Sie sind nicht austauschbar; jeder Propeller hat seinen eigenen Motor!

Herkömmliche Propeller sind faltbar, leicht zu verstauen und weniger gefährlich im Falle eines Kontakts mit einem Hindernis (Explosion) oder einem Menschen.

Ihre besondere Form an den Enden vermeidet Luftwiderstand (effizienter) und Lärm (akzeptabler für die Umstehenden).

Da sich die Motoren nicht alle in die gleiche Richtung drehen (siehe oben), ist es ratsam, auf eine gute Abstimmung zwischen dem Propeller und der Position des Motors zu achten.



Abbildung 25 Propeller -DJI

3.9 Netzgerät (Stromverteiler)

Das Leistungsteil verteilt die elektrische Energie an die verschiedenen Komponenten und sorgt dafür, dass die richtige Spannung und Stromstärke entsprechend dem Bedarf und der Kapazität der einzelnen Komponenten verteilt wird. Es sorgt für die Kontrolle des Akkus und informiert den Flugregler über dessen Zustand.



Abbildung 26 Stromverteiler für Drohnen - hobbyking.de

3.10 Batterien

In der Regel handelt es sich um Lithium-Polymer-Batterien; sie liefern elektrischen Gleichstrom. Ihre Spannung variiert je nach Marke.

Die verfügbare Energie einer Batterie wird in Ah (Amperestunden) gemessen: je höher diese Zahl ist, desto mehr Strom kann die Batterie liefern. Eine 10-Ah-Batterie kann 1 Stunde lang einen Strom von 10 A oder 10 Stunden lang 1 A liefern, bevor sie "leer" ist.

Sie kann auch in Wh (Wattstunde) ausgedrückt werden, d. h. in der Leistung, die in einer Stunde abgegeben werden kann. Dies ist dasselbe wie $P=U \cdot I$. Wenn wir also I (in Ah) und U (in Volt) kennen, haben wir die Wh.

Beispiel: 2700Ah Akku unter 7,6V liefert $2,7 \times 7,6 = 20,52$ Wh

Die Betriebsdauer hängt von der Stromaufnahme der Drohne ab: Wenn sie 1 A mit einer Batterie von 5 Ah verbraucht, können wir 5 Stunden fliegen.

Allerdings sollte man die Akkus nie ganz entleeren, denn dadurch sinkt ihre Ladekapazität allmählich, man beendet den nützlichen Flug bei 20% Restkapazität, um bei 15% Minimum zu landen.

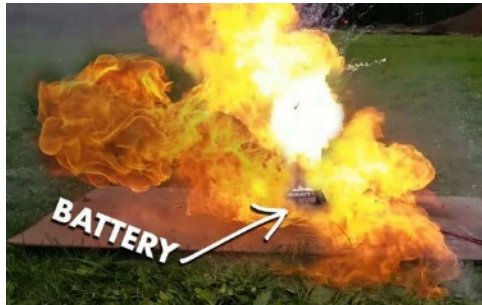
In Wirklichkeit können aktuelle Drohnen zwischen 20 und 45 Minuten fliegen. Beispiel Parrot Anafi: Der Akku hat 2700 mAh (2,7 Ah) bei 7,6 V und fliegt im Durchschnitt 15 Minuten, bevor er auf 20 % entladen ist.

Also: $2700 \times 0,8 = 2160$ Ah verbraucht in 15' = $15/60 = 0,25$ Stunde

- → die Drohne verbraucht $2160/0,25 = 8,64$ A, was ziemlich viel ist.
- Da die Spannung aber nur 7,6 V beträgt, ergibt sich nur eine Leistung von $7,6 \times 8,64 = 65,7$ W (zur Erinnerung: $P = U \cdot I$ bei Gleichstrom).

Empfindlichkeit der Batterien:

- gegen Überlastung: keine Möglichkeit, die Entladekapazität zu überschreiten = eine Batterie hat eine maximale Stromstärke, die sie liefern kann, darüber hinaus verschlechtert sie sich und kann sogar Feuer fangen. **VERWENDEN SIE NUR DAS LADEGERÄT DES HERSTELLERS**
- Hitze/ nicht hinter Glas in direktem Sonnenlicht lagern, Brandgefahr
- Schocks: die Materialschichten können beschädigt werden und eine brennende chemische Reaktion auslösen
- Schnelles Aufladen: so weit wie möglich vermeiden, "langsames" oder normales Aufladen verwenden, wenn kein Notfall vorliegt, und **NICHT** die ganze Nacht über an anderen Ladegeräten als denen des Herstellers angeschlossen lassen - **BRANDGEFAHR**.
- Bei längerer Lagerung: mit halber Ladung lagern, gelegentlich bis zur halben Ladung aufladen



Überladene Batterien
oder
für mehr als 3 Tage
gelagert voll
aufgeladen
oder
beschädigte Batterien
kann einen Brand
verursachen.

*Abbildung 27 brennende Batterie durch
vollgeladene Lagerung - swellpro-uk.co.uk*

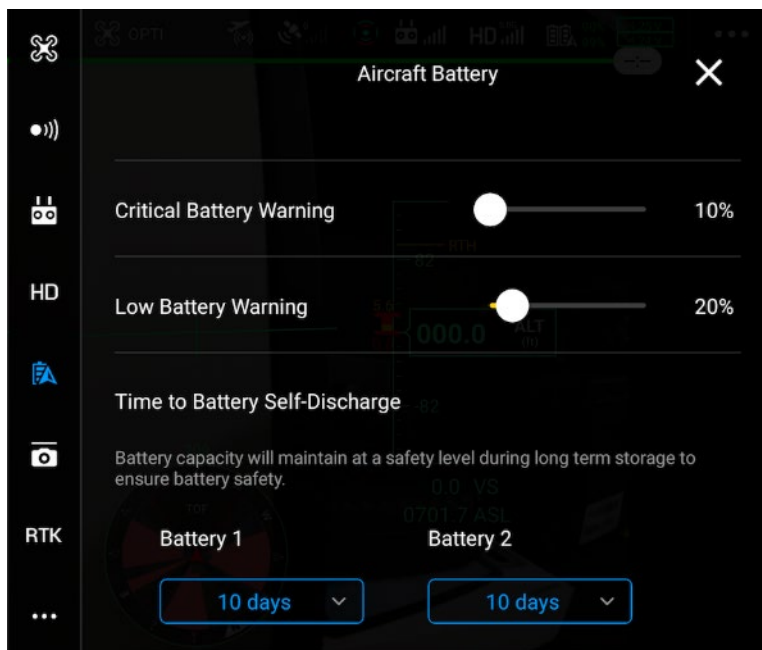


*Abbildung 28 Warneaufkleber -
fromkristies.blogspot.com*

Die meisten Akkus verfügen über ein Sicherheitssystem zur automatischen Entladung:
Wenn sie voll aufgeladen sind und länger als 3 Tage nicht benutzt werden, senkt ein
internes System die Ladung auf ½ Ladung ab; bevor Sie Ihre Drohne betreiben, sollten Sie
die Akkus also aufladen, um sie wieder auf volle Kapazität zu bringen.



Abbildung 29 Batterie auf 1/2 Ladung ist gut für die Lagerung - generation-nt.com



Versuchen Sie, bei der Verwendung der Drohne nicht unter 20 % Kapazität zu gehen, da dies die Batterien vorzeitig altern lässt, überprüfen Sie dies auf dem Bildschirm der Fernbedienung, stellen Sie eine Warnung in den Parametern ein.

Hier können Sie auch die Anzahl der Tage bis zur automatischen Selbstentladung einstellen

Abbildung 30 Einstellungen für die Batteriewarnung - DJI

Zellenanalyse und -einstellung: Die Spannung der Zellen, aus denen sich der Akku zusammensetzt, sollte immer überprüft werden (wenn die Funksteuerung sie anzeigen kann, andernfalls erfolgt die Überprüfung automatisch): Es sollte kein Unterschied von mehr als 0,1V zwischen den Zellen bestehen, was auf einen Fehler hinweisen würde. Sollte dies der Fall sein, tauschen Sie die Batterie aus und entsorgen Sie die defekte Batterie in einem feuerfesten Beutel, da die Gefahr besteht, dass sie Feuer fängt. Die Prozentsätze für die Warnung bei schwacher Batterie können eingestellt werden.

Tip: 25% für eine einfache Warnung, 10% für eine sofortige Landewarnung.

Die Rückkehr nach Hause (RTH) kann auch auf automatisch eingestellt werden, z. B. bei 20 % Batterie.

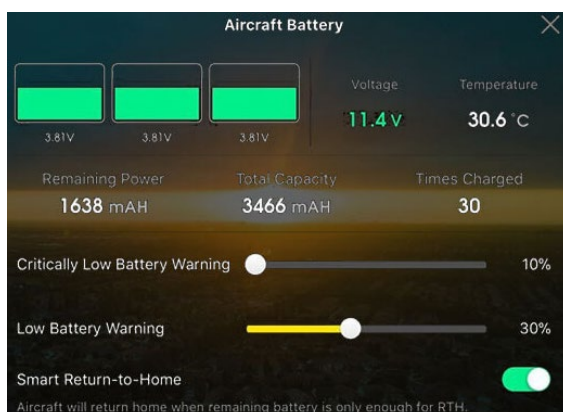


Abbildung 31 Batteriezellen - Einstellungen (Volt)

4. Fernbedienung

4.1 Übertragung

- Ermöglicht es dem Piloten, die Flugbahn der Drohne zu steuern. Die Verbindung wird über Kommunikationsprotokolle auf speziellen und genehmigten Frequenzbereichen hergestellt.
- Im Allgemeinen werden die Informationen zur Flugbahnsteuerung auf der Frequenz 2,4 GHz übertragen. Diese Frequenz ist mit den für Wi-Fi verwendeten Frequenzen identisch. Aus diesem Grund kann es beim Fliegen in städtischen und/oder bewohnten Gebieten zu Interferenzen zwischen der Fernsteuerung und der Drohne kommen.
- Wenn die Drohne mit Kameras ausgestattet ist, wird die Videoübertragung auf einer anderen Frequenz, in der Regel 5,8 GHz, durchgeführt. Diese höhere Frequenz ermöglicht höhere Datenraten (die für die Übertragung von Bildern erforderlich sind), trotz einer geringeren Reichweite im Vergleich zur 2,4-GHz-Frequenz.
- Andere Frequenzen sind 1,3GHz, 900MHz oder 433MHz. Die historischen 27 MHz oder 72 MHz, die für Modellflugzeuge verwendet wurden, werden wegen der Störungen und der langen Antenne nicht mehr für Drohnen verwendet. Je niedriger die Frequenz, desto länger die Antenne.
- Für alle Frequenzen gilt, dass die stärksten Frequenzen aufgrund von atmosphärischen Verlusten weiter senden, siehe die Spezifikationen Ihrer Drohne.
- Einige Drohnen für rein professionelle Zwecke können das Telefonnetz (4G) für die Übertragung nutzen, wodurch ihre Reichweite extrem erhöht wird.
- Während des Fluges muss der Fernsteuerungspilot überprüfen, ob das Signal stark genug ist und ob sich die Drohne im Empfangsbereich befindet, um die Kontrolle zu behalten. Signalstärke und -qualität werden normalerweise auf dem Display der Fernsteuerung angezeigt.

4.2 Kontroller

Kontrollmodi

Es ist möglich, den Regler in verschiedenen Konfigurationen einzustellen:

Modus 1 ist der aktuelle "Modellflugzeug"-Befehl, der von Piloten für geflügelte Drohnen verwendet wird.

Modus 2 ist der übliche Multirotor-Befehl, den alle Piloten verwenden (einige kleine Spielzeugdrohnen haben nur diesen Modus): Linker Joystick für Auf/Ab und Rotation, rechter Joystick für Vorwärts/Rückwärts und Links/Rechts-Übersetzung.

Modus 3 und Modus 4 können in besonderen Situationen verwendet werden.

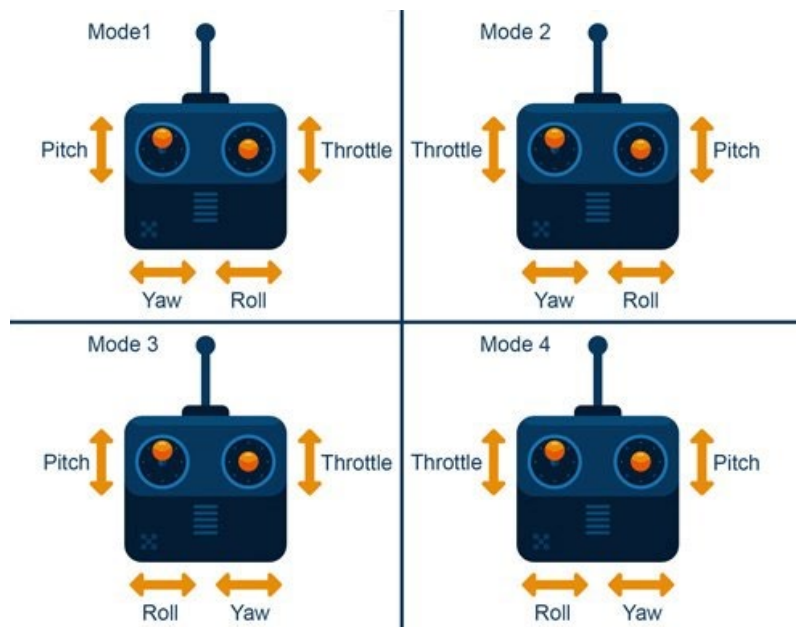


Abbildung 32 Kontrollmodi (gitplanet.com)

MODE 2 Bewegungen im Detail

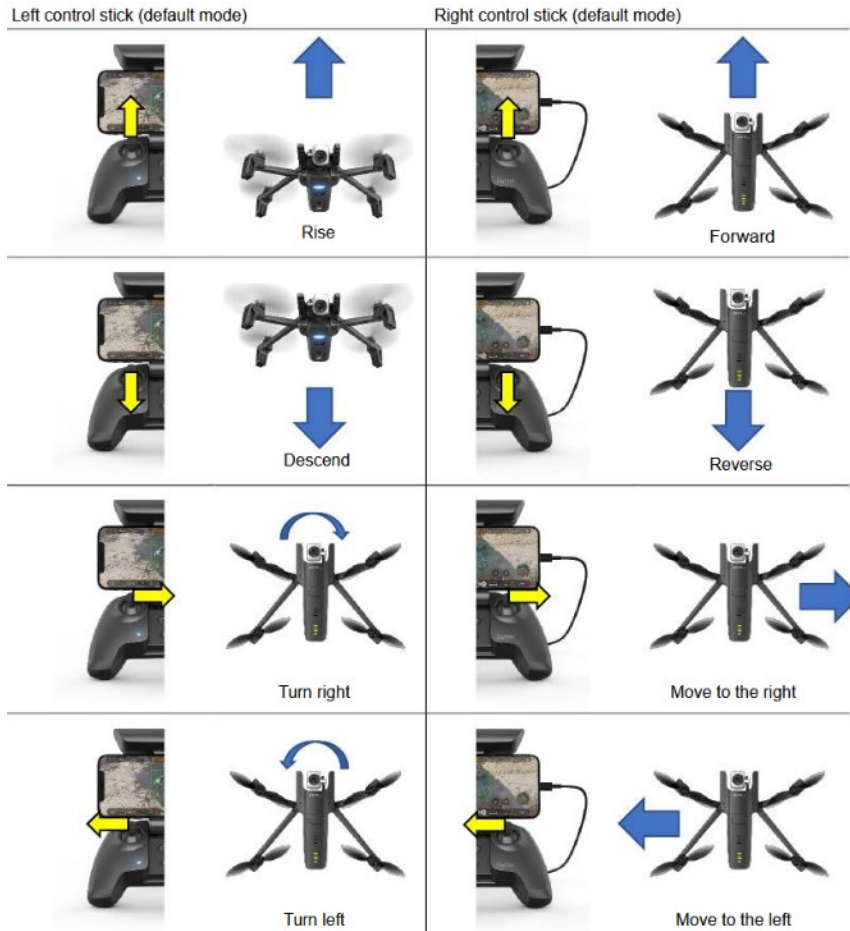


Abbildung 33 Drohnensteuerung im Modus 2 (Parrot Anafi Handbuch)

Verschiedene Arten von Drohnen-Controllern

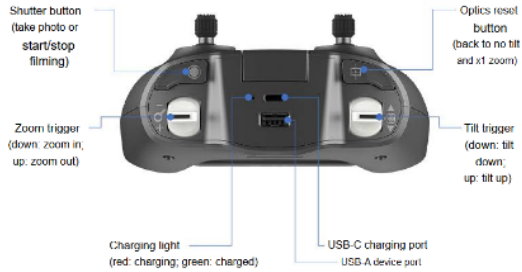


Abbildung 34 Rückseite des Parrot Anafi Controllers (Parrot)



Abbildung 35 taktisches Mobilicom-Steuergerät (Mobilicom)



Abbildung 36 DJI Smart Controller (DJI)

Je nach Hersteller (und Preis) kann der Bildschirm Teil des Controllers sein, oder ein Smartphone/Tablet zum Umschalten auf den Befehl.



Kamera-Video-Rückkehr,
+ Informationsbildschirm
+ Tablette
= ein sehr informativer Controller !

Abbildung 37 GCS-Steuerung für professionelle Kameraleute (pinterest.fr)

Parameter in der Anzeige

Beispiel für das Anafi























Abbildung 38 Anzeige der Anafi-Steuerung (Parrot)

Oben ist der Anafi-Bildschirm in 4 Teile unterteilt, die sich um die zentrale Ansicht der Kamera drehen (die durch die Karte ersetzt werden kann, die in dem kleinen Kreis an der Seite zu sehen ist).


<p>Informationen zum Drohnenflug:</p> <p>Geschwindigkeit // Höhe // Entfernung vom Startpunkt</p>	<p>Batterien und GPS-Informationen:</p> <p>Batteriestand und GPS in der Fernbedienung ok // Batteriestand in der Drohne und GPS ok</p>
<p>Kameraansicht (oder Karte)</p> <p>Vergößern</p> <p>Wert (Kreis: Karte oder Kameraansicht)</p>	<p>Kamera</p> <p>Neigung</p>
<p>Art des Flugmodus:</p> <p>Allgemeiner Reaktionsmodus // manuell oder automatisch // Auswahl der "cineshots":</p> <p>(mir folgen, sich um einen Punkt drehen, einen Punkt während der Bewegung in der Mitte halten...)</p>	<p>Bedienung der Kamera:</p> <p>Foto- oder Videoaufnahme // Verschlusszeit, Blende, Helligkeitseinstellung, Dateikomprimierung // mögliche Anzahl von Fotos oder Videominuten im Speicher // Foto- oder Videoauslöser</p>

Drone Flight Modes

	Acro Aerobatic, Agility, Manual, Rate		Drift		Home Lock Carefree, Headless, Simple		Return to Home Auto Return, Return to Launch, RTL
	Active Track		First Person View FPV		Hover Hold Position, Loiter		Tap Fly
	Altitude Hold A-mode, ATII		Follow Me		Normal Angle, Horizon, Position, Standard		Terrain Follow
	Auto Land One Touch Down		Geo-fencing Safe Circle		Obstacle Avoidance		Tripod Beginner
	Course Lock		Gesture		Point of Interest Circle, Orbit		Wayfind Guided, Programmed

Primary Modes
 Smart Modes
 Advanced Modes

There are many other specialized modes



Stephens

Abbildung 39 Beispiel für Flugmodi (Stephens - Flickr.com)

5. Wartung

5.1 Wartungsaufzeichnungen

Der Hersteller eines UAS oder gegebenenfalls der Inhaber seiner Musterzulassung muss ein Handbuch oder eine Reihe von Handbüchern erstellen und entwickeln, in denen die Wartung und Inspektion des UAS beschrieben sind. Diese Handbücher müssen Leitlinien für die Durchführung der erforderlichen Inspektions-, Wartungs- und Reparaturarbeiten auf den entsprechenden und spezifischen Ebenen des Luftfahrzeugs und der zugehörigen Systeme enthalten.

Der Betreiber ist für die Aufrechterhaltung und den Erhalt der Lufttüchtigkeit verantwortlich und muss jederzeit nachweisen können, dass das UAS und die zugehörigen Systeme die Lufttüchtigkeitsbedingungen aufrechterhalten, mit denen sie hergestellt wurden. Darüber hinaus muss der Betreiber alle Anforderungen an die Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit erfüllen, die vom Hersteller und/oder der EASA für verbindlich erklärt wurden.

Zu diesem Zweck muss der Betreiber ein Datenerfassungssystem einrichten, das Folgendes umfasst

- Die durchgeführten Flüge und die Flugzeit.
- Die Mängel traten vor und während der Flüge auf, um sie zu analysieren und zu beheben.
- Bedeutende Ereignisse im Zusammenhang mit der Sicherheit.
- Durchführung von Inspektionen und Wartungsmaßnahmen sowie Austausch von Teilen.

In jedem Fall müssen die Wartungsarbeiten und Reparaturen nach den Richtlinien des Herstellers oder gegebenenfalls des Inhabers der RPA-Musterzulassung durchgeführt werden.

5.2 Inhalt des Wartungsprogramms

Das UAS-Instandhaltungsprogramm legt die Einzelheiten aller Instandhaltungsaufgaben fest, die auf der Grundlage des vom Hersteller gelieferten Instandhaltungshandbuchs durchgeführt werden müssen, einschließlich ihrer Häufigkeit und aller spezifischen Aufgaben im Zusammenhang mit der Art und Besonderheit der Tätigkeiten.

Sie müssen festlegen, welche Arten von Überprüfungen für das UAS gelten und mit welcher Periodizität sie durchgeführt werden, entweder nach Betrieb, Stunden, Kalender, Flugzyklen (Start/Landung) oder einer Kombination davon. Darüber hinaus muss der Betreiber alle von der AESA/EASA für verbindlich erklärten Anforderungen an die Instandhaltung der Lufttüchtigkeit einhalten.

Unter Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit sind alle Prozesse zu verstehen, die sicherstellen, dass das UAS zu jedem Zeitpunkt seiner Betriebsdauer die geltenden Lufttüchtigkeitsanforderungen erfüllt und somit in der Lage ist, einen sicheren Betrieb durchzuführen. Andere Anforderungen wie die physische Sicherheit müssen berücksichtigt werden.

Das Programm muss eine Liste der zu verwendenden Geräte sowie die Häufigkeit der Kalibrierung der Geräte, die dies erfordern, enthalten.

5.3 Erste Kontrolle nach der Montage

Nach dem Zusammenbau des UAS und vor dem ersten Flug wird eine vollständige Revision durchgeführt, die eine Überprüfung der Struktur im Allgemeinen, der Konfiguration und der Funktionsfähigkeit des Systems umfasst:

Überprüfung aller Elemente

Struktur, Gehäuse, Ausrüstung und Systeme, Motoren, Regler, Leistungsverteiler, Propeller/Rotoren, Getriebe, elektrische Anschlüsse, Verkabelung, allgemeine Schrauben, Beleuchtung, Lackierung, Notfallsysteme, Kennzeichenbefestigung, Rotoren, Gestänge, Schwingungsplatte, Blatthalter, Wellen, Stabilisatoren, Ritzel, Kronen, Gassack, Gondeln, Rohre, Filter, Tanks... (wobei jedes Element für den jeweiligen Flugzeugtyp spezifiziert wird).

Funktionsprüfung am Boden

- Kalibrierung und Überprüfung der Sensoren und Geräte, die für die Durchführung des vorgesehenen Betriebs erforderlich sind (Kalibrierung der Sendersteuerung und der Steuerknüppel, der Empfängerverbindung und der korrekten Kanäle, Kalibrierung des ESC, korrekte Nummerierung und Drehrichtung der Elektromotoren, korrekte Positionierung der Propeller, korrekte Auswuchtung der Propeller).
- Kalibrierung und Überprüfung der Sensoren und der Ausrüstung, die für die Durchführung des vorgesehenen Betriebs erforderlich sind (Kalibrierung der Sendersteuerung und der Steuerknüppel, der Empfängerverbindung und der korrekten Kanäle, Kalibrierung des ESC, korrekte Nummerierung und Drehrichtung der Elektromotoren, korrekte Positionierung der Propeller, korrekte Auswuchtung der Propeller)
- Prüfen Sie seine Funktionsfähigkeit (einschließlich der Flugsteuerung in mindestens 30 m Entfernung vom Flugzeug).
- Installation der entsprechenden Softwareversion und Überprüfung ihrer Funktionsfähigkeit.
- Führen Sie die vom Hersteller festgelegten Funktionstests durch, falls zutreffend.
- Betrieb von Kommunikationseinrichtungen - Datenverbindung, Betrieb von Videoübertragungseinrichtungen. Signalstärke und -qualität.
- Überprüfung der korrekten Funktion der Navigationsausrüstung (Autopilot und Stabilisator) und der bordseitigen Sensoren (GPS, IMU, Barometer, Gyroskop, Magnetometer, Staurohr). Konfiguration und Kalibrierung.
- Überprüfen Sie die korrekte Einstellung und Funktion der Nutzlast.

Funktioneller Flugtest

- Prüfen Sie die Betriebsfähigkeit. (Prüfen Sie den korrekten Betrieb des Luftfahrzeugs in den verschiedenen Flugmodi und testen Sie alle erweiterten Funktionen, sichere Flugabbruchsysteme, Notfallsysteme, Transponder, Erkennung und Vermeidung).
- Betrieb von Kommunikations-, Navigations- und Videoübertragungsanlagen (falls zutreffend).

Batterie

Für eine ordnungsgemäße und sichere Wartung befolgen Sie die nachstehenden Anweisungen:

- Verwenden Sie zum sicheren und effektiven Laden nur spezielle Ladegeräte für Lithium-Polymer-Akkus (LIPO). Die meisten LiPo-Akkus sollten mit maximal 4,2 Volt pro Zelle geladen werden. Bei unsachgemäßem Gebrauch oder schlechtem Laden des LIPO-Akkus kann es zu Feuer, Verletzungen oder Schäden an Personen oder Gegenständen kommen.
- Sie müssen die Batterie während des Ladevorgangs ständig überwachen.
- Laden Sie Akkus nicht in der Nähe von brennbaren oder elektrisch leitenden Materialien. Verwenden Sie für mehr Sicherheit spezielle feuerfeste Beutel, um den LiPo zum Laden einzuführen.
- Laden Sie niemals einen aufgequollenen, vergrößerten, beschädigten oder defekten Akku.
- Überladen Sie die Batterie nicht, sondern trennen Sie sie nach Abschluss des Ladevorgangs vom Ladegerät.
- Ziehen Sie den Stecker des Batterieladegeräts, wenn Sie es nicht benutzen.
- Lagern Sie die Batterien in einem Metall- oder Keramikbehälter oder in speziell dafür vorgesehenen feuerfesten Beuteln. Lagern Sie die Batterien immer bei Raumtemperatur, extreme Temperaturen werden nicht empfohlen. Lagern Sie Batterien an Orten mit Temperaturen zwischen 4 und 27 Grad, um sie in perfektem Zustand zu halten. Beim Transport der Batterien sollte die Temperatur immer zwischen -5° und 66°C liegen.
- Lagern Sie die Batterien immer fern von Feuer oder anderen Wärmequellen. Setzen Sie die Batterien nicht über einen längeren Zeitraum hinweg direktem Sonnenlicht aus.
- Lagern Sie Batterien immer mit einer Teilladung (30 %), wenn sie eine Zeit lang nicht benutzt werden. Lagern Sie sie nicht völlig entladen. Batterien verlieren bei guter Lagerung etwa 5 % pro Monat.
- Bewahren Sie beschädigte Batterien nicht in Plastiktüten auf.
- Warten Sie nach dem Gebrauch der Batterien etwa 25 Minuten, bis sie abgekühlt sind, um sie sicher wieder aufzuladen.

- Vergewissern Sie sich, dass die Anschlüsse korrekt vorgenommen wurden. Eine Verpolung kann zu Schäden, Bränden und sogar Explosionen führen.
- Schließen Sie die Batterie niemals kurz, schneiden oder brechen Sie sie nicht.
- Überprüfen Sie die Batterie nach einem Aufprall. Falls Sie sie entsorgen müssen, denken Sie daran, die geltenden gesetzlichen Bestimmungen für die Abfallentsorgung einzuhalten.
- Legen Sie die Batterie niemals ein oder nehmen Sie sie heraus, wenn das Fahrzeug läuft.
- Trennen Sie die Batterie sofort ab, wenn Sie einen seltsamen Geruch, Geräusche oder Rauch wahrnehmen.
- Versuchen Sie im Falle eines Brandes nicht, die Flammen mit Wasser zu löschen. Verwenden Sie einen Feuerlöscher.
- Lassen Sie die Batterie immer vom Flugzeug abgeklemmt, wenn sie nicht benutzt wird.
- Die Batterie darf nie vollständig entladen werden. Die Spannung der einzelnen Elemente sollte nie unter 3 Volt fallen, da dies zu irreparablen Schäden an der Batterie führen kann. Es wird empfohlen, die Batterie nicht unter 12-18% ihrer Gesamtkapazität oder eine Spannung von 3,4 Volt für jedes der Elemente, aus denen die Batterie besteht, zu entladen.
- Beachten Sie in jedem Fall die Empfehlungen des Herstellers.

5.4 Regelmäßige Überprüfungen.

Vom Hersteller und/oder in der Betriebsanleitung festgelegt:

- **Dokumentation:** Daten des Betreibers, des Wartungstechnikers, Wartungshandbücher des Herstellers. Datum der letzten Revision, Typ, Modell und Registrierung des Luftfahrzeugs.
- **Struktur des Luftfahrzeugs:** Überprüfung auf Beulen, Risse oder Ausrichtungsfehler an Fahrgestell, Rumpf, Stabilisierungsflächen, Fahrwerk, Armen, Verkleidung, Antennen, beweglichen Flächen (Flugzeuge), Hülle und Gasfüllung (Luftschiffe), Schwerpunkt. Fixierung der Schrauben mit Antivibrationskleber. Ersetzen der Servos, falls erforderlich. Kennzeichnungsschild (korrekte Konservierung und Befestigung).
- **Rotoren:** Überprüfung von Sauberkeit, Unebenheiten, Rissen oder Ausrichtungsfehlern im Kraftübertragungssystem, den beweglichen Oberflächen und der Stabilisierung der Taumelscheibe, der Kollektivplatte und des Gestänges (Hubschrauber), der Blatthalter, der Übertragungswelle, des Stabilisators, der Schrauben, des Ritzels, der Krone usw..
- **Motoren (elektrisch):** Allgemeine Sauberkeit, Blattnaben, Befestigung an den Armen, Abwesenheit von Fremdgerüchen. Ggf. Austausch der Lager, Reinigung/Austausch der Lager, Schmierung der beweglichen Teile, Austausch verschlissener Sicherungsringe und Silentblöcke, Austausch überhitzter Variatoren.
- **Motoren (Verbrennung):** Allgemeine Reinigung, Schaufelnaben, Motorbefestigung am Sockel, Kraftstoffzufuhr, Kühlung, Schmierung, Zündung prüfen, Kraftstofftank auf Verunreinigungen prüfen. Reinigung von Flüssigkeitsablagerungen, Schläuchen, Zündkerzen und Zündanlage, Überprüfung der Motorbefestigung und der Befestigungselemente. Kraftstoff- und Luftfilter wechseln.
- **Propeller oder Blätter:** Einstellung derselben und Drehrichtung, physischer Zustand (sauber, ohne Erosionen oder Verschleiß), korrekt ausgewuchtet.
- **Energie:**
 - Flugzeugbatterien: Sichtprüfung, keine Blasen, aufgequollen oder durchlöchert. Zellenbalance mit Tester überprüfen. Ladezustand vor und nach dem Flug messen. Zustand von Kabeln und Steckern (kein Kohlenstoff). Befestigung der Batterie.
 - Senderbatterien: Sichtprüfung, keine Beulen, geschwollen oder durchlöchert. Zellenbalance mit Tester überprüfen. Ladezustand vor und nach dem Flug messen. Zustand von Kabeln und Steckern (kein Kohlenstoff).
 - Batterien des FPV-Bildschirms: Sichtprüfung, weder geplatzt, noch aufgequollen, noch durchlöchert. Prüfen Sie die Zellenbalance mit einem

Tester. Messen Sie den Ladezustand vor und nach dem Flug. Zustand der Kabel und Steckverbinder (kein Kohlenstoff).

- Zahlungspflichtige Batterien: Sichtprüfung, keine Schläge, Schwellungen oder Löcher. Zellengleichgewicht mit Tester prüfen. Messung des Ladezustands vor und nach dem Flug, Zustand von Kabeln und Steckern (kein Kohlenstoff). Befestigung der Batterie.

- **Allgemeine Verkabelung:** Kabel in gutem Zustand, ohne Brüche oder Abnutzung, Stecker in gutem Zustand.
- **LED-Leuchten und/oder Farbe:** Positions-/Navigations- und Codelichter nicht abgesichert. Korrekte Konservierung der Farbe.
- **Nutzlast:** Fixierung und korrekte Bewegungen des Gimbals (im Falle einer kreiselstabilisierten Nutzlast) und korrekte Fixierung im Falle einer anderen Art von Nutzlast.
- **GPS- und Kompass-Positionierung und Kalibrierung:** GPS eingestellt und gespeichert, kalibrierter Kompass.
- **Sender-Bodenstation:** Korrekte Position der Schalter (Altitude, GPS, Fails Safe, etc.), Knüppel in Position O, freie Bewegungen der Knüppel, Antennen korrekt befestigt, Haltegurte und Gurtzeug in gutem Zustand, Flugzeugauswahl im Display, Timeraktivierung, Batteriestand.
- **FPV-Bildschirm:** Korrekte Informationen und IOSD-Übertragung, FPV-Bild, Signalstärke, Anzahl der Satelliten, Blendschutzvisiere korrekt eingestellt.
- **Software-Update:** Überprüfen Sie die implementierte Version und ihre korrekte Funktion.
- **Überprüfung der Leistung und Qualität des Signals.**
- **Funktionsprüfung:** Zündung des Luftfahrzeugs, Überprüfung der Diagnoseleuchten und -geräusche, Anlassen des Motors, Überprüfung der korrekten Kurvenlage und Geschwindigkeit, Abwesenheit von Vibrationen, stationärer Start in 2 m Höhe über dem Boden, gleichmäßiges Vorwärts- und Rückwärtsnicken, Rechts- und Linksneigung, Rechts- und Linksgierkurve. Bei Flugzeugen überprüfen Sie am Boden die korrekte Bewegung der beweglichen Steuerflächen (Quer-, Höhen- und Seitenruder, Klappen, stellen Sie sicher, dass die Steuerungen nicht invertiert sind).
- **Wiederholung der Funktionsprüfung am Boden**
- **Wiederholung des Flugtests**

5.5 Andere reviews

Außerhalb der planmäßigen Grundwartung kann es zu außerordentlichen Überprüfungen kommen, z. B. bei der Feststellung von Anomalien während des Betriebs des Luftfahrzeugs, bei der Durchführung von Änderungen am Luftfahrzeug, bei der Notwendigkeit von Reparaturarbeiten oder beim Austausch von Teilen.

Im Instandhaltungsprogramm werden alle zusätzlichen Instandhaltungsaufgaben aufgeführt, die je nach Luftfahrzeugmuster, Luftfahrzeugkonfiguration sowie Art und Besonderheit des Betriebs durchgeführt werden müssen.

Zum Beispiel:

- Revisionen von Bauteilen mit begrenzter Nutzungsdauer und von grundlegenden Bauteilen für die Flugsicherheit.
- Nach der vom Hersteller festgelegten Frist, sofern zutreffend: Motor, Propeller, Steuerungssystem (Kommunikation/Navigation).
- Vom Hersteller herausgegebene Bulletins.
- Anwendung von Hersteller-Modifikationen.
- Reparaturen.
- Überarbeitungen in den Wartungshandbüchern der einzelnen Komponenten, aus denen das UAS besteht.
- Lufttüchtigkeitsanweisungen für RPAS, die eine von der AESA ausgestellte oder akzeptierte Musterzulassung haben.
- Besondere betriebliche Genehmigungen.

6. Beispiel für einen uas- wartungsbericht

AUFZEICHNUNG DER WARTUNGSVORGÄNGE DES UAS [Typ, Hersteller, Modell und Seriennummer] DES BETREIBERS XXXXXXXX							
DATUM DER REALISIERUNG	ORT DER REALISIERUNG	KLASSE (INSPEKTION, REVISION, REPARATUR)	GESAMTFLUGSTUNDEN	ERLEDIGTE AUFGABEN (Wenn es sich um eine Reparatur handelt, geben Sie die Diagnose und die Abhilfemaßnahmen an)	BEOBACHTUNGEN	DETAILS der Person, die die Wartung durchführt (Name, Organisation, etc.)	UNTERSCHRIFT der Person, die die Instandhaltung durchführt

AUFZEICHNUNG DER WARTUNGSVORGÄNGE DES UAS [Typ, Hersteller, Modell und Seriennummer] DES BETREIBERS XXXXXXXX					
DATUM DER REALISIERUNG	ORT DER REALISIERUNG	EINZELHEITEN ZU DEN ÄNDERUNGEN UND IHRE HERSTELLERANGABEN (Modifikationen, die die Leistung des Luftfahrzeugs verändern)	BEOBACHTUNGEN	DETAILS der Person, die die Wartung durchführt (Name, Organisation, etc.)	UNTERSCHRIFT der für die Änderung verantwortlichen Person

Tabelle 1 Wartungsbuch

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Flügelauftrieb - (flight-mechanic.com-modifiziert)	7
Abbildung 2 Stall (researchgate.net/profile/Mariateresa-Sestit)	7
Abbildung 3 Luftwiderstand - (cyclingdynamics.com)	8
Abbildung 4 Ziehen an einem Profil	8
Abbildung 5 die 4 am Flug beteiligten Kräfte Abbildung 6 Starrflügler-Drohne "Disco"- (technik-ingenieur.fr)	9
Abbildung 7 Propelleraufzug und Antrieb-(firediy.fr)	9
Abbildung 8 Ein Hubschrauber neigt sich zum Fliegen nach vorne - (aircraftsystemstech.com)	10
Abbildung 9 Propelleraktionen zur Steuerung einer Multirotor-Drohne (i.pinimg.com)	11
Abbildung 10 Achsenamen von Drohnen (und Flugzeugen) (parrot.fr)	12
Abbildung 11 Elektronische Komponenten einer Drohne (IO.wp.com)	14
Abbildung 12 Flugsteuerungsanlage - dronenodes.com	16
Abbildung 13 Links zur Flugsteuerung - phaserfpv.com.au	16
Abbildung 14 Arduino IMU (ddcountermeasures)	17
Abbildung 15 DJI Mavic 2 pro IMU (drone-parts-center.com)	17
Abbildung 16 Kalibrierungsbewegungen um jede Achse - yangdaonline.com	18
Abbildung 17 MEMS-Gyroskop (STmicroelectronics)	18
Abbildung 18 Prinzip eines Mikrobeschleunigungsmessers (researchgate.net, Veröffentlichung von Xuemin-chen)	19
Abbildung 19 Ultraschall-Sender und -Empfänger - eye4i.ch	20
Abbildung 20 Vertikale und horizontale Ultraschallabtastung - microcontrolertips.com	20
Abbildung 21 Sensoren Hinderniserkennung (drone-festival.com)	21
Abbildung 22 GPS-Empfänger - Beitian corp.	22
Abbildung 22 ESC - oscarliang.com	23
Abbildung 23 Definition des Propellers (bowersflybaby.com)	24
Abbildung 24 Propeller - DJI	24
Abbildung 25 Stromverteiler für Drohnen - hobbyking.de	25
Abbildung 26 brennende Batterie durch vollgeladene Lagerung - swellpro-uk.co.uk	26

Abbildung 27 Warnaufkleber - fromkristies.blogspot.com.....	27
Abbildung 28 Batterie auf 1/2 Ladung ist gut für die Lagerung - generation-nt.com	27
Abbildung 29 Einstellungen für die Batteriewarnung - DJI	28
Abbildung 29 Batteriezellen - Einstellungen (Volt).....	28
Abbildung 30 Kontrollmodi (gitplanet.com).....	30
Abbildung 31 Drohnensteuerung im Modus 2 (Parrot Anafi Handbuch).....	31
Abbildung 32 Rückseite des Parrot Anafi Controllers (Parrot)	32
Abbildung 33 taktisches Mobilicom-Steuergerät (Mobilicom)	32
Abbildung 34 DJI Smart Controller (DJI)	32
Abbildung 35 GCS-Steuerung für professionelle Kameraleute (pinterest.fr).....	32
Abbildung 36 Anzeige der Anafi-Steuerung (Parrot)	33
Abbildung 37 Beispiel für Flugmodi (Stephens - Flickr.com).....	34

Liste der tabellen

Tabelle 1 Wartungsbuch.....	43
-----------------------------	----