

Patrick Leiner

DROHNEN

Ohne
Vorkenntnisse

SELBER BAUEN & TUNEN

- Drohne
- Quadrocopter
- Multicopter

**Schritt für Schritt
selbst gebaut**

576
Seiten
komplett
in Farbe

Zusatzmaterial
zum Download



Drohnen erweitern: Telemetrie, Flugzeiten optimieren,
Kamera für Luftaufnahmen und FPV

FRANZIS

Patrick Leiner

DROHNEN SELBER BAUEN & TUNEN



Patrick Leiner, geboren in Zweibrücken, ist gelernter Technischer Produktdesigner in der Fachrichtung Maschinen- und Anlagentechnik. Nach seiner Ausbildung absolvierte er ein Bachelorstudium der Wirtschaftswissenschaften im Fachbereich Technische Betriebswirtschaft.

Seit 15 Jahren ist er begeisterter Modellpilot und beschäftigt sich umfassend mit der RC-Modellbautechnik. Der faszinierende Bereich der Multicopterdrohnen motivierte ihn, sich von Beginn an mit der Materie zu beschäftigen und eigene Projekte zu entwickeln. Während des Studiums verfasste er seine Bachelorthesis sowie weitere wissenschaftliche Arbeiten über die Entwicklung und den Bau von Multicoptern und konnte währenddessen schon einige Multicopterprojekte umsetzen.

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Hinweis: Alle Angaben in diesem Buch wurden vom Autor mit größter Sorgfalt erarbeitet bzw. zusammengestellt und unter Einschaltung wirksamer Kontrollmaßnahmen reproduziert. Trotzdem sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Der Verlag und der Autor sehen sich deshalb gezwungen, darauf hinzuweisen, dass sie weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen können. Für die Mitteilung etwaiger Fehler sind Verlag und Autor jederzeit dankbar. Internetadressen oder Versionsnummern stellen den bei Redaktionsschluss verfügbaren Informationsstand dar. Verlag und Autor übernehmen keinerlei Verantwortung oder Haftung für Veränderungen, die sich aus nicht von ihnen zu vertretenden Umständen ergeben. Evtl. beigefügte oder zum Download angebotene Dateien und Informationen dienen ausschließlich der nicht gewerblichen Nutzung. Eine gewerbliche Nutzung ist nur mit Zustimmung des Lizenzinhabers möglich.

© 2016 Franzis Verlag GmbH, 85540 Haar bei München

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Das Erstellen und Verbreiten von Kopien auf Papier, auf Datenträgern oder im Internet, insbesondere als PDF, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlags gestattet und wird widrigenfalls strafrechtlich verfolgt.

Die meisten Produktbezeichnungen von Hard- und Software sowie Firmennamen und Firmenlogos, die in diesem Werk genannt werden, sind in der Regel gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen und sollten als solche betrachtet werden. Der Verlag folgt bei den Produktbezeichnungen im Wesentlichen den Schreibweisen der Hersteller.

Autor: Patrick Leiner

Lektorat: Ulrich Dorn und Dr. Markus Stäuble

Programmleitung: Dr. Markus Stäuble

Cover: Mathias Vietmeier

Cover-Model: Matthias Pritschet

Satz & Layout: Nelli Ferderer, nelly@ferderer.de

art & design: www.ideehoch2.de

Druck: FIRMENGRUPPE APPL,
aprinta druck GmbH, Wemding

ISBN 978-3-645-60444-4

Vorwort

Der Flugmodellsport ist ein faszinierendes und sehr interessantes Hobby. Schon seit 15 Jahren bin ich begeisterter Modellpilot und beschäftige mich mit dem Bau, der Technik und dem Fliegen von Flugzeugmodellen. Als vor ein paar Jahren die Drohnen- und Multicopter-Technik erst so richtig in Fahrt kam und ich meine wissenschaftlichen Arbeiten für mein Studium planen musste, war für mich klar: Diese Technik möchte ich mir genauer ansehen und verstehen lernen. Flugmodellbau mit integrierter Computertechnik, vom selbststabilisierenden Flugmodus bis hin zu vollkommen autonomen Missionen, die vor dem Start geplant werden können. Mit Hilfe von GPS ist alles möglich. Eine überaus faszinierende Kombination aus PC- und Softwaretechnik, gepaart mit meinem jahrelangen Hobby, dem Flugmodellbau, besser geht es nicht.

Also kombinierte ich mein Hobby mit meinem Studium und bekam dadurch die Möglichkeit, die Multicopter-Technik von Grund auf im wahrsten Sinne des Wortes zu studieren. Daraus resultierten zwei wissenschaftliche Arbeiten, wovon eine meine Abschlussarbeit war. Und so konnte ich meine ganze Energie in das neue Thema der Multicopter-Technik investieren. Ich hatte dadurch die Gelegenheit, in den letzten Jahren einige Multicopterprojekte zu entwickeln und umzusetzen. Allerdings ist die Technik zum Teil sehr komplex und umfangreich. Deshalb entstand nach meinem Studium die Idee, die gesamte Thematik doch einmal verständlich und übersichtlich in Wort und Bild zu fassen.

Wieso also nicht ein Buch darüber schreiben, welche Erfahrungen ich in den letzten Jahren mit der Multicopter-Technik gesammelt habe? Wie Multicopter aufgebaut sind, wie die gesamte Technik rund um den Multicopter funktioniert und zusammenarbeitet, auf was geachtet werden muss und wie man solch ein Fluggerät selbst bauen kann, beschreibe ich in diesem Buch.

Um hier einmal etwas Licht ins Dunkel zu bringen, habe ich mich dazu entschlossen, nicht nur ein oder zwei dieser verschiedenen Flightcontroller-Systeme zu erklären und in den Bauprojekten zu benutzen, vielmehr sind es fünf verschiedene Systeme, deren technische Grundlagen in diesem Buch behandelt werden. Sie werden auch alle fünf in den Bauprojekten verbaut, eingestellt und geflogen. Wie Sie sich vorstellen können, erfordert es einige Zeit, solch umfangreiche Recherchen und Bauprojekte umzusetzen und darüber auch noch ein Buch zu verfassen.

Einen Multicopter zu bauen ist das eine, die gesamten Projekte auch zu dokumentieren und verständlich zu beschreiben, was man da tut, ist nochmal ein ganz neuer Grad der Auseinandersetzung. Aus diesem Grund möchte ich an dieser Stelle einigen Leuten danken, ohne die dieses Buchprojekt nicht möglich gewesen wäre, in das ich viel Energie und Herzblut investiert habe. Ohne die Unterstützung der Familie geht es sicher nicht. Speziell meinen Eltern, die mir mit Rat und Tat während aller Schreib- und Bauphasen zur Seite standen, möchte ich für die Unterstützung danken. Meiner Freundin Lisa danke ich recht herzlich, für etliche Seiten Korrekturlesen und die Unterstützung während des gesamten Buchprojektes. Weiterhin danke ich Benjamin Allbach, der es überhaupt erst möglich gemacht hat, die Multicopterprojekte – auch zum Zwecke der Wissenschaft für das Projekt »Mobile Urban Sensing«, siehe www.corp.at/archive/CORP2014_87.pdf – während meines Studiums umzusetzen. Ebenso danke ich dem Franzis-Verlag, insbesondere Herrn Dr. Stäuble für die Möglichkeit der Umsetzung dieses Buches und für die gute Zusammenarbeit.

Patrick Leiner

AN WEN RICHTET SICH DIESES BUCH?

Dieses Buch richtet sich vor allem an Technikinteressierte und Flug- und Modellbaubegeisterte, die die neue Sparte des Multicopterfluges fasziniert, und jeden, der selbst einmal eine Multicopterdrohne bauen möchte. Sicher gibt es heute viele fertige Drohnen in einem unschlagbaren Preissegment unter 100 Euro, allerdings macht es viel mehr Spaß, solch ein Fluggerät selbst zu bauen. Die eigene Drohne, das eigene Fluggerät selbst zu planen, die Teile zu bestellen, den Lötkolben in die Hand zu nehmen und Kabelverbindungen und Stecksysteme zu löten, um zum Schluss das selbst gebaute Multicoptermodell vor sich stehen zu haben und es dann auch noch zu fliegen, ist ein unvergessliches Gefühl.

Beim Selberbauen eines Copters lernen Sie viel mehr, als wenn Sie eine fertige Drohne kaufen, auspacken und losfliegen. So viele faszinierende Details, Aha-Effekte und technische Möglichkeiten warten bei einem Do-it-yourself-Drohnen-Bauprojekt auf Sie, dass es sich mehr als lohnt, solch ein Flugmodell selbst zu bauen. Nicht zu unterschätzen ist auch das Know-how, das Sie sich während eines Multicopter-Bauprojektes aneignen, sollte doch einmal etwas kaputt gehen oder nicht funktionieren. Haben Sie Ihren Multicopter von Grund auf selbst gebaut, finden Sie oft sehr viel schneller den Fehler oder können etwas reparieren, da Sie genau wissen, wo der Schuh drückt.

Dabei macht es dieses Buch aus, dass es Ihnen alle nötigen Informationen an die Hand gibt, die Sie benötigen, um ein solches Projekt umzusetzen. Von der Luftschraube bis zur Flugsteuerung wird Ihnen alles anschaulich erklärt und mit Bildern und Grafiken verdeutlicht.

Haben Sie noch keine Erfahrungen mit dieser Technik oder trauen sich so ein Projekt nicht zu? Kein Problem, denn im zweiten Teil des Buches finden Sie drei verschiedene Bauprojekte, die Schritt für Schritt erklären und mit Bildern zeigen, wie ein Copter, egal ob ein kleiner Rennflitzer für rund 135 Euro oder ein großer Power-Octocopter mit FPV, Actioncam und Telemetrie, selbst gebaut werden kann. Selbst fünf unterschiedliche Flightcontroller werden in den Bauprojekten verbaut, eingestellt und geflogen, was es ihnen leichter macht, sich für eines dieser Systeme zu entscheiden.

Die Bauprojekte werden tatsächlich von Grund auf erarbeitet, was nachvollziehbar macht, wieso welche Teile verwendet werden und was diese kosten. Wenn Sie also schon länger mit dem Gedanken spielen, einmal selbst eine Multicopterdrohne zu bauen, dann sind Sie hier genau an der richtigen Adresse.

WIE IST DAS BUCH AUFGEBAUT?

Dieses Buch bietet Ihnen alle Informationen rund um die Themen Multicoptertechnik, Multicopter selber bauen und fliegen sowie Grundlageninformationen und alle rechtlichen Aspekte, die es beim Fliegen eines Copters zu beachten gilt. Zudem wird gezeigt, wie Sie Ihre Multicopterdrohne mit weiteren Bauteilen wie etwa Telemetrie, Akkuerweiterung oder einer FPV-Anlage tunen können. Das Buch ist in zwei große Abschnitte aufgeteilt.

- Im ersten Teil erfahren Sie alles über die Grundlagen der Technik, Rechtliches, Berechnungen und Planung eines Copter-Bauprojektes.
- Im zweiten Teil greifen wir dann selbst zu Schraubenschlüssel und Lötkolben und bauen in drei verschiedenen »MAKE-Kapiteln« eine kleine Low-Cost-Drohne, einen Allround-Quadrocopter sowie einen Power-Octocopter.

PREISANGABEN

Alle im Buch genannten Preise wurden im Februar 2016 ermittelt.

In diesem Buch können Sie sich also auf folgende Kapitel und Themen freuen:

Kapitel 1: Drohne, Flugzeug oder was?

Los geht es mit der Beschreibung, was eine Drohne ist, was diese ausmacht und woher die Bezeichnung überhaupt stammt. Auch werden verschiedene Typen von Drohnen bis hin zur Kategorie des Multicopters beschrieben.

Kapitel 2: Multicopter und was sie ausmacht

Eine erste Übersicht klärt darüber auf, was einen Multicopter ausmacht, wo dieser Drohnentyp überall zum Einsatz kommt und welche verschiedenen Bauarten es gibt. Zudem werden die verschiedenen Drehrichtungen der Luftschrauben und der Zweck dahinter erläutert.

Kapitel 3: Bauteile und ihre Eigenschaften

Neben vielen Grundlageninformationen dreht sich in diesem Kapitel alles um die einzelnen Bauteile und die Anatomie eines Multicopters: vom Motor über den Brushless-Regler bis hin zu verschiedenen Flightcontrollern und ihren Einstellungen.

Kapitel 4: Gesetze, Rechtslage und Versicherung

Dieses Kapitel befasst sich mit der komplexen Frage, wo und unter welchen Umständen man einen Multicopter fliegen darf, unter Einbeziehung möglicher Risiken. Eine zusammenfassende Strukturübersicht, wo Sie eine Multicopterdrohne fliegen lassen dürfen, sowie die Fragen zur Rechtslage im Bereich des FPV-Fliegens und der Luftbildfotografie runden dieses wichtige Kapitel ab.

Kapitel 5: Rechnerische Grundlagen

Hier bekommen Sie das Rüstzeug an die Hand, das Sie brauchen, um eigene Berechnungen zur Auslegung der Bauteile in einem Drohnen-Selbstbauprojekt durchführen zu können. Sie berechnen das Gesamtgewicht eines Multicopters, die Motorleistung und Schubkraft und die Flugzeit des Fluggerätes. Mit den errechneten Werten geht es dann an die Auswahl der Bauteile.

Kapitel 6: PID-Werte einstellen

Nachdem Sie die rechnerischen Grundlagen verinnerlicht haben, erhalten Sie in diesem Kapitel die konkrete Anleitung zum Einstellen der PID-Werte eines Multicopters. Dabei können Sie auf verschiedene Art und Weise vorgehen, um am Ende einen gut eingestellten Multicopter zu besitzen.

Kapitel 7: Planung Selbstbaucopter

Kurz vor der Bauphase geht es darum, welche Überlegungen angestellt und welche Fragen beantwortet werden müssen, bevor mit der Teileauswahl, den Berechnungen und dem eigentlichen Bau eines Multicopters begonnen werden kann. Lernen Sie auch die Grundmaterialien kennen, die beim Copter-Bau immer benötigt werden. Sie haben noch nie gelötet? Ein kleiner Lötkurs zeigt, wie die verschiedenen Lötarbeiten durchzuführen sind. An dieser Stelle des Buches sind Sie fit für den Einstieg in die Bauphase.

Kapitel 8: Bau einer Low-Cost-Drohne

Der Startschuss für Bauprojekt 1 ist gefallen! Wir planen und bauen eine kleine Spaßdrohne. Hauptmerkmal bei diesem Projekt sind die Kosten, die wir so niedrig wie möglich halten wollen, um am Ende eine Drohne für ca. 130,- Euro zu bauen. Nach dem erfolgreichen Erstflug wird gezeigt, wie das Fluggerät und der eingebaute CC3D-Flightcontroller verbessert und auch für fortgeschrittene Piloten eingestellt werden können. Zum Ausklang dieses Kapitels gibt es ein Sahnehäubchen, das Ihnen zeigt, wie Sie einen alternativen Flightcontroller, etwa ein KK-Board oder einen MultiWii Crius 2.6, einbauen, einstellen und fliegen können.

Kapitel 9: Bau einer Allround-Quadrocopter-Drohne

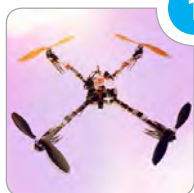
Zeit für Bauprojekt 2. Ziel ist es, einen Allround-Quadrocopter zu planen, zu bauen und zu fliegen. Der Quadrocopter soll so ausgelegt werden, dass er stabil und sicher, aber auch schnell und agil geflogen werden kann. Hierfür wird eine DJI-Naza-Steuerung eingesetzt. Am Ende von Bauphase 2 steht eine Tuningmaßnahme, die zeigt, wie Sie durch den Einbau eines zweiten Akkus die Flugzeit des Quadrocopters steigern können.

Kapitel 10: Bau eines Power-Octocopters

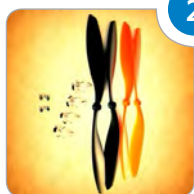
Die Kür! Bauprojekt 3 steht unter dem Motto »Meisterprüfung Power-Drohne«. Sie planen, bauen und fliegen einen großen Power-Octocopter mit einem APM-Flightboard. Der Copter wird so berechnet, dass die Flugzeit mindestens eine halbe Stunde beträgt. Das ist aber noch nicht alles, denn Sie werden das Fluggerät so tunen, dass man am Ende ein Telemetriesystem und ein selbststabilisierendes Gimbal mit einer eingebauten Actioncam am Copter montiert ist.

Kapitel 11: FAQ und Fehlerquellen

Allgemein interessante Fragen zum Thema sowie Fehlerquellen und Lösungen werden hier diskutiert und beantwortet.



1



2

Vorwort	5
Drohne, Flugzeug oder was?	20
Luft-, Land- und Wasserfahrzeuge	23
Multicopter, Quadrocopter, Hexacopter und Co.	25
Multicopter und was sie ausmacht	26
Im Einsatz von Militär bis kommerziell	29
Funktionsweise einer Multicopterdrohne	31
Typische Bauform und Varianten	32
Fluggeräte und Anzahl der Rotoren	32
Ausrichtung der Fluglage	34
Was rotiert hier verkehrt herum?	35
Drehrichtungen der Luftschrauben	36
Bauteile und ihre Eigenschaften	42
Rahmen eines Multicopters	44
Centerplate, Ausleger und Landegestell	44
Materialanforderungen an den Rahmen	46
Rahmenbausatz oder selber bauen?	47
Bauprojekt mit 3-D-Drucker realisieren	47
Systembausatz und Einzelteile	48
Rahmengröße und Einsatzzweck	48
Motoren im Multicopterbau	50
Wirkprinzip des Gleichstrom-Bürstenmotors	50
Aufbau des bürstenlosen Motors	52
Brushlessmotoren: Innen- und Außenläufer	53
Kennzahlen von Brushlessmotoren	53
Pole und Nuten bei einem 12N14P-Motor	54
Auswirkung auf die Motoreigenschaften	55
Stromaufnahme und Betriebsspannung	55
Regelmäßige Wartung von Brushlessmotoren	56
Motorsteuerung – der Brushlessregler (ESC)	57
Wie funktioniert ein Brushlessregler?	58
Spezieller Reglertyp für Multicopter	58
SimonK – Multicopter-ESC-Software	59

BLHeli – Softwarealternative zu SimonK	59
Durchlass der vollen Akkuleistung – PWM	59
Energiedurchlass per P-FET oder N-FET	60
Energieversorger – BEC oder Opto?	60
Was wird speziell für eine Multicopterdrohne benötigt?	61
ESC-Stromfluss in Ampere (A)	62
Spannung (V) und Zellenzahl (S)	62
Energieversorgung per UBEC sicherstellen	63
Luftschrauben im Copterbau	64
Kunststoff, Glasfaser oder Carbon?	65
Wichtige Kennzahlen einer Luftschraube	65
Unterschiedliche Montagemöglichkeiten	67
Auswahl geeigneter Luftschrauben	69
Methoden zum Ausbalancieren	74
Akku: Hier kommt Spannung auf	76
Vorteile von LiPo-Akkus	77
Nachteile von LiPo-Akkus	78
Der Trick mit dem Balanceranschluss	79
Synchronschwimmen im LiPo-Pack	80
Wie macht sich ein Akku-Defekt bemerkbar?	82
Kennzahlen von LiPo-Akkus	82
Parallel- und Reihenschaltung	84
Lagerung und Wartung	85
Ladegeräte und Ladetechnik	86
Auf die richtige Leistung achten	86
Ladegerät mit mehreren Betriebsmodi	88
Ein extra Ladekabel in Betracht ziehen	88
Ladegeräte gleich für mehrere Akkus	88
Laden mit 12 und mit 230 Volt	90
Aufgabe des Flightcontrollers	91
Funktionsweise und Steuereigenschaften	92
Sensoren für optimale Flugeigenschaften	93
Flugposition erfassen und stabilisieren	94
Erweiterung durch optionale Sensoren	96
PID-Regler für Ist-Soll-Vergleiche	97
Openpilot/Librepilot – Steuersoftware	101
Flugmodi der OpenPilot-Software	104



MultiWii – Steuersoftware	110
Flugmodi der MultiWii-Software	117
DJI-Flightcontrollersystem	120
Komponenten der DJI-Naza-Flugsteuerung	120
Einstellungen in der DJI-Assistant-Software	122
Flightmode-Auswahl der DJI-Systeme	124
IOC-Einstellung für Fluganfänger	126
Kompass-Kalibrierung durchführen	130
Ardupilot-Flightcontrollersystem	131
Vielfältige Flugmodi und Einstellmöglichkeiten	131
Mission Planner – perfekte Benutzeroberfläche	132
Flugmodi des Ardupilot-Mega-Systems	133
Einstellungsmöglichkeiten und Flugmodi der Software	134
Flightcontroller mit Mission Planner einstellen	138
Ardupilot Mega – Begriffserklärungen	144
Kalibrieren der APM-ESCs	145
Autotune – PIDs einstellen leicht gemacht	146
Log-Daten herunterladen und analysieren	148
KK-Flightcontrollerboard	150
Einfach in der Handhabung	151
Flugmodi mit dem KK-Board	153
Anpassungen und Einstellungen	154
Anlernen des Gasweges	163
Entscheidungshilfe in Sachen Flightcontroller	163
RC-Anlage – Funksteuerung des Multicopters	166
Funktionsweise der RC-Anlage	167
Lehrer/Schüler-Modus	169
RC-Anlage für Multicopter	169
2,4-Gigahertz-Fernsteueranlagen	170
Die Steuermodi 1 bis 4	171
Auswahl einer Fernsteuerung	173
Steuerachsen eines Multicopters	174
Telemetriesysteme	175
Telemetrieüberbindung via Bluetooth	176
Telemetrieüberbindung via Funkmodul	177
Telemetrieüberbindung via RC-Anlage	178

Kameras, Gimbals und FPV	178
Und Action: Kameras in der Luft	181
Actioncams für Bild- und Videoaufnahmen	183
Kameras für professionelle Luftbilder	184
Kameras für Filme in Kinoqualität	185
Rolling-Shutter-Effekt	186
Bildübertragung per Live-out-Anschluss	188
Das Gimbal – die Kameraaufhängung	188
Immersionsfliegen wie im Cockpit (FPV)	194
Komponenten einer FPV-Anlage	194
Kompatible Frequenzen und Kanäle	197
FPV mit Stabantenne oder Clover-Leaf?	200
Latenzzeit eines FPV-Systems	201
OSD-Livedaten in ein Videobild einspielen	201
Checkliste: Anschaffung einer FPV-Anlage	203

Gesetze, Rechtslage und Versicherung 204

Sicherheit geht vor!	206
Risiken und Gefahren	206
Rechtslage und Versicherung	208
Flugmodell oder UAV	209
Eine Modellflugversicherung ist Pflicht	210
Rechtsvorschriften und Aufstiegsgenehmigungen	212
Erlaubnis des Grundstückseigentümers	213
Landen und Starten von öffentlichen Wegen	214
Allgemeine Aufstiegsgenehmigung einholen	214
Einholen einer Einzelaufstiegsgenehmigung	215
Einhaltung des aktuellen Luftfahrtrechts	216
Ausnahmen bestätigen die Regel	221
Checkliste: Gesetzes- und Verordnungsaufzählung	223
Überblick: Wo und wie darf man fliegen?	225
Rechtslage FPV und Telemetrie	225
Rechtslage – Fotos und Videos aus der Luft	227





5

Rechnerische Grundlagen	230
Es geht mit einfachen Berechnungen	232
Gewicht, Schubkraft, Motor, Akku und Flugzeit	232
Gewichtsberechnungen für die Bauteile	233
Grobe Berechnung des Rahmengewichtes	234
Benötigte Schubkraft	236
Verhältnis von Gesamtgewicht zu Schubkraft	236
Geeignete Motoren auswählen	237
Auswahl einer Rotorkombination	238
Daten und Parameter der Komponenten	240
ESC-Auswahl und C-Wert	240
Maximaler Stromfluss durch den Motor	240
Flugzeitberechnung und -optimierung	242
Optimierung der Flugzeit	246



6

PID-Werte einstellen	248
Methoden zum Ändern der PID-Werte	250
Methode 1 – Ändern via USB-Verbindung	251
Methode 2 – Ändern via Fernsteuerung	252
Methode 3: Ändern via Telemetrier Verbindung	252
Einstellung der PIDs während des Fluges	254
PID-Einstellung durch Festhalten des Copters	256
PID-Einstellung durch Seilaufhängung	257
PID-Feintuning im Flug	260



7

Planung Selbstbaucopter	262
Was geklärt werden muss	264
Was will ich mit der Drohne machen?	264
Welche Bauteile brauche ich?	264
Welchen Rahmen verwende ich?	266
Wie hoch sollen die Kosten sein?	266
Welche Bauteile kommen an welche Stelle?	266
Checkliste aller wichtigen Planungsfaktoren	267
Rahmen selber bauen oder Rahmenbausatz?	267

Grundmaterial und technische Ausstattung	268
Checkliste der Grundausrüstung	268
Kleiner Lötkurs für Drohnenbauer	271
Stecker und Buchse anlöten	272
Kabel aneinander löten	274
Pins in eine Platine löten	276
Einen neuen Akkusteckers löten	276
Einen JST-Stecker löten	279

Bau einer Low-Cost-Drohne 280

Das Baukonzept ausarbeiten	282
An erster Stelle steht der Kostenfaktor	283
Grundlegender Funktionsumfang der Drohne	283
Festlegen der für den Bau benötigten Teile	283
Checkliste der benötigten Bauteile	284

Einkaufstipps und Bauteileauswahl	284
Der Rahmen - Basis der Multicopterdrohne	285
Der Flightcontroller - für die Steuerung (CC3D)	286
Der Empfänger - passend zum Fernsteuersystem	286
Der Motor - die wichtigste Entscheidung	287
Der Akku - im Rahmen der Budgetbeschränkung	291
Die LEDs - für jeden Ausleger ein Streifen	291
Berechnungen prüfen und Fluganalyse erstellen	292
Durchführen einer Flugzeitberechnung	292

Finale Teileliste und Gesamtkosten	293
--	-----

Bau der Multicopterdrohne von A bis Z	295
Bauphase 1: Exakte Anordnung der Bauteile	295
Bauphase 2: ESC- und Motorkabel zuschneiden und löten	298
Bauphase 3: Montage der Motoren, ESCs und LEDs	303
Bauphase 4: Verkabelung und Akkustecker löten	307
Bauphase 5: Flightcontroller montieren	310
Bauphase 6: ESCs und Flightcontroller verbinden	312
Bauphase 7: Empfänger einbauen und anschließen	313
Bauphase 8: Akku und Akkuchecker montieren	316
Software: Grundkonfiguration der Steuersoftware	319
Software: Kalibrieren der Fernsteuerung	327
Software: Parameter zur Flugstabilisation	331
Bauphase 9: Montage der Luftschrauben	334

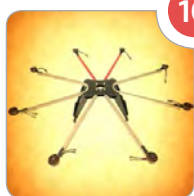


Fire it up! Bereitmachen für den Erstflug	335
Pre-Flight-Checkliste abhaken	336
Fernsteuerung einschalten	336
Akku mit dem Copter verbinden	336
Flightboard hochfahren	336
Drohne scharf schalten	337
Richtigkeit der Steuereingaben checken	337
Checkliste: Multicopter flugfertig machen	337
Langsam Gas geben und abheben	338
Erkenntnisse nach dem Jungfernflug	338
Feintuning der Low-Cost-Drohne	339
PID-Tuning step by step	339
Checkliste: PID-Tuning	343
Agilerer Flugstil mit Rollen und Flips	343
Alternativer Flightcontroller KK-Board	347
Zum Einbau des KK-Boards benötigte Teile	347
Einbau und Verkabelung des KK-Boards	348
Flightcontroller einschalten und kalibrieren	351
Montieren der Luftschrauben	356
Pre-Flight-Check und flugfertig machen	356
Feine Anpassungen der PI-Settings	357
Alternativer Flightcontroller MultiWii Crius	357
Einbau und Verkabelung des MultiWii Crius	357
Softwarepakete downloaden und konfigurieren	364
Fernsteuerung einstellen und Flugmodi festlegen	369
ACC, Magnetometer und ESCs kalibrieren	372
Pre-Flight-Check und flugfertig machen	373
Möglichkeiten, den Coper zu modifizieren	376
Allround-Quadrocopter	378
Das Baukonzept ausarbeiten	380
Grundlegender Funktionsumfang des Copters	381
Kriterien für die Auswahl eines Rahmens	381
Festlegen der für den Bau benötigten Teile	382
Anfallende Kosten für das Copter-Projekt	383

Berechnungen und Bauteilauswahl	383
Der Rahmen – einfach und mit ausreichend Platz	383
Der Flightcontroller – einfach zu handhaben (DJI-Naza)	384
Der Empfänger – passend zum Steuersystem	384
Der Motor – die wichtigste Entscheidung	385
Die ESCs – passend zum Motor	386
Die Luftschrauben – passend zu Rahmen und Motor	387
Der Akku – passend zur Gewichtsklasse	387
Der Schwebestrom – Basis für die Flugzeitberechnung	388
Bau des Allround-Quadrocopters	391
Bauphase 1: Rahmen zusammenbauen	394
Bauphase 2: Anordnung der Bauteile	394
Bauphase 3: Motoren und ESCs montieren	396
Bauphase 4: Stromverteiler montieren	399
Bauphase 5: ESC- und LED-Kabel löten und montieren	400
Bauphase 6: Montage des Flightcontrollers	405
Bauphase 7: ESCs und Empfänger anschließen	412
Bauphase 8: Akku umlöten und montieren	417
Software: Software installieren und einstellen	421
Software: Fernsteuerung einstellen	425
Software: Weitere Softwareeinstellungen	429
Software: ACCs kalibrieren	431
Bauphase 9: Motorrichtungen überprüfen	432
Bauphase 10: Gasweg der ESCs anlernen	433
Bauphase 11: Kompass kalibrieren	434
Bauphase 12: Luftschrauben montieren	435
Fire it up! Bereitmachen für den Erstflug	440
Pre-Flight-Check und flugfertig machen	440
Ausschlagrichtungen der Fernsteuerung testen	441
Abheben und Testen der Flugeigenschaften	441
FPV-Tuning und PID-Optimierung	442
FPV-Tuning - der Techniktrend schlechthin	442
FPV-Brille - Do-it-yourself-Bausatz	446
Spannungsregler in das Kamerakabel löten	452
Kamera und FPV-Sender am Copter anbringen	454
PID-Werte einstellen und optimieren	458
Flugzeittuning mit zweitem Akku	460
Flugzeitberechnung mit einem zweiten Akku	460
Copter für die Parallelschaltung vorbereiten	461

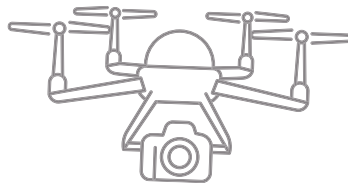


Power-Octocopter	464
Das Baukonzept ausarbeiten	466
Nebenziel und Funktionsumfang	467
Festlegen aller benötigten Bauteile	467
Rahmengröße des Octocopters	468
Einschätzung anfallender Kosten	468
Bauteilauswahl und Berechnungen	468
Der Rahmen: Lastenträger, optimiert für Schubkraft	468
Der Flightcontroller: mit Erweiterungsmöglichkeiten (APM 2.6)	470
Die Fernsteuerung: Mit integrierter <i>FailSafe</i> -Funktion	470
Der Motor: Die wichtigste Entscheidung	471
Bau des Power-Octocopters	475
Dies und das – was sonst noch benötigt wird	479
Bauphase 1: Rahmen zusammenbauen	479
Bauphase 2: Anordnung der Bauteile	479
Bauphase 3: Motoren und ESCs löten	481
Bauphase 4: Motoren und Stromverteiler befestigen	483
Bauphase 5: ESC-Kabel verlängern und löten	485
Bauphase 6: LED Kabel zuschneiden und löten	487
Bauphase 7: Adapter zur Stromversorgung löten	491
Bauphase 8: Flightcontroller initialisieren und kalibrieren	493
Bauphase 9: Montage des Flightcontrollers	497
Bauphase 10: ESCs und Empfänger verbinden	498
Bauphase 11: Kompassmodul anbringen und anschließen	500
Bauphase 12: ESC-Kabel und Empfänger befestigen	502
Bauphase 13: Akkus befestigen	504
Software: Fernsteuerung einstellen und kalibrieren	505
Software: Flightmodes und Leerlaufdrehzahl einstellen	508
Software: ESCs kalibrieren und Motordrehrichtungen prüfen	508
Software: <i>FailSafe</i> -Funktion einstellen	512
Bauphase 14: Luftschrauben montieren	514
Fire it up! Bereitmachen für den Erstflug	516
Pre-Flight-Check und flugfertig machen	516
Motoren hochfahren und abheben	517
Einbau des Telemetriesystems	517
Gimbal-Actioncam-FPV-Tuning	521
Flugzeit nach der Tuning-Maßnahme	523
Kabel verbinden und FPV-Sender befestigen	531
Rundum-Optimierung durchführen	534





FAQs und Fehlerquellen	536
Fragen und Antworten	538
Fehlerquellen allgemein	543
Fehlerquellen OpenPilot	545
Fehlerquellen MultiWii	546
Fehlerquellen KK-Board	546
Fehlerquellen ArduPilot	547
Fehlerquellen DJI Naza	549
Glossar	550
Index	564
Bildnachweis	575







1

DROHNE, FLUGZEUG ODER WAS?

Luft-, Land- und Wasserfahrzeuge 23



»Drohnen, das sind doch diese Aufklärungsflugzeuge vom Militär, in denen keiner mehr drin sitzt.« So oder so ähnlich lautete noch vor ein oder zwei Jahren die Antwort, wenn Otto Normalbürger danach gefragt wurden, was sie sich unter einer Drohne vorstellten. Im Grunde ist das auch gar nicht so verkehrt, denn das Wort stammt im technischen Zusammenhang tatsächlich von einer militärischen Entwicklung. Um Kampfpiloten auch mit dem Umgang scharfer Munition vertraut zu machen und Luftkämpfe so realistisch wie möglich zu gestalten, entwickelte das Militär schon sehr früh Flugzeuge ohne Bewaffnung, die unbemannt geflogen werden konnten und zur Übung dienten. Diese Flugzeuge wurden Drohnen genannt.

■ Das ist allerdings nur eine von vielen Herkunftserklärungen dieses Wortes. Heute hat sich das Wort schon sehr weit im allgemeinen Sprachgebrauch verbreitet und wird nicht mehr ausschließlich mit militärischen Flugzeugen in Verbindung gebracht. Von kleinen Spielzeugfliegern mit vier Rotoren über autonom fliegende Kameracopter für Foto- und Filmaufnahmen bis hin zu Fluggeräten, die in Zukunft einmal die Auslieferungen unserer digitalen Einkäufe übernehmen sollen, alles wird heute als »Drohne« bezeichnet.

LUFT-, LAND- UND WASSERFAHRZEUGE

Was aber bedeutet das Wort genau? Als Drohne werden alle Fahrzeuge bezeichnet, egal ob Flugzeuge, Autos oder Schiffe, die unbemannt sind und fern- oder autonom gesteuert werden. Daraus wird ersichtlich, dass es eine Unterteilung in Luft- Land- und Wasserfahrzeuge gibt. Es werden natürlich auch super klingende englische Wörter und Abkürzungen verwendet. Flugdrohnen werden deshalb auch als UAV (unmanned arial vehicle), Landfahrzeuge als UGV (unmanned ground vehicle) und Schiffe als USV (unmanned surface vehicle) bezeichnet.

Wenn wir uns diese Informationen genau betrachten, wird schnell klar, wieso alle kleinen Fluggeräte, egal ob mit zwei oder acht Rotoren, Drohnen genannt werden. Viele von ihnen können durch eine spezielle Software und mit GPS-Daten autonom fliegen und so gut wie jede kann ferngesteuert werden. Es stellt sich natürlich die Frage, warum diese Fluggeräte, gerade im Zusammenhang mit Fernsteuerungen und Modelltechnik, nicht Flugmodelle genannt werden.

Drohne für Luftaufnahmen - DJI Inspire.



Quelle: Bundeswehr/Pietruszewski/Sebastian Pietruszewski/Heer

Drohne für den gewerblichen Einsatz - Microdrones MD4-1000.



Grundsätzlich besteht Modellbau in der Nachbildung von tatsächlich existierenden oder zumindest früher einmal existenten Fahrzeugen im kleineren Maßstab. Natürlich gibt es die Ausnahme, dass auch ferngesteuerte Flugzeuge »Flugmodelle« genannt werden, die es als großes Original nie gab.

Der Grundgedanke des Modellbaus und des RC-Modellbaus in der Nachbildung von Fahrzeugen, Schiffen oder Flugzeugen bleibt jedoch der gleiche. Da es Fluggeräte wie etwa den vierrotorigen Quadrocopter so noch nicht »direkt« im manntragenden Flugverkehr gab und sich diese neue Technik doch sehr von der herkömmlichen Flugmodelltechnik unterscheidet, hat sich nunmehr das Wort Drohne etabliert. Wieso noch nicht direkt im Flugverkehr?

Quadrocopter gibt es tatsächlich schon seit einigen Jahrzehnten, doch die Technik war nie so weit ausgereift, dass daraus ein serientaugliches Fluggerät wurde. Erst der heutige Entwicklungsstand der Elektrotechnik und Mikroelektronik sowie der massive Preisverfall dieser Bauteile durch die Serienproduktion führten zur Massentauglichkeit dieser Technik. Da die Bauteile nicht mehr utopisch teuer sind, können heute Drohnen angeboten werden, die sich im Preissegment von 100 bis 1000 Euro befinden. Die Bauteile, die für einen Eigenbau einer Drohne nötig sind, werden heute auch im World Wide Web in allen Größen und Spezifikationen angeboten. Genau an diesem Punkt setzt dieses Buch an. Denn allein sich durch den endlosen Dschungel der angebotenen Drohnenteile zu klicken, kann sehr nerven- und zeitraubend sein.

Wichtig ist, dass Flugdrohnen mit zwei bis acht Rotoren auch Multicopter genannt werden. Also ist ein Multicopter einfach eine Unterkategorie der Flugdrohnen. Aus diesem Grund ist in diesem Buch auch immer die Flugdrohne oder eben der Multicopter gemeint, egal ob von einer Drohne, einem Multicopter, einem Copter oder einer Multicopterdrohne die Rede ist.

Multicopter, Quadrocopter, Hexacopter und Co.

Tatsächlich ist das Wort Drohne unter Modellfliegern etwas verpönt, da die gesellschaftliche Assoziation mit diesem Wort immer noch sehr oft Richtung Militär, Krieg, Kampfdrohnen oder Fluggeräte zu Spionagezwecken tendiert. Mit einem Messer können Sie aber auch eine Straftat begehen, oder Sie teilen ein Brot in ein paar Stücke und verteilen es unter Obdachlosen. Es kommt immer darauf an, wie eine Sache verwendet wird. Nicht jeder, der eine Drohne mit eingebauter Kamera fliegt, hat vor, seinem Nachbarn damit durch die Fenster zu schauen. Aber genau dieser Irrglaube der Gesellschaft, dass mit einer Drohne nur Unfug getrieben wird, führt zu der Abneigung, seinen Freizeitsport als Drohnenfliegen zu bezeichnen. Aus diesem Grund werden in der Modellflugszene überwiegend die treffenderen Bezeichnungen Multicopter sowie seiner verschiedenen Bauformen Quadrocopter, Hexacopter und Co. verwendet.

Jetzt, da wir wissen, woher die Bezeichnung Drohne kommt und dass der Multicopter lediglich eine Unterkategorie dieser ist, können wir uns damit beschäftigen, wie ein Multicopter funktioniert, wie die Anatomie dieses Fluggerätes aussieht, wie er also aufgebaut ist, und wie die Einzelteile zusammenarbeiten und kommunizieren.





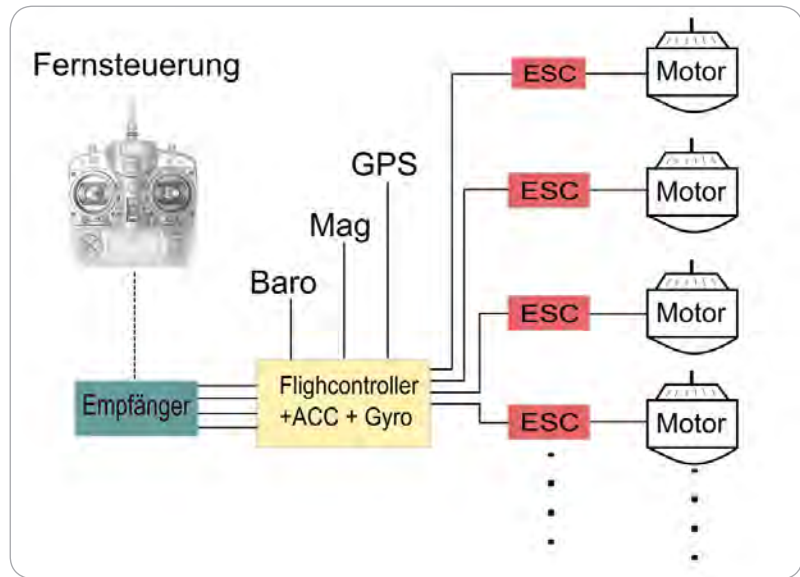
3

BAUTEILE UND IHRE EIGEN- SCHAFTEN

Rahmen eines Multicopters	44
Motoren im Multicopterbau	50
Motorsteuerung – der Brushlessregler (ESC)	57
Luftschrauben im Copterbau	64
Akku: Hier kommt Spannung auf	76
Ladegeräte und Ladetechnik	86
Aufgabe des Flightcontrollers	91
OpenPilot – Steuersoftware	101
MultiWii – Steuersoftware	110
DJI-Flightcontrollersystem	120
Ardupilot-Flightcontrollersystem	131
KK-Flightcontrollerboard	150
Entscheidungshilfe in Sachen Flightcontroller	163
RC-Anlage – Funksteuerung des Multicopters	166
Telemetriesysteme	175
Kameras, Gimbals und FPV	178
Immersionsfliegen wie im Cockpit (FPV)	194



Multicopter bestehen aus vielen einzelnen Bauteilen. Diese Bauteile müssen für einen sicheren und stabilen Flug des Copters perfekt zusammenarbeiten. Die wichtigste Komponente stellt der sogenannte Flightcontroller dar. Er ist dafür zuständig, alle Sensordaten des Systems auszuwerten, die Steuerbefehle des Piloten zu beachten und daraus eine stabile Fluglage zu errechnen. Er gibt die Befehle direkt an die Rotoren weiter, die so mit Hilfe der Motorregler (ESCs) ihre Drehzahl anpassen können. Das elektronische Grundsystem eines Multicopters sieht somit schematisch wie folgt aus:



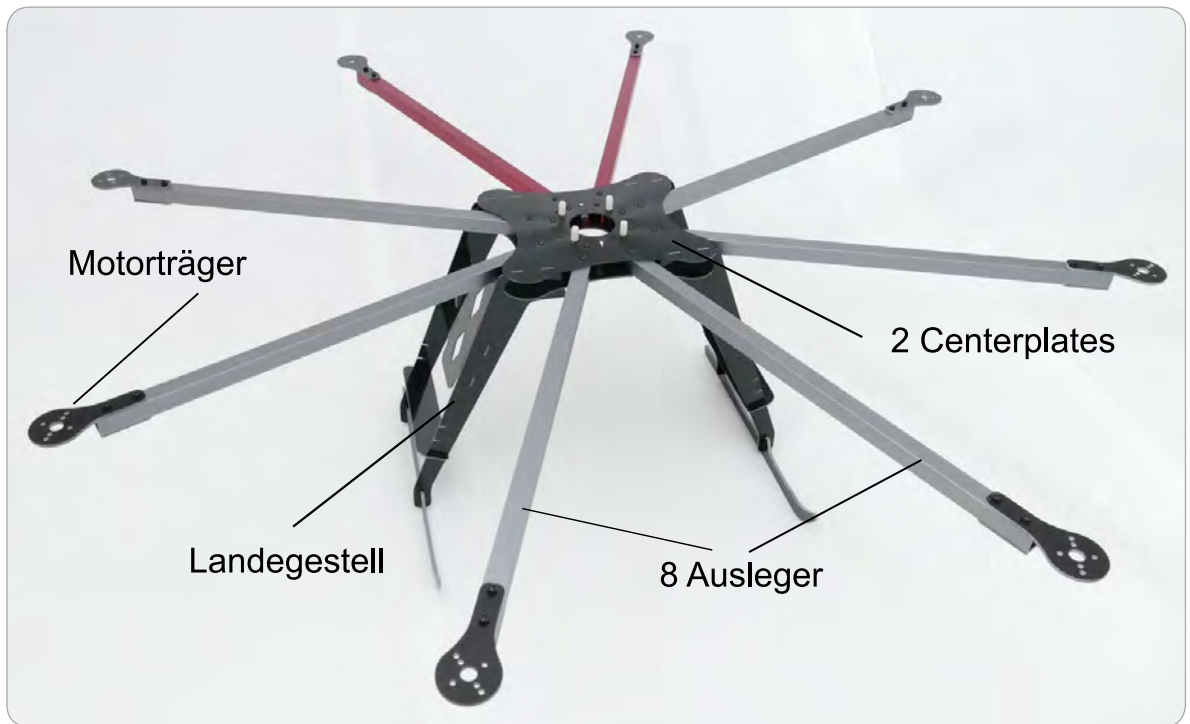
Funktionsprinzip eines Multicopters.

RAHMEN EINES MULTICOPTERS

■ Alle Komponenten werden auf ein Gestell montiert, das dafür sorgt, dass alle Bauteile sicher verbaut sind und genau an Ort und Stelle bleiben. Das ist der Rahmen eines Multicopters.

Centerplate, Ausleger und Landegestell

Der Rahmen (engl. frame) eines Multicopters kann in verschiedene Elemente unterteilt werden. Im Wesentlichen besteht er aus einer Zentralkonstruktion, der sogenannten Centerplate, den Auslegern und dem Landegestell.



Octocopter-Rahmen mit zwei übereinander liegenden Centerplates, acht Auslegern mit Motorhalterungen sowie ein Landegestell.

- ▶ Die **Centerplate** dient der Montage eines Flightcontrollers, seiner externen Sensoren (GPS, Magnetometer) und des Empfängers sowie gegebenenfalls weiterer Elektronikbauteile wie Motorregler, Powerdistribution (Stromverteiler) oder Telemetrie.
- ▶ Die **Ausleger** werden benötigt, um die Motoren räumlich getrennt von der Centerplate zu montieren. Sie werden an der Centerplate angebracht oder sind zusammen mit dieser aus einem Stück gefertigt.
- ▶ Das **Landegestell** kann in unterschiedlichen Ausführungen im Bausatz enthalten sein oder einzeln gekauft werden. Soll der Copter eine große Kamerahalterung tragen, wird ein größeres Landegestell benötigt als bei einem kleinen und wendigen Multicopter. Spezielle Landegestelle lassen sich für den uneingeschränkten Betrieb einer schwenkbaren Kamerahalterung während des Fluges nach oben klappen.



Kleiner Quadrocopter-Rahmen aus einem zusammenhängenden Kunststoffteil.



Brushlessmotoren Emax MT3506 KV650.

GLEICHSTROM-MOTOR-BÜRSTEN

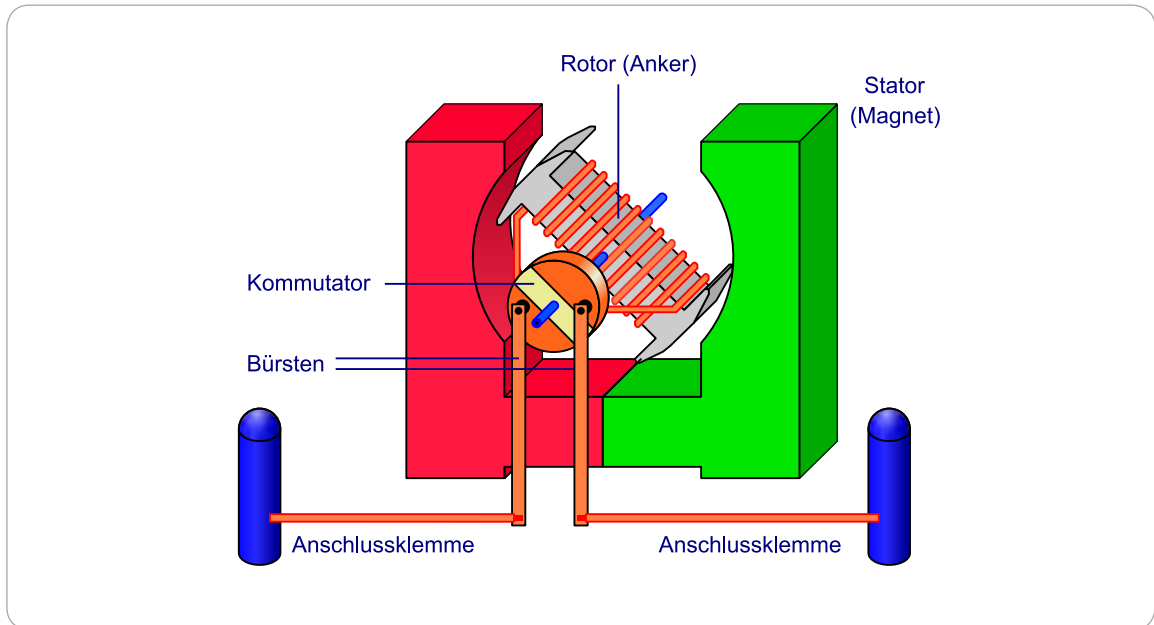
Die Bürsten eines Gleichstrommotors bestehen aus Graphit, deshalb werden sie auch Kohlebürsten oder einfach Kohlen genannt. Das ist auch der größte Nachteil von Bürstenmotoren. Die Bürsten sind Verschleißteile und senken die Effizienz der Motoren. Funken können an dieser Stelle überspringen und die restliche Modellelektronik stören. Da ein Multicoptermotor während des gesamten Fluges einer Dauerbelastung ausgesetzt ist, würden die Bürsten sehr schnell verschleifen.

MOTOREN IM MULTICOPTERBAU

Elektromotoren spielen im Multicopterbau eine große Rolle. Sie werden benötigt, um die Energie, die im Akku gespeichert ist, in Bewegungsenergie umzuwandeln. Eine Luftschraube, die auf dem Motor montiert ist, kann die Schubkraft aufbauen, die benötigt wird, um die Drohne abheben zu lassen. Heute werden beim Bau von Multicoptern überwiegend Brushlessmotoren verwendet.

Wirkprinzip des Gleichstrom-Bürstenmotors

Vor einigen Jahren wurden im RC-Modellbau noch Gleichstrom-Bürstenmotoren verbaut. Wie der Name schon ahnen lässt, besitzt diese Motorbauart sogenannte Bürsten (engl. Brush), um den angelegten Strom auf den Rotor zu übertragen. Der Motor besteht aus einem stehenden Teil, dem Stator, und einem rotierendem Teil, dem Rotor. Außen im Stator befinden sich Permanentmagnete in abwechselnder Polung. Der Rotor besteht aus einem Anker, um den sich außenherum Kupferwicklungen (Spulen) befinden.



Wirkprinzip eines Gleichstrom-Bürstenmotors.

Fließt ein Strom durch diese Spulen, entsteht ein magnetisches Feld, das einen Nord- oder Südpol aufweist, je nach Stromrichtung. Um eine Drehung des Rotors zu erzeugen, muss die magnetische Ausrichtung der stromdurchflossenen Kuperspulen immer genau so gerichtet werden, dass durch Abstoßen und Anziehen der Magnetfelder zwischen Rotor und Stator eine permanente Drehung erzeugt wird. Das Problem besteht darin, die Umpolung der Kuperspulen zu gewährleisten.

Hierzu wird ein sogenannter Kollektor oder Kommutator, abgeleitet vom lateinischen Wort commuto = umwandeln, verwendet. Er stellt sicher, dass die Stromrichtung und somit auch die magnetische Wirkrichtung während der Rotation fortlaufend gewechselt wird. Deshalb wird dieses Bauteil auch Stromwender genannt. Der Strom muss von einem stehenden Teil auf den sich drehenden Kommutator übertragen werden. Hierfür werden die angesprochenen Bürsten benötigt. Sie bestehen aus Graphit und liegen über eine leichte Federspannung mechanisch auf dem Kommutator an.

NEODYM

Neodym ist ein Element in unserem Periodensystem. Es zählt zu den sogenannten seltenen Erden. Magnete, die daraus hergestellt werden, zählen zu den stärksten der Welt.

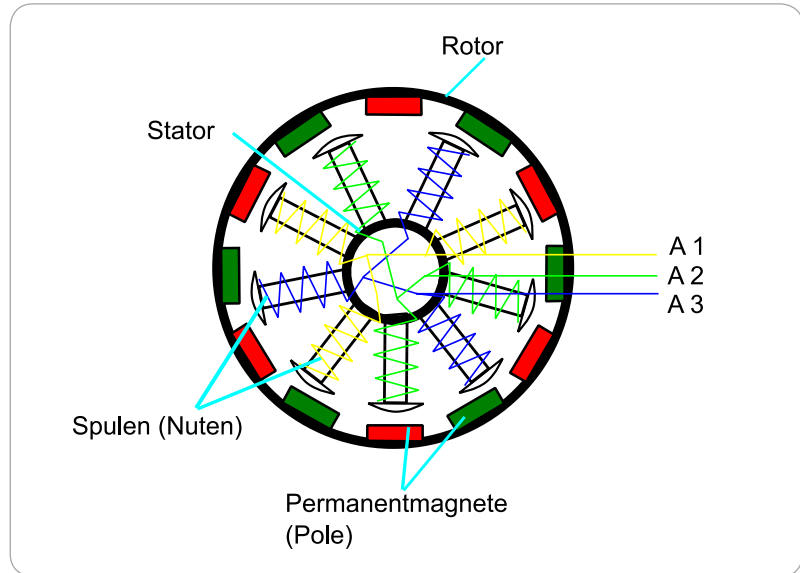
DREHSTROM

Wechselstrom, der über drei Phasen realisiert ist, wird auch Drehstrom genannt.



Aufbau des bürstenlosen Motors

Die Entwicklung von bürstenlosen Motoren oder Brushlessmotoren hat das Aufblühen der Multicopter- und Drohnen-Modellsparte erst möglich gemacht. Brushlessmotoren bieten den großen Vorteil, dass sie keine Kohlebürsten benötigen.



Aufbau eines Brushless-Außenläufermotors mit neun Spulen und zwölf Permanentmagneten - 9N12P.

Ein weiterer Unterschied zum bürstenbehafteten Vorgänger besteht darin, dass der Brushlessmotor den Stromrichtungswechsel am Stator vollzieht und somit kein Strom auf den sich drehenden Rotor übertragen werden muss. Die stromdurchflossenen Kupferspulen befinden sich im Stator. Auf dem Rotor finden sich die Permanentmagnete, die meistens aus Neodym bestehen.

Einen Nachteil hat die Konstruktionsweise des Brushlessmotors jedoch. Wie zu erkennen ist, benötigt er statt zwei Phasen (Anschlusskabel), wie der Bürstenmotor, drei Phasen. Diese sind um 120° versetzt und führen im Betrieb einen Wechselstrom. Somit werden die Stromrichtung und die hierdurch entstehende magnetische Wirkrichtung geändert.

Das bewirkt, dass sich der Rotor drehen kann. Für die Wechselstromansteuerung der drei Phasen wird jedoch eine spezielle Elektronik benötigt. Diesen Teil übernehmen die ESCs (Electronic Speed Control), auch Brushlessmotorregler genannt. Die Details zu ihrem Aufbau und ihrer Wirkweise werden im nächsten Kapitel erklärt.

Brushlessmotoren: Innen- und Außenläufer

Brushlessmotoren können in zwei verschiedene Bauarten unterschieden werden: Innenläufer und Außenläufer. Innenläufer zeichnen sich dadurch aus, dass der stehende Teil (Stator) außen ist und der innere Teil sich dreht (Rotor). Dies entspricht dem Prinzip der älteren Bürstenmotoren. Bei einem Außenläufer verhält es sich genau umgekehrt. Der sich drehende Teil befindet sich außen, der fest stehende innen. Wegen ihrer Kennzahlen werden in Multicopterdrohnen meist Außenläufer eingesetzt.

Außenläufer haben meist eine kleinere KV-Zahl als Innenläufer, weshalb sie langsamer drehen. Gerade diese Eigenschaft sorgt dafür, dass meist Außenläufer als Direktantrieb, ohne Getriebe, verwendet werden können und somit als Antrieb für einen Multicopter bestens geeignet sind.

Kennzahlen von Brushlessmotoren

Bei der Auswahl eines geeigneten Brushlessmotors werden wir mit einigen numerischen Angaben sowie Buchstabenkürzeln konfrontiert. Doch schon im Namen der meisten Motoren finden sich einige brauchbare Informationen, die zur Leistungs- und Größenberechnung herangezogen werden können.

Eine der wichtigsten Kennzahlen ist die KV-Zahl. Die Angabe beschreibt die Drehzahl des Motors in Bezug zur Spannung und bedeutet so viel wie die Konstante (K) Drehzahlerhöhung pro angelegtes Volt (V). Hat also ein Motor ein KV-Wert von 1100, ergibt sich bei einer angelegten Spannung von 10 Volt eine Leerlaufdrehzahl von 11.000 Umdrehungen pro Minute.

Die meisten Motoren sind mit weiteren Kennzeichnungen wie »MN« oder »2208« versehen. Diese sind zum Teil sogar allgemein gültige Angaben, was vorteilhafterweise die Vergleichbarkeit von Motoren verschiedener Hersteller ermöglicht, sofern diese sich nach der allgemeinen Kennzeichnung richten. Die Angaben bezeichnen die Motorserie des Herstellers, die Maße des in einem Outrunner (Außenläufer) liegenden Stators sowie die KV-Zahl.

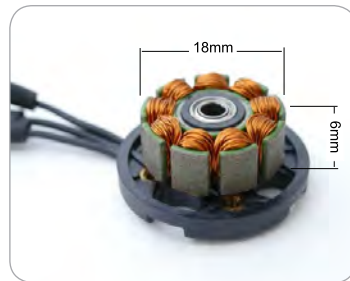


Quelle: Graupner/SJ GmbH

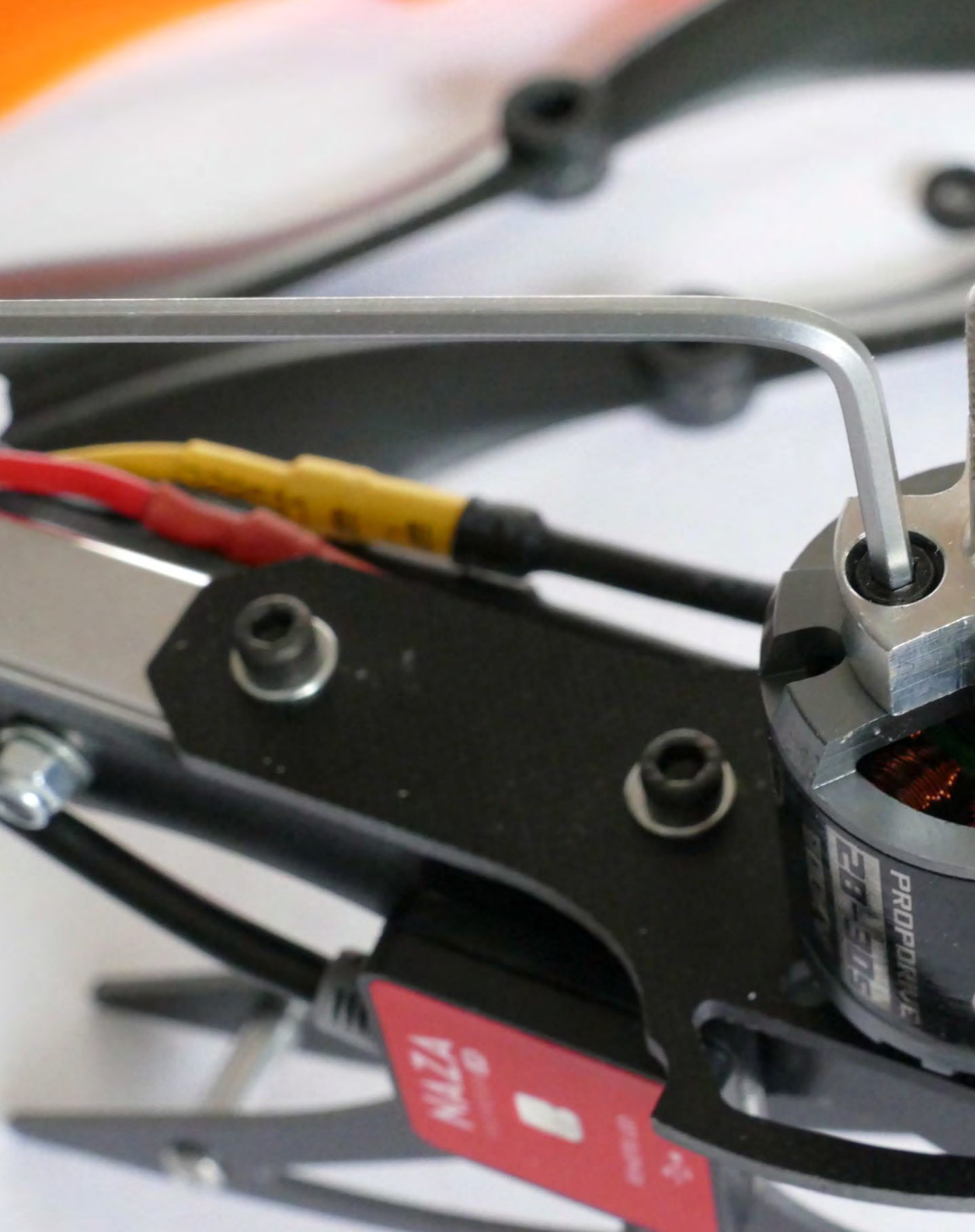
Innenläufer-Brushlessmotor - Graupner 420i.



Außenläufer-Brushlessmotor - T-Motor© MN3508-29 KV380.



Motor Emax PM1806 - Statormaße.





8

BAU EINER LOW-COST- DROHNE

Das Baukonzept ausarbeiten	282
Einkaufstipps und Bauteileauswahl	284
Finale Teileliste und Gesamtkosten	293
Bau der Multicopterdrohne von A bis Z	295
Fire it up! Bereitmachen für den Erstflug	335
Erkenntnisse nach dem Jungfernflug ...	338
Feintuning der Low-Cost-Drohne	339
Agilerer Flugstil mit Rollen und Flips	343
Alternativer Flightcontroller KK-Board ..	347
Alternativer Flightcontroller MultiWii Crius	357
Möglichkeiten, den Coper zu modifizieren	376



FLYSKY-FERN- STEUERUNGEN



FlySky-Fernsteuerungen sind sehr günstig und funktionieren tadellos. Ein Nachteil ist jedoch, dass kaum eine Failsafe-Funktion zur Verfügung steht.

Holt die Schraubendreher, Sechskantschlüssel und Lötkolben raus, endlich beginnt der praktische Teil zum Nachbauen, Experimentieren und Staunen. Wir beginnen mit dem ersten der MAKE-Kapitel, in denen gebaut, geschraubt, geklebt und gelötet wird. Das erste Bauprojekt befasst sich mit einer kleinen Low-Cost-Drohne.

DAS BAUKONZEPT AUSARBEITEN

■ In diesem MAKE-Projekt geht es darum, eine kleine Drohne für wenig Geld zu bauen, sozusagen eine Low-Cost-Drohne. Sie kann nachdem sie richtig eingestellt wurde, von Fluganfängern geflogen werden. Durch eine Software-Umstellung kann nach erfolgreicher Lernphase auch ein fortgeschrittener Modus eingestellt werden, um schneller mit dem Fluggerät umherzuflitzen. Mit der heutigen Auswahl an verschiedenen Bauteilen und den günstigen Preisen ist ein solches Projekt für relativ wenig Geld (100 bis 150 Euro) möglich.

Wichtig ist, dass alle Komponenten zusammenpassen und dass genau geplant wird, welche Bauteile verbaut werden sollen. Um dies zu klären, müssen wir uns zuerst die Fragen beantworten, die im vorigen Kapitel gestellt wurden. Erst wenn wir genau wissen, was wir von unserem Bauprojekt alles erwarten und welche Eigenschaften unser Multicopter haben soll, können wir uns an die Bauteile wagen.

An erster Stelle steht der Kostenfaktor

Bei diesem Projekt steht der Kostenfaktor an erster Stelle. Wir wollen also Komponenten finden, die im unteren Preissegment angesiedelt sind. Die Teile sollten natürlich auch den Anforderungen, die an sie gestellt werden, entsprechen. Wir legen fest, dass unsere Low-Cost-Drohne 100 bis 150 Euro kosten darf. Bei dieser Kalkulation sei vorher schon gesagt, dass es sich um die Kosten für die Drohne selbst handelt.

Eine Fernsteuerung wird vorausgesetzt, da manch einer schon eine RC-Anlage besitzt und diese benutzen möchte. Eine Fernsteuerung wird generell nur einmal am Anfang der hobbymäßigen Drohnenkarriere gekauft. Fernsteueranlagen, die für dieses Projekt genutzt werden können, zum Beispiel eine FlySky-Fs-t6 6-Kanal-Steuerung für 50 Euro oder eine Spektrum DX6i für 100 Euro, reichen absolut aus.

Grundlegender Funktionsumfang der Drohne

Wenn die Gesamtkosten für unsere Drohne feststehen, können wir uns überlegen, was das Fluggerät alles können soll. Natürlich können an ein Low-Cost-Projekt keine übermäßigen Anforderungen gestellt werden, deshalb legen wir fest, dass sie sehr einfach aufgebaut sein und ganz simpel »nur fliegen« soll. Es wird eine Quadrocopterform zum Einsatz kommen.

Festlegen der für den Bau benötigten Teile

Ein Quadrocopter benötigt keine zusätzlichen Servos und bewegliche Rahmenbauteile. Er soll relativ klein sein, denn je größer der Multicopter wird, desto größer werden auch Leistungskomponenten wie Motoren, Luftschrauben und Rahmen.

Es sollen keine weiteren Teile für Zusatzfunktionen verbaut werden. Je mehr Elektronik »mitgeschleppt« werden muss, desto größer müssen die Motoren ausfallen. Auch genügt ein einfacher Flightcontroller, um die Drohne zum Fliegen zu bringen.

Gerade für Neulinge im Multicopterflug ist es oft schwierig, die Lage des Fluggerätes in der Luft zu erkennen. Kommt eine ungünstige Wetterlage dazu oder befindet sich am Flugfeld ein Waldrand, der wenig Kontrast zum Flugmodell bietet, wird es sogar für erfahrene Piloten schwierig zu unterscheiden, wo an der Multicopterdrohne vorne und hinten ist. Um eine bessere Lageerkennung in der Luft zu gewährleisten, sollen einfache und günstige LEDs verbaut werden.

Außerdem soll ein günstiges Gerät zur Spannungsüberwachung verbaut werden, um ein vorzeitiges »Ableben« des LiPo-Akkus zu verhindern, denn gerade bei den ersten Flügen eines neuen Multicopters ist es trotz vorherigen Berechnungen schwierig, die Flugzeit richtig einzuschätzen.

Da wir einen möglichst günstigen Copter bauen möchten, wird ein möglichst kleiner Rahmen von circa 25 Zentimeter Achsenabstand benötigt.

Checkliste der benötigten Bauteile

- ▶ 4 Motoren
- ▶ 4 ESCs
- ▶ 4 Luftschrauben (2 CW, 2 CCW)
- ▶ 1 Flightcontroller
- ▶ 1 Rahmen 25 cm
- ▶ 4 LED-Streifen (2 Farben)
- ▶ 1 Empfänger
- ▶ 1 LiPo-Checker
- ▶ 1 LiPo-Akku

Festgelegt ist nun also, welche Bauteile allgemein benötigt werden. Was spezifisch zum Einsatz kommt, muss genau erläutert werden.

EINKAUFSTIPPS UND BAUTEILEAUSWAHL

Bei der Bauteilauswahl wird darauf geachtet, dass alle Teile in Deutschland oder zumindest in Europa verfügbar sind. Sollten Sie die Bauteile nicht in Deutschland, sondern in einem Warenhaus in Europa bestellt haben, sollten Sie mit einer Versandzeit von vier bis acht Tagen rechnen. Zusätzlich sollten Sie auf außerhalb Deutschlands geltendes Recht achten.

Bei Auktionskaufhäusern ist vor allem darauf zu achten, dass das ausgewählte Bauteil in Deutschland lagert. Wer einfach einen Artikel sucht und den nächstbesten kauft, muss damit rechnen, dass die Lieferzeit bei einem ausländischen Lagerort um ein Vielfaches höher ist als in Deutschland. Grenzen Sie die Suche immer mit einem Häkchen auf den Raum Deutschland ein.

Der Rahmen – Basis der Multicopterdrohne

Die Grundlage jeder Multicopterdrohne bildet der Rahmen, auf dem alle Elektronikbauteile verbaut werden. Da eine kleine, günstige Drohne gebaut werden soll, benötigen wir einen kleinen Rahmen. Eine der kleinsten Standardgrößen für Multicopterprojekte ist ein 250er-Rahmen. Der Abstand von einer Motorachse zur gegenüberliegenden Motorachse beträgt dann 25 Zentimeter. Das ist klein genug, um kompakte und günstige Leistungselektronik zu verbauen, aber groß genug, um alle Bauteile wie ESCs, Flightcontroller, LEDs und Empfänger unterzubringen. Ein günstiger Rahmen im niedrigen Preissegment ist der Micro FPV 250 für 10 Euro.



Günstiger Rahmen: Micro FPV 250 Quad Copter.

Berechnungen prüfen und Fluganalyse erstellen

Jetzt, da alle Komponenten genau bekannt sind, können die Berechnungen überprüft und eine Flugzeitanalyse erstellt werden. Eine Luftschraube für unsere Drohne wiegt circa 2 Gramm. Für die LEDs veranschlagen wir weiterhin 5 Gramm, da kein Wert bekannt ist. Die ESCs wiegen tatsächlich circa 20 Gramm. Unsere neue Gewichtsanalyse sieht wie folgt aus:

GEWICHTSKALKULATION LOW-COST-DROHNE			
Bauteil	Gewicht in Gramm pro St.	Anzahl	Gesamtgewicht in Gramm
Rahmen	110	1	110
Flightcontroller	40	1	40
Empfänger	25	1	25
Motoren + Luftschrauben	19 + 2 = 21	4	84
ESCs	20	4	80
Akku	105	1	105
LEDs	5	4	20
Kleinteile (Stecker / Kabel)	20	1	20
Summe			484

Die erste Gewichtsanalyse war also sehr zutreffend und nicht groß abweichend von der jetzigen. Nun kennen wir unser Copter-Gesamtgewicht und die Schubkraft unserer Rotoren sowie die Kapazität unseres verwendeten Akkus.

Durchführen einer Flugzeitberechnung

Wie im Kapitel »Rechnerische Grundlagen« aufgezeigt, können wir nun eine Flugzeitberechnung durchführen. Da der Hersteller nur die volle Schubleistung angibt und keine weiteren Betriebspunkte bekannt sind, müssen wir uns mit einer Verbrauchsschätzung des Rotors am Schwebetriebspunkt begnügen. Wir verwenden die im Kapitel »Rechnerische Grundlagen« erstellte, um einen groben Richtwert zu erhalten, wie viel Leistung die Motoren im Schwebeflug benötigen. Die Akkuleistung errechnet sich wie folgt:

$$\begin{aligned} \text{Akkuleistung in Wh} &= \text{Akkupazität in Ah} * \text{Spannung in V} = \\ &1,3 \text{ Ah} * 11,1 \text{ V} = 14,43 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Um die reine Schwebezeit zu ermitteln, benötigen wir die Leistung, die an diesem Betriebspunkt fließt. Wir können ihn aus dem Ergebnis der folgenden Formel ableiten: Der Hersteller gibt mit einer 5x3-Luftschraube bei 11,1 Volt eine maximale Schubkraft von 290 Gramm bei einer Leistung von 63,27 Watt an - für die Motoren verwenden wir den Effektivitätsfaktor 0,8.

$$P_{\text{schwges}} = \left(\frac{P_{\text{maxges}}}{\text{Schubmaxges}} * m_{\text{ges}} \right) * 0,8$$

$$P_{\text{schwges}} = \left(\frac{253,1 \text{ W}}{1,16 \text{ Kg}} * 0,484 \text{ Kg} \right) * 0,8$$

$$= 84,5 \text{ W}$$

Die Schwebelageleistung beträgt somit 84,5 Watt. Die Flugzeit errechnen wir jetzt anhand der Formel:

$$\text{Flugzeit} = \frac{\text{Akkuleistung}}{P_{\text{schwges}}} * 60 \text{ min} = 14,43 \frac{\text{Wh}}{84,5 \text{ W}} * 60 \text{ min} = 10,3 \text{ min}$$

Eine praktische Flugzeit von 10,3 Minuten ist somit möglich. Die praktische Flugzeit hängt stark vom Flugstil, aber auch vom Motorverbrauch ab. Erfahrungsgemäß liegt die Flugzeit im schlechtesten Fall bei etwa sechs bis acht Minuten. Es ist aber auch nicht ausgeschlossen, dass unsere Annahmen zum Leistungsbedarf der Motoren leicht zu hoch ausgefallen sind und eine Flugzeit von tatsächlich zehn Minuten möglich ist.

Jetzt kennen wir die voraussichtliche Flugzeit, die Bauteile, die wir verwenden werden, sowie die Tatsache, dass der Akku die Stromlast verkraften kann. Somit können wir mit dem Bau des Copters beginnen.

FINALE TEILELISTE UND GESAMTKOSTEN

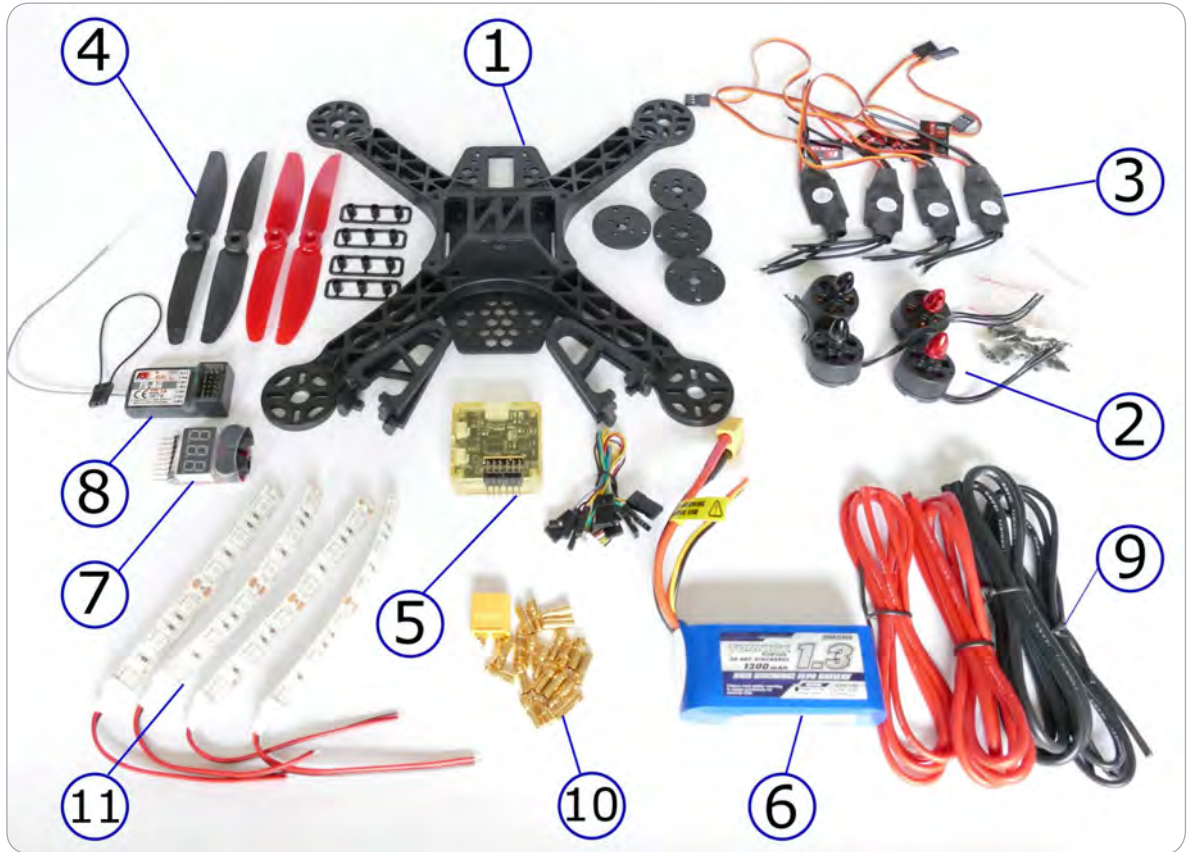
Als Erstes benötigen wir einen Überblick über die Teile, die wir brauchen, sowie einen groben Plan, welche Bauteile wann wo hinkommen. Die folgende Liste nennt die Teile, die wir brauchen, um unsere Low-Cost-Drohne zu bauen.

Somit haben wir Gesamtkosten für unsere Low-Cost-Drohne von 135 Euro ohne die Fernsteuerung. Das liegt erfreulicherweise etwas unter den angesetzten 150 Euro und es wurden nur Teile verwendet, die in Deutschland oder in Europa erhältlich waren.

Wer noch keine Fernsteueranlage besitzt, ist für dieses Projekt mit einer FlySky FS-T6 für ca. 50 Euro gut bedient. Wenn Sie diese oder eine andere Fernsteuerung für das Projekt ordern, müssen Sie keinen extra Empfänger bestellen. In den meisten Fällen ist bei einer Fernsteuerung ein Empfänger mit mindestens sechs Kanälen dabei.

BAUTEILE UND GESAMTKOSTEN DER LOW-COST-DROHNE					
Nr.		Bezeichnung	Einzelpreis* (ca.)	St.	Gesamtpreis
1		Rahmen	10 €	1	10 €
2		2er-Set Motoren Emax PM1806 2300KV 2 St.	15 €	2	30 €
3		4x ESCs MR.RC 12A SimonK	30 €	1	30 €
4		Propeller Gemfan 5x3 1x Packung (CW&CCW) schwarz, 1x rot (insgesamt 4)	Zusammen 3,50 €		3,50 €
5		Flightcontroller CC3-D EVO	20 €	1	20 €
6		LiPo-Akku 3S 1300 mAh 30C	11 €	1	11 €
7		Lipo-Checker	3 €	1	3 €
8		Empfänger FS-R6B	13 €	1	13 €
9		Silikonkabel 16AWG rot/schwarz	Zusammen 3 €	1	3 €
10		Stecker (XT60 5 Paare und 3,5 mm Goldkontakte 20 Paare)	Zusammen 8 €	1	8 €
11		LEDs 10cm 12V-Streifen 2 x rot, 2 x blau	Zusammen 4 €	1	4 €
Summe					135,50 €

* Die Preise wurden im Februar 2016 ermittelt.



Übersicht aller Bauteile für die Low-Cost-Drohne.

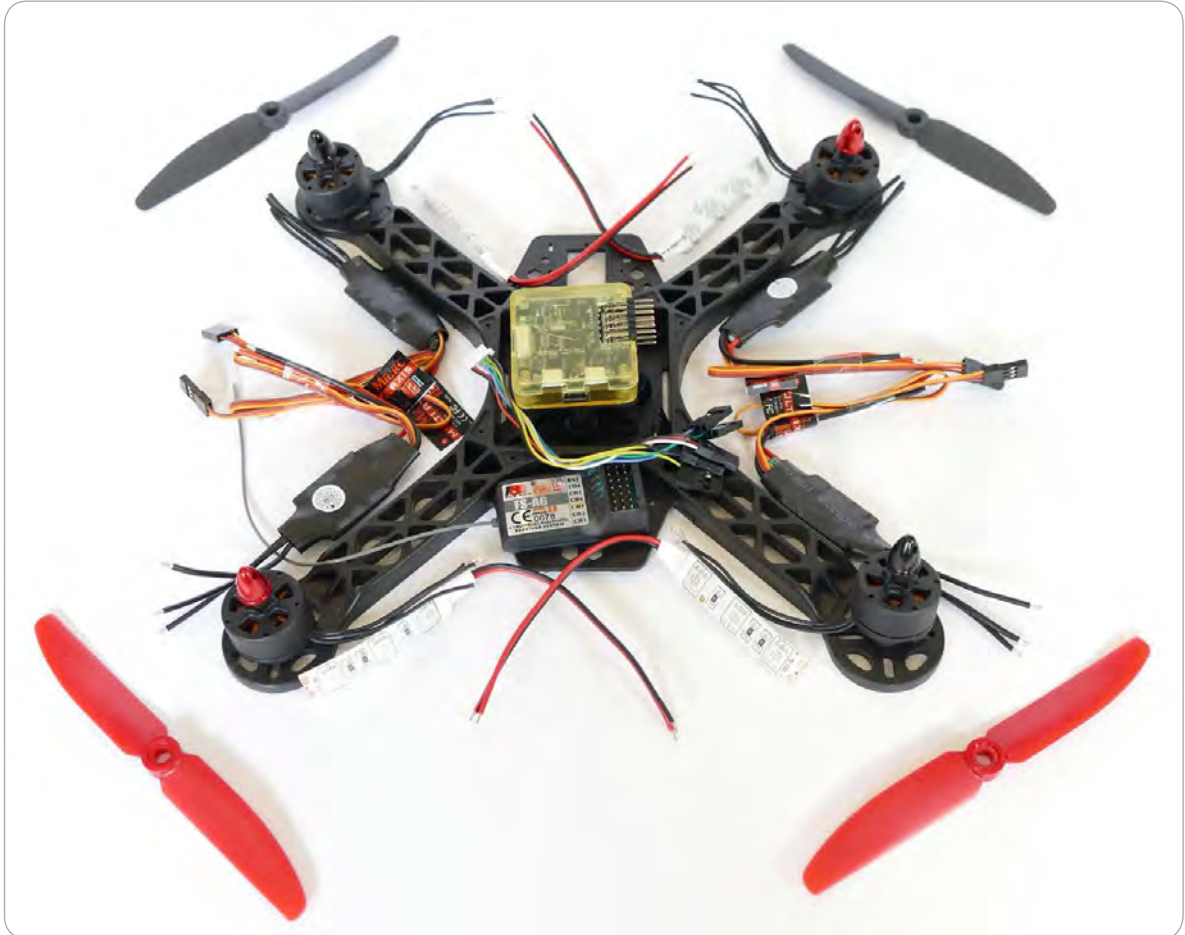
Für den Zusammenbau benötigen wir noch zusätzlich 16 Unterlegscheiben für die M3-Motorschrauben.

BAU DER MULTICOPTERDROHNE VON A BIS Z

Nun ist geklärt, welche Teile wir zusätzlich zu unserer Grundausrüstung (LötKolben, Klebeband, Schrumpfschlauch u. a.) benötigen und bestellen müssen. Nur wenige Tage später werden die bestellten Bauteile angeliefert und die eigentliche Bauphase kann endlich beginnen.

Bauphase 1: Exakte Anordnung der Bauteile

Wir beginnen damit, alle Teile in etwa so zu platzieren, wie sie später angebracht werden sollen. Das ist insofern wichtig, als hieraus ersichtlich wird, wie lang die Kabel der Motoren und ESCs sein müssen.



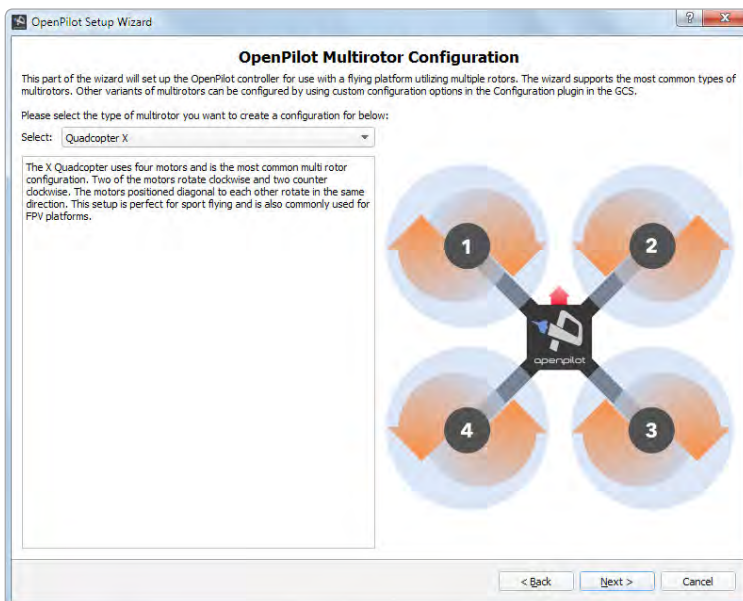
Planung der Komponenten-Montage.



- 1 Die LED-Streifen sind mit ihrer Länge von 10 Zentimetern und dem angeschlossenen Kabel zu groß, um unten oder seitlich an dem Copter befestigt zu werden. LED-Streifen haben aber die angenehme Eigenschaft, dass sie zugeschnitten werden können. An jeder Stelle, wo dies möglich ist, befinden sich Kupferkontakte und meistens ein Scheren-Symbol. Hier kann der Streifen ohne Weiteres durchgeschnitten werden, ohne zerstört zu werden. Wir kürzen also die Streifen um die Hälfte auf 5 cm.

- 2 Wir erinnern uns noch an die Rotordrehrichtungen eines Quadrocopters in X-Konfiguration. Sie sind fast bei jedem System gleich. Jedoch erkundigen wir uns, ob das OpenPilot-System nicht hiervon abweicht. Das tut es nicht, deshalb montieren wir die Motoren wie folgt.

Die Motoren mit den schwarzen Spinneraufsätzen sind mit einem Linksgewinde ausgestattet, die roten mit einem Rechtsgewinde. Da die Anordnung der Rotorlaufrichtung und der Gewinderichtung des Motoraufsatzes immer gegensätzlich sein muss, setzen wir die Linksgewinde nach links vorne und rechts hinten. Die Motoren mit den roten Spinners an die zwei anderen Stellen.



Rotordrehrichtungen eines QuadX im OpenPilot/LibrePilot-System.

- 3 Die roten Luftschrauben und die roten LEDs sollen wie bei einem Auto nach hinten zeigen. Die Regler können oben oder unten auf dem Ausleger befestigt werden.
- 4 Aufgrund des sehr geringen Abstandes zu den Rotorblättern auf der Oberseite werden die ESCs besser auf der Unterseite montiert. Die LEDs werden zwischen den Auslegern vorne und hinten angebracht.
- 5 Der Flightcontroller muss in die Mitte der gesamten Konstruktion, in die für ihn vorgesehene Aussparung in der Rahmenmitte. Den Empfänger können wir gut auf der Hinterseite in der Mitte montieren.





11

FAQS UND FEHLER- QUELLEN

Fragen und Antworten	538
Fehlerquellen allgemein	543
Fehlerquellen OpenPilot	545
Fehlerquellen MultiWii	546
Fehlerquellen KK-Board	546
Fehlerquellen ArduPilot	547
Fehlerquellen DJI Naza	549

FRAGEN UND ANTWORTEN

Darf ich mit meinem Copter überall Bilder und Videos machen?

Es kommt immer darauf an, was gefilmt oder fotografiert wird. Den Nachbarn in seinem Garten zu filmen oder zu fotografieren gehört eher zu den Aktivitäten, die Sie unterlassen sollten. Eine Landschaftsaufnahme, ohne dass eine einzelne Person genau zu sehen ist, ist kein Problem. Sollen Fotos oder Filmaufnahmen von einem Gebäude oder Ähnlichem erstellt werden, sollten Sie auf Nummer sicher gehen und immer den Eigentümer um Erlaubnis fragen. Wenn Sie die Aufnahmen generell für sich selbst erstellen und nicht veröffentlichen oder weitergeben, bestehen im Allgemeinen weniger Einschränkungen. Aufnahmen von Kraftwerken oder militärischen Einrichtungen sind grundsätzlich verboten.

Darf jeder eine Drohne fliegen?

Generell ja. Es gibt keine Altersbeschränkung oder Ähnliches. Was jedoch beachtet werden sollte: Unter Alkohol- oder Drogeneinfluss oder wenn eine körperliche oder geistige Einschränkung besteht, die die Fähigkeit zum Fliegen einer Multicopterdrohne beeinträchtigt, darf diese nicht geflogen werden.

Ist es gefährlich, einen Multicopter zu fliegen?

Es kommt vor allem drauf an, wie groß der Copter ist. Eine kleine Spielzeugdrohne mit nur wenigen Zentimetern Durchmesser sollte zwar auch verantwortungsvoll betrieben werden, hinterlässt bei einem Absturz aber keine großen Schäden oder Verletzungen. Je größer und schwerer die Drohne ist, desto größer ist das Gefahrenpotenzial. Schon ein kleiner FPV-Racer kann erheblichen Schaden und schwere Verletzungen verursachen, wenn mit ihm etwas Unerwartetes geschieht. Wird ein Multicopter betrieben, besteht immer ein gewisses Gefahren- und Verletzungsrisiko. Aus diesem Grund sollte vor dem Fliegen immer eine Checkliste durchgegangen werden. Jeder Pilot sollte sich der Verantwortung des Fliegens eines Copters bewusst sein, dann kann das Risiko auf ein Minimum reduziert werden.

Kann jeder eine Drohne fliegen?

Im Grunde genommen kann jeder eine Drohne fliegen. Im Gegensatz zum konventionellen Fliegen eines Modellflugzeuges bieten Multicopter, je nach Ausstattungsgrad, viel Unterstützung beim Fliegen und sorgen auch in kritischen Situationen selbst dafür, dass sie nicht gleich abstürzen. Allerdings ist zu empfehlen, vor dem allerersten Fliegen eines Multicopters an einem Flugsimulator zu üben. Das senkt das Risiko eines Absturzes beim Erstflug ungemein, und ein zerstörter Multicopter am PC kostet deutlich weniger, als wenn Sie Einzelteile im Feld aufsammeln müssen.

Kann ich meinen Multicopter auch per App steuern?

Das Fliegen eines Multicopters, vor allem eines selbst gebauten Multicopters, ist für die Steuerung über eine Fernsteuerung ausgelegt. Einige experimentelle App-Erweiterungen wie etwa die App Droid Planner bieten ein Modul zum Steuern einer Drohne über Bluetooth oder per Telemetrier Verbindung.

Sind Drohnen und Multicopter das Gleiche?

Ein Multicopter ist nicht direkt das Gleiche wie eine Drohne. Er ist sozusagen eine Unterart einer Drohne. Als Drohnen werden übergeordnet Fahr-, Flug-, und Wasserfahrzeuge bezeichnet, die unbemannt sind und entweder ferngesteuert werden oder sich autonom bewegen. Aus diesem Grund ist ein Multicopter also in die Kategorie Flugdrohne einzuordnen.

Was ist FPV-Fliegen?

FPV bedeutet First Person View und bezeichnet die Ansicht aus dem Cockpit eines Flugmodells. Der Pilot steuert also das Modell nicht per klassischen Sichtkontakt, sondern schaut sich das Livebild einer im Modell verbauten Kamera auf einem Monitor oder durch eine FPV-Brille an und steuert das Fluggerät anhand dieses Livebildes. Hierfür sind mindestens vier Bauteile nötig. Eine FPV-Kamera nimmt das Bild auf und leitet es weiter an einen FPV-Sender. Dieser sendet das Bild an eine Bodenstation, den FPV-Empfänger. Der FPV-Empfänger wiederum leitet das empfangene Bild an einen angeschlossenen Monitor weiter, auf dem das Bild zu sehen ist. Dieser Monitor kann auch eine FPV-Brille sein, die aufgesetzt wird und das Bild direkt vor die Augen des Piloten spielt.

Welche Fernsteuerung benötige ich zum Steuern einer Multicopterdrohne?

Eine Fernsteuerung zum Fliegen einer Multicopterdrohne wird immer benötigt. Bei der Auswahl besteht immer die Qual der Wahl. Erst einmal ist es wichtig zu wissen, was für einen Funktionsumfang mein Copter bietet. Bei kleinen und günstigen Coptern genügt oft eine Fernsteuerung mit sechs Kanälen. Bei sehr großen und teureren Multicoptern werden oft mehr Kanäle für weitere Einstellungen und Flugmodi benötigt. Hier wird oft eine 9-Kanal-Fernsteuerung eingesetzt. Bei großen Coptern sollte auch darauf geachtet werden, dass eine Failsafe-Funktion verfügbar ist. Eine 6-Kanal-Spektrum-Fernsteuerung gehört zu den günstigen Systemen. Graupner und Futaba bieten solide und umfangreiche Systeme für Anfänger bis Profis. Weatronic ist eines der qualitativ hochwertigsten und auch teuersten Systeme.

Symbole

2,4 GHz 167, 170
 3-D-Drucker 47
 3-DR 131
 4K 185
 5,8GHz 226
 +-Ausrichtung 35
 +-Konfiguration 34

A

A2 120
 Abbfluggewicht 552
 Abluftstrom 339, 394, 552
 Abnehmender Grenznutzen 246
 Accelerometer 93, 94
 ACC-Kalibrierung 354, 372, 431
 Achsenabstand 49
 Acro 254
 Acro+-Factor 331
 Acro-Mode 118, 136
 Acro+-Mode 104, 107
 Actioncams 183
 AIS-Portal 219
 Akku 40, 76, 77, 291
 Akkuchecker 317, 438, 552
 Akku-Defekt 82
 Akkustecker 307
 Akku-Typen 77
 Allround-Quadrocopter-Drohne 380
 Alt-Hold-Mode 135
 Ampere (A) 62
 Anfängermodus 338
 Angle-Mode 118, 370
 APM 131
 ACC kalibrieren 493
 Autotune 146
 Battery Monitor 511
 ESCs kalibrieren 145, 509
 External Compass 511
 Firmware 141

Flightmode einstellen 508
 Flightmodes 133
 GPS/Kompass-Modul 500
 GUI 132
 Logdatei 148
 Schock-Absorber-Board 497
 Software 138, 494
 Telemetrie 517
 APM 2.6 471
 Arduino-Sketch 367
 Arduino-Software 364
 Ardupilot 131
 ArduPilot 100
 Arm 118, 355
 Atmel-Controller 132
 Atti-Mode 441
 Attitude-Mode 104, 106, 124, 332, 343
 Aufschaukeln 339, 552
 Aufstiegsgenehmigung 212, 214
 Auftrieb 64
 Ausgangsspannung 63
 Ausleger 44, 45
 Austarieren 552
 Autolanding 442
 Autolevel-Funktion 106, 343
 Auto-Mode 96, 135
 Autopilot 91
 Autotune 146
 Axis-Lock-Mode 107

B

Balancewaage 75
 Barometer 93, 95, 375, 553
 Baro-Mode 118
 BARO-Mode 370
 Baukonzept 380, 466
 Bauteilauswahl 284
 BEC 60, 312

Berechnungen 8, 232

Bauteile 233

C-Wert 240

ESC-Auswahl 240

Flugzeit 242

Gewicht 233

Motoren 237

Rahmengewicht 234

Schubkraft 236

Beschleunigungssensor 32, 94

Betriebspunkt 243

Bildsensor 181

Binding 170, 313, 553

BLHeli 59

Bluetooth-Modul 176, 253

Brake-Mode 137

Brandgefahr 82

Brushless Gimbal 189

Brushlessmotor 50, 52, 287, 386, 554

Ampere 55

Außenläufer 53

Auswahl 237, 385

Betriebsspannung 55

Effizienz 74

Innenläufer 53

Kennzahlen 53

Kennzeichnung 53

Konfiguration 54

KV-Zahl 53

Lager 56

Leistung 55, 241

Montage 396, 481

Motorgewicht 55, 238

Nuten 54

Permanentmagnete 52

Pole 54

Schubdaten 239

Schubkraft 56, 238

Stromfluss 241

Testdaten 244

Wartung 56

Wechselstrom 52

Brushlessmotor 39

Brushlessregler 31, 57

Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung 221

Bürstenmotor 50

Buzzer 80

C

CAD Software 47

CALIB_ACC 372

CALIB_MAG 372

Carbon 46, 235

Carbonfaserverstärkter Kunststoff 46

CC3-D 101, 286, 291, 308, 310, 319

CCD 181

CCW 66

Centerplate 44, 45, 554

CFK 46

Chargerate 83, 554

Circle-Mode 136

Clover-Leaf 200

Clover-Leaf-Antennen 200

CMOS 181, 442

COM-Port 365, 494

Copter 25, 28

modifizieren 376

Course-Lock 126

Creative Common Lizenz 101

Crius 357

CW 66

C-Wert 82, 241, 291, 388

D

dBm 177

Deckungssumme 210

Deutsche Flugsicherung 219

Deutscher Modellflieger Verband 211

Dichte 46

DJI 120, 384
 Einzelkomponenten 120
 IOC 126
 Protection Switch 129, 430
 Software 122
 DJI Naza 100
 Drehmoment 35, 436
 Drehratensensor 32, 93, 555
 Drehregler 168
 Drehrichtungen
 Luftschrauben 37
 Drehstrom 52
 Drehzahlangebe 54
 Drift-Mode 136
 drivecalc 72, 240, 244
 Drohne 8, 23, 25
 Drop-Down-Manöver 339
 DSLR 191
 Duocopter 32
 Duplex 173

E

ecalc 72, 239, 244
 Effizienz 74
 Effizienzfaktor 243, 389
 Eingangsspannung 63
 Einzelaufstiegsgenehmigung 215
 Elastizitätsmodul 46
 Elektromotoren 50
 Emax 239, 472
 Empfänger 32, 41, 167, 313, 322, 362, 414
 Energiedichte 77, 555
 Erstflug 335, 440, 516
 ESC 31, 57, 58, 240, 290, 298, 360
 Ampere 62
 Auswahl 240, 386
 BEC 60
 BLHeli 59
 Flashen 58
 N-FET 60
 kalibrieren 163, 355, 372

P-FET 60
 Pulsweitenmodulation 59
 Reaktionsgeschwindigkeit 58
 Spannung 62
 verbinden 412, 483, 498
 Exceltabelle 245
 Explosionsgefahr 84
 Expo 555

F

Fail Safe 125, 126, 427, 442
 Fasst 173
 Fatshark 182, 443, 450
 Fehlerquellen 543
 Feintuning
 Low-Cost-Drohne 339
 Feldeffekttransistor 60
 Feldwege 222
 Fernsteueranlage 41
 Fernsteuerung 167, 425
 Fightmode 117
 Flightboard 91
 Flightcontroller 31, 32, 38, 58, 91, 286, 310, 357, 556
 DJI 120
 Funktion 92
 KK-Board 150
 MultiWii 110
 OpenPilot 101
 PID-Regler 97
 Schema 96
 Sensoren 93
 Varianten 100
 Verbindungsschema 97
 Vergleich 163
 Flightmode 104, 117, 133, 332, 370, 508
 FLIGHT PLAN 140
 Floor 219
 Flugbeschränkungsgebiet 217
 Flugcontroller 91
 Flugfreigabe 221
 Flugkontrollzone 221

Fluglage
 Ausrichtung 34
 Flugmodell 209, 213, 222
 Flugposition 94
 Flugsicherung 220
 Flugzeit 293
 optimieren 246
 Flugzeitberechnung 242, 389
 Flugzeitsteigerung 246, 460
 Flugzeittuning 460
 Flybar 107
 FlySky 286, 293, 313
 FlySky Th9x 328, 339, 382, 425, 459
 Follow Me-Mode 137
 Forschung 29
 Fotoeffekt 186
 Fotografieren
 Rechtslage 227
 FPV 41, 188, 194, 521, 533
 5,8 GHz 198
 Abstrahlwinkel 200
 Antennen 200
 Auswahl 442
 Betriebsspannung 196
 Einbau 443
 FPV-Brille 198, 443
 Frequenzen und Kanäle 197
 Kamerakabel 452
 Kameras 181
 Komponenten 194
 Latenzzeit 201
 OSD 201
 Rechtslage 225
 Sender 451
 Stromversorgung 456
 Verbindungsschema 199
 FPV-Brille 446
 FPV-Fliegen 225
 FPV-Tuning 442
 Framework 54

Frequenzhopping 170, 556
 FS-R6B 322
 FTDI-USB Schnittstelle 363
 Full-HD 185

G

Gain-Werte 125, 430
 Gasweg 145, 325, 355, 372, 433, 509, 556
 Gefahrengebiet 217
 Gesamtgewicht 233
 Gesamtkosten 293
 Gesetze 8, 206
 Gewichtsberechnung 232, 234, 288, 292, 387, 471
 GFK 46, 64
 Gimbal 188, 521, 524, 557
 Arten 193
 Montage 524
 Verbindungsschema 193
 Glasfaser 46, 235
 Gleichstrom-Bürstenmotor 50
 Global Shutter 182
 GlobeFlight 416
 Goldbuchse 401, 482
 Goldkontakt 272
 GoPro-Hero 183
 GPS 93, 95
 GPS-Daten 23
 GPS-Drift 95
 GPS-Halterungen 407
 GPS Hold-Mode 119
 GPS Home-Mode 119
 GPS-Mode 125, 441
 GPS-Signal 95
 GPS-Störung 95
 Grundausrüstung 269
 Grundstückseigentümer
 Erlaubnis 213
 Guided-Mode 136
 Gyroskop 93, 557

H

Haftpflichtversicherung 206, 210, 211
Hall-Sensor 58
Headadj-Mode 119
Headfree-Mode 119
Heckrotor 35
Hexacopter 32
H-Form 33
H-Konfiguration 35
Höhenmesser 95
Home-Lock 127
Horizon-Mode 118
HoTT 173
Hovern 72, 558
Hubschrauber 28, 35

I

ICAO-Karte 217, 219, 220
IOC 126
I-Wert
 Feintuning 256

J

Jello-Effekt 74, 182, 186
JST-Stecker 400, 409
JST-System löten 279

K

Kalkulationssoftware 244
Kamera 181
 Cinema-Kameras 185
 DSLR 184
 Jello-Effekt 186
 Live-Out 188
 Rolling-Shutter-Effekt 186
Kardanische Aufhängung 188
KK 100
KK-Board 150, 347
 ACC Calibration 159

Camera Stab Setup 158
CPPM Settings 160
Einstellungen 152, 352
ESCs kalibrieren 163
Fehlerquellen 546
Fehlersuche 547
Load Motor Layout 162, 352
Misc. Settings 156
Mixer Editor 160
Mode Settings 155
PI Editor 154
Reciver Test 154
Self-level-Mode 355, 357
Self-level-Settings 157
Sensor Test 159
Show Motor Layout 162
Stick Scaling 155
Verkabelung 349
Kohlenfaser 46
Kollektor 51
Kommutator 51
Kompass 94
kontrollierter Luftraum 220
Korrekturkraft 98
Kreisel 93
Kunststoff 65
Kupferdraht 54
KV-Zahl 53

L

Ladegerät 86
 Betriebsmodi 88
 Ladekabel 88
 Leistung 86
 Spannungsanschluss 90
 Typen 88
Ladetechnik 86
Lagekorrektur 98
Lager 56
Landegestell 44, 45

Landesbehörde
 Vorschriften 212
 Land-Mode 137
 Latenzzeit 201, 558
 Laufzeitmessung 558
 Layout 34
 LEDs 288, 291, 297, 307, 394, 401, 467, 487, 533
 verbinden 490
 LED-Streifen 291, 296, 489
 Leistung an einem Betriebspunkt 244
 Leistungsbedarf 232
 Level-Mode 94
 LiPo-Akku 77, 276
 Anschluss 492
 Auswahl 387
 Balanceranschluss 79
 befestigen 504
 Chargerate 83
 C-Wert 241
 Energiedichte 77
 Entladeverhalten 78
 Explosion 276
 Gefahren 208
 Kapazität 83
 Ladekabel 417
 Ladeverhalten 78
 Lagerung 86
 LiPo-Checker 80
 LiPo-Warner 80
 Parallelschaltung 84, 461, 492
 Reihenschaltung 84
 Wartung 85
 Live-Out 188
 Live-Out-Kabel 528
 Loiter-Mode 135
 Löten 272
 Löthilfe 269, 308
 Lötkolben 269, 300
 Lötkurs 271
 Lötzinn 269, 300
 Low-Cost-Drohne 282

Luftdruck 375
 Luftfahrtbehörde 217
 Luftfahrtrecht 212, 216
 Luftfotografie 30
 Luftraum 217
 Luftraumklasse 216
 Luftschraube 40, 64
 Auftrieb 64
 Auswahl 70
 Balancewaage 75
 CCW 66
 CW 66
 H/D-Verhältnis 70
 Kennzahlen 65, 69
 Materialien 65
 Montage 67, 435
 Schubkraft 70
 Steigung 65
 Strahlgeschwindigkeit 71
 Luftsperrgebiet 217
 Luftverkehr 213
 Luftverkehrsgesetz 223
 Luftverkehrsordnung 223
 Luftverkehr-Zulassungs-Ordnung 223
 LuftVG 216, 223
 LuftVO 216, 223
 LuftVZO 223
 Lufverkehrsgesetz 209

M

Mag-Mode 118
 MAG-Mode 370
 Magnetometer 93, 94, 372, 559
 Manual-Mode 104, 108, 124
 Materialdichte 46
 Maximalschub 385
 Memory-Effekt 77
 Mission 136
 Mission-Mode 119
 Mission Planner 132, 138

M-LINK 173
 Modellbau 24
 Modellfliegerverband 211
 Modellfluggelände 223
 Modellflugsportverband Deutschland e.V. 211
 Modellflugverein 210
 Modellflugversicherung 210
 Modellflugzeug 92
 Molexstecker 529
 Monitor 448
 MOSFET 60
 Motor-Cut-Off-Typ 124
 Motordrehrichtung 433, 510
 Motoren 50
 montieren 303
 Motorregler
 ESCs 44
 Multicopter 8, 25, 212
 Aufbau 28
 Bauform 32
 Bauteilauswahl 383, 468
 Bauteile 44
 Berechnungen 232
 Einsatzgebiete 29
 flugfertig machen 337
 Flugzeitberechnung 242
 Forschung 29
 Funktionsweise 31
 Gefahren 206
 Gesetzensammlung 223
 kommerzieller 29
 Luftfahrtrecht 216
 Motoren 50
 Planung 466
 Rahmen 44
 Rechtslage 208
 Risiko 206
 Steuerachsen 174
 Unfälle 207
 Varianten 32
 Versicherung 210

Multicopterdrohne 25, 31
 Multicopter-ESC-Software 59
 MultiWii 110, 357, 377
 einbauen 357
 Einstellungsparameter 115
 ESCs kalibrieren 372
 Fehlerquellen 546
 Fehlersuche 546
 Flugmodi 117
 GUI 111, 364
 Motorlayout 360
 MultiWiiConf 111
 Software 110
 Treiber 364
 WinGUI 113
 MultiWii Crius 357
 MultiWii-Plattform 110

N

Naza 384
 Autolanding 442
 ESCs kalibrieren 433
 Fehlersuche 549
 Gain-Werte einstellen 458
 Kompass/GPS-Antenne 406
 Kompass kalibrieren 130, 434
 Landing 429
 Montage 405
 Power Modul 386
 RC-Kalibrierung 425
 Registration 423
 Stromversorgung 409
 Verkabelung 413
 Naza-M Lite 120, 421
 Naza-M V2 120
 Neigungswinkel 106, 559
 Nennspannung 77, 559
 Neodym 52, 560
 NiCd 77
 NiMh 77
 Nuten 54

O

Octocopter 32
 Oneshot 59
 OpenPilot 100, 101, 286, 312, 319
 Einstellungsparameter 108
 ESCs kalibrieren 325
 Fehlerquellen 545
 Flight Mode Switch Setting 332
 Flugmodi 104
 Flugstabilisation 331
 Potenziometer zur PID-Einstellung 108
 Settings Bank 332
 Softwareeinstellungen 340, 344
 TxPID 108, 252, 340, 342
 OpLink 376
 Optical-Flow Sensor 93, 96
 Optokoppler 62
 OSD 201
 Oszillationseffekt 100

P

Panoramafreiheit 227
 Persönlichkeitsrecht 227, 228
 PID 97
 PID-Optimierung 442
 PID-Regler 97
 D-Wert 99, 255
 I-Wert 98, 255
 P-Wert 98, 254
 PID-Werte 8, 250, 256, 430
 ändern 250
 einstellen 251, 340
 einstellen im Flug 254
 Feintuning 260
 Seilaufhängung 257
 Pixhawk 132
 Planung 9, 264
 Checkliste 267
 Selbstbaucopter 264
 Pole 54

PosHold-Mode 137
 Potenziometer 168, 343, 560
 Potenzfunktion 243
 Power-Distribution 45, 307, 484, 560
 Power-Drohnenoctocopter 466
 Power-Modul 409
 PPM 167, 170
 Prä-Flight-Checkliste 336
 Privatsphäre 227
 Propeller 40, 64
 Propsaver 69, 561
 Pulsweitenmodulation 59, 60
 PWM 59

Q

Quadrocopter 32
 Qumox SJ4000 521

R

Radiotelemetrie 177
 Rahmen 38, 44, 285, 383, 479
 Achsenabstand 49
 Bausatz 47
 Einsatzzweck 48
 Größe 48, 382, 468
 Materialanforderungen 46
 Rahmenbausatz 47
 Rahmengewicht 234
 Rahmengewichtsfaktor 235, 472
 Rate 254
 Rate-Mode 104, 105, 344
 Rattitude-Mode 104, 106, 344
 RC-Anlage 166
 2,4 GHz 170
 35MHz 170
 Binding 170
 Empfänger 167
 Frequenzhopping 170
 Handsender 168
 Hersteller 173

Lehrer/Schüler-Modus 169
 Modes 171
 PPM 170
 Pultsender 168
 Trägerfrequenz 170
 RC-Expo 115
 RC-Modellbau 24, 561
 RC-Rate 115
 Rechtslage 8, 206, 208
 Reglertyp 58
 Responsiveness-Wert 344
 Risiko 206
 RMZ 217, 221
 Rolling-Shutter-Effekt 74, 182, 186
 Rotoren 32
 Rotorkombination 238
 Rotorrotationsrichtung 36
 RTL-Mode 135

S

Schockabsorber 310, 561
 Schraubensicherung 397
 Schrumpfschlauch 270, 301, 402, 562
 Schubdaten 239
 Schubermittlung 237
 Schub-Gewichtsverhältnis 70, 236, 289, 385, 472
 Schubkraft 56, 236, 472
 Schwebetriebpunkt 292
 Schwebeleistung 389
 Schwebestrom 388, 562
 Schwebezeit 242, 293
 Self-level 353
 Sensordrift 562
 Sensor 93
 Sensordrift 94
 Sensorfusion 94
 Servomitte 370
 Sichtweite 216

SimonK 59, 290, 323
 Simple/Supersimple-Mode 137
 Skyfool 220
 Slowflyer 72
 Software 425
 Sonar 96
 Sonnenaktivität 95
 Spannungsregler 452
 Spannungsüberwachung 308
 Spannungswerte 232
 Spektrum 173
 Sport-Mode 136
 Stabantenne 200
 Stabilized-Mode 332
 Stabilize-Mode 134
 Stable-Mode 94
 Steuerknüppelfunktion überprüfen 336
 Steuerplatine 91
 Steuersoftware 319
 Strahlgeschwindigkeit 71, 562
 Stromfluss 241
 Stromverteiler 45, 395, 399, 483
 Stromwerte 232
 SUBTRIM 354

T

Taktische Manöver 28
 Telemetrie 175, 225, 253, 517
 Tigermotor 239, 386, 472
 TMZ 217
 Trägerfrequenz 167, 170
 Tragfläche 64
 Transmitter Setup Wizard 327
 Tricopter 32
 Twincopter 32
 TxPID-Modul 339

U

UAV 23, 209, 211, 212, 213, 215
UBEC 63
Überspannungsschutz 78
UGV 23
Ultraschallsensor 93, 96
Umgekehrtes Steuerverhalten 338
Urhebergesetz 227
Urheberrecht 227
USV 23

V

Vehicle Setup Wizard 320
Verbote 216
Versicherung 8, 206, 210
Verwindungssteif 563
VirtualBar-Mode 104, 107

W

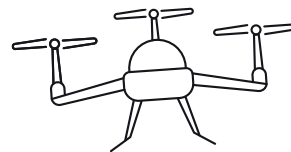
Weak Leveling-Mode 104, 107
Wege
 öffentliche 214
WinGUI 113
Wobbeln 552
WooKong-M 120
Wurzelfunktion 243

X

x-Ausrichtung 35
X-Form 33
X-Konfiguration 34, 323
XT-60 309, 492
XT-90 492

Z

Zellenanzahl (S) 62
Zoll 66
Zug-E-Modul 46
Zugfestigkeit 46



DANKSAGUNG

Ein solch großes und umfangreiches Buchprojekt wie dieses erfordert viel: viel Arbeit, viel investierte Zeit, manchmal viele graue Haare, aber auch oft viel Hilfe. Hilfe von Freunden und Familie sowie Hilfe von vielen weiteren Personen. An dieser Stelle möchte ich nochmals allen danken, die mich bei der Erstellung und Umsetzung dieses Buches unterstützt haben. Vielen Dank an den Internetshop Premium-Modellbau für

das Bereitstellen von Bildmaterial und einen tollen Service. Auch Ingo Haasbach von Freakware möchte ich für das Bereitstellen von tollem Bildmaterial danken. Ein weiterer Dank gilt dem Grafikteam für die tolle Gestaltung dieses Buches, meinem Lektor Ulrich Dorn sowie dem gesamten Lektorat des Franzis-Verlages, ohne die womöglich noch viele, sich endlos wiederholende Fehler vorhanden wären.

Patrick Leiner

BILDNACHWEIS

Die Zusammenstellung der tollen Bilder war nur durch Mithilfe vieler Beteiligter möglich. Namentlich bedanken wir uns bei folgenden Personen:

Ann-Kathrin Bommer (Premium-Modellbau, www.premium-modellbau.de), Anthony Chen und Gregory French (Fatshark, www.fatshark.com), Susanne Haag (Graupner/SJ GmbH, www.graupner.de), Ingo Haasbach (freakware GmbH, <http://www.freakware.de>), Marine-Line Michel (GoPro, www.gopro.com) und Thomas Mock (AvioTiger Germany GmbH, www.aviotiger-germany.com).

Ganz besonders bedanken wir uns bei Matthias Pritschet für die Bereitschaft, für das Coverfoto Modell zu stehen.

Alle Bilder in diesem Buch wurden von Patrick Leiner erstellt.

Ausgenommen: **S. 20-21** Shuttersock. **S. 22-23** Pixabay. **S. 24** Microdrones (o). Shutterstock (u). **S. 26-27** Shutterstock. **S. 28** Sebastian Pietruszewski, Bundeswehr (o). Shutterstock (u). **S. 30** Wikipedia, Wildnrg, <https://en.wikipedia.org/w/index.php?curid=37566323>, CC BY-SA 3.0 (o). Microdrones (u). **S. 41** Graupner. Fatshark (ul). **S. 42-43** Shutterstock. **S. 47** Pixabay. **S. 49** Franzis. **S. 51** Wikipedia, Honina, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2589791>, CC BY-SA 3.0 **S. 53** Graupner (o). **S. 56** Premium-Modellbau. **S. 57** Graupner (or). **S. 68** Graupner (m). **S. 76** Aviotiger (l). **S. 78** Graupner (l). **S. 84** Shutterstock. **S. 86** Graupner. **S. 90** Graupner. **S. 92** Pixabay. **S. 166** Graupner. **S. 178** GoPro (u). **S. 179** Ingo Haasbach, freakware (o). Sony (u). **S. 180** Fatshark (u). **S. 183** GoPro (o). Sony (u). **S. 184** Sony. **S. 185** RED. **S. 186** Blackmagic Design. **S. 188** Wikipedia, Bautsch, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14778818>, Public Domain (u). **S. 191** Ingo Haasbach, freakware. **S. 192** Ingo Haasbach, freakware (u). **S. 192** Ingo Haasbach, freakware (2vu). **S. 193** Ingo Haasbach, freakware (o). **S. 195** Fatshark (u). **S. 199** Fatshark (o). **S. 204-205** Shutterstock. **S. 218** Deutsche Flugsicherung. **S. 230-231** Shutterstock. **S. 248-249** Shutterstock. **S. 378-379** Shutterstock. **S. 452** Shutterstock. **S. 462** Shutterstock (ml). **S. 550-551** Shutterstock.

Einige Bilder stehen unter der Lizenz Create Commons CCO oder unter der Lizenz CC BY-SA 3.0. Die dazugehörigen Lizenztexte finden Sie unter <http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0> und <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.

Patrick Leiner

DROHNEN SELBER BAUEN & TUNEN



Sie sind begeistert von Multicoptern und ihrer Technik? Sie möchten einen eigenen Quadrocopter, Hexacopter oder sogar einen Octocopter selbst bauen, einstellen und ohne Vorkenntnisse in die Welt der DIY-Drohnen einsteigen? Dann sind Sie hier richtig. Mit diesem Buch erfahren Sie alles über die technischen Grundlagen, die Flugzeit- und Leistungsberechnung sowie die Herangehensweise an ein Selbstbauprojekt.



Die fünf verbreitetsten Flightcontroller im Einsatz: Ardupilot Mega 2.6, DJI Naza Lite, KK Board Mini, MultiWii Crius 2.6 und Openpilot CC3D



Neben Schritt-für-Schritt-Anleitungen unterstützen zahlreiche Bilder beim Nachbau der Drohnen.

**Schrauben, kleben, löten und fliegen:
Fangen Sie noch heute damit an, es lohnt sich!**

Vom Motor zur fertigen Drohne

Der Autor Patrick Leiner erklärt Ihnen, wie die Einzelkomponenten für den Bau einer Drohne ausgewählt werden und worauf Sie beim Bau, Einstellen, Fliegen und Optimieren achten sollten. Insgesamt enthält das Buch drei ausführliche Selbstbauprojekte, von der günstigen Drohne für unter 150,- Euro über den vielseitig einsetzbaren Quadrocopter bis zum großen Octocopter für den Transport von Lasten. Sie wollen Ihre Drohne tunen? Erfahren Sie, wie Sie ein FPV-System integrieren, eine Kamera mit Gimbal für Luftaufnahmen installieren oder die Flugzeiten Ihrer Drohne optimieren.

Neben dem Bau lernen Sie auch die notwendige Theorie: von der Funktionsweise der einzelnen Komponenten bis zur rechtlichen Situation beim Flug Ihrer eigenen Drohne. Danach können Sie unbesorgt Ihr neues spannendes Hobby ausleben und ausfliegen.

Aus dem Inhalt:

- Rahmen und Motoren
- Motorsteuerung – der Brushlessregler (ESC)
- Luftschrauben im Copterbau
- LiPo-Akkus
- Ladegeräte und Ladetechnik
- Flightcontroller: Ardupilot Mega 2.6, DJI Naza Lite, KK Board Mini, MultiWii Crius 2.6 und Openpilot CC3D
- Funksteuerung des Multicopters
- Telemetriesysteme
- Kameras, Gimbals und FPV
- Immersionsfliegen wie im Cockpit (FPV)
- Gesetze, Rechtslage und Versicherung
- Rechnerische Grundlagen
- PID-Werte einstellen
- Bauprojekte: Low-Cost-Drohne, Allround-Quadrocopter und Power-Octocopter



9

29,95 EUR [D] / 30,80 EUR [A]

ISBN 978-3-645-60444-4

Besuchen Sie unsere Website:
www.franzis.de

FRANZIS