



FLUGWERK

02

UNTER DER HAUBE

In der Flugzeugtechnik wird die mechanische Struktur der Maschine abzüglich aller Antriebs-, Steuer- und Techniksysteme als „Flugwerk“ bezeichnet. Ganz ähnlich dient das Flugwerk in der Welt der Multicopter als Plattform für alle anderen Komponenten. Dabei gibt es überraschend viele Variationen der bekannten X-Form mit vier Rotoren.

IN DER PRAXIS bedeutet dies, dass nahezu alle Multicopter auf Basis eines gedachten Kreises mit Rotoren rund um den Schwerpunkt herum konstruiert werden, was sowohl für Quad- als auch für Hexacopter gilt. Die einzige Variation dieses Prinzips besteht in einem oder zwei Rotoren am oder seitlich vom „Bug“.

In der Praxis gibt es keinen Grund, warum alle Ausleger eines Flugwerks gleich lang sein müssten. Da die Akkus und die Nutzlast die schwersten Teile sind, sollten sie sich in der Mitte befinden, damit die Motorlast gleichmäßig verteilt ist. Weil die Fluglage

nicht von der Aerodynamik abhängt, sondern von der steuernden Software, können sich die Motoren in unterschiedlichen Abständen relativ zur Mitte befinden – allerdings nur dann, wenn die Software die Position und den Abstand der Rotoren kennt. Das ermöglicht auch unsymmetrische Flugwerke – so lange Sie gewillt sind, die Software des Flug-Controllers entsprechend anzupassen.

Die klassische „X“-Form ist jedoch nicht ohne Grund die beliebteste Ausführung: Die Sicht nach vorne ist beim Einsatz einer Kamera nicht versperrt, das Design stellt keine Herausforderung dar und das Ausbalancieren geht leichter von der Hand. Die Designs „Y6“ und „X8“ (zu sehen auf der nächsten Seite) setzen auf zwei Motoren und Rotoren an jedem Ausleger mit größerem vertikalen Abstand. Diese Anordnung ermöglicht mehr Motorleistung bei nahezu gleichem Platzbedarf und die Verwendung größerer Rotoren.



NLROBOTIC Y6 PRO

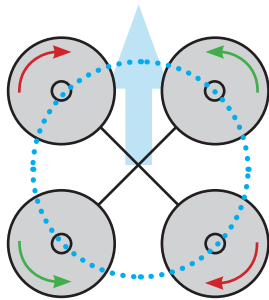
Der Y6 verfügt wie ein Hexacopter über sechs Rotoren und Motoren, also zwei Propeller und Motoren an jedem Ausleger, wobei sich die Rotoren zur Vermeidung einer Rotation durch ein einzelnes Drehmoment in entgegengesetzte Richtungen bewegen. Diese Bauweise erlaubt eine Lücke zwischen den Auslegern, was freie Sicht für Weitwinkelaufnahmen schafft (Bild: nlrobotic.com).



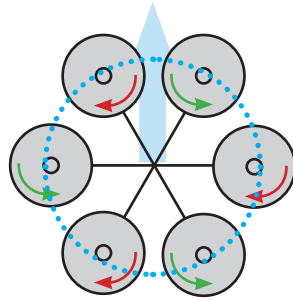


TAROT 680

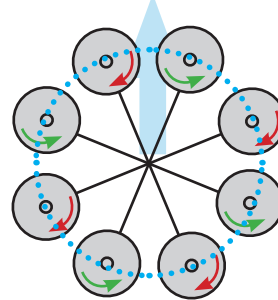
Rohre aus Kohlenstoff sind ein verbreitetes Material für Multicopter-Bausätze. Laut der optimistischen Aussage des Herstellers kann dieses Modell in wenigen Stunden nur mit einem kleinen Schraubendreher zusammengebaut werden.



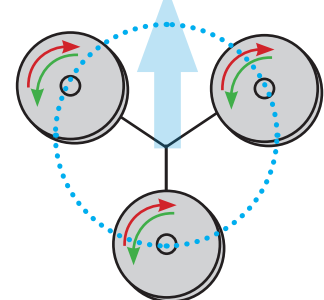
X4



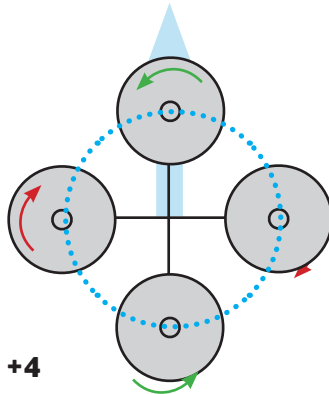
X6



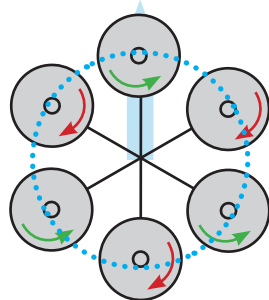
X8



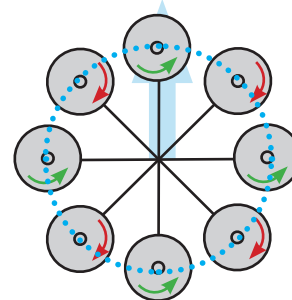
Y6



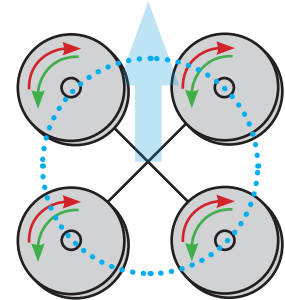
+4



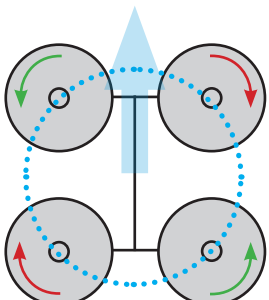
+6



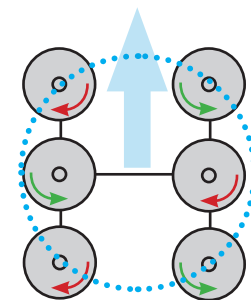
+8



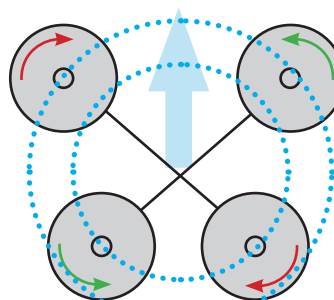
X8



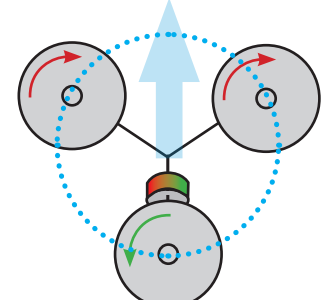
H4



H6



V



Y3

Über Servo neigbarer Heckrotor



AKKUS

02

UNTER DER HAUBE

Erst Lithium-Ionen-Polymer-Akkus („LiPo“) haben Multicopter möglich gemacht. Diese Akkus sind klein, leicht und speichern überraschend viel Energie. Allerdings können LiPo-Akkus auch sehr gefährlich sein - deshalb sollten sie mit Vorsicht und dem nötigen Hintergrundwissen behandelt und eingesetzt werden.

WIR SIND ALLE vertraut mit dem Wiederaufladen von Akkus, wissen aber meist nicht genau, was da vor sich geht. iPhone-Nutzer bekommen den Akku ihres Smartphones nie zu Gesicht (außer sie zerlegen das Gehäuse) und müssen lediglich wissen, wo sie das Ladekabel anschließen. Drohnen-Piloten brauchen da schon mehr Kenntnisse über diese Technologie.

Ein LiPo-Akku besteht aus einer oder mehreren „Zellen“, wovon jede nominell 3,7 Volt an Spannung bereitstellt (das Maximum an Ladespannung liegt bei 4,2 V). Somit stellt ein Paket mit drei Zellen (Abkürzung „3S“) 11,1 V bereit. Die Menge an Energie, die gespeichert werden kann, wird in mAh (Milliamperestunden) gemessen. Mehr mAh bedeuten größere Kapazität, was längere Flugzeiten ermöglicht – was allerdings durch das höhere Gewicht der Akkus zum Teil relativiert wird.

Unter der Entladungsrate versteht man die Geschwindigkeit der Leistungsabgabe. Zwei Zahlenkombinationen wie beispielsweise 25C/35C geben den konstanten Energiefluss sowie die Impulsleistung an, die nur für wenige Sekunden zur Verfügung steht und z.B. beim Start abgerufen wird.

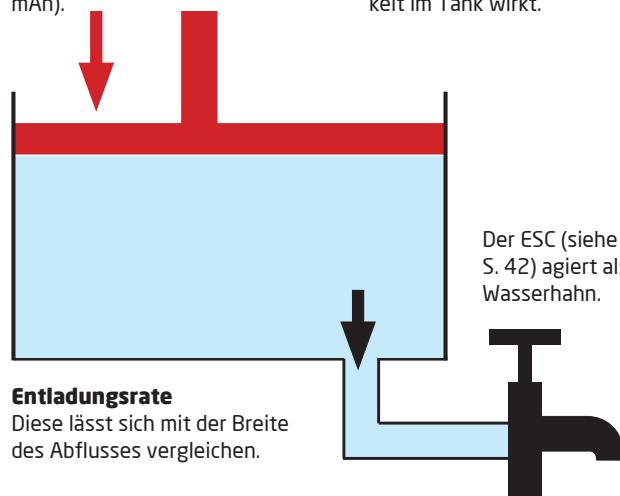
Jeder Akku mit mehr als einer Zelle muss mit einem Balancer-Ladegerät geladen werden, das den Status jeder Zelle überprüft. Die erforderliche Steckverbindung wird als Balancer- oder Ausgleichs-Stecker bezeichnet.

Kapazität (mAh)

mAh bezeichnet das Fassungsvermögen des Tanks (z.B. 5000 mAh).

Spannung (V)

Die Spannung (z.B. 11,1 V) steht für die Kraft, die auf die Flüssigkeit im Tank wirkt.



Entladungsrate

Diese lässt sich mit der Breite des Abflusses vergleichen.

ZELLEN	SPANNUNG	LADELIMIT
1S	3,7	4,2
2S	7,4	8,4
3S	11,1	12,6
4S	14,8	16,8
5S	18,5	21
6S	22,2	25,2
8S	29,6	33,6
10S	37,0	42

Die Spannungen und Ladelimits verschiedener Akkus. Bereits eine geringe Überschreitung des Ladelimits kann zur Zerstörung der Zellen führen.



AKKU MIT MEHREREN ZELLEN

Jeder LiPo-Akku mit mehr als einer Zelle verfügt über zwei Anschlüsse. Der größere ist für die Energieübertragung zuständig, während der kleinere Balance-Stecker zu den einzelnen Zellen führt. Beide Verbindungen sind für das balancierte Laden (siehe unten) erforderlich.

BALANCER-LADEGERÄT

Ein Balancer-Ladegerät benötigt Angaben über Akkutyp (hier LiPo), Kapazität (hier 6000 mAh/6 Ah) sowie Anzahl und Spannung der Zellen (hier drei Zellen, 11,1 V). Der Akku wird mit beiden Anschlüssen verbunden, woraufhin der Ladevorgang in dieser Konstellation nach etwa 30 Minuten abgeschlossen ist.



CONSUMER-AKKU: DJI

Der LiPo-Akku eines DJI Phantom verfügt über ein praktisches Gehäuse mit integrierter Leistungsanzeige. Der Akku besteht wie die unten gezeigte Variante der AR.Drone aus drei LiPo-Zellen.



CONSUMER-AKKU: PARROT

Die beliebte AR.Drone wird von einem LiPo-Akku mit drei Zellen versorgt. Die sekundären Balancer-Anschlüsse befinden sich im Inneren des Gehäuses und werden über Pins mit dem passenden Ladegerät verbunden.

VORSICHT BEIM LADEN!

Lassen Sie LiPo-Akkus während des Ladevorgangs nie unbeaufsichtigt. Defekte Zellen dürfen nicht mit einem Ladegerät verbunden werden, da sie schnell in Flammen aufgehen können. Eindrucksvolle Beispiele finden Sie auf YouTube nach Eingabe des Suchbegriffs „LiPo Fire“.



MOTOREN

02

UNTER DER HAUBE

Die Motoren in Multicoptern erzielen Höchstleistungen – sie rotieren mit 8000 U/min und müssen blitzschnell auf Geschwindigkeitsänderungen reagieren. Da die meisten Drohnen als Quadcopter mit vier Rotoren konstruiert sind, gibt es kein Notsystem: Alle vier Motoren müssen zuverlässig ihren Dienst verrichten, damit es nicht zum Absturz kommt.

DER BÜRSTENLOSE ELEKTROMOTOR gilt als Industriestandard. Traditionelle Bürstenmotoren, die in den 1880ern erfunden wurden, leiden unter einem Leistungsverlust bei hohen Drehzahlen. Dieser entsteht durch den Reibungswiderstand an den Kohlebürsten, welche die Position des Rotors ermitteln und die Polung der Magnetspulen umkehren, um das Drehmoment zu erhalten. Bei bürstenlosen Motoren übernimmt ein elektronischer Regler die Aufgabe des Polwechsels, sodass auf die anfälligen Kohlebürsten verzichtet werden kann.

Neben dem Wegfall der empfindlichen Bürsten ermöglicht die elektronische Regelung extrem schnelle Geschwindigkeitsanpassungen – eine Grundvoraussetzung für Copter. Jeder noch so kleine Teil einer Umdrehung basiert auf einer eigenen Berechnung, sodass solche Motoren in anderen Anwendungsbereichen oft als Schrittmotoren bezeichnet werden.

Neben der Präzision zeichnen sich solche Motoren auch durch ihre Effizienz aus, weshalb sie in vielen Anwendungsbereichen zu finden sind – vom DVD-Player über Industrieroboter bis hin zur U-Bahn. Ihr gutes Leistungsgewicht macht zusammen mit der Leistungsfähigkeit der LiPo-Akkus den Drohnenflug überhaupt erst möglich.

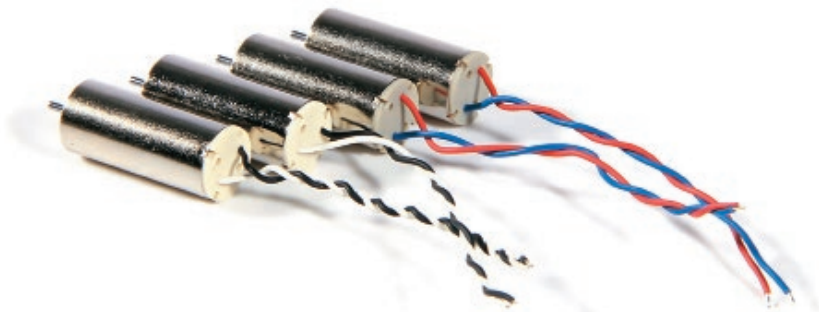
Bürstenlose Motoren arbeiten nur innerhalb eines sehr engen Temperaturbereichs zuverlässig. Bei Überhitzung leidet ihre Effizienz, weshalb Sie die Motorleistung sorgfältig auf das Gewicht Ihrer

Drohne abstimmen sollten. Als Faustregel gilt: Die Motoren sollten in der Lage sein, das doppelte Gesamtgewicht der Drohne zu tragen. Denn zusätzlich zum stabilen Schwebezustand benötigen Sie weitere Schubkraft für den Aufstieg und die Flugmanöver. Können die Motoren das dreifache Gewicht der Drohne tragen, wird es sportlich, aber auch schwer kontrollierbar.

Teilen Sie stets das Gewicht durch die Anzahl der Motoren. Wenn der Copter 200 g wiegt, brauchen Sie 400 g Schubleistung, was zu vier Motoren mit je 100 g Schubleistung führt. Bei einem Hexacopter brauchen Sie sechs Motoren mit je 67 g Schubleistung.

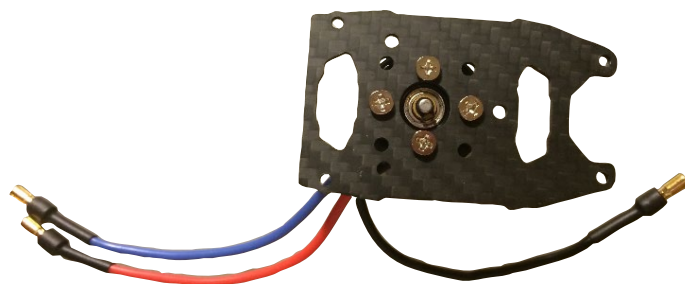
Quadcopter sind meist in Direct-Drive-Technologie konstruiert (DD). Dabei sind die Rotoren ohne Umwege über Getriebe direkt mit den Motorwellen verbunden. Eine der wenigen Ausnahmen bildet die Parrot AR.Drone. Diese überträgt die Motorkraft über Zahnräder an die Rotoren, was das Tuning durch neue Zahnräder mit weniger Reibungswiderstand ermöglicht. Dennoch ist ein Direct-Drive-Antrieb die bessere Wahl.

Bürstenmotoren sind in kleinen, preiswerten und für den Inneneinsatz konzipierten Spielzeugdrohnen zu finden. Sie verfügen über eine geringe Lebensdauer bis hinunter zu gerade mal zehn Stunden. Da ein Flug mit solchen Drohnen jedoch maximal fünf Minuten dauert, bleibt genug Zeit zum Üben, bevor Sie in eine teurere Flugmaschine investieren.



HUBSAN-MOTOREN

Diese Mini-Bürstenmotoren mit dem Durchmesser einer Cent-Münze gehören zu einem Austauschset für den handteller-großen X4-Quadcopter von Hubsan.



MOTORHALTERUNGEN

Ein Tarot-Rahmen mit vorgebohrten Motorhalterungen. In diesem Bild ist ein kleinerer Motor verbaut als im Bild unten.



MONTIERTE MOTOREN

Vier „Außenläufer“ auf den vorgebohrten Halterungen des 690-Flugwerks von Tarot. Bei diesen sehr flachen Motoren dreht sich die Außenhülle des Motors, während die Teile im Inneren statisch konstruiert sind.



MONTAGEBOHRUNGEN

Die Unterseite eines gut belüfteten SunnySky-Motors zeigt die vier Montagebohrungen für die Schrauben. Da die Löcher paarweise in unterschiedlichem Abstand zur Mitte angebracht sind, ergeben sich zwei Montagevarianten.

WICHTIGE PRODUKTMERKMALE

kV Je niedriger der kV-Wert ausfällt, desto größer kann der Rotor sein und desto mehr Schub wird generiert. 600-1200 kV sind Standardwerte, während Rotoren unter 600 kV am stärksten sind.

Maximalstrom (A) Die Höchstmenge an Strom in Ampere, die der Motor verarbeiten kann. Die Akkus stellen den Strom bereit und die ESCs (siehe S. 42) müssen ihn ebenfalls verkraften.

Empfohlene Rotoren Motorenhersteller sprechen klare Empfehlungen für den Durchmesser und Winkel der Rotorblätter aus.

Wellendurchmesser Die meisten Rotoren enthalten Adapter für unterschiedliche Wellen.

Effizienz (Schub in Gramm/W) Unterschiedliche Resultate bei einem Schub von 50% oder 100%.

Gewicht Jeder Motor trägt zum Gesamtgewicht der Drohne bei.



ESC: ELECTRONIC SPEED CONTROLLER

02

UNTER DER HAUBE

Der ESC arbeitet als Bindeglied zwischen den schwachen Signalen des Flug-Controllers und den hohen Leistungsströmen für den Antrieb der Propeller. Er liest die Motorendrehzahl aus und sorgt zusammen mit den Informationen des Flug-Controllers für die passenden Drehzahlen.

KENNTNISSE ÜBER DIE Funktionsweise des ESC (zu Deutsch etwa „Elektronischer Geschwindigkeitsregler“) sind für den Drohnenbau nicht erforderlich, doch Sie müssen wissen, welchen ESC Sie für Ihren Einsatzbereich wählen sollten. Zunächst einmal sind ESCs für Bürstenmotoren und bürstenlose Motoren komplett unterschiedlich, sodass Sie beim Einsatz von Bürstenmotoren auf das richtige Modell achten sollten.

Moderne ESCs verfügen über einen eigenen Kontrollchip, der die Signale vom Flug-Controller interpretiert und die Motoren entsprechend steuert. Diese internen Steuerkommandos erfolgen zusätzlich zu den Kommandos, die Sie als Pilot über die Fernbedienung geben. Die kombinierte Interpretation dieser Steuersignale kann beispielsweise die Reaktionszeit bei einer Veränderung der Umdrehungszahl erhöhen, was als kurze Verzögerung wahrgenommen werden kann.

Im schlimmsten Fall kann dies die Steuerung des Copters unmöglich machen, doch in den meisten Fällen erleben Sie nur ganz geringe Verzögerungen, etwa beim schnellen Beschleunigen oder Abbremsen. Die Lösung dieses Problems lag für viele fortgeschrittene Piloten in einem Upgrade der Firmware des ESC – einem komplizierten Prozess, der direkten Zugriff auf den Mikroprozessor erfordert und über ein USB-Kabel erfolgt, ganz ähnlich wie beim Updaten von Consumer-Geräten wie Digitalkameras.

Die bessere Lösung ist die Verwendung einer passenden Firmware von Anfang an. Glücklicherweise gibt

es jede Menge ESCs, die auf den Betrieb mit Multicopter zugeschnitten sind und Reaktionszeiten erlauben, die schnell genug für atemberaubende Manöver sind. Die womöglich beste Wahl ist die nach ihrem Entwickler benannte Firmware „SimonK“.

Noch viel wichtiger als die Firmware ist die maximale Stromstärke in Ampere, die ein ESC verkraften kann. Wenn Ihre Motoren 30 A ziehen, sollte der ESC mindestens diese Leistung ohne Schäden bewältigen können. Rechnen Sie immer einen Sicherheitspuffer von 10% hinzu, sodass bei einer Stromaufnahme von 30 A der ESC mindestens 33 A oder besser gleich 35 A verkraften sollte. Natürlich können Sie zukunftsicher denken und in einen ESC mit hoher Stromaufnahme investieren, doch die Kühlkörper zur Ableitung der entstehenden Wärme werden dadurch größer und damit steigt das Gewicht des Bauteils. Auch die Kosten steigen bei höherer Kapazität signifikant an – bedenken Sie, dass jeder Motor seinen eigenen ESC benötigt.

Zu guter Letzt sollten Sie auf einen Schaltkreis zur Spannungsanpassung achten (BEC oder UBEC). Dieser regelt die hohe Spannung der Akkus auf ein für die Kontrollelektronik verträgliches Niveau herunter, sodass diese keine extra Akkus benötigt. Für kleinere Drohnen können Sie bedenkenlos zu einem ESC mit integriertem BEC greifen, doch bei größeren Modellen erzeugt dieser zu viel Hitze, sodass Sie nach einem separaten BEC Ausschau halten sollten.



VOM CONTROLLER

Das Flachbandkabel überträgt das Signal vom Flug-Controller (weiße Ader) und Spannung (schwarz/rot).

DC-EINGANG

Das rote und das schwarze Kabel führen Gleichstrom vom Akku oder Verteiler-Board zum Controller.

KONDENSATOREN

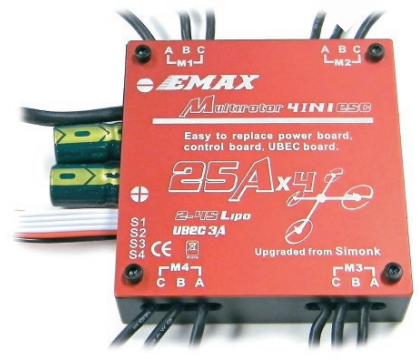
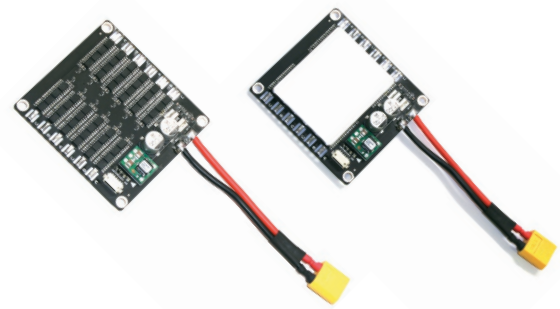
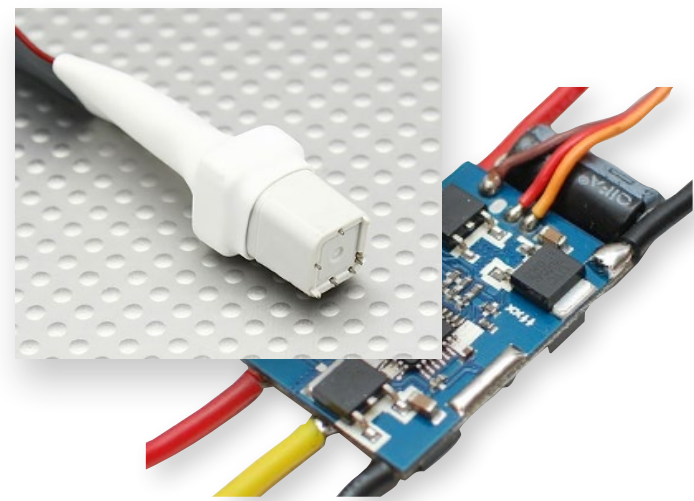
Um für den Akku schädliche Rückkopplungen zu verhindern, puffern große Kondensatoren den Stromfluss.

ZUM MOTOR

Drei Kabel befördern Wechselstrom (AC) vom ESC zum Motor. Anders als bei den DC-Leitungen gibt es hier keine Polung - ein Vertauschen der Kabel würde zu einer Änderung der Rotationsrichtung führen.

3D

Die IRIS-Drohne von 3D Robotics arbeitet mit einem 4-in-1-ESC. Die hübschen Chip-Reihen auf der Rückseite (rechts) versorgen die Motoren. Da sie viel Hitze erzeugen, sind sie mit einem Kühlkörper versehen (ganz rechts).



FIRMWARE FLASHING TOOL

Beim quadratischen Chip auf diesem ESC (Atmel Atmega) handelt es sich um ein verbreitetes Modell, sodass es ein Tool zum Aktualisieren („Flashen“) der Firmware gibt. Dazu wird einfach das Flachbandkabel über einen USBasp AVR-Adapter mit dem Computer und die andere Seite des Kabels mit dem Chip verbunden.

EMAX 4-IN-1 ESC

Der EMAX Multirotor 4-in-1 wurde speziell für Quadcopter entwickelt und enthält vier ESCs mit SimonK-Firmware. Die Eleganz des Designs offenbart sich nicht nur in den einzelnen roten und schwarzen Kabeln zum Akku, sondern auch beim Flachbandkabel zum Flug-Controller: Ein einziger Strang enthält die roten und schwarzen Stromverbindungen.

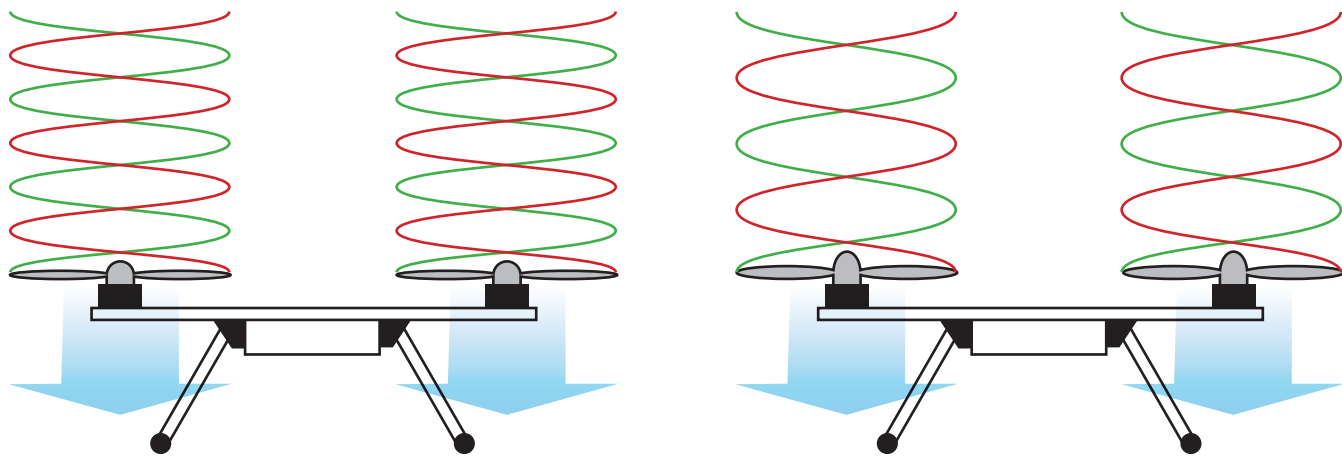


ROTOREN

02

UNTER DER HAUBE

Nach der Auswahl des Motors folgt die Entscheidung für den richtigen Rotor, auch Propeller oder kurz „Prop“ genannt. Dieser entscheidet darüber, wie viel Auftrieb generiert wird. Sie erhalten Props in vielen Ausführungen und Materialien, wobei der Durchmesser und die Ausführung der Rotorblätter für die Flugeigenschaften entscheidend sind.



OBWOHL MULTICOPTER IN der metrischen Welt zuhause sind, werden die Eckdaten in Zoll angegeben – etwa als „10 x 4,5“. Die „10“ steht für den Durchmesser der gedachten Scheibe, die der Rotor beim Drehen bildet, und „4,5“ für den „Pitch“ – der bei einer Umdrehung zurückgelegte Weg (wie beim Eindrehen einer Schraube). Die maximale Länge der Rotorblätter wird von den Dimensionen des Flugwerks beschränkt, da sich die Propeller nicht überlappen sollten. Angenommen die Rotorblätter verfügen über dieselbe Länge, muss sich ein Propeller mit niedrigem Pitch schneller drehen, um das gleiche Maß an Auftrieb wie ein Rotor mit hohem Pitch zu generieren. Allerdings bringt ein hoher Pitch auch Probleme mit sich, da solche Propeller mehr Turbulenzen erzeugen, was das Flugverhalten negativ beeinflusst. Die meisten Props werden jedoch mit

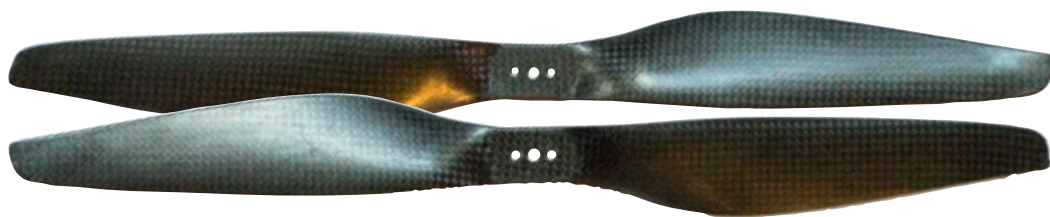
großer Sorgfalt gefertigt, sodass Sie kaum auf einen Rotor stoßen werden, der Ihre Drohne unmanövrierbar macht. Meist entstehen Instabilitäten durch eine schlechte Ausbalancierung, mehr dazu ab Seite 131.

Motoren arbeiten innerhalb eines bestimmten Geschwindigkeitsbereichs optimal, sodass Sie bei der Auswahl der Props darauf achten sollten, dass diese in der „Komfortzone“ des Motors arbeiten. Auch dazu später mehr.

Kleinere Rotoren verfügen über ein geringeres Trägheitsmoment als größere Exemplare, sodass die Motoren leichter mit ihnen fertig werden. Dadurch reagieren sie schneller auf Geschwindigkeitsänderungen, was für eine stabile Fluglage und anspruchsvolle Manöver entscheidend ist.

EIN PAAR PROPS AUS KARBONFASER

Quadcopter-Props werden paarweise verkauft - der eine dreht mit, der andere entgegen dem Uhrzeigersinn.



Das Beste an Propellern ist die Tatsache, dass sie schnell und preisgünstig ausgetauscht werden können – sofern die Motoren und ESCs den nötigen Spielraum bieten. Rotoren werden aus unterschiedlichen Materialien wie Kunststoff, Karbonfaser und Holz gefertigt. Letztere sind eher selten anzutreffen, vor allem in vorgefertigten Produkten aus dem Regal. Allerdings bekommen Sie Holzrotoren im Modellbau-laden um die Ecke. Beginnen Sie mit preiswerten „Wegwerf-Rotoren“ aus Kunststoff, vielleicht reichen Ihnen die ja schon. Teurere und stabilere Modelle aus Karbonfaser generieren mehr Auftrieb. Kommt es Ihnen also mehr auf Stabilität als auf Geschwindigkeit an (etwa wegen der Nutzung einer schweren Kamera), bringen solche Modelle deutliche Vorteile mit sich.

Die Kehrseite der Medaille: Karbon-Props – speziell jene, die direkt vom Hersteller kommen – können gefährlich scharfe Kanten aufweisen. Dies ist dem Produktionsprozess geschuldet und wirkt sich nicht auf die Aerodynamik aus, erhöht jedoch das Verletzungsrisiko. Außerdem ist der Austausch von Karbon-Rotoren viel teurer – eine der ersten Lektionen, die ein frischgebackener Drohnenpilot lernt, ist stets genug Ersatzpropeller in petto zu haben.

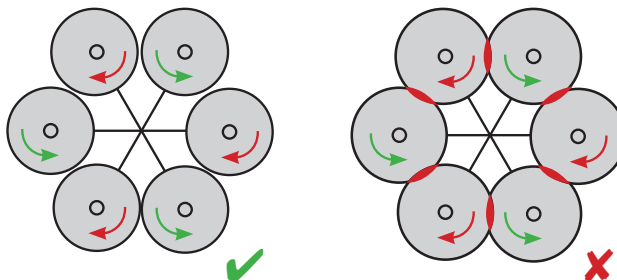
PROP-ADAPTER

Propeller werden entweder direkt auf die Motorwelle gesteckt oder an einen Prop-Adapter geklammert. Über eine Öffnung in der Kuppel lässt sich der Rotor festziehen.



ACHTUNG, GEFAHR!

Überschreiten Sie nie die maximal vorgegebene Rotorblattlänge Ihres Flugwerks. Jeder Prop muss komplett frei und ohne Überlappungen rotieren können - wobei die Abstände zwischen den Propellern unter Umständen sehr gering ausfallen dürfen.





FLUG-CONTROLLER

02

UNTER DER HAUBE

Einfach ausgedrückt handelt es sich beim Flug-Controller um das „Gehirn“ Ihrer Drohne. Er ist die zentrale Steuereinheit, in der alle Informationen der Sensoren und Ihre Steuerkommandos zusammenlaufen. Nach der Auswertung aller Daten sendet der Flug-Controller entsprechende Signale an die Motoren, um Stabilität zu gewährleisten und Manöver auszuführen.

IN DER PRAXIS ist der Flug-Controller auch mit den Sensoren für alle nötigen Informationen ausgestattet. Das liegt an der Tatsache, dass immer mehr für Multi-copter optimierte Controller auf den Markt kommen, die Gyros, Beschleunigungsmesser und weitere Sensoren enthalten.

In der Community haben sich zwei grundlegend verschiedene Philosophien herauskristallisiert: geschlossene Systeme wie der NAZA und die professionelle A-Serie von DJI und von der Community gepflegte Open-Source-Projekte wie OpenPilot. Der Unterschied zwischen offenen und geschlossenen Systemen ist gewaltig, weshalb Sie in Kapitel 5 während des Aufbaus eines Racers mehr über diese Thematik erfahren.

In jedem Fall handelt es sich um ein kleines Computersystem mit einem Prozessor und einigen Sensorchips auf einer winzigen Platine. Da diese Sensoren fest auf der Platine verbaut sind, spielt die Position des Controllers auf dem Flugwerk eine entscheidende Rolle – das Gehäuse sollte in der Nähe des Schwerpunkts sitzen und nach vorne ausgerichtet sein. Manche Sensoren, wie die GPS-Einheit, können auch extern ausgeführt sein.

Neben den Sensorinformationen sind die Signale, die Sie per RC-Fernbedienung übermitteln, die wichtigsten. Dazu wird der Controller mit einem Empfänger verbunden, der mit Ihrer Fernbedienung synchronisiert ist. In der Regel verfügt jeder Kanal über sein eigenes Signalkabel, sodass mindestens fünf Kabel vom Receiver zum Controller führen (dabei handelt



DJI N3

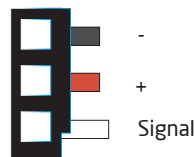
Der proprietäre Flug-Controller DJI N3 ist sehr kompakt und bietet dreiadrige Anschlüsse für den RC-Empfänger, zwei vieradrige Buchsen für DJI-Zubehör und ausgangsseitig eine Reihe von dreiadrigen Anschlüssen für die ESCs.

es sich um Dreierkabel für Masse, Erdung und Signal). Einige RC-Receiver reduzieren die Anzahl der Kabel durch PPM (Pulse-Position Modulation).

Ausgangsseitig führen mehrere dreipolige Anschlüsse zu den ESCs. Diese übermitteln ein Signal über eine weiße oder gelbe Litze sowie Spannung und Erdung über eine rote und braune oder schwarze Litze.

SENSOREN IM CONTROLLER

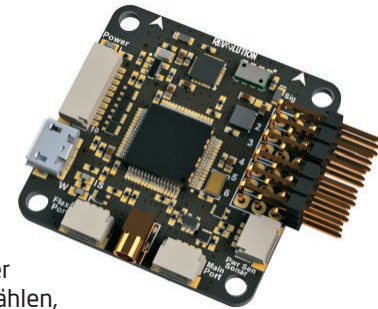
Sensor	Funktionsweise
Gyroskop	Ein Gyroskop ermittelt die Position mithilfe der Gravitation der Erde. Im Grunde genommen handelt es sich um die digitale Entsprechung des künstlichen Horizonts.
Beschleunigungs- messer	Dieser Sensor misst von der Gravitation unabhängige Beschleunigungen. Mikroskopisch kleine Kristalle in seinem Inneren geben bei kleinsten Kräfteinwirkungen messbare Spannungen ab.
Barometer	Mit einem Barometer wird die Höhe gemessen. Je höher Sie fliegen, desto geringer ist der Luftdruck, und anhand des Druckunterschieds kann das Barometer die Flughöhe ermitteln. Wetter und Terrain können die Messung verfälschen. Die ermittelte Höhe basiert auf einem Fixwert für Meereshöhe und ist unabhängig vom Standort. Der Flug-Controller nutzt die ermittelten Daten, um die Flughöhe zu halten.
Magnetometer	Dieser Sensor misst wie ein Kompass das Erdmagnetfeld. Der Copter kann damit bestimmen, wo Norden liegt, und dadurch seine Richtung korrigieren - wichtig in Verbindung mit einem GPS-System.
Optik	Ein optischer Sensor erfasst Objekte und Strukturen direkt unterhalb der Drohne mithilfe einer nach vorne weisenden Kamera. Damit kann eine Drohne ohne GPS ihre Position halten, z.B. innerhalb von Gebäuden.
Sonar	Ein Sonar (Echolot) misst die Entfernung zu einem Objekt, meist dem Erdboden. Damit kann eine Kollision mit nahen Objekten vermieden werden, etwa für eine saubere automatische Landung.



SERVO-KABEL

Der Flug-Controller wird oftmals über Servo-Kabel mit den Motoren und dem RC-Receiver verbunden. Dieses verbindet eine weibliche Buchse mit einem männlichen Stecker auf der Platine. Sorgfältig gestaltete Kabel lassen sich nicht verkehrt herum einstecken, was aber leider nicht immer der Fall ist.

Bei der Wahl des Flug-Controllers sind drei Aspekte entscheidend: Ihr Budget, wie Sie fliegen möchten und ob Sie mit der Community arbeiten oder lieber ein fertiges Produkt von einem kommerziellen Anbieter erwerben möchten. Liegt Ihr Fokus auf Kameras, sollten Sie den Controller hinsichtlich der Zusammenarbeit mit bestimmten Halterungssystemen überprüfen, wie sie der NAZA oder der Zenmuse bieten.



GRÖSSE

Selbstbauer können unter vielen Platinengrößen wählen, bis hinunter zu extrem kleinen (und löttechnisch anspruchsvollen) Mini-Platinen.

Ein weiteres nützliches Feature ist die Ausgabe von Telemetriedaten. Dabei handelt es sich um Live-Informationen wie aktuelle Flughöhe, Flugrichtung oder Akkuspannung. Die Daten können an einen dafür zuständigen Empfänger übermittelt oder in einen Video-Feed eingeblendet werden, der die Informationen auf einem Display oder über die FPV-Brille anzeigt.